ISSN 3135-243X (print)
ISSN 3135-2448 (online)

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Еуразиялық агротехникалық ЖУРНАЛ

Eurasian Agrotechnical JOURNAL

Евразийский агротехнический ЖУРНАЛ

№ 3 (131)/2026

Еуразиялық агротехникалық журнал
«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің
ғылым хабаршысы» ISSN 2710-3757, 2079-939X
журналының мұрагері болып табылады

The Eurasian Agrotechnical Journal is the successor to the journal
"Science Bulletin of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University"
(ISSN 2710-3757, 2079-939X)

«Eurasian Agrotechnical Journal» является преемником журнала
«Научный вестник Казахского агротехнического исследовательского
университета имени С. Сейфуллина»
(ISSN 2710-3757, 2079-939X).

Жылына 4 рет шығады
Published 4 times a year
Выходит 4 раза в год

Астана, 2026
Astana, 2026

Р Е Д А К Ц И Я Л Ы Қ А Л Қ А

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Ғылыми редактор

Байбусенов Курмет Серикович
PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ауыл және орман шаруашылығы институтының қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы

Редакциялық алқаның мүшелері

Стыбаев Гани Жасымбекович - *Ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Өсімдік шаруашылығы ББББТ профессоры, Астана қаласы*

Кажгалиев Нурлыбай Жигербаевич - *Ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Мал шаруашылығы және биологиялық ғылымдары ББББТ профессоры, Астана қаласы*

Аубакирова Гульжан Аманжоловна - *Биология ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Мал шаруашылығы және биологиялық ғылымдары ББББТ қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы*

Курмангожинов Альжан Жанибекович - *PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ландшафттық дизайн ББББТ қауымдастырылған профессоры м.а., Астана қаласы*

Озеранская Наталия Львовна - *Экономика ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Жер ресурстары және сәулет институтының доценті, Астана қаласы*

Айдарханова Гульнара Сабитовна - *Биология ғылымдарының докторы, «Микроорганизмдердің республикалық коллекциясы» ЖШС қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы*

Конысбаева Дамиля Туремуратовна - *Биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ауыл және орман шаруашылығы институты доценті, Астана қаласы*

Гуляренко Александр Александрович - *PhD, техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Көлік техникасы, технологиялар және стандарттау, сертификаттау және метрология ББББТ қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы*

Хусаинова Жібек Сеитовна - *Экономика ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің профессоры, Ғылым және инновация департаментінің директоры, Астана қаласы*

Утебаев Марал Уралович - *Биология ғылымдарының кандидаты, «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері*

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА МҮШЕЛЕРІНІҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚҰРАМЫ

Сезгин Аян (Sezgin Ayan) - *PhD, Кастамону Университеті Орман шаруашылығы факультеті Орман инженериясы бөлімінің профессоры, Кастамону, Турция*

Саввулиди Филип Георгиевич (Savvulidi Filipp Georgijevič) - *Прагадағы Чехия жаратылыстану ғылымдары университеті Агробиология, азық-түлік және табиғи ресурстар факультетінің Жануарлар ғылымдары кафедрасының ассистент-профессоры, Прага, Чехия*

Бембенек Михал (Bembenek Michal) - *AGH Краковтағы Тау-кен және металлургия университеті Өндірістік жүйелер бөлімі профессоры, Краков, Польша*

Татаринцев Владимир Леонидович - *Ауылшаруашылығы ғылымдарының докторы, Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институтының профессоры, Томск, Ресей Федерациясы*

Купидура Пшемыслав (Kupidura Przemysław) - *PhD, Варшава техникалық университеті Геодезия және картография факультеті Фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және кеңістіктік ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Варшава, Польша*

Лв Дианкиу (Lv Dianqiu) - *PhD, профессор, Оңтүстік-Батыс университетінің Агрономия және биотехнология колледжінің деканы, Чунцин, КНР*

Пищенко Елена Витальевна - *Биология ғылымдарының докторы, Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі «Сібір мемлекеттік инженерия және биотехнология университеті» Биология, биологиялық ресурстар және аквамәдениет кафедрасының профессоры, Томск, Ресей Федерациясы*

Мейзам Заргар (Meisam Zargar) - *Ауыл шаруашылығы докторы, Ресей халықтар достығы университеті Аграрлық-технологиялық институты Агробиотехнология департаментінің қауымдастырылған профессоры, Мәскеу, Ресей Федерациясы*

Кузьмина Светлана Петровна - *Омск мемлекеттік ауыл шаруашылығы университетінің Агрономия, селекция және тұқым шаруашылығы кафедрасының доценті, Омск, Ресей Федерациясы*

© С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62, + 7 (7172) 31-02-45

МАЗМҰНЫ

Влияние биоорганических удобрений на ростовые параметры, продуктивность и качество моркови (*Daucus carota L.*) в условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана..... 6
Айтбаев Т.Е., Айтбаева А.Т., Бурибаева Л.А., Зоржанов Б.Д., Манабаева У.А.

Бағалы дәрілік және жемдік өсімдік *Rhaponticum carthamoides* баяу өсу жағдайында *in vitro* сақтау..... 18
Тагиманова Д.С., Райзер О.Б., Джатаев С.А., Хапилина О.Н.

Breeding and biotechnology to improve potato resilience to climate change..... 28
Viktoriya A. Zhidenko, Irina N. Anikina

Повышение эффективности и усовершенствование техники гибридизации нута (*Cicer arietinum* L.) с использованием морфологических и молекулярных маркеров..... 39
Дженисбаева А.М., Майкотов Б.Н., Байтаракова К.Ж., Ержебаева Р.С.

Spatial organization, DNA barcoding, and DNA sample bank establishment of wild populations of *Malus sieversii* for genetic resource conservation of an endangered species..... 53
Symbat S. Islamova, Almagul A. Kakimzhanova, Damira A. Dyussembekova, Zhanar S. Nurgozhanova, Bayan D. Sadakova, Aidana S. Nurtaza

Effects of treatment systems on carbon dioxide emissions and the agrochemical state of ch ernozems..... 67
Grigoriy A. Zvyagin, Akhylbek K. Kurishbaev, Sayagul O. Kenzhegulova, Dilmurat Yerzhan, Gulaiym N. Aimukhambet, Zhanna S. Almanova

Application of MLVA Analysis of Chloroplast Microsatellite Loci for Differentiating Wild and Cultivated *Malus* spp. germplasm..... 83
Vladislav A. Shevtsov, Oxana N. Khapilina, Yulia M. Efremova, Ainur S. Sarsenova, Asem R. Tumenbayeva, Saule M. Magzumova

Оценка селекционного материала яровой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в условиях северо-востока Казахстана..... 94
Жукова Н.А., Вирясова Е.Н.

Влияние морфо-биологических показателей на продуктивность сортов сои в условиях Северного Казахстана..... 105
Кипшакбаева Г.А., Сабит Д., Әшірбекова І.Ә., Кадринов М.Х.

Опыт выращивания пресноводной креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*) в поликультуре с австралийским красноклешневым раком (*Cherax quadricarinatus*)..... 120
Куанчалеев Ж.Б., Аубакирова Г.А., Стожков Р.О., Мусин С.Е., Кучера В., Бадрызлова Н.С.

Қалмақ тұқымы малының әртүрлі жастағы бұқашықтары мен қашарларын өсіру технологиясының тірілей салмағы мен ет өнімділігіне әсері..... 131
Қажғалиев Н.Ж., Хасен Ж.С., Маханбетова А.Б., Нұргүлсім Қ., Жамурова В.С.

Диагностика вируса мозаики пепино (*PepMV*) и вируса коричневой морщинистости плодов томата (*ToBRFV*) в образцах томата и перца из отдельных регионов Республики Казахстан..... 143
Сүлейман М.А., Әжімахан М.Ә., Хасанов В.Т.

Экологическое сортоиспытание гибридов сахарной свёклы в условиях Павлодарской области 156
Жукова Н.А., Кабыкенов Т.А.

Прогнозирование фенологии вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана на основе пространственного анализа..... 169
Байбусенов К.С., Елубаев Д.Р., Усалинов Е.Б., Аманбай Ж.З.

Формирование урожайности гороха посевного в зависимости от хозяйственно-ценных признаков и погодных условий сухостепной зоны Северного Казахстана..... 179
Ошергина И.П., Тен Е.А., Гладких Д.М., Жанзаков Б.Ж.

Биологическая эффективность хищных клещей A*mblyseius montdorensis* Schicha и *Amblyseius andersoni* Chant в регулировании численности паутинного клеща и трипсов в насаждениях малины..... 193
Калдыбеккызы Г., Сисенгалиев А.Б., Сарбасова А.М., Копжасаров Б.К., Бекназарова З.Б., Олейченко С.Н.

Дикорастущие популяции эспарцета (*Onobrychis arenaria*) – исходный материал для селекции..... 202
Коберницкая Т.М., Парсаев Е.И., Филиппова Н.И.

Бидай сабанынан құрамында ксилоолигосахаридтер (КОС)бар гидролизатты ферментативтік жолмен алу және оның лактобациллалардың өсуіне әсерін бағалау... 211
Шамсиева Ю., Якупов Б., Тимощук С., Абдишов Д., Кирибаева А.

Скрининг вирусной инфекции и формирование коллекции безвирусных сортов и селекционных образцов картофеля..... 220
Омарова Г.К., Бейсембина Б., Камарова Д.Н., Артемьева А.В., Лидер О.В.

Оценка селекционного материала подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*)..... 229
Щербань С.В., Щербань Н.Ф., Абитаев Ф.К., Соционер А.С.

Сравнительная оценка содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти с различной окраски клубней картофеля..... 240
Омарова Г.К., Каландия А., Джафаридзе И., Сурманидзе Н., Карцвадзе И., Хасанов В.Т.

Human capital development and technology adaptation for sustainable organic agriculture in Kazakhstan: education, research and knowledge transfer..... 250
Berdibek K. Bulashev, Gulnazym Kh. Ospankulova, Ainur A. Ibzhanova

Agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of harmful non-gregarious locusts in Kazakhstan based on climatic data and neural network modeling..... 262
Kurmet S. Baibussenov, Aigul M. Bekbayeva, Zhassulan Z. Amanbay, Askar A. Zhubatkanov, Arsen A. Dzhumagulov

Выращивание чечевицы при атмосферных осадках 250-320 мм в год: система обработки почвы, плодородие почв, урожайность..... 281
Акшалов К.А., Баймуканова О.Н., Жұмабек Б., Бисетаев К.С., Байшоланов С.С., Пилипчук А.П.

УДК 635.1:631.86 **Исследовательская статья**

Влияние биоорганических удобрений на ростовые параметры, продуктивность и качество моркови (*Daucus carota* L.) в условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана

Айтбаев Т.Е.[1], **Айтбаева А.Т.**[2], **Бурибаева Л.А.**[2], **Зоржанов Б.Д.**[2], **Манабаева У.А.**[2]

[1]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодоовощеводства», Алматы, Казахстан
[2]Региональный филиал «Кайнар» ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодоовощеводства», Алматинская область, Карасайский район, п. Кайнар, Казахстан

Автор-корреспондент: Айтбаева А.Т.: aitbayeva_at@mail.ru
Соавторы: (1: ТА) aitbayev.te@mail.ru; (2: ЛБ) buribaeva_l_66@mail.ru
(3: БЗ) berik_zorzhanov@mail.ru; (4: УМ) manabaeva1971@mail.ru

Получено: 01.07.2026 **Принято:** 08.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Айтбаев Т.Е. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Морковь (*Daucus carota* L.) является одной из наиболее востребованных овощных культур, характеризующейся высокой пищевой ценностью и значительным потребительским спросом. В условиях развития органического сельского хозяйства особое значение приобретает разработка эффективных биоорганических систем питания, обеспечивающих повышение продуктивности и качества продукции при снижении химической нагрузки. Целью исследования являлось определение эффективности комплексного применения биоорганических удобрений при выращивании органической моркови в почвенно-климатических условиях юго-востока Казахстана.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2024–2025 гг. на базе Регионального филиала «Кайнар» ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодоовощеводства» (далее РФ «Кайнар» КазНИИПО) в предгорной зоне юго-востока Казахстана. В опыте использовали районированный сорт моркови Алау. Опыт включал контрольный вариант (Т1) и четыре варианта с применением биоорганических удобрений (Т2-Т5), заложенные в четырехкратной повторности. Оценивались биометрические показатели растений и корнеплодов, урожайность, содержание сухого вещества, общего сахара, витамина С, каротина и нитратов. Статистическую обработку данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты. Результаты исследований показали, что применение биоорганических удобрений положительно влияет на рост, развитие и продуктивность культуры моркови, способствуя формированию более развитого листового аппарата и крупных корнеплодов. Улучшение ростовых процессов сопровождалось увеличением товарной массы, размеров корнеплодов и урожайности культуры. Наиболее высокая урожайность отмечена в варианте Т3 – 30,09 т/га, что на 40,34% превышало контроль (Т1). Применение биоорганических удобрений также способствовало улучшению биохимических показателей корнеплодов, при этом содержание нитратов в корнеплодах во всех вариантах опыта не превышало предельно-допустимой концентрации, что подтверждает безопасность полученной продукции. Статистическая обработка полученных данных подтвердила достоверность различий по урожайности между вариантами опыта (Т1-Т5).

Заключение. Применение биоорганических удобрений является эффективным приемом повышения продуктивности и качества моркови в условиях юго-востока Казахстана. Полученные результаты показывают перспективность комплексного применения биогумуса и жидких биологических удобрений для формирования высокопродуктивных и качественных корнеплодов при экологически ориентированном производстве.

Ключевые слова: морковь (*Daucus carota* L.); биоорганические удобрения; биометрические показатели; продуктивность; биохимические показатели; юго-восток Казахстана.

Как цитировать: Айтбаев Т.Е., Айтбаева А.Т., Бурибаева Л.А., Зоржанов Б.Д., Манабаева У.А. (2026). Влияние биоорганических удобрений на ростовые параметры, продуктивность и качество моркови (*Daucus carota* L.) в условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана. *Евразийский агротехнический журнал,* 3 (131), 6-17. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2273

Введение

Развитие органического сельского хозяйства в Казахстане требует разработки и внедрения биологизированных агротехнологий и инновационных решений, обеспечивающие получение экологически безопасной продукции. Неуклонно растет спрос на органическую продукцию, что обусловлено повышенным интересом потребителей к качественным и безопасным продуктам питания. Органическая продукция, выращенная без применения синтетических пестицидов и минеральных удобрений имеет более высокую рыночную стоимость, что способствует повышению рентабельности производства [1].

В течение нескольких десятилетий рост продуктивности сельскохозяйственных культур, во многом был достигнут за счёт интенсивного применения синтезированных минеральных удобрений и химических средств защиты растений. По некоторым данным [2], данная стратегия способствовала существенному увеличению продуктивности агроценозов, однако сопровождалась рядом негативных последствий, включая загрязнение окружающей среды, накопление токсичных остатков в пищевой продукции и рост резистентности вредных организмов к пестицидам.

В связи с этим, в последние годы возросла необходимость перехода к более экологически ориентированным и устойчивым агротехнологиям, основанным на биологизации систем питания и защиты растений. В данном контексте особый научный и практический интерес вызвало применение биостимуляторов растений, включая гуминовые вещества, экстракты водорослей, микробные инокулянты и аминокислоты, которые рассматриваются как перспективный инструмент стимуляции роста растений, улучшения усвоения питательных веществ, повышения урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур к абиотическим стрессам [3, 4, 5].

Имеется ряд исследований, подтверждающие эффективность частичного или полного применения органических удобрений и стимуляторов на биологической основе на всех сельскохозяйственных культурах. Комплексное применение биостимуляторов с минеральными или органическими удобрениями способствует повышению коэффициента использования питательных элементов, особенно в условиях ограниченных почвенных ресурсов или водного стресса [6, 7, 8, 9].

Абиотические стрессы, в частности засуха, засоление и экстремальные температуры, являются основной причиной потерь урожая во всем мире, снижающие среднюю урожайность большинства основных сельскохозяйственных культур более чем на 50% [10]. В этой связи, применение биостимуляторов было выделено как один из наиболее перспективных и эффективных способов поддержания урожайности [11, 12].

Известно, что морковь (*Daucus carota* L.) является одной из наиболее важных овощных культур, представляющий большой потребительский интерес за счет высокого содержания в корнеплодах провитамина А, каротина, витаминов В, РР, С, К и минералов. По данным ФАО, морковь является одной из наиболее широко культивируемых овощных культур, рыночная стоимость которой растет на 4,19% ежегодно. Основная часть мирового производства (34%) приходится на Китай, Россию и США [13].

Морковь (*Daucus carota* L.) относится к культурам, отличающиеся пониженной всхожестью и медленным прорастанием. Биология размножения моркови осложняет прорастание семян и формирование равномерных всходов. Современные исследования подтверждают, что применение предпосевной обработки семян моркови биостимуляторами, способствует ускорению прорастания, повышению жизнеспособности сеянцев и их устойчивости к стрессовым условиям [14].

Также морковь относится к культурам с высокой потребностью в элементах питания, поэтому эффективное управление минеральным питанием является одним из ключевых факторов получения высокого урожая и качественной продукции. Некоторые исследования подтверждают эффективность применения микробных биостимуляторов на моркови в период вегетации. Имеются достоверные результаты, где совместное применение биологических стимуляторов с органическими удобрениями повышает продуктивность и качество корнеплодов моркови. Исследования ряда авторов показали, что вермикомпост и полупревший навоз, применяемые по отдельности или в комбинации представляли устойчивую альтернативу

химическим удобрениям, улучшая плодородие почвы, повышая рост, продуктивность и качество корнеплодов моркови, что подтверждает необходимость проведения подобных исследований в условиях нашего региона.

Морковь в Казахстане возделывается в летний период, а для круглогодичного потребления закладывается на хранение на длительный срок до 5–7 месяцев и больше. Для лучшей сохранности корнеплодов необходимо принимать меры в период вегетации растений, чтобы не допустить распространения патогенов и сохранить корнеплоды здоровыми. Данные показывают, что потери от зараженной продукции при хранении в среднем достигают 25–40% [15]. Поэтому при выращивании моркови необходимо получать здоровые корнеплоды, что напрямую зависит от качества семенного материала и агротехнических мероприятий в период вегетации.

Принципы современной экологически ориентированной агротехнологии требуют внедрения методов выращивания моркови, направленных на биологизацию производства, повышение урожайности и получение экологически безопасной продукции. Несмотря на многочисленные исследования, подтверждающие эффективность применения биоорганических удобрений, технологии возделывания моркови в Казахстане по прежнему основаны преимущественно на традиционных агротехнологиях с интенсивным использованием минеральных удобрений. В то же время эффективность комплексного применения биогумуса и жидких биологических стимуляторов при выращивании моркови в почвенно-климатических условиях юго-востока Казахстана остается не изученным, что и послужило основанием для проведения данных исследований.

Материалы и методы

Исследования были проведены на базе РФ «Кайнар» КазНИИПО, расположенной в предгорной зоне юго-востока Казахстана, на северном склоне Заилийского Алатау на высоте 1000–1050 м над уровнем моря в период 2024–2025 гг. Регион характеризуется резко континентальным климатом: средняя температура в июле составляет 24–26 °C, а в январе – от –8 до –12 °C. Годовое количество осадков колеблется от 350 до 600 мм, из которых 120–300 мм выпадает в течение вегетационного периода. Сумма активных температур составляет примерно 3100–3400 °C, что обеспечивает благоприятный тепловой режим для выращивания овощных культур при орошении.

Почва опытного участка классифицируется как тёмно-каштановая, со среднесуглинистым гранулометрическим составом и слабо выраженной структурой. В верхнем слое (0–20 см) содержится 2,27% гумуса, доступный азот – 61,6 мг/кг, фосфор – 38 мг/кг, калий – 240 мг/кг. Почва имеет слабощелочную реакцию среды (pH 8,36–8,37) и содержание карбонатов кальция ($CaCO_3$) – 1,23% в верхнем слое, уменьшаясь до 1,14% на глубине 20–40 см. Плотность сложения варьируется от 1,1 до 1,2 г/см³, а минимальная полевлагозарядная способность составляет 26,6%. Из-за слабой агрегатной структуры почва склонна к образованию поверхностной корки и уплотнению при поливе или выпадении осадков. В механическом составе горизонта 0–20 см преобладают частицы размером 0,05–0,01 мм (41,41%) и мелкодисперсные (<0,001 мм – 18,68%), тогда как в подпочвенном горизонте (20–40 см) увеличивается доля более крупных частиц.

Схема опыта включала пять вариантов (Т1–Т5), направленных на оценку эффективности биоудобрений:

Т1 – Контроль (без обработки);

Т2 – Биогумус, 5 т/га + Целобацирин, состоит из целлюлолитических бактерий, микро-мезо элементов в хелатном соединении, титр не менее КОЕ/мл – 9×109, для листовой обработки – 1,5 л на 1 га, с расходом рабочей жидкости 200 л/га, 3-кратно с интервалами 14 суток + Фосфобацирин-С, норма расхода для предпосевной обработки семян – 2,0 мл/л, 1-кратно (Республика Казахстан);

Т3 – Биогумус, 5 т/га + БиоСок Энерджи, состоит из азота (N): 2.5%, фосфора (P2O5): 1,2%, калия (K_2O): 3,5%, кальция (Ca): 1,5%, магния (Mg): 0,8%, органических веществ – 15%, микроэлементы (железо, цинк, медь, марганец и другие) – 0,3%, pH: 6.0–7.0. Применялся в норме 6,0 л/га, путем листовой подкормки, 5-кратно, с интервалами 7–10 суток начиная с фазы 6–8 листьев (Республика Казахстан);

Т4 – Биогумус, 5 т/га + Scudo, состоит из 9% водорастворимой формы меди, 11% серы, 3,5% органического азота, 9% аминокислот и пептидов, 38% органических веществ, pH равен 9. Применялся в норме 3,0 л/га, путем листовой обработки, 3-кратно, с интервалами 20 суток, начиная с фазы – 6–8 листьев (Италия).

Т5 – Биогумус, 5 т/га + Фитолаза, состоит из энзимов, элиситоров, липо- и гликопротеинов, полипептидов, олигосахаридов, органических кислот и витаминов, применялся в норме 300 мл/га, с начиная с фазы 6-8 листьев с интервалами – 10–14 суток, общее количество обработок – 5 + Нано Сера, состоящая на 40% из нано частиц серы, применялся в норме 6,0 л/га, 1-кратно, начиная с фазы активного вегетативного роста, с расходом рабочей жидкости – 250 л/га (Республика Казахстан).

Агротехника овощных культур, в опытах общепринятая, осуществлялась в соответствии с рекомендациями РФ «Кайнар» КазНИИПО [16].

В опытах использовали сорт моркови Алау, официально рекомендованный для возделывания в данной зоне. Посев семян осуществляли 29 и 30 апреля в вегетационные периоды 2024 и 2025 гг. соответственно. Опыт был заложен по рендомизированной схеме в четырехкратной повторности, площадь учетной делянки составляла 25 м². Посев производили по схеме 70 см, 3-х строчно. Предшественником культуры был картофель. Минеральные удобрения вносились в дозе N90P90K60, орошение проводили пять раз с оросительной нормой 500-550 $м^3 \bullet га^{-1}$. Агротехнические мероприятия осуществляли в соответствии с зональными рекомендациями и включали зяблевую вспашку (27–29 см), весеннюю обработку почвы, двукратное боронование, междурядные рыхления, окучивание, орошение, а также меры защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Фенологические и биометрические наблюдения опытных растений моркови в полевых условиях были проведены на стадиях: единичные всходы (BBCH 10–15), массовые всходы (BBCH 19–24), формирование 3–5 настоящих листьев (BBCH 32–39), начало формирования корнеплодов (BBCH 52–58), интенсивный рост корнеплодов (BBCH 75–81), техническая спелость корнеплодов (BBCH 109–118) [17].

Описание морфологических характеристик культуры моркови проводились на двух ключевых этапах: (I) интенсивный рост корнеплодов, (II) интенсивное формирование корнеплодов. Для этих наблюдений случайным образом выбирались десять модельных растений из каждого опытного варианта. На каждом из указанных этапов регистрировались данные по массе растений, числу листьев, длине наибольшего листа, дополнительно в репродуктивную фазу – товарная масса корнеплодов, их длина и диаметр [18, 19].

В период полной зрелости проводился учёт урожая путём уборки всей площади каждого из четырёх повторов в каждом варианте опыта. Общая товарная урожайность корнеплодов рассчитывалась и выражалась в тоннах на гектар (т/га). На основе этих данных определялись прирост урожая и процентное увеличение по сравнению с контролем (Т1) для оценки агрономической эффективности опытных вариантов (Т2–Т5).

Для определения сухих растворимых веществ использовали рефрактометрический метод в соответствии с ГОСТ 28562-90 [20]. Общее содержание сахаров анализировали по ГОСТ 8756.13-87 [21], концентрацию витамина С – по ГОСТ 24556-89 [22]. Определение содержания каротина проводилось спектрофотометрическим методом по ГОСТ ISO 6558 2 2019 [23]. Содержание нитратов в корнеплодах определяли потенциометрическим методом согласно ГОСТ 29270-95 [24].

Статистический анализ. Для сравнения средних значений каждого измеряемого показателя между пятью вариантами опыта (Т1–Т5) использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При выявлении значимых различий ($p \leq 0,05$) проводились пост-хок сравнения с использованием теста честной значимой разницы Тьюки (Tukey HSD). Все статистические анализы и визуализация данных выполнялись с использованием программного обеспечения R версии 4.2.1 и STATISTICA 10. Также рассчитывались значения наименьшей значимой разницы (LSD) на уровне доверия 95% для поддержки интерпретации влияния вариантов опыта.

Результаты

Анализ биометрических показателей растений моркови за 2024–2025 гг. показал положительное влияние применения биоорганических удобрений на рост растений в фазу интенсивного роста вегетативной части по сравнению с контролем (Т1). Наиболее высокие

значения массы растений сформировались на вариантах Т5 и Т3 – 254,71 и 247,75 г соответственно, тогда как на контроле (Т1) данный показатель составил 167,00 г.

Увеличение массы сопровождалось формированием более развитого листового аппарата. Среднее число листьев в вариантах Т3 и Т5 достигало 15,62 –16,00 шт. против 12,13 шт. на контроле, а длина наибольшего листа увеличивалась до 58,19 – 60,55 см при 49,20 см (Т1) (таблица 1). В варианте Т2 также отмечены высокие значения изучаемых показателей: масса растения – 251,33 г, число листьев – 15,88 шт., длина наибольшего листа – 60,55 см. В варианте Т4 средняя масса растения составила 235,72 г, число листьев – 14,00 шт., длина наибольшего листа – 55,27 см.

Таблица 1. Влияние биоорганических удобрений на биометрические показатели культуры моркови (среднее за 2024–2025 гг.), фаза – интенсивный рост вегетативной части

Варианты опыта	Годы исследований	Масса растения, грамм	Среднее	Число листьев, штук	Среднее	Длина наибольшего листа, см	Среднее
Т1	2024	165,70 ± 2,51	167,00	11,00 ± 0,82	12,13	48,95 ± 1,76	49,20
	2025	168,30 ± 5,46		13,25 ± 0,25		49,45 ± 1,91	
Т2	2024	250,53 ± 5,72	251,33	16,00 ± 1,08	15,88	61,68 ± 2,60	60,55
	2025	252,13 ± 7,30		15,75 ± 1,48		59,43 ± 3,10	
Т3	2024	239,38 ± 6,98	247,75	15,25 ± 1,03	15,62	57,95 ± 2,42	58,19
	2025	256,13 ± 8,50		16,00 ± 1,22		58,43 ± 3,69	
Т4	2024	238,33 ± 6,77	235,72	14,50 ± 1,04	14,00	57,95 ± 2,31	55,27
	2025	233,13 ± 5,87		13,50 ± 1,04		52,60 ± 2,45	
Т5	2024	259,23 ± 11,48	254,71	15,75 ± 1,70	16,00	60,03 ± 3,85	59,41
	2025	250,20 ± 7,76		16,25 ± 1,38		58,80 ± 2,01	

В фазу интенсивного формирования корнеплодов применение биоорганических удобрений способствовало увеличению товарной массы, длины и диаметра корнеплодов во всех обработанных вариантах (Т2-Т5) по сравнению с контролем (Т1). Средняя минимальная товарная масса корнеплодов в вариантах Т2-Т5 составляла от 139,25 до 158,12 г против 100,75 г в контроле. Наибольшая средняя максимальная товарная масса отмечена в варианте Т3 – 230,75 г, что превышало контроль на 94,75 г или 69,12% (136,00 г). Вариант Т2 характеризовался наибольшей минимальной длиной корнеплодов – 10,86 см, тогда как максимальная длина отмечена в Т5 – 13,57 см. По диаметру корнеплодов наиболее высокие значения получены в Т3 – 3,76 см. В вариантах Т2, Т4 и Т5 данный показатель составил 3,65, 3,60 и 3,69 см соответственно, против 2,94 см в контроле (таблица 2).

Таблица 2. Влияние биоорганических удобрений на биометрические показатели культуры моркови (среднее за 2024–2025 гг.), (фаза – интенсивное формирование корнеплодов)

Варианты опыта	Годы иссле-дований	Товарная масса корнеплодов, грамм		Длина корнеплода, см		Диаметр корнеплода, см	
		min	max	min	max	min	max
Т1	2024	97,00±10,17	130,75±16,56	7,85 ± 0,58	10,53 ± 0,56	2,23 ± 0,34	3,03 ± 0,30
	2025	104,50 ±16,03	141,25±21,72	7,68 ± 0,61	10,15 ± 0,84	2,30 ± 0,37	2,85 ± 0,18
	Среднее	100,75	136,00	7,76	10,33	2,26	2,94
Т2	2024	156,75 ±19,40	208,75 ±27,90	11,13 ±1,16	13,75 ± 1,65	2,93 ± 0,39	3,85 ± 0,34
	2025	159,50 ±20,98	216,00 ±21,04	10,60 ± 0,68	13,08 ± 0,65	2,93 ± 0,34	3,45 ± 0,38
	Среднее	158,12	212,37	10,86	13,41	2,92	3,65
Т3	2024	145,50 ± 13,82	245,75 ± 25,50	10,18 ± 0,57	12,88 ± 2,09	2,78 ± 0,40	3,83 ± 0,46
	2025	154,75 ±24,62	215,75 ±24,61	10,20 ± 0,70	13,05 ± 1,59	2,93 ± 0,34	3,70 ± 0,22
	Среднее	150,12	230,75	10,19	12,96	2,85	3,76

Продолжение таблицы 2

Т4	2024	140,50 ± 14,06	208,25 ± 21,55	9,73 ± 0,83	12,55 ± 1,44	2,63 ± 0,34	3,55 ± 0,26
	2025	138,00 ± 9,13	190,75 ± 20,73	10,13 ± 0,60	12,55 ± 1,28	2,75 ± 0,50	3,65 ± 0,34
	Среднее	139,25	199,62	9,92	12,55	2,69	3,60
Т5	2024	158,25 ± 22,41	221,25 ± 31,76	10,45 ± 0,79	13,23 ± 1,08	2,83 ± 0,32	3,83 ± 0,46
	2025	149,75 ± 18,93	222,50 ± 20,58	10,45 ± 0,54	13,92 ± 1,07	2,73 ± 0,31	3,55 ± 0,44
	Среднее	154,00	221,87	10,45	13,57	2,77	3,69

Биохимический анализ корнеплодов показал различия по содержанию основных компонентов химического состава корнеплодов в зависимости от применяемого варианта биоорганических удобрений (таблица 3). Наиболее высокое содержание сухого вещества (16,38%) и общего сахара (13,54%) отмечено в варианте Т3, где данные показатели превышали контроль на 3,32 и 1,44% соответственно. Высокое содержание сухого вещества также отмечено в вариантах Т2 (16,10%) и Т4 (15,86%), тогда как в контроле его содержание составляло 13,06%. Наибольшее содержание витамина С зафиксировано в варианте Т4 (8,74 мг%), что на 2,20 мг% выше контроля (6,54 мг%). В вариантах Т2, Т3 и Т5 содержание аскорбиновой кислоты составило 8,15, 7,60 и 7,32 мг% соответственно. Максимальное содержание каротина отмечено в варианте Т2 (8,96 мг%), что превышало контрольный показатель на 20,27% (7,45 мг%).

Содержание нитратов варьировало от 96,4 мг/кг сырой массы в варианте Т4 до 222,6 мг/кг в Т3. В контрольном варианте (Т1) содержание нитратов составило 118,4 мг/кг.

Таблица 3. Влияние биоорганических удобрений на биохимические показатели культуры моркови (среднее за 2024–2025 гг.)

Варианты опыта	Сухое вещество, %	Общий сахар, %	Витамин «С», мг%	Каротин мг%	Нитраты, мг/кг
Т1	13,06 ± 0,22	12,10 ± 0,22	6,54 ± 0,16	7,45 ± 0,24	118,4 ± 6,1
Т2	16,10 ± 0,20	13,12 ± 0,31	8,15 ± 0,18	8,96 ± 0,27	157,8 ± 7,5
Т3	16,38 ± 0,19	13,54 ± 0,28	7,60 ± 0,15	8,18 ± 0,25	222,6 ± 9,3
Т4	15,86 ± 0,17	12,42 ± 0,26	8,74 ± 0,17	7,84 ± 0,22	96,4 ± 7,1
Т5	14,82 ± 0,18	13,36 ± 0,34	7,32 ± 0,19	8,32 ± 0,28	193,5 ± 8,8

Сравнительный анализ урожайности показал увеличение продуктивности корнеплодов в вариантах с применением биоорганических удобрений в сравнении с контролем (таблица 4). Средняя урожайность в контрольном варианте (Т1) составила 21,44 т/га, тогда как в обработанных вариантах данный показатель увеличивался до 27,65-30,09 т/га. Наиболее высокая урожайность отмечена в варианте Т3 – 30,09 т/га, что обеспечило дополнительную прибавку урожая – 8,65 т/га или 40,34% к необработанному контролю. Вариант Т5 также характеризовался высокой продуктивностью – 29,70 т/га, с прибавкой 8,26 т/га (38,53%). В вариантах Т2 и Т4 было получено 6,70 и 6,21 т/га дополнительного урожая к варианту Т1 соответственно.

Результаты дисперсионного анализа подтвердили статистически значимое влияние изучаемых вариантов на урожайность моркови ($F = 39,05$; $p < 0,001$; $W = 0,99$). При значении $LSD_{0.05} = 1,71$ т/га прибавка урожая во всех обработанных вариантах относительно контроля (Т1) превышала величину наименьшей существенной разницы, что свидетельствует о достоверном повышении урожайности под влиянием биоорганических удобрений.

Таблица 4. Влияние биоорганических удобрений на урожайность культуры моркови (среднее за 2024–2025 гг.)

Варианты опыта	Повторности, т/га				Средний урожай, т/га	Дополнительный урожай корнеплодов	
	I	II	III	IV		т/га	%
T1	22,25	21,60	19,70	22,20	21,44	-	-
T2	26,95	30,05	27,80	27,75	28,14	6,70	31,25
T3	28,95	31,55	29,85	30,00	30,09	8,65	40,34
T4	26,85	26,55	28,60	28,60	27,65	6,21	28,96
T5	29,85	30,75	29,30	28,90	29,70	8,26	38,53
Точность опытов (m%):					2,02		
Наименьшая существенная разница ($LSD_{0.05}$):					1,71		
LSD (p<0.05) ANOVA results: F = 39,05; W: 0.99; p-value: < 0.001							

Обсуждение

Полученные результаты показали, что применение биоорганических удобрений способствовало улучшению ростовых процессов растений моркови и формированию более развитого листового аппарата. Увеличение массы растений и числа листьев в обработанных вариантах, особенно Т2, Т3 и Т5 указывает на более интенсивное формирование ассимиляционной поверхности по сравнению с контролем. Более развитый листовой аппарат потенциально создает благоприятные условия для накопления и последующей транслокации фотоассимилятов в формирующиеся корнеплоды.

Выраженное увеличение размеров и массы корнеплодов в вариантах Т2–Т5 согласуется с результатами исследований других авторов [26], которые отмечали положительное влияние обогащенных органических удобрений и биостимуляторов на рост и продуктивность моркови при их комплексном применении. В приведенном исследовании применение биоорганических удобрений обеспечивало формирование растений высотой до 38,40 см, с числом листьев 14,33 шт., массой корнеплода 103,39 г и урожайностью 26,88 т/га. При менее эффективном варианте соответствующие показатели составили 27,10 см, 11,50 шт., 59,52 г и 14,30 т/га.

Полученные нами результаты в целом подтверждают тенденцию к улучшению ростовых и продуктивных характеристик моркови при использовании биоорганических удобрений. Более высокая масса и размеры корнеплодов в обработанных вариантах могут быть связаны с усилением фотосинтетической активности растений и увеличением поступления ассимилянтов в корнеплоды. Некоторые авторы отмечают [27], что увеличение листовой площади и общей биомассы растений способствует повышению фотосинтетического потенциала и эффективности распределения продуктов ассимиляции, что непосредственно связано с формированием урожая корнеплодных культур.

Изменения биохимического состава корнеплодов также свидетельствуют о положительном влиянии биоорганических удобрений на качество продукции. Наиболее выраженное содержание сухого вещества и общего сахара отмечено в варианте Т3, тогда как максимальное содержание витамина С наблюдалось в Т4, а каротина – в Т2. Таким образом, различные варианты биоорганических удобрений оказывали неодинаковое влияние на отдельные показатели качества, что может быть обусловлено различиями в составе и направленности действия применяемых препаратов. Полученные результаты по содержанию аскорбиновой кислоты и нитратов в корнеплодах согласуются с данными 4-летних исследований, в котором при органической системе возделывания моркови содержание витамина С было на 10% выше, а содержание нитратов на 14% ниже по сравнению с традиционной системой возделывания. Вместе с тем, наши данные показывают, что реакция моркови на биоорганические удобрения зависит от конкретного варианта обработки: максимальное содержание витамина С и низкий уровень нитратов отмечены в варианте Т4.

Наиболее выраженный эффект по урожайности был отмечен в вариантах Т3 и Т5, варианты Т2 и Т4 также обеспечивали достоверное повышение продуктивности относительно контроля (Т1).

В целом, результаты показывают, что комплексное применение биоорганических удобрений при возделывании культуры моркови способствовало повышению продуктивности, улучшению биометрических показателей и качества корнеплодов.

Заключение

По результатам двухлетних (2024–2025 гг.) исследований установлено положительное влияние комплексного применения биоорганических удобрений на ростовые параметры, продуктивность и качество культуры моркови. Внесение биогумуса в твердой форме в сочетании с жидкими формами биологических удобрений способствовало существенному повышение продуктивности культуры. Как наиболее эффективный, был выделен вариант Т3, где урожайность корнеплодов достигала 30,09 т/га, при прибавке дополнительного урожая - 8,65 т/га (40,34%) к контролю (Т1).

Улучшение основных показателей роста и продуктивности культуры в сравнении с контролем (Т1) отмечено в вариантах Т3 и Т5, где масса растений превышала контроль на 48,4 и 52,5% соответственно, а число листьев – на 28,7–31,9%. Максимальная товарная масса корнеплодов сформировалась в варианте Т3 и составила 230,75 г, что выше контроля на 69,70%.

Биохимический анализ корнеплодов показал улучшение основных показателей качества при применении биоорганических удобрений. Наибольшее содержание сухого вещества и общего сахара отмечено в варианте Т3 – 16,38 и 13,54% соответственно, витамина С – Т4 (8,74 мг%), каротина – Т2 (8,96 мг%). Содержание нитратов варьировало от 96,4 до 222,6 мг/кг сырой массы и оставалась в предельно-допустимой концентрации, что свидетельствует о безопасности полученной продукции.

Дисперсионный анализ подтвердил достоверное влияние вариантов опыта на урожайность моркови ($F = 39,05$; $p < 0,001$; $LSD_{0.05} = 1,71$ т/га).

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и значительном потенциале комплексного применения биогумуса и жидких биологических удобрений в системе органического производства моркови для повышения продуктивности и улучшения качества корнеплодов в условиях предгорной зоны юго-востока Казахстана. Учитывая биологическое происхождение применяемых удобрений, их комплексное применение может быть рекомендовано как для органического, так и традиционного производства моркови.

Вклад авторов

АА: разработка научной концепции исследований, формулирование целей и задач, разработка методического подхода, обобщение и научная интерпретация полученных результатов, редактирование и литературная корректировка, взаимодействие с редакцией журнала. ТА: координация исследовательской работы, организационное сопровождение и обеспечение эксперимента, участие в подготовке рукописи, финальная проверка рукописи. ЛБ: проведение биохимических анализов, сбор и обобщение результатов лабораторных исследований. БЗ: проведение лабораторных и полевых наблюдений, сбор, обобщение и анализ экспериментальных данных. УМ: сбор экспериментальных данных, обработка и анализ первичных данных, проведение статистического анализа полученных результатов.

Информация о финансировании

Исследование выполнено в рамках программно-целевого финансирования по программе BR22885418 «Научное обеспечение технологического развития органического производства сельскохозяйственной продукции в Республике Казахстан» на 2024–2026 годы, финансируемого Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан.

Список литературы

1 Jaenicke, E.C., Carlson, A.C. (2015). Estimating and Investigating Organic Premiums for Retail-Level Food Products. *Agribusiness*, 31, 453–471. DOI:10.1002/agr.21413.

2 Volpato, S., Masoero, G., Giovannetti, G., Nuti, M. (2020). Arbuscular mycorrhizal biofertilizers sources in the potato (Solanum tuberosum) plant show interactions with cultivars on yield and litter bags spectral features. *J. Agron. Res.*, 2(4), 9–17. DOI: 10.14302/issn.2639-3166.jar-20-3185.

3 Van Oosten, M.J., Pepe. O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants., *Chem. and Biolog.l Technol. in Agric*., 4, 12. DOI:10.1186/s40538-017-0089-5.

4 Abdelkader, M. (2021). The Influence of Biostimulants on Tomato Plants Cultivated under Hydroponic Systems. *J. Horticul. Res*., 29(2), 107-116. DOI:10.2478/johr-2021-0012.

5 Kundu, S., Karak, S., Hansda, N.N., Thapa, U., Rahaman, A.O. (2023). Assessing the Effects of Biostimulant on Tomato Growth, Yield and Quality in Open Field Condition. *Intern. J. of Environ. and Climat. Chan*., 13(12), 1177–1187. DOI:1 .9734/ijecc/2023/ v13i123782.

6 Soppelsa, S., Kelderer, M., Casera, C., Bassi, M., Robatscher, P., Matteazzi, A., Andreotti, C. (2019). Foliar Applications of Biostimulants Promote Growth, Yield and Fruit Quality of Strawberry Plants Grown under Nutrient Limitation. *Agronomy*, 9, 483. DOI:10.3390/agronomy 9090483.

7 Mannino, G., Campobenedetto, C., Vigliante, I., Contartese, V., Gentile, C., Bertea, C.M. (2020). The Application of a Plant Biostimulant Based on Seaweed and Yeast Extract Improved Tomato Fruit Development and Quality. *Biomolecules*, 10, 1662. DOI:10.3390/biom10121662.

8 Liava, V., Chaski, C., Añibarro-Ortega, M., Pereira, A., Pinela, J., Barros, L., Petropoulos, S.A. (2023). The Effect of Biostimulants on Fruit Quality of Processing Tomato Grown under Deficit Irrigation. *Horticulturae*, 9, 1184. DOI:10.3390/horticulturae 9111184.

9 Ride, R.S., Ahmed, S., Monami, S.A., Sarkar, M.D. (2024). Improvement in growth, yield, and fruit quality of tomato by foliar application of humic and salicylic acids. *Notul. Scien. Biol.*, 16(4), 12189. DOI:10.55779/nsb16412189.

10 Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218, 1–14. DOI: 10.1007/ s00425-003-1105-5.

11 Rouphael, Y., Spíchal, L., Panzarová, K., Casa, R., Colla, G. (2018). High-throughput plant phenotyping for developing novel biostimulants: from lab to field or from field to lab. *Front. Plant Sci.*, 9,1197. DOI: 10.3389/fpls.2018.01197.

12 Rouphael, Y., Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.*, 9, 1655. DOI: 10.3389/fpls.2018.01655.

13 Paparella, A., Kongala, P.R., Serio, A., Rossi, C., Shaltiel-Harpaza, L., Husaini, A.M., Ibdah, M. (2024). Challenges and Opportunities in the Sustainable Improvement of Carrot Production. *Plants,* 28, 13(15), 2092. DOI: 10.3390/plants13152092.

14 Muhie, S.H., Demir, İ. (2023). The effect of solid matrix priming with biostimulants on seed germination and seedling quality of carrot (Daucuscarota L.) under abiotic stress conditions. *Eur. J.Hortic.Sci.*, 88(2). DOI:10.17660/eJHS.2023/007.

15 Poberezny, J., Szczepanek, M., Wszelaczyńska, E., Prus, P. (2020). The quality of carrot after field biostimulant application and after storage. *Sustainability*, 12(4), 1386. DOI:10.3390/su12041386.

16 Aitbaev, T.E., Amirov, B.M., Babaev, S.A., Dzhantasov, S.K., Mamyrbekov, Zh.Zh. (2018). *Tekhnologiya vozdelyvaniya kartofelya i ovoshchebakhevykh kul'tur na yugo-vostoke Kazakhstana. Rekomendatsii* [*Technology of growing potatoes and vegetable crops in the southeast of Kazakhstan. Recommendations*]. Almaty: Taugul'-Print, 113.

17 Meier, U. (2018). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph.* Julius KühnInstitut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Quedlinburg, Germany: 204.

18 Dospekhov, B.A. (1980). *Metodika polevogo opyta* [*Field experience methodology*]. Moskva: Kolos, 169-184.

19 Litvinov, S.S. (2011). *Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve* [*Methodology of field experiments in vegetable growing*]. Moskva: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut ovoshchevodstva RASKHN, 648.

20 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 28562-90 - Produkty pererabotki plodov i ovoshhei. Refraktometricheskii metod opredeleniya soderzhaniya rastvorimyh suhih veshhestv [Fruit and vegetable products. Refractometric method for determination of soluble dry substances content]. (2010). Moskva: Standartinform.

21 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 8756.13-87 - Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Metody opredeleniya saharov [Fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars]. (2010). Moskva: Standartinform.

22 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 24556-89 - Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Metody opredeleniya vitamina S [Products of fruits and vegetables processing. Methods for determination of vitamin C]. (2002). Moskva: IPK Izdatel''stvo standartov.

23 Mezhgosudarstvennyi standart GOST ISO 6558-2-2019 - Frukty, ovoshchi i produkty ikh pererabotki. Opredelenie soderzhaniya karotina spektrofotometricheskim metodom [Fruits, vegetables and derived products. Determination of carotene content. Spectrophotometric method]. (2020). Moskva: Standartinform.

24 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 29270-95 - Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Metody opredeleniya nitratov [Fruit and vegetable products. Methods for determination of nitrates]. (2010). Moskva: Standartinform.

25 Das, K., Das, S., Ghoshal C., Chatterjee, R. (2025). Potential of different enriched organic manures and bio-stimulants on growth, yield and quality of organic carrot. *Intern. J. of Res. in Agron.,* 8, 5, 355-360. DOI: 10.33545/2618060X.2025.v8.i5e.2917.

26 Reid, J.B. (2019). Modelling growth and dry matter partitioning in root crops: a case study with carrot (Daucuscarota L.). *J. Crop Hortic. Sci.,* 47(2), 99-124. DOI:10.1080/01140671.2019.1588134.

27 Bender, I., Edesi, L., Hiiesalu, I., Ingver, A., Kaart, T., Kaldmäe, H., Talve, T., Tamm, I., Luik, A. (2020). Organic Carrot (Daucus carota L.) Production Has an Advantage over Conventional in Quantity as Well as in Quality. *Agronomy*, 10(9), 1420. DOI:10.3390/agronomy10091420.

Қазақстанның оңтүстік-шығысы жағдайында биоорганикалық тыңайтқыштардың сәбіз дақылының (*Daucus carota* L.) өсу параметрлеріне, өнімділігіне және сапасына әсері

Айтбаев Т.Е.[1], Айтбаева А.Т.[2], Бурибаева Л.Ә.[2], Зоржанов Б.Д.[2], Манабаева Ұ.А.[2]

[1]«Қазақ жеміс-көкөніс шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан
[2]«Қазақ жеміс-көкөніс шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС «Қайнар» өңірлік филиалы, Алматы облысы, Қарасай ауданы, Қайнар а., Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Сәбіз (*Daucus carota* L.) тағамдық құндылығы жоғары болуына байланысты тұтынушылық сұранысының жоғарылығымен сипатталатын аса маңызды көкөніс дақылдарының қатарына жатады. Органикалық ауыл шаруашылығын дамыту жағдайында химиялық жүктемені төмендете отырып, өнімділік пен өнім сапасын арттыруды қамтамасыз ететін тиімді биоорганикалық қоректендіру жүйелерін әзірлеудің маңызы зор. Зерттеудің мақсаты – Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы топырақ-климаттық жағдайларда органикалық сәбіз өсіру кезінде биоорганикалық тыңайтқыштарды кешенді қолданудың тиімділігін анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2024–2025 жылдары Қазақстанның оңтүстік-шығысы тау бөктері аймағында орналасқан «Қазақ жеміс-көкөніс шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС «Қайнар» Өңірлік филиалы базасында жүргізілді (ҚЖКШҒЗИ «Қайнар» ӨФ). Тәжірибеде осы аймаққа аудандастырылған сәбіздің Алау сұрыбы пайдаланылды. Тәжірибе бақылау нұсқасын (Т1) және биоорганикалық тыңайтқыштарды қолданудың төрт нұсқасын (Т2–Т5) қамтып, төрт қайталанымда жүргізілді. Өсімдіктер мен тамыржемістердің биометриялық көрсеткіштері, өнімділігі, құрғақ зат, жалпы қант, С дәрумені, каротин және нитраттар деңгейі анықталды. Алынған деректерді статистикалық өңдеу $p \leq 0,05$ мәнділік деңгейінде бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісімен жүргізілді.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану сәбіздің өсуіне, дамуына және өнімділігіне оң әсер етіп, жапырақ аппараттарының жақсы қалыптасуына

және тамыржемістердің ірі болып өсуіне ықпал еткенін көрсетті. Өсу үрдістерінің жақсаруы тамыржемістердің тауарлық массасының, мөлшерінің және дақыл өнімділігінің артуымен қатар жүреді. Ең жоғары өнімділік Т3 нұсқасында белгіленіп, 30,09 т/га құрады. Бұл, бақылау нұсқасынан (Т1) 40,34% жоғары болды. Биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану тамыржемістердің биохимиялық көрсеткіштерінің жақсаруына да ықпал етті. Бұл ретте тәжірибенің барлық нұсқаларында тамыржемістердегі нитраттар мөлшері шекті рұқсат етілген концентрациядан аспады, бұл алынған өнімнің қауіпсіздігін көрсетеді. Статистикалық талдау нәтижелері тәжірибе нұсқалары (Т1–Т5) арасында өнімділік бойынша айырмашылықтардың статистикалық тұрғыдан маңызды екенін растады.

Қорытынды. Биоорганикалық тыңайтқыштарды қолдану Қазақстанның оңтүстік-шығысы жағдайында сәбіздің өнімділігі мен сапасын арттырудың тиімді агротехнологиялық тәсілі болып табылады. Алынған нәтижелер экологиялық бағытталған өнідіріс жағдайында жоғары өнімді және сапалы тамыржемістерді қалыптастыру үшін биогумус пен сұйық формадағы биологиялық тыңайтқыштарды кешенді қолданудың тиімділігін көрсетеді.

Кілт сөздер: сәбіз (*Daucus carota L.*); биоорганикалық тыңайтқыштар; биометриялық көрсеткіштер; өнімділік; биохимиялық көрсеткіштер; Қазақстанның оңтүстік-шығысы.

Effect of bioorganic fertilizers on the growth parameters, productivity, and quality of carrot (*Daucus carota L.*) under the foothill conditions of Southeastern Kazakhstan

Temirzhan Ye. Aitbayev[1], Akbope T. Aitbayeva[2], Laura A. Buribayeva[2], Berik D. Zorzhanov[2]
Ulbolsyn A. Manabayeva[2]

[1]LLP “Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing”, Almaty Region, Karasay District, Kainar settlement, Kazakhstan
[2]LLP “Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing” Almaty, Kazakhstan Regional Branch “Kainar”

Abstract

Background and Aim. Carrot (*Daucus carota L.*) is one of the most widely consumed vegetable crops due to its high nutritional value and strong consumer demand. With the development of organic agriculture, the development of effective bioorganic nutrient management systems is of particular importance for increasing crop productivity and quality while reducing the chemical load on agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of the integrated application of bioorganic fertilizers for organic carrot production under the soil and climatic conditions of southeastern Kazakhstan.

Materials and Methods. The study was conducted in 2024–2025 at the Kainar Regional Branch of the Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing in the foothill zone of southeastern Kazakhstan. The mid-season carrot cultivar Alau, adapted to local growing conditions, was used in the experiment. The experiment included a control treatment (T1) and four treatments with different bioorganic fertilizers (T2-T5), arranged in four replications. The biometric characteristics of plants and roots, yield, dry matter, total sugar, vitamin C, carotene, and nitrate content were evaluated. The data were statistically analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results. The results demonstrated that the application of bioorganic fertilizers had a positive effect on the growth, development, and productivity of carrot plants, contributing to the formation of a more developed leaf apparatus and larger roots. Improved vegetative growth was accompanied by increases in marketable root weight, root dimensions, and crop yield. The highest yield was recorded in treatment T3, reaching 30.09 t ha^{-1}, which was 40.34% higher than that of the control treatment (T1). The application of bioorganic fertilizers also improved the biochemical characteristics of carrot roots. At the same time, nitrate concentrations in the roots in all experimental treatments remained below the maximum permissible level, confirming the safety of the obtained produce. Statistical analysis confirmed significant differences in yield among the experimental treatments (T1-T5).

Conclusion. The application of bioorganic fertilizers is an effective approach to increasing carrot productivity and quality under the conditions of southeastern Kazakhstan. The results demonstrate the potential of the integrated application of vermicompost and liquid biological fertilizers for producing highly productive and high-quality carrot roots within environmentally oriented production systems.

Keywords: carrot (*Daucus carota* L.); bioorganic fertilizers; biometric characteristics; productivity; biochemical characteristics; southeastern Kazakhstan.

ӘОЖ 634.26:581.52 **Зерттеу мақаласы**

Бағалы дәрілік және жемдік өсімдік *Rhaponticum carthamoides* баяу өсу жағдайында *in vitro* сақтау

Тагиманова Д.С.[1,2], **Райзер О.Б.** [1], **Джатаев С.А.**[2], **Хапилина О.Н.**[1]

[1]«Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан
[2]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Тагиманова Д.С.: tagds@mail.ru
Бірлескен авторлар: (2: ОР) 2008olesya@mail.ru; (3: СД) s.jatayev@kazatu.edu.kz, (4: ОХ) oksfur@mail.ru

Қабылданған күні: 28.04.2026 **Қабылданды:** 12.08.2026 **Жарияланды:** 30.09.2026

Авторлық құқық: Тагиманова Д.С. т.б. Бұл мақала ашық қолжетімділікте жарияланып, Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясының шарттарына сәйкес таратылады (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Сирек кездесетін және шаруашылық құнды өсімдіктерді, соның ішінде *Rhaponticum carthamoides* сақтау үшін *in vitro* жағдайында тиімді депонирлеу әдістерін әзірлеу қажет. Жұмыстың мақсаты биотехнология әдістерін қолдана отырып, марал тамырының асептикалық культураларын in vitro жағдайында орта мерзімді сақтау шарттарын оңтайландыру.

Материалдар мен әдістер. Адвентивті микроөскіндер 2–10 мг/л абсциз қышқылы мен 3–5 г/л маннит қосылған ½ МС ортасында өсірілді. Жасушалар қайта отырғызусыз 3–9 ай бойы 4 ± 1 °С температурада сақталды. Сақтаудан кейін морфометриялық сипаттамалары мен тіршілікке қабілеттілігі бағаланды. Аналық өсімдіктер мен регенерант өсімдіктердің генетикалық үйлесімділігін бағалау үшін iPBS талдауы қолданылды. Жұмыста сегіз праймер қолданылды.

Нәтижелер. Қоректік ортаны өзгертпей температураны төмендету орта мерзімді сақтауды қамтамасыз етпеді. Абсциз қышқылы өсуді тежеді, оның концентрациясы неғұрлым жоғары болса, бұл әсер соғұрлым айқын болды. Жоғары концентрацияда ол өсімдіктің қалпына келу процестерін баяулатты. Ең тиімдісі 3 г/л маннит болды, ол өсудің баяулауын қамтамасыз етіп, 9 ай бойы жоғары регенерациялық қабілеттің сақталуын қамтамасыз етті. iPBS-ПТР фрагменттерін талдау негізінде 9 ай сақтаудан кейін аналық өсімдіктер мен регенеранттардың генетикалық сәйкестігі анықталды.

Қорытынды. Орта мерзімді сақтаудың оңтайлы режимі 4 °С температурада, құрамында 3 г/л маннит бар ½ MS қоректік ортасында өсіру болып табылады. Бұл жағдайлар in vitro өсімдіктердің өміршеңдігін және морфогенетикалық әлеуетін сақтауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *Rhaponticum carthamoides; in vitro;* өсу тежегіштері; орта мерзімді сақтау; осмотикалық стресс.

Кіріспе

Заманауи биотехнологияның негізгі міндеттерінің бірі – жойылып кету қаупі төнген сирек кездесетін өсімдік түрлерін, әсіресе әлеуметтік-экономикалық құндылығы бар өсімдіктерді сақтау. Оларға ең алдымен дәрілік шикізат алу үшін қарқынды жиналатын дәрілік өсімдіктер жатады, бұл олардың санының азаюына және популяциялардың толығымен жойылуына әкеледі. *Asteraceae* өсімдіктер тұқымдасы биоәртүрлілігін сақтау үшін ғылыми қоғамдастықтың қызығушылығын тудыратын эндемикалық және реликвиялық түрлерді қоса алғанда, көптеген дәрілік түрлерге ие. Солардың бірі саны тез азайып бара жатқан сирек кездесетін және құнды дәрілік түр *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) [1].

Қазіргі заманғы биотехнологиялық әдістер, атап айтқанда, in vitro микрокөбейту әдісі, *R.carthamoides* көбеюінің тиімді шешімдерін ұсынады, бұл генетикалық сипаттамаларын сақтай отырып, өсімдіктердің көбею мәселесін шешуге, сондай-ақ отырғызу материалын қысқа мерзімде әзірлеуге мүмкіндік береді. Биотехнологиялық әдістердің өсімдік түрлерін сақтаудың дәстүрлі әдістерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар: аналық және көбейтілген өсімдіктер алып жатқан үлкен аумақтардың қажеті жоқ, оларға үнемі күтіп ұстаудың қажеті жоқ,

Дәйексөз үшін: Тагиманова, Д.С., Райзер, О.Б., Джатаев, С.А., Хапилина, О.Н. (2026). Бағалы дәрілік және жемдік өсімдік *Rhaponticum carthamoides* баяу өсу жағдайында in vitro сақтау. Еуразиялық агротехникалық журнал, 3(131), 18-27. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2227

өсімдік аурулары шектеліп, нәтижесінде материалдың жоғалуы болмайды. Сонымен қатар, *in vitro* көбею әдістерін қолдану табиғи мекен ету ортасына айтарлықтай зиян келтірмей, жабайы флора өкілдерінің генетикалық әлеуетін сақтау және қалпына келтіру үшін жаңа мүмкіндіктер береді [2, 3].

Түрді сақтау және *ex situ* плантацияларын құру үшін жоғары сапалы отырғызу материалын тез алу ғана емес, сонымен қатар оны оңтайлы уақытта отырғызу да маңызды. Бұған өсімдіктердің ұзақ мерзімді тіршілік етуін қамтамасыз ететін ұзақ мерзімді сақтау және криоконсервация әдістері қолданылады. Өсуді баяулату температураны, жарықты және фотопериодты өзгерту, сондай-ақ қоректік ортаның құрамын (сахароза, минералдар, гормондар, осмореттегіштер мен өсу тежегіштерін) реттеу арқылы жүзеге асады [4, 5].

R. carthamoides асептикалық культураларын ұзақ мерзімді сақтау бойынша алдыңғы зерттеулерімізде біз өсу ингибиторы ретінде хлорхолин хлоридін (ССС) сәтті қолдандық. Бұл тәсіл бізге пассаждар арасындағы аралықтарды ұзартуға және дақылдың регенеративті әлеуетін сақтауға мүмкіндік берді [6]. Дегенмен, осы оң нәтижелерге қарамастан, қайта отырғызу кезеңін одан әрі ұзарту үшін ССС әлеуеті шектеулі болды.

In vitro консервациялаудың заманауи әдістері төмен температура, төмен жарық және өсу реттегіштерін, ингибиторларын және осмотикалық агенттерді қолдану арқылы өсімдіктердің метаболикалық белсенділігін кешенді түрде төмендетуге негізделген. Абсциз қышқылы өсімдіктердің стрестік реакцияларын имитациялай отырып, тыныштықты тудыру және метаболикалық белсенділікті төмендету қабілетімен танымал. Маннит сияқты осмотикалық агенттер қоршаған ортаның осмотикалық әлеуетін арттырады, жасушаларға судың енуін шектейді және осылайша өсуді баяулатады [7, 8, 9].

Бұл зерттеу жұмысы *R. carthamoides* асептикалық өсімдіктерін орта мерзімді сақтау әдістерін одан әрі жетілдіруге бағытталған. Сақтаудың тиімділігін арттыру мақсатында бұл жұмыста абсциз қышқылы мен маннитті пайдалана отырып, өсімдіктерді өсірудің оңтайлы шарттарымен, атап айтқанда, төмен температура мен әлсіз жарықпен үйлестірдік.

Жұмыстың мақсаты – биотехнология әдістерін пайдалана отырып, марал тамырының асептикалық культураларын *in vitro* жағдайында орта мерзімді сақтау шарттарын оңтайландыру.

Материалдар мен әдістер

Депонирлеу үшін *in vitro* жағдайында көбейтілген, ұзындығы 20–25 мм болатын *R. carthamoides* адвентивті өркендері пайдаланылды. Әр нұсқада 10 өркеннен үш мәрте қайталыммен алынып, олар өсу ингибиторларымен толықтырылған ½ МС қоректік ортасына орналастырылды. Өсу ингибиторлары ретінде АБҚ 2–10 мг/л және маннит 3–5 г/л қолданылды.

Бақылау ретінде құрамында өсу реттегіштері жоқ, 60 г/л сахароза қосылған ½ МС қоректік ортасы қолданылды. *In vitro* сақтау 4 ± 1 °С температурада 500 люкс жарықтандыру және 16 сағаттық фотопериодта жүргізілді [6]. Депонирлеуден кейін, экспланттар 0,5 мг/л БАП қосылған МС қоректік ортасына отырғызылды. Орта мерзімді сақтаудың тиімділігі жаңа өскіндердің пайда болу қарқындылығына және оңтайлы *in vitro* жағдайларында өсуді қалпына келтіру мүмкіндігіне негізделіп, өсірудің 3, 6 және 9 айынан кейін бағаланды.

Орта мерзімді сақтаудан кейін өсімдіктердің біртектілігін бағалау үшін толық қалыптасқан регенеранттар таңдалып алынды, ал бақылау ретінде популяцияның бастапқы өсімдіктері пайдаланылды. ДНҚ экстракциясы CTAB-буферін қолдану арқылы жүргізілді [10]. ДНҚ концентрациясы спектрофотометриялық әдіспен NanoDrop 1000 (Thermo Scientific) спектрофотометрын пайдаланып сандық түрде анықталды.

Зерттеуде орта мерзімді сақтаудан кейінгі *R. carthamoides* өсімдіктерінің генетикалық тұрақтылық деңгейін анықтау үшін iPBS праймерлері қолданылды. Бақылау ретінде түрдің табиғи популяцияларынан алынған өсімдіктер пайдаланылды. ПТР 10 мкл көлемде, оның ішінде 2 мкл ДНҚ, 5 мкл Master Mix Plan Direct, 1 мкл праймер (5 мМ) және 1 мкл MQ қамтылды. Амплификация 98 °С температурада (3 мин) алдын ала денатурациялауды, содан кейін 15 сек бойы 98 °С температурада 35 циклды, 52–60 °С температурада 30 сек жабысуы, 72 °С температурада 1 мин ұзартуды және 72 °С температурада 2 мин бойы соңғы қадамды қамтыды. ПТР өнімдері 1×TBE ерітіндісіндегі 1,5% агарозды гелде талданды [11].

Деректерді статистикалық өңдеу R статистикалық ортасында (4.5.1 нұсқасы; R Core Team, Вена, Австрия) RStudio бағдарламасын пайдалану арқылы жүргізілді. Өсу ингибиторының концентрациясы мен сақтау ұзақтығының өсімдіктердің морфометриялық көрсеткіштеріне әсері екі факторлы дисперсиялық талдау (two-way ANOVA) әдісімен бағаланды. Факторлардың әсер ету мөлшері ішінара эта-квадрат (partial eta squared, η2p) көрсеткіші арқылы анықталды. Айырмашылықтардың статистикалық мәнділігі анықталған жағдайда, қоректік орталар арасындағы жұптық салыстырулар Тьюкидің HSD (Honestly Significant Difference) пост-хок тесті көмегімен жүргізілді. Статистикалық мәнділік деңгейі $p < 0,05$ деп қабылданды [12].

Нәтижелер

Тәжірибе барысында *R.carthamoides* микроөркендерін АБҚ мен маннитің әртүрлі концентрациялары қосылған ½ MS ортасында орта мерзімді сақтаудың тиімділігі зерттелді. Өсіру 4 ± 1 °C температурада және әлсіз жарықтандыру жағдайында жүргізілді (1-кесте).

1-кесте. Микроөсімдіктердің морфометриялық параметрлерінің өзгеруі

Қоректік орта нұсқасы	Биіктігі, см				Жапырақ саны			
	Бастапқы мәндер	3 айдан соң	6 айдан соң	9 айдан соң	Бастапқы мәндер	3 айдан соң	6 айдан соң	9 айдан соң
АБҚ 2 мг/л	14,2 ± 1,4	13,9 ± 1,3	13,1 ± 1,2	10,8 ± 1,7	5,8 ± 0,7	5,6 ± 0,8	5,2 ± 0,7	3,9 ± 0,5
АБҚ 5 мг/л	13,8 ± 1,3	13,0 ± 1,4	12,0 ± 1,5	9,6 ± 1,8	5,7 ± 0,6	5,3 ± 0,7	4,8 ± 0,8	3,4 ± 0,6
АБҚ 10 мг/л	13,6 ± 1,5	12,5 ± 1,6	11,2 ± 1,7	8,7 ± 1,9	5,5 ± 0,7	4,9 ± 0,8	4,2 ± 0,9	2,8 ± 0,4
Маннит 3 г/л	14,0 ± 1,2	13,8 ± 1,1	13,5 ± 1,2	12,6 ± 1,3	6,3 ± 0,8	6,2 ± 0,7	6,0 ± 0,8	5,2 ± 0,6
Маннит 5 г/л	13,9 ± 1,3	13,1 ± 1,4	12,2 ± 1,5	10,2 ± 1,6	6,0 ± 0,7	5,7 ± 0,8	5,1 ± 0,9	4,0 ± 0,5
Бақылау	13,2 ± 1,2	13,5 ± 1,1	12,8 ± 1,3	11,4 ± 1,5	6,2 ± 0,8	6,1 ± 0,7	5,8 ± 0,9	4,3 ± 0,6

Бақылау нұсқасында өсімдік биіктігінің 13,2-ден 11,4 см дейін азайғаны байқалды, жапырақтар саны 6,2-ден 4,3-ке дейін төмендеді.

Қоректік орта құрамына АБҚ қосқан кезде өсімдіктер өсуінің тежелуі айқын көрінді. Құрамында 2 мг/л АБҚ концентрациясы бар ортада өсімдіктер биіктігі 14,2 см 10,8 см дейін қысқарды, концентрацияны одан әрі арттырған кезде бұл көрсеткіш 8,7 см төмендеді. Сол сияқты, 10 мг/л АБҚ концентрациясы бар қоректік ортада жапырақтың саны 5,5-тен 2,8-ге дейін төмендеді.

АБҚ-мен салыстырғанда 3 г/л концентрациядағы маннит өсімдіктердің өсуін айтарлықтай тежемеді, өсімдіктердің биіктігі мен жапырақ саны салыстырмалы түрде тұрақты сақталып, биіктігі 13,8 см 12,6 см ғана, ал жапырақ саны 6,3-тен 5,2-ге дейін аздап төмендеді. Ал маннит концентрациясын 5 г/л арттырған кезде өсімдіктердің биіктігі 13,9 см 10,2 см дейін, ал жапырақ саны 6,0-ден 4,0-ге дейін төмендеді.

Өсу ингибиторының концентрациясы мен сақтау ұзақтығының өсімдіктердің морфометриялық көрсеткіштеріне әсерін бағалау мақсатында екі факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) жүргізілді. Сонымен қатар, аталған факторлардың өзара әрекеттесуі де зерттелді, әрбір көрсеткіш жеке талданды. Екі факторлы дисперсиялық талдау қоректік ортаның құрамы, депонирлеу мерзімі және олардың өзара әрекеттесуі өркен биіктігіне статистикалық тұрғыдан маңызды әсер ететінін көрсетті (2-кесте). Бұл көрсеткішке сақтау ұзақтығы ең үлкен әсер көрсетті ($F = 436,28$; $p < 0,001$), қоректік орта құрамының да әсері де айтарлықтай дәрежеде сенімді болды ($F = 69,25$; $p < 0,001$). Депонирлеу мерзімінің ұлғаюымен өркендердің биіктігі біртіндеп төмендейтіні анықталды. Ең айқын төмендеу сақтау мерзімінің 9-айында байқалды. Зерттелген орта нұсқаларының ішінде өркендердің ең жоғары биіктігі маннитің 3 г/л концентрациясында тіркелсе, ең төмен көрсеткіштер АБҚ-ның 10 мг/л концентрациясы қолданылған ортада байқалды.

2-кесте. Қоректік орта құрамы мен депонирлеудің өркен биіктігіне әсерін бағалауға арналған екі факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) нәтижелері

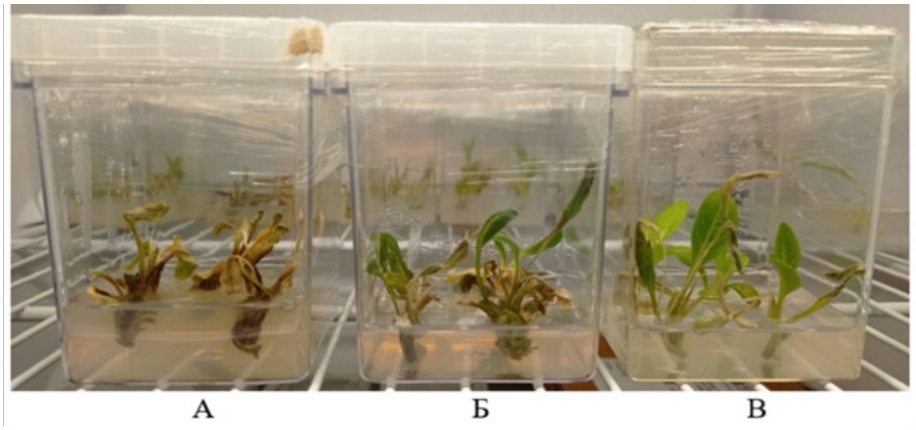
Вариация көзі	df	Квадраттар қосындысы (SS)	Орташа квадрат (MS)	F	p-мәні
Ретардант түрі	5	97,7	19.53	69.25	<0,001
Депонирлеу мерзімі	3	369,2	123.06	436.28	<0,001
Ретардант× депонирлеу мерзімі	15	53,7	3.58	12.7	<0,001
Қалдық қате	216	60,9	0.28	–	–

Жапырақтар санына жүргізіген талдау да ұқсас заңдылықты көрсетті (3-кесте). Қоректік орта құрамы ($F = 107,63$; $p<0,001$), депонирлеу ұзақтығы ($F = 394,83$; $p<0,001$) және олардың өзара әрекеттесуі ($F = 5,25$; $p<0,001$) жапырақтың қалыптасуына сенімді әсер етті. Сақтау мерзімі ұзарған сайын жапырақ саны статистикалық тұрғыдан маңызды түрде азайды. Ең көп жапырақ саны манниттің 3 г/л концентрациясы қосылған ортада өсірілген өсімдіктерде сақталса, ең төмен көрсеткіштер АБҚ-ның 10 мг/л концентрациясы қолданылған нұсқада анықталды.

3-кесте. Қоректік орта құрамы мен депонирлеудің жапырақ санына әсерін бағалауға арналған екі факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) нәтижелері

Вариация көзі	df	Квадраттар қосындысы (SS)	Орташа квадрат (MS)	F	p-мәні
Ретардант түрі	5	62,99	12,6	107,625	<0,001
Депонирлеу мерзімі	3	138,66	46,22	394,83	<0,001
Ретардант × депонирлеу мерзімі	15	9,22	0,61	5,251	<0,001
Қалдық қате	216	25,28	0,12		–

Алтыншы айдан кейін *R. carthamoides* өсімдіктерінде морфологиялық өзгерістер байқалды. Әсіресе, бақылау нұсқасындағы өсімдіктердің өсуі айтарлықтай тежеліп, жапырағы сарғайып, құрай бастады. Құрамына 2 мг/л АБҚ қосылған ортадағы өсімдіктер жапырағының түсі қоңырланып, солуы мен некрозануы анық көрінді. Ал құрамына 3 г/л маннит қосылған қоректік ортада өсімдіктердің тіршілікке қабілеттілігі салыстырмалы түрде жақсы сақталып, некроз белгілері байқалмады, жапырақтарының түсі жасыл болды (1-сурет).

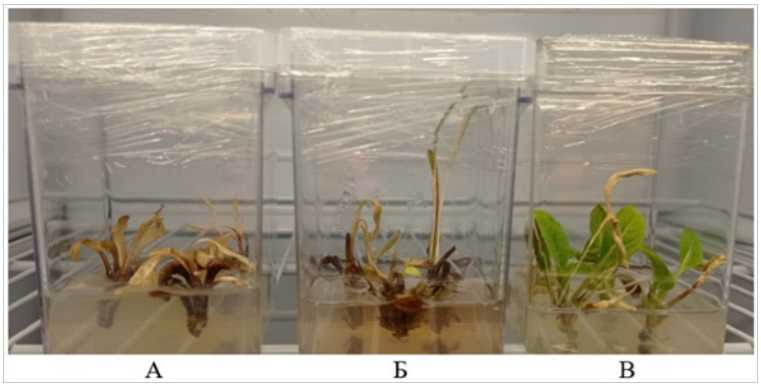


А – ½ МС қоректік ортасы (бақылау нұсқасы), Б – ½ МС +2 мг/л АБҚ, В – ½ МС 3 г/л маннит

1-сурет. *R. carthamoides* өсімдіктерін баяу өсу жағдайында 6 ай бойы өсіру

R. carthamoides өсімдіктердің баяу өсу жағдайындағы 9 айлық сақтау мерзімі сақтау жағдайларының тиімділігін бағалау үшін маңызды болды. Бақылау нұсқасындағы өсімдіктердің тіршілікке қабілеттілігі толықтай жойылып, жапырағы сарғайып кетті. Қоректік орта құрамына 2 мг/л концентрациясындағы АБҚ қосқан кезде, жеке эксплантардың өсуі тежеліп, тіршілікке қабілетінің ішінара жоғалуы байқалды, бұл орта ресурстарының қарқынды пайдаланылуын

көрсетеді. Ал 3 г/л концентрациядағы маннит қосылған ортада өсімдіктер өсуінің аздап тежелуі және ішінара хлороз белгілері байқалды, жаңа өскіндер пайда болмады (2-сурет).



А - ½ МС қоректік ортасы (бақылау нұсқасы), Б - ½ МС +2 мг/л АБҚ, В - ½ МС +3 г/л маннит

2-сурет. *R. carthamoides* өсімдіктерін баяу өсу жағдайында 9 ай бойы өсіру

Орта мерзімді сақтаудан кейінгі тіршілікке қабілеттілік эксплантарды 0,5 мг/л БАП қосылған МС ортасына ауыстыру арқылы бағаланды. Бақылау нұсқасында ұлпалардың физиологиялық жағынан әлсіреуіне байланысты регенеративті потенциал төмен болды. Құрамына 3 г/л маннит қосылған ортада өсірілген эксплантар 10–12 күн ішінде өсуін қалпына келтірді, олардың регенеративті потенциалы жоғары болды. Екі айлық өсіруден кейін жаңа жапырақтардың пайда болуы байқалды (3-сурет). Ал манниттің концентрациясы 5 г/л бар қоректік ортада өскен өсімдіктердің қалпына келуі ұзағырақ болды, 16–18 күн құрады, жаңа жапырақтар пайда болмады.



3-сурет. *R. carthamoides өсімдіктерін МС+0,5 мг/л БАП қосылған ортада өсіру*

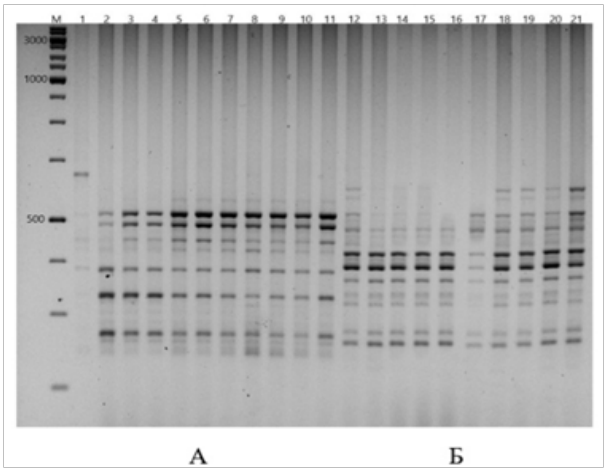
Құрамында 2 мг/л АБҚ бар қоректік ортада өскен эксплантардың қалпына келуі 20 күнге созылып, нәтижесінде бір ғана жаңа жапырақ пайда болды, ал концентрацияны 5–10 мг/л арттырған кезде, өсімдіктердің өсуі тежеліп, жаңа жапырақтардың пайда болуы байқалмады.

Орта мерзімді сақтаудан кейінгі өсімдіктердің генетикалық тұрақтылығын анықтау үшін аналық өсімдіктер мен регенерант өсімдіктердің геномдық ДНҚ-ң iPBS аймақтарының салыстырмалы талдауы жүргізілді. Жалпы 8 праймер қолданылды (4-кесте) [11].

4-кесте. *R. carthamoides* өсімдіктерінің генетикалық тұрақтылығын анықтау үшін қолданылған iPBS праймерлері

Нөмірі	Тізбегі	Температура, °C	CG құрамы, %
2221	ACCTAGCTCACGATGCCA	58,0	55,6
2224	ATCCTGGCAATGGAACCA	56,6	50,0
2228	CATTGGCTCTTGATACCA	51,9	44,4
2230	TCTAGGCGTCTGATACCA	54,0	50,0
2232	AGAGAGGCTCGGATACCA	56,6	55,6
2237	CCCCTACCTGGCGTGCCA	65,0	72,2
2240	AACCTGGCTCAGATGCCA	58,9	55,6
2241	ACCTAGCTCATCATGCCA	55,5	50,0

ПТР амплификациясы нәтижесінде өлшемі 200-ден 500 н.т. дейінгі 15-тен 25-ке дейін амплификацияланған фрагменттер алынды. Матрицаларды талдаған кезде амплификацияланған iPBS-ПТР фрагменттерінің полиморфизмі анықталмады (4-сурет).



М-молекулалық маркер, А – iPBS 2240, Б – iPBS 2224

4-сурет. iPBS праймерлерімен ДНҚ амплификациясының нәтижелері

Тоғыз ай сақтаудан кейінгі регенерант-өсімдіктер мен аналық өсімдіктердің генетикалық сәйкестігі iPBS талдауымен расталды. Амплификацияланған фрагменттерде полиморфизмнің болмауы сомаклональды өзгергіштіктің жоқтығын көрсетіп, яғни регенеранттар мен аналық өсімдіктер арасындағы толық генетикалық сәйкестікті дәлелдеді. Ұқсас нәтижелер басқа авторлардың жұмыстарында да көрсетілді, бұл *in vitro* ұзақ мерзімді сақтау жағдайында болған өсімдік-регенеранттардың жоғары генетикалық тұрақтылығын растайды [13, 14].

Талқылау

Rhaponticum carthamoides орта мерзімді сақтау коллекцияларын жасау ауыл шаруашылығы үшін, әсіресе климаттың өзгеруі және биоәртүрліліктің төмендеуі жағдайында өте маңызды. Мұндай коллекциялар өсімдіктің құнды гендік қорын сақтауға және оны болашақта селекцияда, ауыл шаруашылығында және фармацевтикада пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл әсіресе сирек кездесетін, дәрілік және шаруашылыққа құнды өсімдіктердің генқорын сақтауда үлкен маңызға ие [15, 16, 17]. Ең кең қолданылатын тәсілдердің бірі баяу өсу әдісі (slow-growth storage). Әдетте бұл қоректік ортадағы макро- және микроэлементтердің концентрациясын төмендету немесе осмотикалық агенттерді қосу арқылы жүзеге асырылады.

Осы зерттеуде өсімдіктердің тіршілікке қабілеттілігі қоректік ортаның модификациясына байланысты өзгеріп тұратыны көрсетілді. Зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтер басқа авторларың нәтижелеріне сәйкес келеді [18, 19, 20].

Бақылау нұсқасында өсірілген өсімдіктердің тіршілікке қабілеттілігі бастапқыда салыстырмалы түрде тұрақты болғанымен, 6 ай орта мерзімді өсіруден кейін өсімдіктерде некроз және хлороз белгілері көріне бастады. Ал тоғыз айдан кейін жапырақтар сарғайып, құрап кетті.

Қоректік орта құрамына АБҚ қосқан кезде *R.carthamoides* өсімдіктерінің тіршілікке қабілетінің айқын тежелуі байқалды, 2 мг/л концентрациясы бар қоректік ортада өсімдік биіктігі 24% қысқарды, ал жапырақтар саны 32% азайды. АБҚ концентрациясын 10 мг/л жоғарылатқан кезде, бұл көрсеткіштер сәйкесінше 36% және 49% артты. Орта мерзімді сақтаудан кейін өсімдіктердің қалпына келуі баяу болды, 2 мг/л АБҚ концентрациясы қосылған қоректік орталарда ғана өскен өсімдіктерде жаңа жапырақтар пайда болды. Басқа авторлардың еңбектерінде де АБҚ-ның жоғары концентрациясы өсімдіктерде стресс туғызып, эксплантардың тіршілікке қабілеттілігінің төмендеуіне себеп болған [21].

Осмотик ретінде қоректік орта құрамына қосылған маннит *R.carthamoides* өсімдіктерінің сақталуына қанағаттарлықтай әсер етті. Маниттің 3 г/л концентрациясында өсірілген өсімдіктердің тіршілікті сақтау қабілеті жақсы деңгейде болды, ең бастысы 9 ай сақталғаннан кейін қоректік ортаға ауыстырылған кезде қалпына келу жылдамдығы да тез болды. Қоректік орта құрамына манниттің 5 г/л концентрациясын қосқан кезде, олардың қалпына келу процессі ұзаққа созылды, өсімдіктер әлсіз болды. Бұл маниттің қоректің ортаның осмотикалық қысымын арттырып, өсіп келе жатқан өсімдіктердің суға қолжетімділігін шектеуімен байланысты болуы мүмкін [22].

Орта мерзімді бойы баяу өсіру жағдайында өскен өсімдіктердің генетикалық тұрақтылығын сақтауы маңызды болып табылады. Бірқатар зерттеулерде депонирлеу өсімдік-регенеранттардың генетикалық гетерогенділігіне әкелмейтіні туралы атап өтілген [23, 24].

Біз жүргізген iPBS талдауы аналық өсімдіктер мен депонирлеуден кейін алынған өсімдік-регенеранттар арасындағы генетикалық сәйкестікті анықтады, бұл нәтижелер орта мерзімді баяу өсіру әдісі сомаклоналды өзгергіштікті тудырмайтынын растады.

Қазіргі уақытта орта мерзімді өсу жағдайындағы *R. carthamoides in vitro* коллекциясы 40 үлгіден тұрады. Осы жұмыстың нәтижесінде үздіксіз өсіру кезеңін 9 айға дейін ұзарту мүмкін болды, ол үшін ең қолайлысы 3 г/л маннит қосылған ½ MS қоректік ортасы екені анықталды.

Қорытынды

Қорыта айтқанда, *R. carthamoides* өсімдіктерін орта мерзімді баяу өсіру жағдайында сақтау үшін ең қолайлы қоректік орта құрамына 3 г/л қосылған маннит ½ МС ортасы екені анықталды. Бұл қоректік ортада өсімдіктер өсуін тоқтатып, 9 ай бойы тіршілік ету қабілетін сақтап қалды. Құрамына 0,5 мг/л БАП қосылған ортаға ауыстырғаннан кейін өсімдіктерде жаңадан жасыл түсті жапырақтар түзіле бастады. Сонымен қатар, жүргізілген iPBS талдауы аналық өсімдіктер мен ұзақ мерзімді баяу өсіру жағдайынан кейін алынған өсімдік-регенеранттар арасындағы генетикалық сәйкестікті анықтады.

R. carthamoides орта мерзімді сақтау коллекциясын жасау құнды дәрілік және жемдік өсімдіктердің генетикалық ресурстарын сақтаудың маңызды бағыты болып табылады. Мұндай коллекциялар селекциялық және биотехнологиялық материалдың тұрақты көзін қамтамасыз етеді, ауыл шаруашылығын дамытуға және биоәртүрлілікті сақтауға ықпал етеді.

Авторлардың қосқан үлесі

ДТ, ОР: зерттеу жұмыстарын жүргізіп, рәсімдеді, әдебиетті жан-жақты зерттеп, жинақталған деректерді талдады және қолжазбаны дайындады. СД, ОХ: қолжазбаның соңғы редакциясын жасап, тексерді. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап шығып, мақұлдады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Жұмыс 2025–2027 жылдарға арналған ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті бағдарламалық-мақсатты қаржыландыруы аясында BR28713087 «Дәрілік өсімдіктердің биологиялық белсенді заттарын *in vitro* жағдайында алудың және осы заттардың мақсатты түзілуінің іргелі және қолданбалы аспектілер» ғылыми-техникалық бағдарламасы бойынша жүргізілді.

Әдебиеттер тізімі

1 Benelli, C., Tarraf, W., Izgu, T., De Carlo, A. (2022). In vitro conservation through slow growth storage technique of fruit species: An overview of the last 10 years. *Plants*, 11(23), 3188. DOI:10.3390/plants11233188.

2 Molkanova, O.I., Gorbunov, Y.N., Shirnina, I.V., Egorova, D.A. (2020). Primenenie biotehnologicheskih metodov dlja sohraneniya genofonda redkih vidov rastenii [Application of biotechnological methods for the conservation of the gene pool of rare plant species]. *Botanicheskii zhurnal*, 105(6), 610–619. DOI:10.31857/S00068136200300723. [*In Russian*].

3 Radomir, A., Stan, R., Florea, A., et al. (2023). Overview of the success of in vitro culture for ex situ conservation and sustainable utilization of endemic and subendemic native plants of Romania. *Sustainability*, 15, 2581. DOI:10.3390/su15032581.

4 Kumar, S., Shah, S., Vimala, Y. et al. (2022). Abscisic acid: Metabolism, transport, crosstalk with other plant growth regulators, and its role in heavy metal stress mitigation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 972856. DOI:10.3389/fpls.2022.972856.

5 Orlova, N. (2022). Osobennosti deponirovanija nekotoryh sortov Lonicera caerulea L. v kul'ture *in vitro* [Features of depositing some Lonicera caerulea L. cultivars in *in vitro* culture]. *AgroJekoInfo,* 2, 11–15. [*In Russian*].

6 Raiser, O., Tagimanova, D., Turzhanova, A. et al. (2025). Propagation and long-term storage of Rhaponticum carthamoides under in vitro conditions. *Horticulturae,* 11, 952. DOI:10.3390/horticulturae11080952.

7 Tarraf, W., De Carlo, A. (2024). *In vitro* biotechnology for conservation and sustainable use of plant genetic resources. *Plants*, 13, 1897. DOI:10.3390/plants13141897.

8 Singh, R.K., Chokheli, V.A. (2025). Plant biotechnology: Applications in in vitro plant conservation and micropropagation. *Horticulturae*, 11, 358. DOI:10.3390/horticulturae11040358.

9 Wang, Q.Y., Yang, L., Ge, N., et al. (2023). Exogenous abscisic acid prolongs the dormancy of recalcitrant seed of Panax notoginseng. F*rontiers in Plant Science,* 14, 1054736. DOI:10.3389/fpls.2023.1054736.

10 Doyle, J.J., Doyle, J.L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12, 13–15.

11 Kalendar, R., Muterko, A., Boronnikova, S. (2021). *Retrotransposable elements: DNA fingerprinting and the assessment of genetic diversity. In P. Besse (Ed.)*, Molecular plant taxonomy (Vol. 2222). Humana Press.

12 R Core Team (2025). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

13 Tang, H., Wang, X., Xie, Y., et al. (2026). Efficient in vitro regeneration and genetic fidelity assessment using ISSR of Ficus carica 'Xinjiang Zaohuang'. *Horticulturae*, 12, 70. DOI:10.3390/horticulturae12010070.

14 Parab, A.R., Lynn, C.B., Subramaniam, S. (2021). Assessment of genetic stability on in vitro and ex vitro plants of Ficus carica var. Black Jack using ISSR and DAMD markers. *Molecular Biology Reports,* 48(11), 7223–7231. DOI:10.1007/s11033-021-06714-1.

15 Cordeiro, S. (2014). In vitro conservation of Mandevilla moricandiana (Apocynaceae): Short-term storage and encapsulation–dehydration of nodal segments. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 50, 326–336. DOI:10.1007/s11627-014-9600-x.

16 Nazari, M., Kordrostami, M., Ghasemi-Soloklui, A.A. (2023). *Conservation of medicinal plants by tissue culture techniques.* In book: Medicinal plants: Biodiversity, biotechnology and conservation. Springer, 1–20. DOI:10.1007/978-981-19-9936-9_27.

17 Fang, L., Li, J., Zhou, J. et al. (2017). Isolation and purification of three ecdysteroids from the stems of Diploclisia glaucescens by high-speed countercurrent chromatography and their anti-inflammatory activities in vitro. *Molecules*, 22(8), 1310. DOI:10.3390/molecules22081310.

18 Arora, K., Rai, M.K., Sharma, A.K. (2022). Tissue culture mediated biotechnological interventions in medicinal trees: Recent progress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 150, 267–287. DOI:10.1007/s11240-022-02298-1.

19 Benelli, C. et al. (2024). Long-term conservation for the safeguard of Abies nebrodensis: An endemic and endangered species of Sicily. *Plants*, 13(12), 1682. DOI:10.3390/plants13121682.

20 Sano, N., Marion-Poll, A. (2021). ABA metabolism and homeostasis in seed dormancy and germination. *Int J Mol Sci*., 22(10), 5069. DOI:10.3390/ijms22105069.

21 Vishwakarma, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R.K., Kumar, V., Verma, R., Upadhyay, R.G., Pandey, M., Sharma, S. (2017). Abscisic acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: A review on current knowledge and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 8, 161. DOI:10.3389/fpls.2017.00161.

22 Engelmann F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cell Dev Biol.-Plant,* 47, 5–16. DOI:10.1007/s11627-010-9328-6.

23 Antonova, O.Ju. i dr. (2004). Analiz geneticheskoi stabil'nosti obrazcov kartofelya, sohranyaemyh v usloviyah *in vitro* [Analysis of the genetic stability of potato samples preserved in vitro]. *Agrarnaya Rossiya*, 6, 25-29. [*In Russian*].

24 Varshney, A., Lakshmikumaran, M., Srivastava, P.S., Dhawan, V. (2001). Establishment of genetic fidelity of in vitro-raised Lilium bulb lets through RAPD markers. *In Vitro Cell Dev Biol.-Plant,* 37, 227–231. DOI:10.1007/s11627-001-0040-z.

Сохранение *in vitro* ценного лекарственного и кормового растения *Rhaponticum carthamoides* в условиях медленного роста

Тагиманова Д.С.[1,2], Райзер О.Б.[1], Джатаев С.А.[2], Хапилина О.Н.[1]

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина» Астана, Казахстан
[2]ТОО «Национальный центр биотехнологии», Астана, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Сохранение редких и хозяйственно ценных растений, включая *Rhaponticum carthamoides,* требует разработки эффективных методов депонирования in vitro. Цель данной работы - оптимизация условий среднесрочного хранения асептических культур маральего корня с использованием биотехнологических подходов.

Материалы и методы. Адвентивные микрорастения культивировали на среде ½ МС, дополненной абсцизовой кислотой (2–10 мг/л) или маннитом (3–5 г/л). Культуры хранили без пересадки в течение 3–9 месяцев при температуре 4 ± 1 °С. После хранения оценивали морфометрические показатели и жизнеспособность. Для оценки генетической стабильности между материнскими и регенерированными растениями использовали анализ iPBS. В исследовании применяли восемь праймеров.

Результаты. Снижение температуры без изменения состава питательной среды не обеспечивало длительного сохранения. Абсцизовая кислота ингибировала рост, причём эффект усиливался с увеличением концентрации. При высоких концентрациях она замедляла процессы восстановления растений. Наиболее эффективным оказался маннит в концентрации 3 г/л, который обеспечивал замедление роста при сохранении высокой регенерационной способности до 9 месяцев. На основании анализа фрагментов iPBS-ПЦР была подтверждена генетическая идентичность материнских растений и регенерантов после 9 месяцев хранения.

Заключение. Оптимальным режимом среднесрочного хранения является культивирование при 4 °С на среде ½ МС с добавлением 3 г/л маннита, что позволяет сохранять жизнеспособность и морфогенетический потенциал растений *in vitro*.

Ключевые слова: *Rhaponticum carthamoides; in vitro;* ингибиторы роста; среднесрочное хранение; осмотический стресс.

In vitro preservation of the valuable medicinal and forage plant *Rhaponticum carthamoides* under slow-growth conditions

Damely S. Tagimanova[1,2], Olesya B. Raizer[1], Satyvaldy A. Jatayev[2], Oxsana N. Khapilina[1]

[1]LLP "National Center for Biotechnology", Astana, Kazakhstan
[2]NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. The conservation of rare and economically valuable plants, including *Rhaponticum carthamoides*, requires the development of effective *in vitro* storage methods. The aim of this work is to optimize medium-term storage conditions for maral root cultures using biotechnological approaches.

Materials and Methods**.** Adventitious microshoots were cultured on ½ MS medium supplemented with abscisic acid (2–10 mg/L) or mannitol (3–5 g/L). The cultures were stored without subculturing for 3–9 months at a temperature of 4 ± 1 °C. After storage, morphometric characteristics and viability were assessed. iPBS analysis was used to evaluate genetic fidelity between the mother plants and regenerated plants. Eight primers were used in the study.

Results. Reducing the temperature without modifying the nutrient medium did not ensure long-term preservation. Abscisic acid inhibited growth, and this effect became more pronounced with increasing concentrations. At higher concentrations, it also delayed plant recovery processes. The most effective treatment was 3 g/L mannitol, which induced growth retardation while maintaining high regenerative capacity for up to 9 months. Based on iPBS-PCR fragment analysis, genetic fidelity between mother plants and regenerants was confirmed after 9 months of storage.

Conclusion. The optimal medium-term storage regime is cultivation at 4 °C on ½ MS medium supplemented with 3 g/L mannitol, which allows preservation of the viability and morphogenetic potential of *in vitro* plants.

Keywords: *Rhaponticum carthamoides; in vitro*; growth inhibitors; medium-term storage; osmotic stress.

UDC 631.527S **Review article**

Breeding and biotechnology to improve potato resilience to climate change

Viktoriya A. Zhidenko, Irina N. Anikina

NJSC "Toraighyrov University", Pavlodar, Kazakhstan

Corresponding author: Viktoriya A. Zhidenko, vika_7625@mail.ru
Co-authors: (1: IA) anikina.i@mail.ru

Received: 15.04.2026 **Accepted:** 12.08.2026 **Published:** 30.09.2026

Copyright: Zhidenko V.A. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. Climate change threatens food security, while integrated breeding strategiesfor stress tolerance remain limited in Central Asia. This study aims to evaluate advanced genomic and biotechnological tools for climate-resilient potato breeding under regional stress conditions.

Materials and Methods. The study is based on a systematic review of recent publications indexed in Scopus and Web of Science. Studies on genomic selection, molecular markers, CRISPR/Cas genome editing, high-throughput phenotyping, *in vitro* technologies, microbiome applications, and digital agriculture were analyzed. Emphasis was placed on abiotic stress tolerance and adaptation to climatic variability in Kazakhstan and Central Asia.

Results. The results show that the integration of marker-assisted selection (MAS), genomic selection, and genome-wide association studies (GWAS) improves breeding efficiency by up to 30–50%. CCRISPR/Cas technologies enable the precise modification of genes regulating drought, heat, and salinity tolerance. When combined with artificial intelligence, high-throughput phenotyping improves the prediction of genotype-environment interactions. Plant biotechnology, including tissue culture, somatic hybridization, and *in vitro* selection, accelerates development of stress-tolerant lines and the preservation of genetic resources. Microbiome-based strategies enhance plant resilience and nutrient-use efficiency. In potato, tolerance is polygenic and is associated with root architecture, water-use efficiency, antioxidant systems, and photosynthetic stability. The integration of wild Solanum species, genomic tools, and digital modeling improves adaptation to the combined stresses typical of Kazakhstan.

Conclusion. Integrated genomic and biotechnological breeding significantly enhances potato resilience and productivity, supporting sustainable agriculture and climate adaptation in Central Asia.

Keywords: abiotic stress; biotechnology; climate resilience; digital agriculture; genomic selection; potato.

Introduction

In recent years, climate change has become one of the most significant challenges affecting agricultural production worldwide. Increasing temperatures, irregular precipitation patterns, and the growing frequency of extreme weather events, such as droughts and heat waves, are already affecting crop productivity and stability [1]. These changes are particularly critical in regions with continental climates, including Central Asia, where agricultural systems are highly sensitive to environmental fluctuations [2].

Under these conditions, ensuring stable crop yields and food security requires the development of plant varieties capable of maintaining productivity under stress conditions [3]. Traditional breeding methods have played a fundamental role in crop improvement; however, their efficiency is often limited by long breeding cycles and the complexity of traits such as drought and heat tolerance [4].

Recent advances in molecular biology and plant biotechnology have opened new opportunities for improving crop resilience [5]. The use of genomic selection, molecular markers, and genome-editing technologies allows researchers to identify and target genes associated with stress tolerance more

How to cite: Zhidenko, V.A., Anikina, I.N. (2026). Breeding and biotechnology to improve potato resilience to climate change. *Eurasian Agrotechnical Journal*, 3(131), 28-38. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2199

precisely. At the same time, high-throughput phenotyping and digital tools make it possible to better understand genotype-environment interactions [6].

In this review, the term conventional breeding refers to phenotype-based selection and hybridization methods, whereas marker-assisted selection (MAS) and genomic selection (GS) denote molecular approaches based on genetic markers and genome-wide prediction, respectively. The term genome editing is used exclusively for targeted modification of DNA sequences using technologies such as CRISPR/Cas, while plant biotechnology encompasses *in vitro* culture, micropropagation, somatic hybridization, and related techniques.

Particular attention is currently being given to the integration of different approaches. Combining classical breeding with genomic, biotechnological, and computational methods is considered a promising strategy for developing climate-resilient crops [7].

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the key food crops worldwide but is highly sensitive to abiotic stresses such as drought, high temperatures, and soil salinity. In the context of climate change, improving potato resilience has become an important research priority, especially in regions such as Kazakhstan, where environmental conditions are highly variable [8].

The aim of this study is to analyze modern breeding and plant biotechnology for improving potato resilience to climate change, with a focus on their applicability under the conditions of Central Asia.

Materials and Methods

In this study, a systematic analysis of recent scientific publications was conducted. The analysis included peer-reviewed articles published between 2015 and 2025, enabling a comprehensive assessment of recent advances in the field of genomics, marker-assisted selection, genomic selection, plant biotechnology, and digital agriculture. The literature search was conducted using international databases such as Scopus, Web of Science, and PubMed, as well as leading scientific publishing platforms and journals, including Frontiers, MDPI, Springer, Elsevier, and Genome Biology. In addition, review articles, meta-analyses, and original studies reporting experimental and practical findings were included.The search for publications used keywords and combinations of keywords in English: climate-resilient crops, genomic selection, marker-assisted selection, CRISPR/Cas, genome editing, abiotic stress tolerance, drought tolerance, heat stress, salinity, high-throughput phenotyping, omics technologies, genomic selection (GS), as well as terms related to sustainable agriculture and digital technologies. The selected studies addressed plant resistance to major abiotic stresses, including drought, elevated temperatures, salinity, and their combined effects. Particular attention was paid to publications describing modern breeding strategies, such as genomic selection, GWAS, QTL mapping, transgenic approaches, genome editing, phenotyping, as well as systemic and interdisciplinary approaches to the formation of plant resistance.

The selected studies were evaluated based on scientific novelty, availability of experimental data, and practical relevance. The selection was made taking into account the geographical diversity of the studies, including works devoted to regions with high climatic risk. The methodological basis of the study was a qualitative analysis of scientific data, including a comparative assessment of modern approaches, their classification, and systematization. The information obtained was grouped according to the main directions of development of climate-resistant breeding and biotechnology, which made it possible to identify key trends, advantages, and limitations of modern methods, as well as to determine promising areas for further research and practical application.

Results

Current trends in crop breeding in the context of climate change

An analysis of recent studies shows that modern crop breeding is increasingly shifting toward the integration of genomic and digital approaches. These findings indicate that this field is undergoing a rapid transformation, characterized by a shift from predominantly phenotypic selection toward the integration of genomic, biotechnological, and digital approaches. Under current climatic conditions, traditional breeding remains of fundamental importance; however, its effectiveness is significantly enhanced through the use of molecular markers, genomic selection, high-throughput phenotyping, and genome editing methods. This combination accelerates the identification of adaptive genotypes, improves selection accuracy, and shortens breeding cycles.

One of the key strategies is the integration of genomic technologies into breeding programs. Modern methods based on the use of pan-genomes, SNP markers, marker-assisted selection (MAS), and genomic selection (GS) enable more efficient exploitation of the genetic diversity of cultivated plants and their wild relatives [9]. Recent studies of the potato pan-genome have shown that extensive structural variations and haplotype diversity can be used to accelerate genomics-assisted breeding and improve the identification of adaptive alleles associated with stress tolerance. This approach can accelerate the development of varieties with improved tolerance to drought, heat, and salinity, and also helps increase yield stability under a changing climate [10].

The development of genomic technologies, including pan-genome studies, GWAS, and QTL mapping, has significantly expanded opportunities for studying the genetic architecture of plant resistance to abiotic stresses. It has been established that resistance to drought, heat, and salt stress is of a complex polygenic nature, thereby requiring comprehensive breeding strategies that account for genotype-environment interactions.

Recent significant progress has been associated with the development of genome editing technologies, primarily the CRISPR/Cas system, which enables the targeted modification of genes controlling plant resistance to stress factors. A number of studies have shown that this approach helps increase tolerance to adverse environmental conditions, including water stress, extreme temperatures, and damage caused by pathogens. At the same time, the need to evaluate the effectiveness of the resulting plant lines under field conditions is emphasized, since plant resilience is determined not only by genetic factors but also by the interaction between genotype and the environment [11]. Furthermore, the practical implementation of genome editing in some countries is constrained by regulatory and ethical considerations, highlighting the need for harmonized regulatory approaches to these technologies.

An important area of research is the integration of genomic approaches with high-throughput phenotyping, which enables a comprehensive evaluation of breeding material. The concept of «next-generation breeding» involves combining genomic, molecular, and digital technologies, which significantly improves selection accuracy and accelerates the breeding process [1]. In this regard, the integration of genomic data with the results of phenotypic tests under various environmental conditions is considered a key factor in enhancing the reliability of the breeding process.

Traits related to drought tolerance, heat tolerance, and salt tolerance are predominantly polygenic, making GWAS and QTL mapping valuable tools for identifying loci associated with climate resilience [2]. An example of the successful application of this approach is the introduction of the SUB1 gene into the «Svarna-Sub1» rice variety, which provided tolerance to waterlogging and yield stability under flood conditions [12].

Broadening genetic diversity is a key component of modern breeding programs. International breeding programs aimed at developing drought-tolerant maize hybrids have demonstrated high effectiveness when grown in regions with unstable water availability. At the same time, there is growing interest in crops with natural resistance to adverse conditions, such as millet, sorghum, and cassava [13], which are capable of producing yields under conditions of low humidity and high temperatures [14].

Promising methods include transgenic technologies, which allow for the introduction of genes that enhance plant tolerance to adverse environmental factors, as well as somatic hybridization, which helps expand the genetic diversity of agricultural crops. Cell technologies, including tissue culture and *in vitro* cell selection, play an important role in obtaining stress-tolerant forms and accelerating the propagation of breeding material [15].

Current research also points to the significant potential of microbiome-related technologies. Rhizosphere microorganisms and endophytes can enhance plant stress tolerance, improve nutrition, and stimulate growth, which is considered a promising and environmentally sustainable area of biotechnology. In addition, digital methods in plant breeding are being actively developed, including the use of big data, remote sensing, artificial intelligence, and predictive modeling to assess the adaptive potential of genotypes and predict their performance under changing climatic conditions [16]. It is expected that the integration of artificial intelligence with genomic resources and phenotypic databases will improve the prioritization of candidate genes, the prediction of “genotype-environment” interactions, and decision-making in potato breeding programs.

Thus, modern breeding programs are characterized by a shift from traditional methods to the comprehensive use of genomic, biotechnological, and digital technologies. The integration of pan-genomic analysis, GWAS, genomic breeding, high-throughput phenotyping, artificial intelligence methods, and genome editing significantly enhances the efficiency of developing crop varieties adapted to changing climatic conditions.

Modern approaches to potato breeding to enhance climate resilience

The potato (*Solanum tuberosum* L.) plays a significant role in research aimed at developing climate-resilient crops, because it is highly sensitive to abiotic stresses, including drought, elevated temperatures, and soil salinity. In the context of global climate change, this crop is therefore considered a priority for the development of stress-tolerant varieties. Recent studies show that potato tolerance to adverse environmental factors is complex and polygenic in nature, determined by the interaction of numerous genes regulating water balance, photosynthetic activity, antioxidant defense, and carbohydrate metabolism [17].

In recent years, genomic selection and molecular marker-assisted breeding methods have been actively used to identify loci associated with potato tolerance to drought, heat, and salt stress. The use of SNP markers, GWAS analysis, and QTL mapping help accelerate the breeding process and improve the accuracy of selecting genotypes with enhanced adaptability. It has been shown that potato stress tolerance is closely linked to root system characteristics, water uptake efficiency, and the ability to maintain photosynthetic activity under adverse conditions [18, 19, 20].

Recent studies have demonstrated the successful application of CRISPR/Cas in potato breeding to modify genes involved in hormonal regulation, antioxidant defense, and starch metabolism, thereby increasing tolerance to drought, heat, and salinity [20].

Recent review articles indicate that CRISPR/Cas technologies are successfully used to increase resistance to abiotic stress, disease resistance, and tuber quality, underscoring their growing importance in modern potato breeding [21].

In potato breeding, tissue culture and microclonal propagation remain valuable tools for the rapid propagation of elite genotypes, the preservation of germplasm, and the *in vitro* screening of resistance to abiotic stress [22].

Of particular importance is the use of wild species of the genus Solanum as sources of resistance genes. Introgression of genes conferring resistance to drought, diseases, and extreme temperatures from wild relatives helps broaden the genetic base for potato breeding. Combined with modern molecular methods, this accelerates the development of adapted varieties. Modern breeding strategies increasingly combine pan-genomics, genome-wide association studies, genomic selection, and CRISPR/Cas-based gene editing to accelerate the development of potato varieties with stable resistance and enhanced climate resilience [23].

Thus, current research indicates that the development of climate-resilient potato varieties is impossible without the integrated use of molecular genetics, biotechnology, tissue culture, and modern genomic technologies. Their combined application can significantly accelerates the breeding process and improves the accuracy of selecting promising genotypes.

Recent advances in potato breeding and biotechnology in Kazakhstan and Central Asian countries

In Kazakhstan and other Central Asian countries, potato production faces increasing challenges due to recurring droughts, rising summer temperatures, irregular rainfall patterns, and soil degradation. In particular, the northern and northeastern regions experience significant year-to-year climate variability, which negatively affects yield and tuber quality. Consequently, breeding programs must prioritize the development of varieties that combine drought tolerance, heat tolerance, and resistance to major pathogens while maintaining stable yields under fluctuating environmental conditions. In this context, the integration of traditional breeding, marker-assisted selection (MAS), genomic selection, and in vitro biotechnology represents one of the most promising strategies for developing potato varieties adapted to regional climatic conditions and for enhancing agricultural resilience.

In the context of climate change, the issue of enhancing potato resilience is of particular relevance for Kazakhstan and other Central Asian countries, where agricultural production takes place under a sharply continental climate [20, 25, 26]. The region is characterized by longer periods of drought, higher

average daily temperatures during the growing season, uneven precipitation distribution, and soil degradation, which lead to reduced yields, poorer tuber quality, and an increased risk of physiological disorders and stress-induced damage in potato plants [27, 28]. In the northern and northeastern regions of Kazakhstan, climate variability is accompanied by significant fluctuations in temperature and moisture availability, which necessitates the development of varieties that combine high productivity, resistance to abiotic stresses, and adaptability to local agroecological conditions [29].

At present, research in Kazakhstan has focused on incorporating modern breeding methods and biotechnology into programs for developing new potato varieties. Alongside traditional hybridization, molecular markers, methods for assessing genetic diversity, tissue culture, and microclonal propagation are increasingly being used to accelerate the production of disease-free planting material and enhance the efficiency of the breeding process [30, 31]. A prime example of the implementation of molecular genetic technologies is the study conducted by *K. Adilbayeva* et al. (2024), in which a molecular assessment was conducted on 352 potato samples from the Kazakhstani collection using 30 DNA markers associated with resistance to the most dangerous pathogens and pests. As a result, varieties and breeding lines containing the greatest number of resistance genes were identified, and the authors concluded that the use of marker-assisted selection (MAS) and gene pyramiding holds great promise for the development of new domestic potato varieties. This study demonstrates the transition of Kazakhstani plant breeding from traditional methods to the application of modern molecular genetic technologies.

One example of the development of modern breeding stock is the study conducted by *Zh. Abilda, Z. Sapakhova, A. Sidorik* et al. (2024) at the Institute of Plant Biology and Biotechnology (Almaty). The authors conducted hybridization of domestic and foreign potato varieties with the aim of obtaining early-maturing forms suitable for cultivation in Kazakhstan. Four crossing combinations were used in the study, of which seven hybrid combinations proved successful (57%). As a result, promising hybrid clones were obtained that combine the traits of early maturity, yellow flesh color, shallow eye placement, and the absence of enzymatic browning of tubers; these are considered as source material for further breeding programs [30].

This work was continued in a study by *Z. Sapakhova* et al. (2024), in which 42 potato breeding lines derived from crosses between the «Yagodny 19» variety and clone CIP 397079-6 were examined during the early stages of breeding. Using molecular markers associated with maturity, tuber shape, and flesh color, the most promising lines were selected for further breeding programs under Kazakhstani conditions [32].

The development of biotechnological methods plays an important role in modern potato research in Kazakhstan. *A.M. Argynybaeva, D.L. Daurov, Z.B. Sapakhova, K.Zh. Zhambakin* et al. (2023) note that tissue culture, microclonal propagation, and the production of microtubers and minitubers form the basis of the modern system for producing virus-free seed potatoes. The use of plants sanitized via in vitro meristem culture significantly accelerates the production of high-quality planting material and reduces the risk of viral infection spread in potato seed production [33].

According to *A.M. Argynbayeva* et al. (2023), the production of virus-free planting material in Kazakhstan is based on in vitro apical meristem culture, microclonal propagation of regenerated plants, and the subsequent production of micro- and mini-tubers. The study by *Volkov* et al. (2020) demonstrates that the use of temporary immersion bioreactors significantly accelerates the mass propagation of virus-free potato plants and reduces the risk of viral infection spread during seed production [34].

Recent advances in Kazakhstan include improvements in technologies for producing disease-free seed potatoes based on in vitro apical meristem culture, microclonal propagation, and the production of micro- and mini-tubers, which form the basis of the modern system of original and elite potato seed production [33]. According to *A.M. Argynbayeva* et al. (2023), the use of apical meristem culture, microclonal propagation, and the production of micro- and minitubers ensures the production of high-quality, virus-free planting material. In turn, research by *I.N. Anikina* et al. (2023) showed that optimizing in vitro culture conditions – particularly temperature – significantly increases the propagation rate, stimulates organogenesis, and contributes to more efficient production of initial potato seed material [35].

A promising direction for the development of modern potato breeding is the introduction of molecular methods for evaluating breeding material. The use of DNA markers allows for the early

identification of genes conferring resistance to the most dangerous diseases and pests, significantly reducing the duration of the breeding cycle and increasing the accuracy of selection. Modern molecular markers associated with genes conferring resistance to biotic and abiotic stresses are widely used in marker-assisted breeding, enabling the effective identification of promising genotypes at early stages of the breeding process [36, 37, 38].

Despite significant progress in the development of genomic technologies, their widespread adoption in practical potato breeding remains a challenging task. This is due to the high cost of genotyping, the need to establish large training populations, the development of bioinformatics infrastructure, and the integration of genomic data with high-precision phenotyping. According to *Zh. Chunzhi* et al. (2024), *M. Mascher* et al. (2024), as well as *Alemu* et al. (2024), further improvements in breeding efficiency will depend on the comprehensive use of genomic breeding, pan-genomic analysis, high-throughput phenotyping, artificial intelligence methods, and genome editing. This integrated approach is considered the most promising direction for developing climate-resilient potato varieties, and is of significant interest to breeding programs in Kazakhstan and other Central Asian countries [39, 40]. Thus, domestic research demonstrates a consistent trend toward integrating classical breeding with modern biotechnological and molecular-genetic methods. The development of microclonal propagation technologies, the production of disease-free planting material, marker-assisted breeding, and genotyping provides the scientific foundation for the accelerated development of potato varieties adapted to the soil and climatic conditions of Kazakhstan and other Central Asian countries.

Discussion

A review of the literature indicates that modern potato breeding is moving toward the integrated use of traditional breeding approaches, molecular genetic methods, and biotechnology. While classical breeding remains the foundation for developing new varieties, the use of molecular markers, genomic selection, *in vitro* technologies, and high-throughput phenotyping allows for a significant increase in selection accuracy and a reduction in the duration of the breeding process. Consequently, the effectiveness of developing climate-resilient varieties is determined not by the use of any single method, but by their comprehensive integration.

The analyzed studies demonstrate that different breeding approaches complement rather than replace each other. Marker-assisted selection (MAS) is highly effective for traits controlled by major genes, whereas genomic selection is more suitable for complex polygenic traits such as drought and heat tolerance. Genome editing technologies, including CRISPR/Cas, enable targeted modification of candidate genes but still require comprehensive field validation before their large-scale implementation in breeding programs. Therefore, the highest breeding efficiency can be achieved through the integration of these complementary approaches rather than by relying on any single technology.

To assess the capabilities of modern breeding approaches, a comparative analysis was conducted based on their main advantages, limitations, and potential applicability in potato breeding (Table 1).

Table 1. Comparative analysis of major breeding and biotechnological approaches for developing climate-resilient potato cultivars

Method	Advantages	Limitations	Example in potato	Potential applicability in Kazakhstan
Conventional breeding	Low cost, widely used	Long breeding cycles	Early-maturing cultivars	High
Marker-assisted selection (MAS)	Rapid identification of target alleles	Limited for polygenic traits	PVY resistance genes	High
Genomic selection (GS)	High predictive accuracy	Requires large datasets and bioinformatics	Drought tolerance prediction	High
CRISPR/Cas	Precise genome editing	Regulatory restrictions and public acceptance	StCDF1, StSP6A	Moderate

Continuation of Table 1

In vitro biotechnology	Rapid propagation and germplasm conservation	Requires laboratory infrastructure	Virus-free seed potatoes	High
AI-assisted phenotyping	Improves prediction of genotype × environment interactions	High equipment costs	Prediction of genotype × environment	Promising

As the comparative analysis shows, each of the methods considered has its own advantages and limitations. Traditional breeding remains the most accessible approach, but it takes a long time to develop new varieties. Marker-assisted breeding is most effective when working with individual resistance genes, whereas genomic breeding has advantages in evaluating complex polygenic traits, including resistance to drought and high temperatures. Therefore, the most promising approach is the integrated use of various breeding methods.

An analysis of domestic research shows that technologies for microclonal propagation, the production of disease-free planting material, and the molecular evaluation of breeding material are being successfully implemented in Kazakhstan. At the same time, the application of genomic selection, high-throughput phenotyping, and genome editing technologies is currently represented by only a limited number of studies. This underscores the need for further development of modern genomic and biotechnological infrastructure to enhance the effectiveness of domestic breeding programs.

Compared with leading international breeding programs, the implementation of advanced genomic technologies in Kazakhstan remains at an early stage. Nevertheless, recent studies demonstrate a clear transition from conventional breeding toward the application of DNA markers, microclonal propagation, and molecular evaluation of breeding material. Further development of genomic selection, artificial intelligence-assisted phenotyping, and bioinformatics infrastructure will be essential for accelerating the development of climate-resilient potato cultivars adapted to regional conditions.

At the same time, the effectiveness of modern breeding approaches still requires comprehensive evaluation under field conditions and across various agroecological zones. This is particularly important for crops such as potatoes, whose stress tolerance is determined by complex interactions between genotype and the environment. This is especially relevant for Kazakhstan, where potato plants are often simultaneously exposed to high temperatures, moisture deficiency, and sharp fluctuations in weather conditions during a single growing season.

Thus, the most promising approach to enhancing potato resilience to climate change is the integrated use of traditional breeding, molecular genetic methods, and biotechnology. For Kazakhstan, the further development of marker-assisted breeding, the improvement of technologies for producing disease-free planting material, and the expansion of research on evaluating new genotypes under the country's various soil and climate conditions are of particular importance. Integrating these approaches will accelerate the development of potato varieties adapted to current climatic conditions.

Conclusion

An analysis of current scientific research has shown that it is not possible to increase potato resilience to climate change through any single breeding approach. The most effective strategy is the comprehensive integration of traditional breeding, marker-assisted breeding, genomic breeding, genome editing technologies, and modern biotechnological methods. Their combined use can improve selection accuracy, shortens the breeding process, and accelerates the development of varieties resistant to major abiotic stresses.

An analysis of domestic research indicates that technologies for microclonal propagation, the production of disease-free planting material, and the molecular evaluation of breeding material are already being successfully implemented in Kazakhstan. At the same time, the further development of breeding programs should involve the broader use of genomic selection, high-throughput phenotyping, and digital technologies to accelerate the development of potato varieties adapted to the country's soil and climatic conditions.

Promising areas for further research include expanding the use of molecular genetic methods in domestic breeding, conducting comprehensive evaluations of new genotypes under various agroecological conditions in Kazakhstan, and integrating genomic, biotechnological, and digital technologies into practical potato breeding programs. Implementation of these approaches can enhance the adaptability of new varieties to changing climatic conditions and contribute to strengthening food security in Kazakhstan and other Central Asian countries. Overall, this review demonstrates that integrating conventional breeding with genomic, biotechnological, and digital approaches provides the most promising strategy for developing climate-resilient potato cultivars and adapted to the agroecological conditions of Kazakhstan and Central Asia.

Authors' Contributions

VZh: conceptualized the study, performed the literature analysis, and prepared the original draft of the manuscript. IA: contributed to the methodology, supervised the research process, and critically revised and edited the manuscript. All authors have read and approved the final version of the article.

References

1 Kopeć, P. (2024). Climate change – The rise of climate-resilient crops. *Plants,* 13(4), 490. DOI:10.3390/plants13040490.

2 Thingujam, D., Gouli, S., Cooray, S.P., Chandran, K.B., Givens, S.B., Gandhimeyyan, R.V. et al. (2025). Climate-resilient crops: Integrating AI, multi-omics, and advanced phenotyping to address global agricultural and societal challenges. *Plants,* 14(17), 2699. DOI:10.3390/plants14172699.

3 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability.* Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781009325844

4 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). C*limate-smart agriculture sourcebook*. FAO.

5 Ngongolo, K., Mmbando, G.S. (2024). Harnessing biotechnology and breeding strategies for climate-resilient agriculture: Pathways to sustainable global food security. *Discov. Sustain.*, 5, 431. DOI:10.1007/s43621-024-00653-0.

6 Zaidi, S., Mahas, A., Vanderschuren, H. et al. (2020). Engineering crops of the future: CRISPR approaches to develop climate-resilient and disease-resistant plants. *Genome Biol.*, 21, 289. DOI:10.1186/s13059-020-02204-y.

7 Bayer, P.E., Golicz, A.A., Tirnaz, S., Chan, C.K.K., Edwards, D., Batley, J. (2019). Variation in abundance of predicted resistance genes in the Brassica oleracea pangenome. *Plant Biotechnol J.,* 17, 789-800. DOI:10.1111/pbi.13015.

8 Byamukama, E., Pérez-Hernández, O., Yabwalo, D.N. (2021). Plant disease threats to food security in the Northern Great Plains of North America. *Agron J.,* 113(6), 4473-4483. DOI:10.1002/agj2.20870.

9 Razzaq, A., Kaur, P., Akhter, N., Wani, S.H., Saleem, F. (2021). Next-generation breeding strategies for climate-ready crops. *Fron. Plant Sci.,* 12, 620420. DOI:10.3389/fpls.2021.620420.

10 Ravikiran, K.T., Thribhuvan, R., Anilkumar, C., Kallugudi, J., Prakash, N.R., Adavi, B.S. et al. (2025). Harnessing the power of genomics to develop climate-smart crop varieties: A comprehensive review. *J Environ. Manag.,* 373, 123461. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.123461.

11 Sugumar, T., Shen, G., Smith, J., Zhang, H. (2024). Creating climate-resilient crops by increasing drought, heat, and salt tolerance. *Plants*, 13, 1238. DOI:10.3390/plants13091238.

12 Emerick, K., Ronald, P.C. (2019). Sub1 rice: Engineering rice for climate change. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.,* 11(12), a034637. DOI:10.1101/cshperspect.a034637.

13 Charles, O. (2024). A review of drought-stress responsive genes and their applications for drought stress tolerance in cassava (Manihot esculenta Crantz). *Discover Biotechnol.,* 1, 5. DOI:10.1007/s44340-024-00006-7.

14 Bolatova, Z.B., Abulkhairova, Z., Kulshygashova, M.K. (2022). The economy of climate change in the regions of Kazakhstan and its impacts on AIC. *Economy and Ecology of Territorial Formations,* 6(3), 66-77. DOI:10.23947/2413-1474-2022-6-3-66-77.

15 Aljaramany, N., Vishnyakova, A.V., Monakhos, S.G. (2024). Somatic hybridization in agricultural crops improvement: An environmentally amiable era in biotechnology. *Casp. J Environ. Sci.,* 22, 1233-1241.

16 Du, J., Li, Y., Yin, Z., Wang, H., Zhang, X., Ding, X. (2020). High-throughput customization of plant microbiomes for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.,* 11, 569742. DOI:10.3389/fpls.2020.569742.

17 Rajendran, P., Saravanan, K., Jagadhesan, B., et al. (2026). Stress Resilience in Tuber Crops: A Closer View on Genome Editing and Molecular Approaches. *J Plant Growth Regul,* 45, 876–899. DOI:10.1007/s00344-025-11936-9.

18 Mir, B.A., John, A., Rahayu, F., Martasari, C., Husni, A., Sukmadjaja, D. et al. (2024). Potato stress resilience: Unraveling the role of signalling molecules and phytohormones. *Plant Gene*, 38, 100456. DOI:10.1016/j.plgene.2024.100456.

19 Tamburino, R., Sannino, L., Palomba, F. *et al.* (2025). Genotype-specific transcriptomic response to drought stress in potato cultivars modulated by microbial biostimulants. *BMC Plant Biology,* 25, 1777. DOI:10.1186/s12870-025-07810-1.

20 Wengle, S.A., Musabaeva, S., Greenwood-Sánchez, D. (2024). Second bread: Potato cultivation and food security in Kyrgyzstan. *J Dev. Stud.,* 60(11), 1691-1712. DOI:10.1080/00220388.2024.2374075.

21 Zhagiparova, M.E., Anikina, I.N. (2026). Nanobólshekter – ósimdik ulpalaryn in vitro kúltıvasıaleý tehnologıasynyń elementi [Nanoparticles as a component of in vitro plant tissue culture technology]. *Eurasian Agrotech. J.*, 1(129), 144-155. DOI:10.51452/eaj.2026.1(129).2125. [In Kazakh].

22 Sun, H., Tusso, S., et al. (2025). The phased pan-genome of tetraploid European potato. *Nature,* 642(8067), 389-397. DOI:10.1038/s41586-025-08843-0.

23 Sapakhova, Z., Kanat, R., *et al.* (2025). CRISPR-Cas Gene Editing Technology in Potato. *Int. J Mol. Sci.*, 26(15), 7496. DOI:10.3390/ijms26157496.

24 Berindean, I., Taoutaou, A., Rida, S., Muntean, L. (2024). Modern Breeding Strategies and Tools for Durable Late Blight Resistance in Potato. *Plants (Basel)*, 13(12), 1711. DOI:10.3390/plants13121711.

25 Farooq, M., Pratley, J., Henry, R. (2024). Artificial intelligence in plant breeding. *Trends Genet.*, 40(10), 1024-1038. DOI: 10.1016/j.tig.2024.06.008.

26 World Bank. (2024). *Climate adaptation options and opportunities in the agriculture sector: Republic of Kazakhstan.* World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099060424004022607/pdf/P50211216a88d304191601df346d0b1713.pdf

27 Wang, D., Li, R., Gao, G., Jiakula, N., Toktarbek, S., Li, S., Ma, P., Feng, Y. (2022). Impact of Climate Change on Food Security in Kazakhstan. *Agric.*, 12(8), 1087. DOI:10.3390/agriculture12081087.

28 Kávássy, G., Szabó, A., Szabó, É. (2025). The effects of the climate change and the drought stress on potato production – A review. *Acta Agraria Debreceniensis,* 1, 61-67. DOI:10.34101/actaagrar/1/15256.

29 Anikina, I., Kaynidenov, N., Krasij, M., Kamarova, A. (2023). Comparative characteristics of the development and productivity of potato varieties of Kazakhstan selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan. *Bull. L.N. Gumilyov Eurasian Nat. Univ. Biosci. Ser.,* 135(2), 28-37. DOI:10.32523/2616-7034-2021-135-2-28-37.

30 Abilda, Z., Sapakhova, Z., Sidorik, A., Raisova, N., Daurov, D., Khandakar, R.I., Zhambakin, K. (2024). Poluchenie mezhsortovykh gibridov kak iskhodnogo materiala dlya selektsii kartofelya [Production of intervarietal hybrids as source material for potato breeding]. *Izdenister Natigeler*, 3(103), 269-278. DOI:10.37884/3-2024/30. [*In Russian*].

31 Adilbayeva, K., Moisseyev, R., Kolchenko, M., Kenzhebekova, R., Khassanov, V., Beisembina, B., Azhimakhan, M., Tokbergenova, Z., Sharipova, D., Krasavin, V., Pozharskiy, A., Gritsenko, D. (2024). Genetic Evaluation of Kazakhstani Potato Germplasm for Pathogen and Pest Resistance Using DNA Markers. *Agronomy*, 14(9), 1923. DOI:10.3390/agronomy14091923.

32 Sapakhova, Z., Abilda, Z., Toishimanov, M., Daurov, D., Daurova, A., Raissova, N., Sidorik, A., Kanat, R., Zhambakin, K., Shamekova, M. (2024). Early Generation Selection of Potato Breeding Lines. *Horticulturae*, 10(10), 1121. DOI:10.3390/horticulturae10101121.

33 Argynbayeva, A.M., Daurov, D.L., Sapakhova, Z.B., Zhambakin, K.Zh., Shamekova, M.Kh. (2023). Potato viruses in Kazakhstan and methods for obtaining virus-free seed material. *Bull. L.N.*

Gumilyov Eurasian Nat. Univ. Biosci. Ser., 144(3), 54-68. DOI:10.32523/2616-7034-2023-144-3-54-68.

34 Volkov, D.V., Argynbayeva, A.M., Daurov, D.L., Zhapar, K.K., Abai, Z.S., Zhambakin, K.Zh., Shamekova, M.Kh. (2020). Accelerated production of virus-free potato planting material using a bioreactor. *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 5(333), 56-62. DOI:10.32014/2020.2518-1483.119.

35 Anikina I., Kussainov A., Zhagiparova M., Insebaeva M. (2023). The temperature factor of cultivation as a regulator of potato plant morphogenesis *in vitro Bull. L.N. Gumilyov Eurasian Nat. Univ. Biosci. Ser.*,145(4), 54-62.

36 Alemu, A., Åstrand, J., Montesinos-López, O.A., Isidro y Sánchez, J., Fernández-González, J., Tadesse, W., Vetukuri, R.R., Carlsson, A.S., Ceplitis, A., Crossa, J., Ortiz, R., Chawade, A. (2024). Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping two decades of progress. *Molecular Plant,* 17(4), 552-578. DOI: 10.1016/j.molp.2024.03.007.

37 Islam, S., Li, J., Rahman, M.A. et al. (2024). Resistance to biotic and abiotic stress in potato: the origin of the genes and corresponding molecular markers. *Phytopathol Res,* 6, 4. DOI:10.1186/s42483-023-00222-9.

38 Kumar, R., Das, S.P., Choudhury, B.U., *et al.* (2024). Advances in genomic tools for plant breeding: Harnessing DNA molecular markers, genomic selection, and genome editing. *Biol. Res.,* 57, 80. DOI:10.1186/s40659-024-00562-6.

39 Zhang, C., Zhou, Q., Wu, Y., Shang, Y., Huang, S. (2024). Genomics study accelerates the revolution of potato breeding. *Biotech. Bull.*, 40(10), 1-8. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2024-0695.

40 Mascher, M*., Jayakodi, M., Shim, H., et al. (2024). Promises and challenges of crop translational genomics.* Nature, 636(8042), 585-593. DOI:10.1038/s41586-024-07713-5.

Климаттық өзгерістерге қарсы картоптың төзімділігін арттыру үшін селекция және биотехнология

Жиденко В.А., Аникина И. А.

«Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Климаттың өзгеруі азық-түлік қауіпсіздігіне қауіп төндіреді; Орталық Азияда стреске төзімділікті арттыруға бағытталған кешенді селекциялық стратегияларды іске асыру мүмкіндіктері шектеулі. Осы зерттеудің мақсаты – өңірлік стресс жағдайында климатқа төзімді картоп селекциясы үшін озық геномдық және биотехнологиялық құралдарды бағалау.

Материалдар мен әдістер. Scopus және Web of Science дерекқорларындағы соңғы жарияланымдарға жүйелі шолу жүргізілді. Геномдық селекция, молекулалық маркерлер, CRISPR/Cas жүйесін пайдалана отырып геномды өңдеу, жоғары өнімді фенотиптеу, in vitro технологиялары, микробиомды қолдану және цифрлық ауыл шаруашылығы зерттеулері талданды. Атап айтқанда Қазақстанда және Орталық Азияда абиотикалық стреске төзімділік пен климаттың өзгергіштігіне бейімделуге ерекше назар аударылды.

Нәтижелер. Талдау көрсеткендей, MAS, геномдық селекция және GWAS-ты біріктіру селекцияның дәлдігін арттырып, өсіру циклдарын 30–50% қысқарту арқылы селекциялық жұмыстың тиімділігін жақсартады. CRISPR/Cas технологиялары құрғақшылыққа, ыстыққа және тұздылыққа төзімділікті реттейтін гендерді дәл түзетуге мүмкіндік береді. Жоғары өнімді фенотиптеу жасанды интеллектпен біріктірілгенде генотип-орта өзара әрекеттесуін болжауды жақсартады. Тіндік культура, соматикалық гибридизация және S селекция сияқты биологиялық технологиялар стресске төзімді линияларды дамытуды жеделдетіп, генетикалық ресурстарды сақтайды. Микробиомға негізделген стратегиялар өсімдіктердің төзімділігін және қоректік заттарды пайдалану тиімділігін арттырады. Картопта төзімділік полигендік сипатқа ие және тамыр жүйесінің құрылымы, суды пайдалану тиімділігі, антиоксиданттық жүйелер мен фотосинтез

тұрақтылығымен байланысты. Жабайы *Solanum* түрлерін, геномдық құралдарды және сандық модельдеуді біріктіру Қазақстанға тән аралас стресс жағдайларына бейімделуді жақсартады.

Қорытынды. Кешенді геномикалық және биотехнологиялық селекция картоптың төзімділігі мен өнімділігін айтарлықтай арттырады, бұл Орталық Азияда тұрақты ауыл шаруашылығын дамытуға және климаттық өзгерістерге бейімделуге ықпал етеді.

Кілт сөздер: абиотикалық стресс; биотехнология; климатқа төзімділік; сандық ауыл шаруашылығы; геномикалық селекция; картоп.

Селекция и биотехнологии для повышения устойчивости картофеля к изменению климата

Жиденко В.А., Аникина И. А.

НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Изменение климата угрожает продовольственной безопасности; в Центральной Азии по-прежнему ограничены возможности применения комплексных селекционных стратегий, направленных на повышение стрессоустойчивости. Целью данного исследования является оценка передовых геномных и биотехнологических инструментов для селекции картофеля, устойчивого к климатическим изменениям, в условиях регионального стресса.

Материалы и методы. Был проведен систематический обзор недавних публикаций из баз данных Scopus и Web of Science. Были проанализированы исследования по геномной селекции, молекулярным маркерам, редактированию генома с помощью CRISPR/Cas, высокопроизводительному фенотипированию, технологиям in vitro, применению микробиома и цифровому сельскому хозяйству. Особое внимание уделялось устойчивости к абиотическому стрессу и адаптации к климатической изменчивости в Казахстане и Центральной Азии.

Результаты. Анализ показал, что интеграция MAS, геномной селекции и GWAS повышает эффективность селекции за счет повышения точности отбора и сокращения селекционных циклов на 30–50%. Технологии CRISPR/Cas позволяют точно модифицировать гены, регулирующие устойчивость к засухе, жаре и засоленности. Высокопроизводительное фенотипирование в сочетании с искусственным интеллектом улучшает прогнозирование взаимодействий генотип-окружающая среда. Биотехнологические подходы, включая культуру тканей, соматическую гибридизацию и селекцию *in vitro,* ускоряют разработку стрессоустойчивых линий и сохраняют генетические ресурсы. Стратегии, основанные на микробиоме, повышают устойчивость растений и эффективность использования питательных веществ. У картофеля устойчивость является полигенной и связана со строением корневой системы, эффективностью использования воды, антиоксидантными системами и стабильностью фотосинтеза. Интеграция диких видов *Solanum*, геномных инструментов и цифрового моделирования улучшает адаптацию к комбинированным стрессам, характерным для Казахстана.

Заключение. Комплексная геномная и биотехнологическая селекция значительно повышает устойчивость и продуктивность картофеля, способствуя устойчивому сельскому хозяйству и адаптации к изменению климата в Центральной Азии.

Ключевые слова: абиотический стресс; биотехнология; климатическая устойчивость; цифровое сельское хозяйство; геномная селекция; картофель.

УДК 635. 657: [631.52:577.2] **Исследовательская статья**

Повышение эффективности и усовершенствование техники гибридизации нута (*Cicer arietinum* L.) с использованием морфологических и молекулярных маркеров

Дженисбаева А.М., Майкотов Б.Н., Байтаракова К.Ж., Ержебаева Р.С.

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства», с. Алмалыбак, Казахстан

Автор-корреспондент: Дженисбаева А.М.: jenisbayeva@gmail.com
Соавторы: (1: БМ) maikotov.bekzhan@mail.ru; (2: КБ) kuralai_baitarakova@mail.ru, (3: РЕ) raushan_2008@mail.ru

Получено: 10.07.2026 **Принято:** 15.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Дженисбаева А.М., и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Нут (*Cicer arietinum* L.) – одна из важнейших зернобобовых культур, возделываемых в засушливых регионах мира, однако его гибридизация затруднена из-за мелких размеров цветка и высокой чувствительности репродуктивных органов к механическим повреждениям. Целью исследования являлось повышение эффективности гибридизации нута в условиях юго-востока Казахстана посредством применения комплексного подхода, сочетающего использование морфологических и молекулярных маркеров.

Материалы и методы. В 2024–2025 гг. исследованы 33 генотипа нута экотипов «Дези» и «Кабули». Для оценки генетического полиморфизма родительских форм использовали пять STMS-маркеров (TA37, TA110, TA27, TA96 и TA194). Эффективность четырех методов гибридизации оценивали по показателю завязываемости бобов, а гибридное происхождение потомства подтверждали с использованием молекулярных маркеров.

Результаты. Наиболее информативными для дифференциации родительских форм оказались STMS-маркеры TA96 и TA194, выявившие 8 и 9 аллелей соответственно. Результаты гибридизации выявили завязываемость бобов 2% и 4,7% в методах с кастрацией и без кастрации, соответственно. Различие между методами было статистически значимым ($\chi^2 = 4,027$; $p = 0,045$). Среди отдельных вариантов опыта наибольшая завязываемость (4,9%) была отмечена при сочетании метода без кастрации с обработкой смесью фитогормонов GA_3, NAA и кинетина.

Заключение. Гибридизация нута без кастрации обеспечивает более высокую, но всё ещё практически низкую завязываемость бобов, что указывает на необходимость дальнейшей методической оптимизации. Для селекционной практики метод без кастрации рекомендуется применять в сочетании с обязательной молекулярной верификацией гибридов, поскольку доля истинных гибридов при этом методе ниже, чем при кастрации.

Ключевые слова: нут; метод гибридизации; молекулярный маркер; морфологический маркер; STMS-маркер.

Введение

Нут (*Cicer arietinum* L.) – одна из основных зернобобовых культур, богатая незаменимыми аминокислотами и пищевыми волокнами [1]. Он возделывается в засушливых и полузасушливых регионах. Его производство стратегически важно для продовольственной безопасности и экономики более 50 стран [2]. С 1961 года мировая урожайность нута неуклонно растет, увеличиваясь в среднем на 6 кг/га в год [3]. Этот рост обусловлен совершенствованием агротехники и растущим признанием питательной ценности культуры. Содержание белка в нуте варьируется от 16% до 22% в зависимости от генотипа [4]. Согласно данным FAOSTAT (2024), мировое производство нута сконцентрировано преимущественно в Азии, на долю которой приходится около 73% валового сбора. Крупнейшим производителем остается Индия – на нее приходится

примерно 64% мирового объема. Казахстан занимает 20-е место в мире по объёму производства нута с показателем 10 968 т, что отражает постепенное расширение его возделывания в стране [5]. В условиях прогрессирующего дефицита водных ресурсов в южных и юго-восточных регионах Казахстана особую актуальность приобретает внедрение засухоустойчивых культур [6]. Нут, благодаря развитой корневой системе и способности эффективно использовать почвенную влагу, является одной из наиболее перспективных зернобобовых культур для аридных и семиаридных зон Центральной и Западной Азии, Северной Африки, Ближнего Востока, а также Австралии [7, 8]. Его возделывание может способствовать диверсификации посевных площадей, повышению устойчивости богарного земледелия и укреплению продовольственной безопасности Казахстана.

Сорта нута разделяют на два четко различающихся экотипа, имеющих различное географическое распространение и хозяйственное использование: кабули (*macrosperma*) и дези (*microsperma*). Нут Кабули имеет крупные или средние, светлые семена с тонкой семенной оболочкой, и белый венчик цветка, тогда как Дези – более мелкие, угловатые, с толстой темно-коричневой оболочкой и фиолетовым окрасом цветка [9]. По данным платформы Genesys, в разделе «Accession data» по полнотекстовому запросу «chickpea» зарегистрировано около 86 тыс. образцов нута. После выгрузки данных в формате Excel и фильтрации по стране происхождения («Origin/Provenance of material – Kazakhstan») выявлено около 40 образцов казахстанского происхождения [10]. В Казахстане ведутся селекционные исследования, однако их результативность сдерживается низкой завязываемостью при искусственной гибридизации, что обусловлено биологическими особенностями культуры и неблагоприятными климатическими условиями.

В современной селекции нута основным методом создания новых генотипов остаётся внутривидовая гибридизация (с кастрацией или без кастрации) с последующим отбором ценных рекомбинантных форм. Однако, этот процесс считается сложным по нескольким причинам. Во-первых, нут является строго самоопыляющимся видом, а его цветки имеют мелкие размеры, что делает искусственное скрещивание трудоёмким процессом [11, 12]. Во-вторых, низкая эффективность гибридизации часто объясняется механическим повреждением пестика во время кастрации, а сама процедура удаления тычинок у нута считается кропотливой и отнимающей много времени [11–13]. В-третьих, успех скрещивания критически зависит от внешних условий: оптимальная температура составляет 22–26 °C, тогда как повышение выше 30°C снижает выживаемость гибридов примерно на 40%, кроме того, важны влажность и точный выбор стадии развития бутона [12]. Правильный выбор родительских форм также играет ключевую роль. По литературным данным использование мелкосемянной материнской формы с фиолетовыми цветками повышает успех завязывания бобов, тогда как попытка использовать крупносемянную форму в качестве материнского генотипа снижает успех скрещиваний на 70–80% [12]. В совокупности эти биологические и методические факторы обусловливают традиционно низкую эффективность гибридизации у нута при использовании метода с кастрацией – от 3 до 10% [11, 14, 15].

Однако, даже при успешном проведении гибридизации часть полученных семян оказывается результатом самоопыления. Морфологические маркеры (например, окраска цветка или форма листьев) не всегда достаточны для различия гибридных растений, особенно когда родительские формы не имеют контрастных признаков [16]. В связи с этим необходимо использование STMS-маркеров, которые позволяют выявлять полиморфизм между родительскими генотипами и обеспечивать надежную идентификацию истинных гибридных растений. Данные маркеры представляют собой кодоминантные, высоковоспроизводимые и недорогие инструменты, позволяющие достоверно верифицировать истинные гибриды F1 [16, 17].

Целью исследования является повышение эффективности завязывания бобов у нута путём применения комплекса методов, включающего морфологический и молекулярный анализ родительских генотипов, сравнительную оценку различных способов гибридизации, а также молекулярно-генетическую верификацию гибридов F1 с использованием STMS-маркеров.

Материалы и методы

Объекты исследования

Материалом исследований служили 33 образца нута мировой коллекции, включающие экотипы «Дези» и «Кабули». Морфологическое описание каждого генотипа проводили согласно

классификации UPOV (2020) на основе визуального анализа не менее 20 семян и 5 растений в фазе массового цветения [18]. Анализировались следующие морфологические признаки: цвет венчика (белый или фиолетовый), размер семян (от очень мелких до очень крупных) и цвет семян (от кремового до черного).

Место проведения опытов и полевой эксперимент

Опыты по искусственной гибридизации цветков нута проводили на научно-полевом стационаре отдела зернобобовых культур Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) в 2024 и 2025 годах Стационар расположен в предгорной зоне Алматинской области (43.247618° с.ш., 76.679462° в.д., высота 740 м н.у.м.). Почва региона светлокаштановая, среднесуглинистая, с низким содержанием гумуса (1,6–1,9%). Климат Алматинской области континентальный, засушливый, с жарким летом и мягкой зимой. Посев родительских генотипов нута проводили в третьей декаде апреля. Каждый генотип высевали по 4 ряда длиной 1 п.м. с шириной междурядья 30 см. Норма высева составляла 20–25 семян на ряд. Эксперимент закладывали в условиях богары.

Метеорологические условия вегетационного периода нута

Погодные данные регистрировали автоматической метеостанцией iMetos (IMT300USW, Pessl Instruments, Австрия). Данные о среднесуточной температуре воздуха и количестве осадков за период с апреля по август 2024 и 2025 гг., в сравнении со среднемноголетними показателями представлены на рисунке 1.

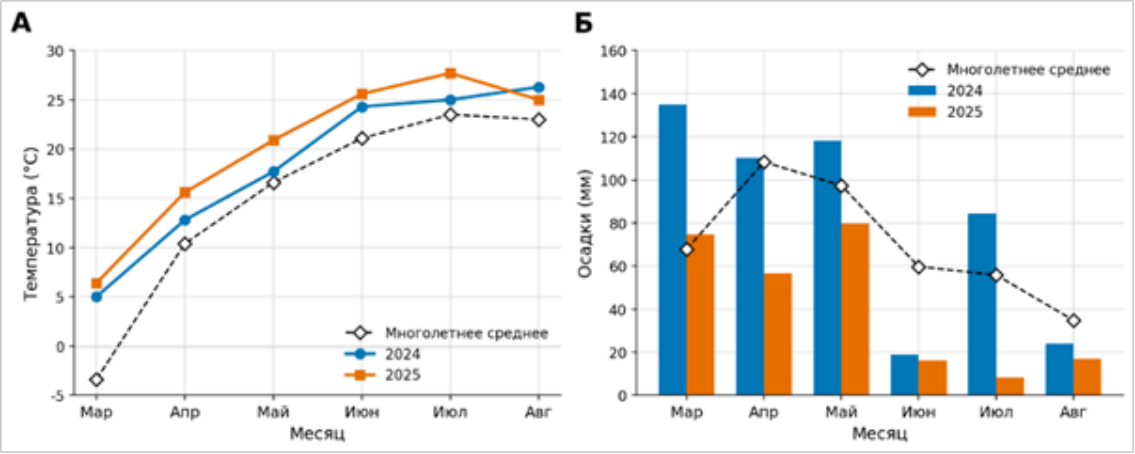


Рисунок 1. Динамика среднесуточной температуры воздуха (А) и количества осадков (Б) за вегетационные периоды нута (апрель–август) в 2024 и 2025 гг. в сравнении со среднемноголетними данными

В 2024 г. весна была аномально влажной (осадки за март-май – 368,0 мм, на 34% выше среднемноголетнего), а июнь – экстремально засушливым (19,7 мм, на 67% ниже среднемноголетнего). В 2025 г. количество осадков за март–май составило 214,4 мм, что на 22% ниже среднемноголетних значений. Температурный режим в оба года значительно не различался и был выше среднемноголетних значений на 1,3–4,0 °C.

Методы проведения искусственной гибридизации

Гибридизацию проводили в утренние часы (с 5:00 до 9:00). Все скрещивания выполнялись в период с третьей декады мая до второй декады июня, совпадающий с фазой массового цветения родительских генотипов.

В ходе исследований были апробированы четыре варианта искусственной гибридизации: с кастрацией пыльников цветка и без кастрации, а также их последующая обработка фитогормональным раствором. Для обработки использовали раствор регуляторов роста, содержащий гиббереллловую кислоту (GA3) в концентрации 120 мг/л, 1-нафтилуксусную кислоту (NAA) – 30 мг/л и кинетин – 15 мг/л. Состав и концентрации компонентов были выбраны согласно ранее опубликованной методике [19] и отдельно в настоящем исследовании не оптимизировались. Раствор опрыскивали три раза локально на опылённые цветки с помощью ручного пульверизатора сразу после опыления.

Выбор стадии развития цветка нута для гибридизации

Для проведения искусственной гибридизации мы использовали методику, разработанную *S. Kalve* и *M. Tadege* (2017) [12]. Авторы показали, что эффективность скрещивания во многом определяется правильным выбором стадии развития цветка для кастрации и опыления. Следуя их рекомендациям, для кастрации материнских растений мы применяли стадию бутона с сомкнутыми лепестками, на которой рыльце пестика уже сформировано и готово к восприятию пыльцы, тогда как пыльники остаются незрелыми и не содержат жизнеспособных пыльцевых зерен (рисунок 2, a–d).



Рисунок 2. Стадии развития цветка нута, использованные при искусственной гибридизации: a–d – бутон материнского генотипа F98-108 с сомкнутыми лепестками, выбранный для кастрации; e–g – полураскрытый цветок отцовского генотипа F98-108, использованный для сбора пыльцы; h – собранная пыльца. Фотографии были получены с использованием встроенной камеры смартфона Apple iPhone 14 Pro (Apple Inc., США) в режиме макросъёмки; разрешение исходных изображений составляло 4032 × 3024 пикселя

Это позволяет проводить кастрацию с минимальным повреждением женского гаметофита и практически полностью исключает риск самоопыления. Пыльцу отцовских растений собирали на стадии полураскрытого цветка. В этот период пыльца полностью созревает, приобретает ярко-жёлтую окраску и слегка клейкую консистенцию, что облегчает её сбор и перенос на рыльце (рисунок 2, e–h).

Молекулярно-генетический анализ

Для оценки генетического разнообразия родительских форм и подтверждения гибридности F1 использовали пять STMS-маркеров (TA37, TA194, TA110, TA96, TA27) с температурами отжига 55–62 °C (таблица 1).

Таблица 1. Список микросателлитных (STMS) маркеров, использованных для оценки генетического разнообразия нута и верификации гибридов F_1

Наименование маркера	Нуклеотидная последовательность (F/R)	T отжига	Диапазон фрагментов, п.н.
TA194	TTTTTGGCTTATTAGACTGACTT / TTGCCATAAAATACAAAATCC	55	100–350
TA110	ACACTATAGGTATAGGCATTTAGGCAA / TTCTTTATAAATATCAGACCGGAAAGA	55	250–450
TA37	ACTTACATGAATTATCTTTCTTGGTCC / CGTATTCAAATAATCTTTCATCAGTCA	55	110–430
TA27	GATAAAATCATTATTGGGTGTCCTTT / TTCAAATAATCTTTCATCAGTCAAATG	62	115–315
TA96	TGTTTTGGAGAAGAGTGATTC / TGTGCATGCAAATTCTTACT	62	285–600

ДНК выделяли из листьев 10-дневных проростков нутов по модифицированному методу *Dellaporta*, 1983 [20]. ПЦР (амплификатор Eppendorf Mastercycler pro) проводили в 20 мкл смеси, содержащей 100 нг ДНК; 10× ПЦР-буфер («Биолабмикс», Россия), смесь dNTP (по 2,5 мМ каждого нуклеотида); по 25 мМ прямого и обратного праймера; MgCl2 (2,5 мМ) и 1 U Taq-полимеразы («Биолабмикс», Россия). Амплификацию проводили по следующей программе: первичная денатурация при 94 °С в течение 3 мин; 35 циклов, включавших денатурацию при 94 °С в течение 15 с, отжиг праймеров при 55 или 62 °С в течение 20–40 с в зависимости от используемого STMS-маркера и элонгацию при 72 °С в течение 60 с; финальная элонгация при 72 °С в течение 5 мин. Продукты амплификации разделяли в 8%-ном полиакриламидном геле (Sigma Life Science, США), окрашивали бромистым этидием и визуализировали с использованием системы Quantum ST 4 (Франция). Гибридными считали растения, в генотипе которых выявлялись аллели обоих родительских форм (гетерозиготный паттерн).

Статистическая обработка данных

Для оценки генетического разнообразия 33 образцов нута использовали данные о длинах амплифицированных фрагментов, полученных с помощью пяти STMS-маркеров. Матрицы генетического сходства рассчитывали по евклидовой метрике. Кластеризация и построение дендрограммы выполнена по методу UPGMA на основе евклидовой метрики в программе Past v. 5.3.

Эффективность различных вариантов гибридизации оценивали по показателю завязываемости, который высчитывали как отношение количества успешно сформировавшихся бобов к общему числу опыленных цветков, выраженное в процентах:

$$\text{Завязываемость}(\%) = \frac{\text{Количество завязанных бобов}}{\text{Количество опыленных цветков}} \times 100\%$$

Для оценки статистической значимости различий в завязываемости бобов по каждому из двух факторов гибридизации (способ кастрации и фитогормональная обработка) использовали критерий χ^2 Пирсона для таблиц сопряжённости 2×2. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Расчёты были выполнены в программе JASP версии 0.98.1.0.

Результаты

Подбор родительских форм для проведения опытов гибридизации по морфологическим и молекулярным маркерам

В 2024–2025 годах проведён морфологический анализ 33 образцов нута коллекционного материала КазНИИЗиР. Оценку признаков осуществляли согласно классификации UPOV (2020) по параметрам окраса венчика, размера и цвета семян, а также продолжительности межфазного периода «бутонизация-цветение», выраженной в сутках (таблица 2).

Таблица 2. Морфологическая характеристика родительских форм нута

№	Наименование образца	Цвет венчика	Размер семени	Цвет семени	Период «бутонизация-цветение», сутки
1	Д 9033	белый	крупный	серо-коричневый	4
2	3333	фиолетовый	средний	черный	4
3	Мальхотра	фиолетовый	средний	темно коричневый	4
4	К-837	белый	крупный	серо-коричневый	4
5	Д 9905	белый	средний	серо-коричневый	4
6	28-Б	фиолетовый	средний	коричневый	4
7	К-859	фиолетовый	средний	коричневый	4
8	Д-8407	белый	крупный	серо-коричневый	4
9	Д-9022	белый	крупный	серо-коричневый	4

№ 3 (131)/2026 ISSN 3135-243X, 3135-2448

Продолжение таблицы 2

10	К-26	фиолетовый	мелкий	коричневый	4
11	К-1744	фиолетовый	средний	коричневый	4
12	23215	белый	средний	серо-коричневый	4
13	F 98-108	белый	очень крупный	кремовый	6
14	К-21	белый	средне-мелкий	светло-коричневый	4
15	К-1173	фиолетовый	средний	черный	4
16	F 98-130	белый	крупный	серо-коричневый	4
17	К-979	белый	крупный	серо-коричневый	4
18	К-284	фиолетовый	средний	коричневый	4
19	К-642	фиолетовый	средний	черный	4
20	31224	белый	крупный	серо-коричневый	4
21	F 97-50	белый	очень крупный	серо-коричневый	2
22	К-546	фиолетовый	средний	коричневый	10
23	К-104	фиолетовый	средний	коричневый	6
24	Д-10504	белый	средний	кремовый	4
25	F97-173	белый	крупный	кремовый	5
26	Сымбат	белый	крупный	кремовый	5
27	ICC-5135	фиолетовый	очень мелкие	зеленый	5
28	ICC-1164	фиолетовый	мелкие	желтый	4
29	ICC-1392	фиолетовый	мелкие	коричневый	4
30	ICC-708	фиолетовый	мелкие	коричневый	4
31	ICC-1083	фиолетовый	мелкие	красновато-коричневый	4
32	К-879	белый	крупные	кремовый	5
33	ICC-1161	фиолетовый	очень мелкие	желтый	5

Для наглядной демонстрации морфологического разнообразия родительских генотипов и полученных гибридных семян были выполнены фотофиксации семян. На рисунке 3 представлены семена родительских форм, использованных в скрещиваниях.



Рисунок 3. Морфологическое разнообразие семян родительских форм нута

По окраске венчика изученные образцы разделились на две основные группы: белоцветковые (18 генотипов) и фиолетово-цветковые (15 генотипов). Белоцветковые формы преимущественно представлены крупносемянными генотипами с серо-коричневой или кремовой окраской семян, что соответствует экотипу кабули (macrosperma). Фиолетово-цветковые формы характеризовались мелкими и средними семенами тёмных оттенков (коричневый, чёрный, красновато-коричневый, жёлтый, зелёный), что типично для экотипа дези (microsperma). Наиболее крупные семена отмечены у образцов F 98-108 и F 97-50, а самые мелкие – у ICC-5135 и ICC-1161. По срокам цветения большинство генотипов вступают в фазу бутонизации в период с 27 мая по 9 июня, цветение начинается с 1 по 13 июня. При этом, белоцветковые формы характеризовались более ранним цветением по сравнению с фиолетово-цветковыми, что учитывалось при планировании скрещиваний.

Для оценки генетического разнообразия образцов нута и объективного подбора контрастных родительских пар были использованы пять микросателлитных (STMS) маркеров: TA194, TA110, TA37, TA27 и TA96 [21].

Анализ аллельного разнообразия показал, что изученные маркеры существенно различаются по информативности. Наибольшим полиморфизмом характеризовались маркеры TA96 и TA194, каждый из которых выявил по 8 и 9 аллелей соответственно.

Маркер TA194 выявил ампликоны в диапазоне 100-340 п.н., а маркер TA96 показал длины в диапазоне 260-370 п.н. Это свидетельствует о высокой вариабельности данных локусов и их пригодности для дифференциации генотипов. Средний уровень полиморфизма отмечен для TA110 (4 аллеля) и TA27 (5 аллелей). Наименее информативным был TA37 (3 аллели), что ограничивает его использование для дифференциации близкородственных генотипов. Результаты ПЦР-анализа с использованием наиболее полиморфных маркеров TA194 и TA96 представлены на рисунке 4.

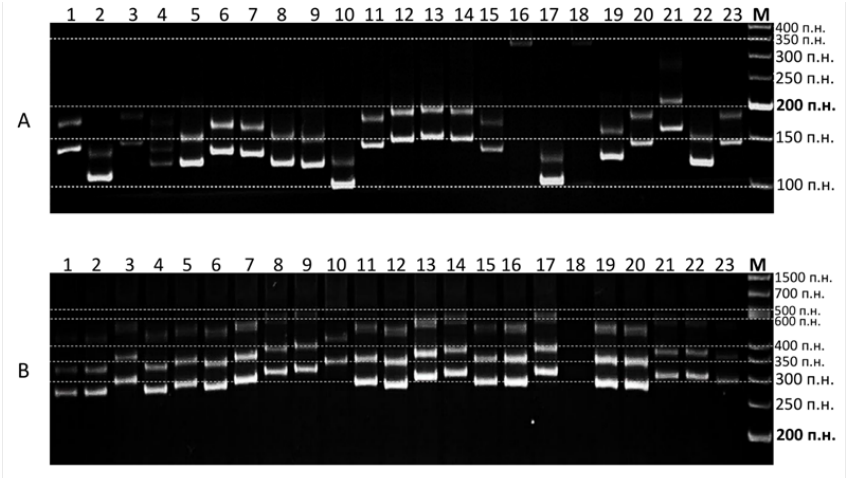


Рисунок 4. Электрофоретические профили продуктов ПЦР 23 родительских генотипов нута с использованием полиморфных STMS-маркеров: A – TA194; B – TA96. Обозначения дорожек: 1 – Д 9033; 2 – 3333; 3 – Мальхотра; 4 – К-837; 5 – Д 9905; 6 – 28-Б; 7 – К-859; 8 – Д-8407; 9 – Д-9022; 10 – К-26; 11 – К-1744; 12 – 23215; 13 – F 98-108; 14 – К-21; 15 – К-1173; 16 – F 98-130; 17 – К-979; 18 – К-284; 19 – К-642; 20 – 31224; 21 – F 97-50; 22 – К-546; 23 – К-104.

Анализ генетического разнообразия 33 образцов нута с использованием 5 STMS-маркеров позволил построить дендрограмму, на которой при дистанции около 300 все образцы разделились на два основных кластера (рисунок 5).

Первый кластер представлен образцами К-879, К-979 и К-642, которые значительно отличаются от остальной части выборки по большинству изученных маркеров. Второй кластер включает все остальные образцы и подразделяется на подкластеры, отражающие принадлежность к экотипам «Дези» и «Кабули», а также различия по морфологическим признакам. Высокий коэффициент копенетической корреляции (r = 0.9897) подтверждает надежность построенной кластеризации.

На основе комплексного морфологического и молекулярно-генетического анализа были выбраны генотипы Д9905, 28-5, Д-8407, К-859, F97-50, К-284, Д-10504, К-104, F98-108, К-979, F98-130 для гибридизации методом кастрации пыльников.

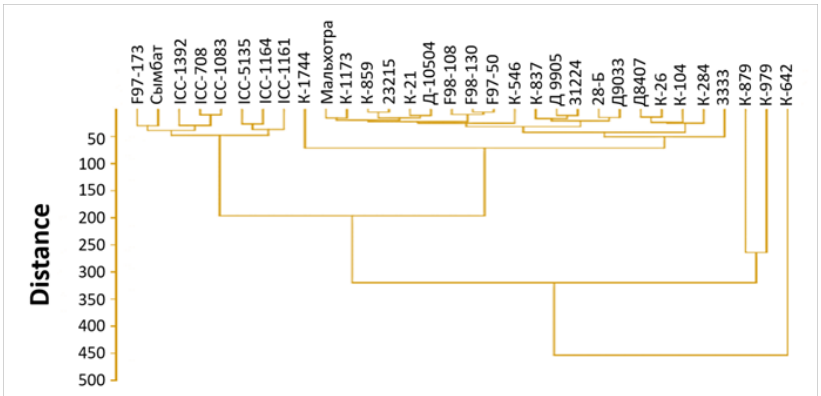


Рисунок 5. Дендрограмма генетического разнообразия 33 образцов нута по данным 5 STMS-маркеров

Результаты опытов скрещиваний

Гибридизация нута проводилась в течение двух этапов (2024–2025 гг.) на базе КазНИИЗиР. На первом этапе, в 2024 году выполнялись эксперименты гибридизации методом кастрации на выявление генотипов, наиболее отзывчивых к скрещиванию, а также родительских форм, оптимально подходящих в качестве материнских цветков. На втором этапе, в 2025 году на основе полученных результатов были отобраны наиболее перспективные генотипы и апробированы четыре варианта гибридизации. Объединённые результаты, полученные на обоих этапах исследования, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты гибридизации нута (*Cicer arietinum* L.) в 2024–2025 гг.

Этап	Год	Вариант гибридизации	Общее количество опылённых цветков	Завязывае-мость, (%)	Доля истинных гибридов (%)
С кастрацией					
1 этап	2024	Подбор родительских форм	680	6,2	87,5
С кастрацией					
2 этап	2025	Без фитогормонов	168	0,6	100
	2025	+ фитогормоны	181	3,3	100
	Без кастрации				
	2025	Без фитогормонов	181	4,4	60
	2025	+ фитогормоны	182	4,9	75

В опытах 2024 года всего было выполнено 680 скрещиваний методом кастрации, охватывающих 24 комбинации родительских пар. В каждой комбинации скрещивания проводили на 25–35 цветках. В результате завязалось 42 боба, что составило общую завязываемость 6,2% (таблица 3). В ходе экспериментов было установлено, что завязывание бобов происходило преимущественно на фиолетово-цветковых материнских формах (К-104, К-284, 28-Б).

Наиболее продуктивной оказалась комбинация ♀ К-104 × ♂ F 98-108, в которой завязываемость составила 25%. В комбинациях ♀ К-104 × ♂ Д-10504 и ♀ 28-Б × ♂ Д 9905 завязываемость составила 5,5% и 4,8% соответственно. При этом, среди 24 комбинаций с белоцветковыми материнскими формами завязывание бобов не было зафиксировано ни в одной из них.

По итогам гибридизации 2024 года, для дальнейших экспериментов были выбраны следующие генотипы К-104, F 98-108, F 98-130 и Д-10504. Данные генотипы завязали наибольшее количество бобов, а также являлись наиболее подходящими материнскими формами для кастрации. Полевые работы проводились в период с 28 мая по 11 июня в утренние часы (05:00–08:30) при температуре 14–27 °C и относительной влажности воздуха 33–80%.

В 2025 году исследования были направлены на совершенствование техники гибридизации нута. Для достижения этой цели провели сравнительную оценку четырёх вариантов скрещиваний, основанных на двух методах – с кастрацией и без кастрации материнских цветков. В каждом методе изучали влияние фитогормональной обработки.

Результаты опытов показали, что наиболее высокая завязываемость бобов отмечалась в вариантах без кастрации материнских цветков – от 4,4 до 4,9%. В вариантах с кастрацией этот показатель находился в пределах от 0,6 до 3,3%. А также следует отметить, что наибольший успех завязываемости бобов (4,9%) наблюдался в варианте гибридизации без кастрации с последующей фитогормональной обработкой (таблица 3).

Для раздельной оценки влияния каждого из изучаемых факторов результаты четырёх вариантов были объединены в две группы. При анализе влияния способа гибридизации данные вариантов с фитогормональной обработкой и без неё объединяли в зависимости от наличия кастрации. Аналогичным образом при оценке действия фитогормонов объединяли результаты, полученные при обоих способах обработки опыленных цветков. Статистическую значимость различий определяли с помощью критерия χ^2 Пирсона (таблица 4).

Таблица 4. Влияние метода гибридизации и фитогормональной обработки на завязываемость бобов нута (критерий χ^2 Пирсона)

Фактор	Вариант	n	Завязываемость, %	X^2	df	p
Метод гибридизации	С кастрацией	351	2,0	4,027	1	0,045
	Без кастрации	361	4,7			
Фитогормональная обработка	Без обработки	351	2,6	1,383	1	0,240
	С обработкой	361	4,5			

Примечание: n – количество опылённых цветков во всем опыте; χ^2 – критерий Пирсона; df – число степеней свободы; p – достигнутый уровень значимости

Объединённый анализ показал, что при проведении гибридизации без кастрации завязываемость бобов составила 4,7%, тогда как при использовании кастрации – 2,0%. Разница между вариантами достигла статистической значимости (χ^2 = 4,027; df = 1; p = 0,045). При использовании фитогормонов завязываемость бобов составила 4,5%, а без фитогормональной обработки – 2,6%. Однако, различия между вариантами статистически значимыми не являлись (χ^2 = 1,383; df = 1; p = 0,240). Поэтому полученные данные не позволяют сделать однозначный вывод о положительном влиянии фитогормональной обработки.

Молекулярная верификация гибридов

Молекулярная верификация с использованием маркеров TA96 и TA194 в 2024 году подтвердила гибридную природу у 87,5% растений F_1 (таблица 3). В экспериментах по подбору отзывчивых родительских генотипов все проверенные растения комбинаций К-104 (фиол.) × Д-10504 (бел.), 28-Б (фиол.) × Д 9905 (бел.) оказались 100% истинными гибридами (рисунок 6).

В 2025 году доля истинных гибридов составила 68,8%. Наибольшая доля истинных гибридов (75,0%) отмечена в методе без кастрации при добавлении гормональной обработки. Метод с кастрацией обеспечил 100% уровень гибридности (таблица 3). Общая доля истинных гибридов за два года составила 83,3%.

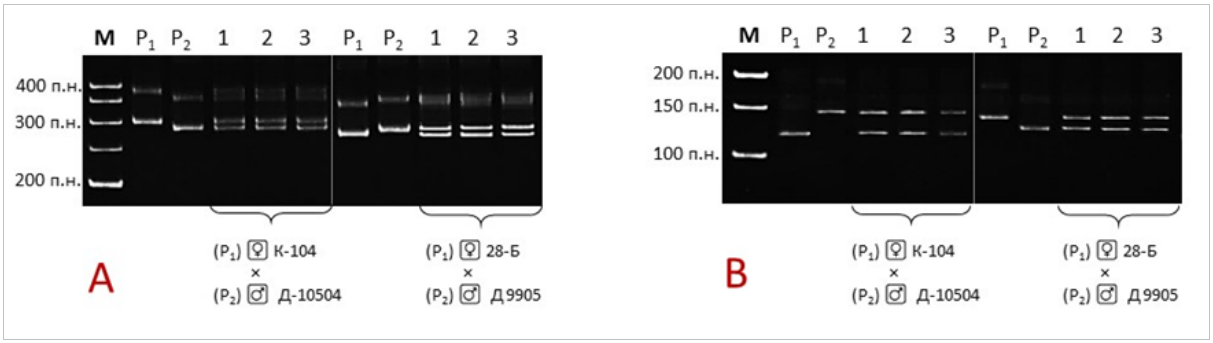


Рисунок 6. Результаты молекулярной верификации гибридов F1 с использованием STMS-маркеров TA194 (A) и TA96 (B) для комбинаций скрещиваний ♀ К-104 × ♂ Д-10504 и ♀ 28-Б × ♂ Д-9905; (Обозначения: M – ДНК-маркер молекулярных масс Step50 Plus (Биолабмикс, Россия); P1 – материнская форма; P2 – отцовская форма; 1, 2, 3 – анализируемые гибридные растения F1)

Обсуждение

Полученные в ходе эксперимента данные позволяют выделить несколько ключевых закономерностей, касающихся выбора родительских форм, методов гибридизации и роли фитогормональной обработки.

Влияние генотипа материнской формы. Отсутствие завязываемости у белоцветковых материнских форм при использовании кастрации, хотя и не являлось изначальной целью исследования, позволяет предположить, что фиолетово-цветковые формы могут быть более предпочтительными в качестве материнских при использовании метода кастрации. Однако, данный результат полностью согласуется с литературными данными и имеет чёткое физиологическое обоснование. Авторы сообщали, что использование мелкосемянной материнской формы с фиолетовыми цветками (антоциановая пигментация) повышает успех скрещивания, тогда как попытка использовать крупносемянную форму в качестве материнской снижает выживаемость скрещиваний на 70–80% [12]. Исследователи также экспериментально подтвердили, что процент завязываемости бобов значительно увеличивается, когда в качестве материнской формы используется мелкосемянный родитель [14]. При использовании мелкосемянной материнской формы завязываемость составила 43%, тогда как при использовании крупносемянной материнской формы этот показатель не превышал 8% [14].

Эффективность методов гибридизации. Более высокая завязываемость в методах без кастрации по сравнению с кастрацией подтверждает высокую чувствительность цветков нута к механическим повреждениям. Удаление пыльников травмирует ткани цветка, нарушает целостность сосудистой системы, может повреждать столбик и рыльце, что в совокупности препятствует оплодотворению. Авторы также отмечали, что кастрация не улучшает успех гибридизации и требует дополнительных временных затрат (около 10%), что делает её менее эффективной с точки зрения ресурсов [13]. В то же время наши показатели завязываемости (4,4–4,9%) ниже литературных данных (17–24%, что объясняется неблагоприятными погодными условиями юго-востока Казахстана в период проведения экспериментов [11].

Роль фитогормональной обработки. Применение смеси, содержащей NAA, кинетин и GA_3 в наших экспериментах, было направлено на комплексную поддержку репродуктивных процессов в стрессовых условиях. Согласно литературным данным, NAA (синтетический ауксин) предотвращает опадение цветков и завязей, стимулирует плодообразование и имитирует эффект опыления, индуцируя рост завязи [22, 23]. GA3 необходимы для нормального роста пыльцевых трубок и развития семян: в опытах *Singh* et al. (2002) снижение уровня гиббереллинов замедляло рост пыльцевых трубок и вызывало абортирование семян, а экзогенный GA3 частично восстанавливал эти процессы [24, 25]. Кинетин (цитокинин) стимулирует деление клеток и задерживает старение тканей [26, 27]. В наших экспериментах положительный эффект от обработки, вероятно, связан с компенсацией недостатка эндогенных фитогормонов, возникающего при высоких температурах и низкой влажности, что снижало риск абортирования

завязей. В отличие от оригинального протокола *Singh* et al. (2005), применявших трёхкратное опрыскивание плодоножки в течение трёх суток после гибридизации при межвидовых скрещиваниях, мы использовали мгновенную локальную обработку опылённых цветков, что также могло повлиять на конечные показатели [19]. Однако, следует отметить, что наблюдаемая тенденция к повышению завязываемости при фитогормональной обработке не достигла статистической значимости, что, вероятно, связано с ограниченным числом завязавшихся бобов и требует подтверждения в последующих испытаниях с большим объёмом выборки.

Молекулярная верификация и выбор стратегии гибридизации. Высокая доля истинных гибридов в 2024 году (87,5%), а также 100%-ная гибридность, подтверждённая для отобранных комбинаций (♀ К-104 × ♂ Д-10504 и ♀ 28-Б × ♂ Д-9905), свидетельствуют о корректном выполнении кастрации. В 2025 году доля истинных гибридов составила 68,8%. Снижение показателя связано с использованием метода без кастрации, при котором риск самоопыления значительно выше, так как пыльники материнского растения остаются в цветке. Однако, как показали наши результаты, именно метод без кастрации обеспечивает лучшую завязываемость (4,4–4,9%) по сравнению с методом кастрации (0,6–3,3%). А также наибольшая доля истинных гибридов (75,0%) отмечена в методе без кастрации при добавлении гормональной обработки. Метод с кастрацией обеспечил 100% уровень гибридности (таблица 3). Таким образом, перед селекционером возникает выбор – при методе без кастрации наблюдается более высокий успех завязываемости, тогда как кастрация даёт большую гарантию гибридного происхождения. Использование STMS-маркеров позволяет эффективно решать эту проблему, обеспечивая отбор истинных гибридов даже при использовании метода без кастрации.

Общая доля истинных гибридов за два года (83,3%) является высокой и свидетельствует об эффективности используемых методов гибридизации и молекулярной верификации. Этот показатель выше, чем в исследовании, где из 31 проверенного растения F1, истинными гибридами были подтверждены лишь 28,5% [17]. Авторы также отмечали, что в связи с частым самоопылением у нута идентификация истинных гибридов F1 с помощью молекулярных маркеров критически важна для создания правильных расщепляющихся популяций и ускорения селекционного процесса [17]. В то же время нами полученные результаты сопоставимы с результатами *Caballo* et al. (2018), которые сообщали о доле истинных гибридов 86–91% при использовании метода кастрации в различных селекционных программах [16].

Заключение

Проведённое в 2024–2025 г одах исследование было направлено на повышение эффективности гибридизации нута в условиях юго-востока Казахстана. На основе морфологического и молекулярного анализа 33 генотипов подтверждено высокое генетическое разнообразие коллекции, а STMS-маркеры TA96 и TA194 показали наибольшую информативность для дифференциации родительских форм.

Установлено, что завязываемость бобов при методе без кастрации была статистически значимо выше, чем при кастрации (4,7% против 2,0%). Фитогормональная обработка была ассоциирована с тенденцией к повышению завязываемости, однако различие не достигло статистической значимости и требует подтверждения на большей выборке. Даже при использовании более результативного варианта гибридизации, завязываемость не превысила значение 4,7%, что указывает на сохраняющуюся практическую проблему низкой эффективности гибридизации нута и необходимость дальнейшей методической оптимизации. А также, для достоверного подтверждения гибридной природы растений F1 необходима молекулярная верификация с использованием ДНК-маркеров.

Практическое применение: для практической селекционной работы рекомендуется использовать метод без кастрации, обеспечивающий статистически значимо более высокую завязываемость бобов, в сочетании с обязательной молекулярной верификацией гибридов. Дополнительное применение фитогормональной обработки может способствовать дальнейшему повышению завязываемости с учётом наблюдаемой тенденции, однако его эффективность требует подтверждения в последующих исследованиях. Предпочтение следует отдавать мелкосемянным фиолетово-цветковым материнским формам, а все работы проводить

в утренние часы при умеренных температурах и достаточной влажности для снижения стрессового воздействия погодных факторов.

Вклад авторов

Авторы АД, БМ: разработка методологии исследования, выполнение скрещиваний, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и написание рукописи. КБ: обеспечение экспериментальным материалом, организация и проведение полевых исследований, выполнение скрещиваний. РЕ: окончательная редакция и вычитка рукописи. Все авторы принимали участие в обсуждении результатов исследования и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Работа была выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по научно-технической программе BR22885414 «Создание высокопродуктивных сортов зернобобовых культур на основе методов современной биологии, разработка их сортовой технологии и первичного семеноводства».

Список литературы

1 Begum, N., Khan, Q.U., Liu, L.G., Li, W., Liu, D., Haq, I.U. (2023). Nutritional composition, health benefits and bio-active compounds of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1218468. DOI: 10.3389/fnut.2023.1218468.

2 Thudi, M., Roorkiwal, M., Kudapa, H., Chaturvedi, S.K., Singh, N.P., Varshney, R.K. (2017). An overview of chickpea research: from discovery to delivery. *Pulse India,* 2(5), 22–25.

3 Merga, B., Haji, J. (2019). Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1615718. DOI: 10.1080/23311932.2019.1615718.

4 Summo, C., De Angelis, D., Ricciardi, L., Caponio, F., Lotti, C., Pavan, S., Pasqualone, A. (2019). Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. *Journal of Food Composition and Analysis,* 84, 103306. DOI: 10.1016/j.jfca.2019.103306.

5 FAO. (2024). FAOSTAT Statistical Database. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* https://www.fao.org/faostat/en/#home

6 Zhanalieva, R.N., Bagbekov, R.K., Manglieva, Zh.Kh., Ergashheva, Sh.A. (2024). Izuchenie problem vodnykh resursov Kazakhstana i stran Tsentral'noi Azii [Studying the problems of water resources Kazakhstan and Central Asian countries]. *Journal of Advances in Engineering Technology,* 2(14), 58-65. [*In Russian*].

7 Zaman-Allah, M., Jenkinson, D.M., Vadez, V. (2011). A conservative pattern of water use, rather than deep or profuse rooting, is critical for the terminal drought tolerance of chickpea. *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4239–4252. DOI: 10.1093/jxb/err139.

8 Purushothaman, R., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H.D., Vadez, V., Varshney, R.K. (2017). Genotypic variation in soil water use and root distribution and their implications for drought tolerance in chickpea. *Functional Plant Biology*, 44(2), 235–252. DOI: 10.1071/FP16154.

9 Wood, J.A., Knights, E.J., Choct, M. (2011). Morphology of chickpea seeds (*Cicer arietinum L.*): comparison of desi and kabuli types. *International Journal of Plant Sciences*, 172(5), 632-643.

10 Genesys. (2026). *Plant Genetic Resources Gateway*. https://www.genesys-pgr.org/

11 Arora, P.P., Jeena, A.S. (2000). Hybridization method in chickpea. *Agric Sci Digest*, 20(4), 271–272.

12 Kalve, S., Tadege, M. (2017). A comprehensive technique for artificial hybridization in Chickpea (*Cicer arietinu*m). *Plant Methods*, 13(1), 52. DOI: 10.1186/s13007-017-0202-6.

13 Stefaniak, T., McPhee, K. (2017). Comparison of hybridization techniques in chickpea. *Crop Science*, 57(2), 843–846. DOI: 10.2135/cropsci2016.04.0253.

14 Anbessa, Y., Warkentin, T. (2005). On improving crossing success in chickpea. *PlantBreed*, 124, 608–609. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2005.01157.x.

15 Tullu, A., van Rheenen, H.A. (1989). Artificial cross pollination of chickpeas at Debre Zeit, Ethiopia. *Int Chick Newsl*, 2, 3–4.

16 Caballo, C., Castro, P., Gil, J., Izquierdo, I., Millan, T., Rubio, J. (2018). STMS (sequence tagged microsatellite site) molecular markers as a valuable tool to confirm controlled crosses in chickpea (*Cicer arietinum L.*) breeding programs. *Euphytica*, 214(12), 231. DOI: 10.1007/s10681-018-2314-0.

17 Surduse, B., Mohanapure, P.A., Khelurkar, V.C., Moharil, M.P., Sapkal, A.A., Jadhav, P.V., Ghorade, R.B. (2021). Molecular Characterization of chickpea genotypes and Identification of true hybrids by molecular markers. *International Journal of Agricultural and Applied Sciences*, 2(1), 41–49. DOI: 10.52804/ijaas2021.214.

18 UPOV. (2020). *Rukovodstvo po provedeniyu ispytanii na otlichimost', odnorodnost' i stabil'nost': Nut (Cicer arietinum* L.*)* (TG/143/5) [*Guidelines for conducting tests for distinctness, uniformity and stability: Chickpeas (Cicer arietinum* L.*)* (TG/143/5)]. Mezhdunarodnyi soyuz po ohrane novyh sortov rastenii, Zheneva.

19 Singh, S., Gumber, R.K., Joshi, N., Singh, K. (2005). Introgression from wild Cicer reticulatum to cultivated chickpea for productivity and disease resistance. *Plant Breeding*, 124(5), 477–480. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2005.01146.x.

20 Dellaporta, S.L., Wood, J., Hicks, J.B. (1983). A plant DNA minipreparation: version II. *Plant Molecular Biology Reporte*r, 1(4), 19-21.

21 Winter, P., Pfaff, T., Udupa, S.M., Hüttel, B., Sharma, P.C., Sahi, S., Arreguin-Espinoza, R., Weigand, F., Muehlbauer, F.J., Kahl, G. (1999). Characterization and mapping of sequence-tagged microsatellite sites in the chickpea (*Cicer arietinum L.*) genome. *Molecular and General Genetics MGG*, 262(1), 90–101. DOI: 10.1007/s004380051063.

22 Hasenstein, K.H., Zavada, M.S. (2001). Auxin modification of the incompatibility response in Theobroma cacao. *Physiologia Plantarum*, 112(1), 113–118. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2001.1120115.x.

23 Abebie, B., Lers, A., Philosoph-Hadas, S., Goren, R., Riov, J., Meir, S. (20*08). Differential effects of NAA and 2, 4-D in reducing floret abscission in Cestrum (*Cestrum elegans) cut flowers are associated with their differential activation of Aux/IAA homologous genes. *Annals of Botany*, 101(2), 249–259. DOI: 10.1093/aob/mcm115.

24 Singh, D.P., Jermakow, A.M., Swain, S.M. (2002). Gibberellins are required for seed development and pollen tube growth in *Arabidopsis. The Plant Cell*, 14(12), 3133–3147. DOI: 10.1105/tpc.003046.

25 Swain, S.M., Singh, D.P. (2005). Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. *Trends in Plant Science*, 10(3), 123-129.

26 Mok, D.W.S., Mok, M.C. (2001). Cytokinin metabolism and action. *Annual Review of Plant Biology*, 52(1), 89–118. DOI: 10.1146/annurev.arplant.52.1.89.

27 Kieber, J.J., Schaller, G.E. (2014). *Cytokinins*. The *Arabidopsis* Book. American Society of Plant Biologists, 12, e0168. DOI: 10.1199/tab.0168.

Морфологиялық және молекулалық маркерлерді пайдалану арқылы ноқаттың (*Cicer arietinum* L.) будандастыру техникасының тиімділігін арттыру және жетілдіру

Дженисбаева А.М., Майкотов Б.Н., Байтаракова К.Ж., Ержебаева Р.С.

«Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС
Алмалыбақ ауылы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Ноқат (*Cicer arietinum* L.) – әлемнің құрғақ және қуаң аймақтарында кеңінен өсірілетін маңызды дәнді-бұршақты дақылдардың бірі. Алайда гүлдерінің ұсақ болуы және репродуктивтік мүшелерінің механикалық зақымдануға жоғары сезімталдығы оның будандастырылуын қиындатады. Зерттеудің мақсаты морфологиялық және молекулалық маркерлерді біріктіре қолдануға негізделген кешенді тәсіл арқылы Қазақстанның оңтүстік-шығыс жағдайында ноқат будандастыруының тиімділігін арттыру болды.

Материалдар мен әдістер. 2024–2025 жылдары «Дези» және «Кабули» экотиптеріне жататын ноқаттың 33 генотиптері зерттелді. Ата-аналық формалардың генетикалық полиморфизмін бағалау үшін бес STMS-маркер (TA37, TA110, TA27, TA96 және TA194) пайдаланылды. Будандастырудың төрт әдісінің тиімділігі бұршаққаптардың байлану көрсеткіші бойынша

бағаланды, ал алынған ұрпақтың будандық табиғаты молекулалық маркерлердің көмегімен расталды.

Нәтижелер. Ата-аналық формаларды ажыратуда ең жоғары ақпараттылықты TA96 және TA194 STMS-маркерлері көрсетті, олар сәйкесінше 8 және 9 аллельді анықтады. Будандастыруды жасанды аталықсыздандыру жүргізгенде бұршаққаптардың байлану көрсеткіші 4,7%, ал кастрация қолданылғанда 2,0% болды. Әдістер арасындағы айырмашылық статистикалық тұрғыдан мәнді болды (χ^2 = 4,027; p = 0,045). Тәжірибенің жеке нұсқалары ішінде ең жоғары байлану көрсеткіші (4,9%) кастрациясыз будандастыруды GA3, NAA және кинетин фитогормондарының қоспасымен өңдеумен үйлестірген нұсқада байқалды.

Қорытынды. Ноқатты жасанды аталықсыздандыру будандастыру бұршаққаптардың жоғарырақ, бірақ практикалық тұрғыдан әлі де төмен байлануын қамтамасыз етеді, бұл әдістемені одан әрі оңтайландыру қажеттігін көрсетеді. Селекциялық тәжірибеде жасанды аталықсыздандырусыз әдісімен алынған будандарды міндетті түрде молекулалық талдаумен бірге қолдану ұсынылады, өйткені бұл әдісте нағыз будандардың үлесі жасанды аталықсыздандыру қолданылған әдіске қарағанда төмен.

Кілт сөздер: ноқат; будандастыру әдісі; молекулалық маркер; морфологиялық маркер; STMS-маркер.

Efficiency enhancement and technique refinement in chickpea (*Cicer arietinum* L.) hybridization using morphological and molecular markers

Assel M. Jenisbayeva, Bekzhan N. Maikotov, Kuralay Zh. Baitarakova, Raushan S. Yerzhebayeva

LLP «Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing», Almalybak, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important legume crops cultivated in arid regions worldwide; however, its hybridization is complicated due to the small size of its flowers and high sensitivity of reproductive organs to mechanical damage. The aim of the study was to enhance the efficiency of chickpea hybridization under the conditions of southeastern Kazakhstan through an integrated approach combining morphological and molecular markers.

Materials and Methods. Thirty-three chickpea genotypes of the “Desi” and “Kabuli” ecotypes were studied in 2024–2025. Five STMS markers (TA37, TA110, TA27, TA96, and TA194) were used to assess the genetic polymorphism of the parental genotypes. The efficiency of four hybridization methods was evaluated based on pod set, while the hybrid origin of the progeny was confirmed using molecular markers.

Results. STMS markers TA96 and TA194 were the most informative for differentiating the parental genotypes, detecting eight and nine alleles, respectively. The pod-set rate was 4.7% in crosses performed without emasculation and 2.0% in crosses performed with emasculation. The difference between the two methods was statistically significant (χ^2 = 4.027; p = 0.045). Among the individual experimental treatments, the highest pod-set rate (4.9%) was observed when crossing without emasculation was combined with treatment with a mixture of the phytohormones GA3, NAA, and kinetin.

Conclusion. Chickpea hybridization without emasculation resulted in a higher pod-set percentage, although the rate remained low in practical terms, indicating the need for further methodological optimization. For breeding purposes, the non-emasculation method should be combined with mandatory molecular verification of hybrids because the proportion of true hybrids obtained using this method is lower than that obtained with emasculation.

Keywords: chickpea; hybridization method; molecular marker; morphological marker; STMS marker.

UDC 574.91 **Research article**

Spatial organization, DNA barcoding, and DNA sample bank establishment of wild populations of *Malus sieversii* for genetic resource conservation of an endangered species

Symbat S. Islamova[1,2], Almagul A. Kakimzhanova[2], Damira A. Dyussembekova[2] Zhanar S. Nurgozhanova[3], Bayan D. Sadakova[4], Aidana S. Nurtaza[2]

[1]NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan
[2]LLP "National Center for Biotechnology", Astana, Kazakhstan
[3]State National Nature Park "Zhongar-Alatau", Sarkand, Kazakhstan
[4]State National Nature Park "Tarbagatai", Urzhar village, Kazakhstan

Corresponding author: Aidana S. Nurtaza: nurtazaaidana6@gmail.com
Co-authors: (1: SI) islamovasimbat@gmail.com; (2: AK) kakimzhanova@biocenter.kz, (3: DD) dussembekova.damira@gmail.com, (4: ZhN) zhanar.sabitovna@bk.ru; (5: BS) tarbaga-tayy@mail.ru

Received: 10.07.2026 **Accepted:** 15.09.2026 **Published:** 30.09.2026

Copyright: Islamova S.S. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. *Malus sieversii* (Ledeb.) *M. Roem.* is the primary wild progenitor of cultivated apple and is listed in the Red Book of the Republic of Kazakhstan as well as classified as Vulnerable by the IUCN. Conservation of its natural populations requires systematic monitoring and detailed characterization of their distribution and genetic resources. This study aimed to assess the spatial distribution, elevational patterns, and molecular identity of *M. sieversii* populations in the Zhongar-Alatau and Tarbagatai State National Nature Parks.

Materials and Methods. A total of 156 trees were surveyed. Geographic coordinates and elevation were recorded for each tree using GPS. The spatial structure of sampling points was analyzed using pairwise geographic distance matrices and visualized in QGIS. Elevational differences among sampling sites were evaluated using the Kruskal-Wallis test. Genomic DNA was extracted from leaf samples in triplicate to establish a DNA sample bank. Species identification was confirmed by DNA barcoding using the chloroplast markers trnH-psbA, matK, and rbcL.

Results. Geographic distance analysis revealed a hierarchical spatial structure of the sampled trees, comprising three spatial scales – local, subregional, and regional – that separated the Tarbagatai trees from those of Zhongar-Alatau. Elevational distribution differed significantly among sampling sites (Kruskal–Wallis test: $H = 74.10$, $p<0.001$). Trees in Zhongar-Alatau occurred at 1091–1461 m (1308 ± 104 m), whereas Tarbagatai trees occupied lower elevations (834–1119 m; 888 ± 87 m). DNA was successfully extracted from all 156 trees, and DNA barcoding of 11 representative samples confirmed species identity with 98–100% sequence similarity. All sequences were deposited in GenBank.

Conclusion. The geographic and ecological distinctiveness of the Tarbagatai population, together with the established DNA sample bank, provides a scientific basis for long-term monitoring and conservation of *M. sieversii* genetic resources in protected areas of Kazakhstan.

Keywords: *Malus sieversii*; wild populations; spatial distribution; elevational analysis; biodiversity monitoring; protected areas.

Introduction

Malus sieversii (Ledeb.) M. Roem. is a wild species of the genus *Malus*, which is the main ancestor of modern cultivated apple trees (M. × domestica Borkh.). The Central Asian origin of this species was first scientifically substantiated by *N.I. Vavilov* during expeditions in the 1920s and 1930s, when he

identified the mountainous regions of Kazakhstan as one of the world's centers of origin of cultivated plants [1, 2]. Academician *A.D. Dzhangaliyev* made an outstanding contribution to the study of this species, devoting more than 50 years to the comprehensive ecological and biological study of apple trees in Kazakhstan and the development of measures for their protection [3].

At the same time, over the past half century, the area of apple trees has decreased catastrophically: according to various estimates, from 70 to 80% of natural plantings in the vicinity of Almaty have been lost due to economic development of the territories [3]. The main threats to the species remain habitat fragmentation and degradation as a result of grazing, logging and urbanization, introgression of genes from cultivated varieties during cross-pollination, as well as damage to plantings by pests and diseases [4, 5].

Due to the unfavorable state of the population, *M. sieversii* is listed in the Red Book of the Republic of Kazakhstan and is also recognized as a vulnerable species in the IUCN Red List [6]. The species is included in the list of protected plants within state national natural parks in accordance with the Law of the Republic of Kazakhstan “On Specially Protected Natural Areas” (2006). Despite the existing protection system, many genetic reserves are experiencing degradation of stands, aging populations, and a decline in the proportion of young individuals, which threatens the natural regeneration of the species [7].

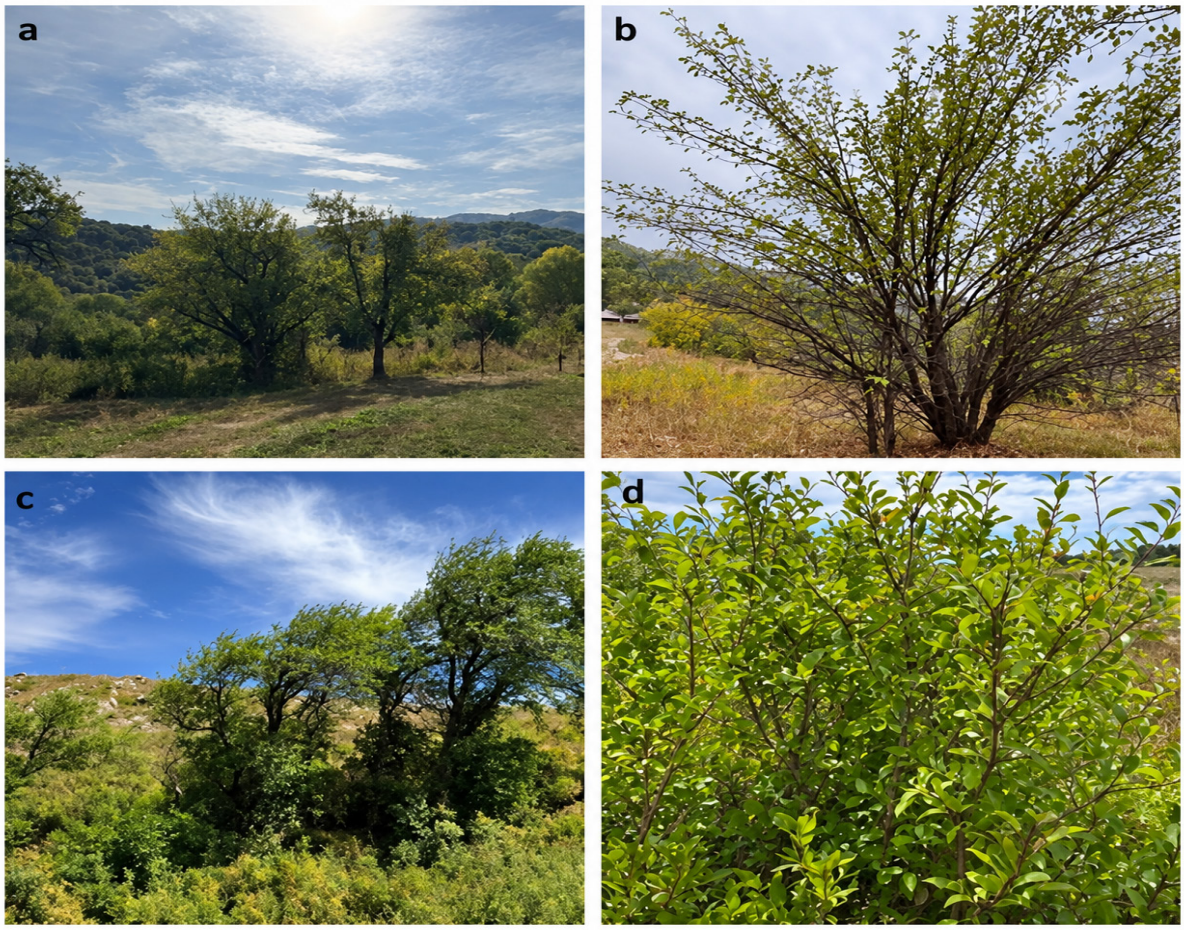
Systematic monitoring of natural populations is essential for developing scientifically sound conservation measures for *M. sieversii.* Spatial analysis of habitats allows us to identify patterns in the species' distribution, assess the degree of population fragmentation, and identify territorial units requiring priority attention [8]. Such data form the basis for planning environmental protection measures, organizing monitoring and rational management of genetic resources of wild fruit plants.

The aim of this study is a comprehensive characterization of wild populations of *M. sieversii* in the territory of the Zhongar-Alatau State National Park and the Tarbagatai State National Park, including an analysis of the spatial and elevational distribution based on expedition data and geoinformation analysis, as well as molecular genetic identification of samples using DNA barcoding and the formation of a DNA sample bank for the long-term preservation of the genetic resources of the endangered species.

Materials and Methods

Field research was conducted on the territory of the Zhongar-Alatau State National Nature Park (SNNP) and the Tarbagatai State National Nature Park (Figure 1). Within the Zhongar-Alatau State National Nature Park, sampling was carried out at three sites: the Alakol branch (Kokzharskoye forestry, trees 1–49), the Lepsinsky branch (Chernovskoye forestry, trees 50–91), and the Sarkansky branch (Topolevskoye forestry, trees 92–131). Additionally, trees 132–156 were collected on the territory of the Tarbagatai State National Nature Park. A total of 156 *M. sieversii* trees were examined.

Trees were selected at each site using a route-based method: routes were planned jointly with State National Nature Park staff, based on their knowledge of the locations of *M. sieversii* stands, and followed existing tracks and access paths within each forestry district; within each district, all accessible apple tree stands were surveyed on foot, and every tree encountered was recorded regardless of age or condition. No minimum distance threshold was imposed between sampled trees; within compact stands, neighbouring trees were recorded as little as 1–2 m apart. The surveyed stands within each site were spatially discrete, separated from one another by 0.5–16.7 km and reached via existing tracks and access routes; the survey therefore covered accessible apple tree stands identified along these routes rather than the complete area of the national parks. The combined length of the walking transects along which trees were recorded was approximately 3.0 km, distributed among 13 discrete stands (up to four within each of the three Zhongar-Alatau forestry districts and four within the Tarbagatai population), which together spanned approximately 213 ha (Kokzharskoye), 611 ha (Chernovskoye), 503 ha (Topolevskoye), and 2671 ha (Tarbagatai). Trees were identified as *M. sieversii* in the field with the assistance of State National Nature Park staff, who accompanied the survey team and indicated the locations of the species at each site. For each tree, the geographic coordinates (latitude, longitude) and elevation above sea level were recorded using a GPS receiver.



a, b – *M. sieversii* in the Zhongar-Alatau State National Park;
c, d – *M. sieversii* in the Tarbagatai State National Park

Figure 1. Collection of M. sieversii samples from wild populations in natural parks

The geographic coordinates of the sampling points were used for spatial visualization in the QGIS geographic information system (version 3.36), which made it possible to display the location of the points relative to the relief and boundaries of the study areas.

To quantify the spatial distribution of samples, a matrix of pairwise geographic distances between all sampling points was generated. Geodesic distances were calculated in Python using the GeoPy library. Heatmaps were constructed using the resulting matrix using the seaborn library: an aggregated matrix grouped by sites and a full matrix of distances between all points. To provide a generalized characterization of the spatial structure, average pairwise distances (M ± SD) between points in each pair of sites were calculated.

To characterize the elevational distribution of *M. sieversii*, the minimum, maximum, mean, and standard deviation (M ± SD) of elevation above sea level were calculated for each site. The statistical significance of differences in elevational ranges between sites was assessed using the nonparametric Kruskal-Wallis test. For pairwise comparisons, the Mann-Whitney test with Bonferroni correction for multiple comparisons was used (adjusted significance level $\alpha = 0.0083$). Data processing was performed using the Python libraries pandas, numpy, scipy, matplotlib, and seaborn.

DNA barcoding

DNA was extracted using the modified CTAB method (2% CTAB, 1.4 M NaCl, 0.2% 2-mercaptoethanol, 20 mM EDTA, 100 mM Tris–HCl, pH 8.0) [9]. The quality and quantity of extracted DNA were verified using an ultraviolet spectrophotometer (NanoDrop1000; Thermo Scientific, Wilmington, NC, USA), and each sample was diluted to 50 ng/µL in sterile distilled water. A PCR reaction mixture of 20 µL comprised the following: 3 µL of template DNA (50 ng), 2 µL PCR buffer (10 ×), 1 µL $MgCl_2$ (25 mM), 1.5 µL of both forward and reverse primers (10 pmol), 0.25 µL Dream Taq polymerase, 1 µL dNTPs (10 mM) and deionised distilled water. The primers were synthesised at the Laboratory for the Development of

Molecular Diagnostic Approaches at the National Center for Biotechnology. The PCR cycling conditions were as follows: 95 °C for 5 min for DNA denaturation; 35 cycles of 95 °C for 1 min, 52–58 °C for 1 min, and 72 °C for 1 min; and 72 °C for 10 min. The amplified PCR products were electrophoresed on a 1% agarose gel (1 × TBE buffer & 0.5 µg/mL ethidium bromide) to check for the presence or absence of bands.

Purification of the PCR products was performed using shrimp alkaline phosphatase (SAP) and ExoI (Thermo Scientific) enzymes. The reaction mixture (20 µL) contained 1 × SAP buffer, 10 µL of PCR product, 3 units of exonuclease ExoI, and 1 unit of SAP and was incubated at 37 °C for 30 min, followed by inactivation of the enzyme at 75 °C for 15 min. The initial incubation hydrolysed excess primers and dephosphorylated the nucleotides, and the second incubation inactivated the enzymes, minimising the loss of the PCR product so that further sequencing could be performed without further purification using the columns. DNA sequencing was performed using an ABI Prism BigDye Terminator reagent kit version 3.1 (Austin, TX, USA), followed by analysis of the reaction products on an automated sequencer (Applied Biosystems 3730 DNA Analyser, Tokyo, Japan). The nucleotide sequences of the analysed samples were retrieved and edited using SeqMan II (version 6.1; DNASTAR Inc., Madison, WI, USA).

Results

Field surveys showed that *M. sieversii* occurred throughout the investigated areas of Zhongar-Alatau and Tarbagatai State National Parks. The species was recorded both on slopes of varying steepness and in relatively flat areas, indicating that the surveyed trees were not restricted to a single topographic position. Nevertheless, their distribution within the study area was distinctly uneven.

Most of the recorded trees occurred either as isolated individuals or as small localized groups. Large continuous stands were virtually absent from the surveyed sites. The spatial distribution of the sampling points therefore had a fragmented and mosaic pattern. This pattern is also evident in Figure 2, where the sampling points form several spatially separated clusters corresponding to the investigated forestry districts.

Field observations further revealed differences in age structure among the four sites, assessed qualitatively in the field (young, mature, old); a quantitative demographic survey (e.g., diameter or height class distribution) was not conducted. Kokzharskoye contained both young and mature trees. Chernovskoye was dominated by mature and old trees. Topolevskoye, part of a protected gene reserve where livestock grazing is prohibited, contained the oldest trees recorded in the study, with apparently low natural regeneration. Tarbagatai, where livestock grazing is unregulated, contained mature trees alongside a comparatively large number of young individuals.

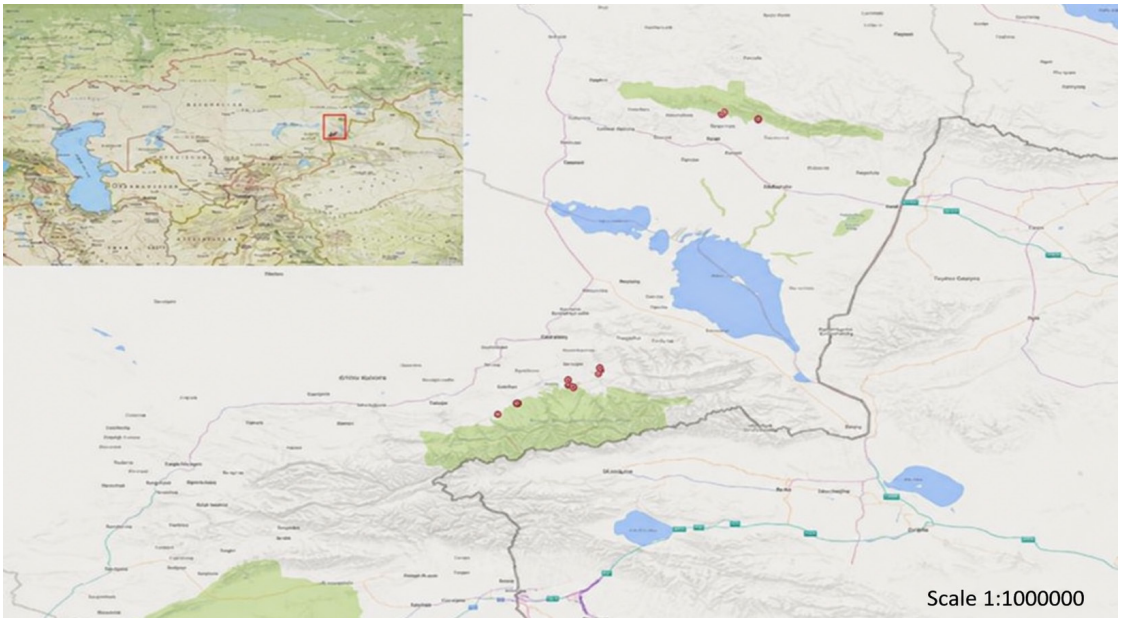


Figure 2. Spatial arrangement of sampling points on the territory of the Zhongar-Alatau State National Park and the Tarbagatai State National Park

The surveyed *M. sieversii* trees occupied a broad overall elevational range, extending from 834 to 1461 m above sea level. However, the elevation of the sampling points differed considerably between the two national parks.

In Zhongar-Alatau State National Park, the examined trees were recorded at elevations ranging from 1091 to 1461 m above sea level. The mean elevation was 1308 m, with a standard deviation of 104 m. Most sampling points in this national park were therefore located within the middle part of the total elevational range recorded during the study.

The elevational characteristics also differed among the three surveyed forestry districts of Zhongar-Alatau. In Kokzharskoye forestry, trees were recorded between 1266 and 1435 m above sea level, representing the narrowest elevational interval among the Zhongar-Alatau sites. In Chernovskoye forestry, the elevation ranged from 1209 to 1461 m, with the highest sampling point of the entire study recorded at this site.

Topolevskoye forestry occupied the broadest elevational interval among the Zhongar-Alatau sites. Trees were recorded from 1091 to 1457 m above sea level, giving a total elevational range of 366 m. This site also showed the greatest variation in elevation, with a standard deviation of 130 m. The minimum elevation recorded in Topolevskoye was 118 m lower than that in Chernovskoye and 175 m lower than that in Kokzharskoye. At the same time, the maximum elevations of all three Zhongar-Alatau sites were relatively similar and differed by no more than 26 m.

In Tarbagatai State National Park, the trees occurred at elevations of 834–1119 m above sea level. The mean elevation was 888 m, with a standard deviation of 87 m. Tarbagatai therefore occupied the lowest elevational position among all investigated sites. Its mean elevation was 420 m lower than the mean recorded for Zhongar-Alatau State National Park.

The maximum elevation recorded in Tarbagatai exceeded the minimum elevation of the Zhongar-Alatau dataset by only 28 m. Consequently, the elevational distributions of the two national parks showed only limited overlap at the boundary between the highest Tarbagatai and lowest Zhongar-Alatau sampling points. The difference was particularly pronounced when Tarbagatai was compared with Kokzharskoye and Chernovskoye, whose minimum elevations were 1266 and 1209 m, respectively.

Overall, the survey identified two main elevational patterns: a predominantly higher-elevation group represented by the three Zhongar-Alatau forestry districts and a lower-elevation group represented by Tarbagatai. A detailed summary of the elevational characteristics of each site is provided in Table 1.

Table 1. Elevation characteristics of *M. sieversii* habitats in the surveyed areas

Plot	Number of trees, pcs	Elevation range, m	M ± SD, m	Median, m
Kokzharskoye	49	1266–1435	1338 ± 65	1299
Chernovskoye	42	1209–1461	1331 ± 88	1329
Topolevskoye	40	1091–1457	1246 ± 130	1222
Tarbagatai	25	834–1119	888 ± 87	856
All trees	156	834–1461	1240 ± 185	–

Because the elevation data did not meet the assumptions required for parametric comparison, differences among the four sites were evaluated using the Kruskal–Wallis test. The analysis revealed highly significant differences in elevation among the surveyed sites ($H = 74.10$, $p < 0.001$). This result indicated that the sampling points from the four sites did not originate from identical elevational distributions.

Subsequent pairwise comparisons with Bonferroni correction showed that Kokzharskoye and Chernovskoye forestries did not differ significantly in elevation ($U = 956$, $p = 0.566$). This was the only nonsignificant pairwise comparison. Their similarity was also reflected in their overlapping elevational ranges of 1266–1435 m and 1209–1461 m, respectively.

All other pairwise comparisons revealed statistically significant differences ($p < 0.001$). Topolevskoye differed significantly from both Kokzharskoye and Chernovskoye, despite the overlap in their upper elevational limits. This distinction was associated with the broader elevational range of Topolevskoye and the occurrence of its sampling points at lower elevations.

Tarbagatai differed significantly from each of the three Zhongar-Alatau forestry districts ($p<0.001$). These comparisons confirmed that Tarbagatai represented a separate lower-elevation group within the surveyed dataset. Thus, both the descriptive statistics and nonparametric analysis demonstrated clear elevational differentiation among the study sites.

Spatial structure of sampling points

Pairwise geographic distances were calculated for all surveyed trees to quantify the spatial relationships within and among the sampling sites. The resulting distance matrix revealed a distinct block structure corresponding to Kokzharskoye, Chernovskoye, Topolevskoye, and Tarbagatai forestry districts (Figure 3).

The diagonal blocks of the matrix contained the smallest distance values and represented comparisons among trees sampled within the same site. Mean within-site distances ranged from 0.69 to 6.83 km. These values were substantially lower than the distances calculated between different sites, demonstrating that sampling points within each forestry district formed relatively compact spatial groups.

The small within-site distances were observed despite the fragmented occurrence of individual trees in the field. Thus, although trees were frequently represented by isolated individuals or small groups, the sampling points assigned to the same forestry district remained geographically closer to one another than to points from other districts.

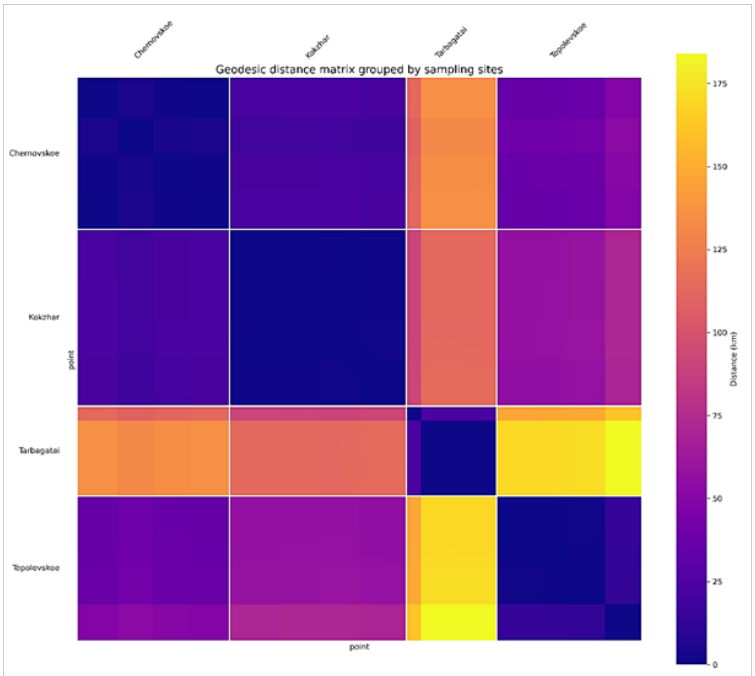


Figure 3. Matrix of pairwise geographic distances (km), grouped by sampling sites

The three Zhongar-Alatau forestry districts showed a gradual increase in pairwise geographic distances. The shortest inter-site distance was recorded between Kokzharskoye and Chernovskoye, with a mean value of approximately 20.87 km. Chernovskoye and Topolevskoye were separated by approximately 40 km, whereas the greatest distance within Zhongar-Alatau was recorded between Kokzharskoye and Topolevskoye, reaching approximately 60.90 km.

The distance between Kokzharskoye and Topolevskoye was therefore approximately three times greater than that between Kokzharskoye and Chernovskoye. Chernovskoye occupied an intermediate spatial position, being closer to Kokzharskoye than to Topolevskoye. This sequence was consistently reflected in both the aggregated and complete pairwise distance matrices.

The three forestry districts were distributed sequentially along the mountain system, with distances increasing progressively from Kokzharskoye through Chernovskoye to Topolevskoye.

Tarbagatai showed the greatest geographic separation from all other surveyed sites. Mean distances between Tarbagatai and the Zhongar-Alatau forestry districts ranged from 109.78 to 170.14

km. Even the shortest distance involving Tarbagatai was markedly greater than the maximum distance recorded among the three Zhongar-Alatau sites.

The maximum mean inter-site distance in the dataset was 170.14 km, recorded between Tarbagatai and the most distant Zhongar-Alatau site. These values clearly separated Tarbagatai from the cluster formed by Kokzharskoye, Chernovskoye, and Topolevskoye in the geographic distance matrix.

The contrast between within-site and between-region distances was especially pronounced. Within-site distances did not exceed a mean of 6.83 km, whereas distances between Tarbagatai and Zhongar-Alatau exceeded 100 km in all comparisons. Tarbagatai was therefore geographically isolated not only from individual forestry districts but from the entire group of Zhongar-Alatau sites.

Quantitative characteristics of the within- and between-site distances are presented in Table 2. The reported values represent mean distances calculated across all relevant pairs of sampling points, including the most distant points within and between the respective sites.

Analysis of the complete pairwise distance matrix was consistent with the patterns identified from the aggregated site-level data (Figure 4). Based on the magnitude of the pairwise distances, three spatial scales could be distinguished in the distribution of the surveyed trees; this grouping reflects the observed distance values rather than a formal statistical clustering analysis.

The first, local scale was represented by relatively compact clusters of sampling points within individual forestry districts. At this scale, the mean distances between trees were minimal and ranged from 0.69 to 6.83 km.

The second, subregional scale included the three forestry districts of Zhongar-Alatau State National Park. Their spatial arrangement was characterized by a consistent distance gradient of approximately 21–61 km, corresponding to their sequential positions along the mountain range.

The third, regional scale was represented by the separation of Tarbagatai from the Zhongar-Alatau sites. Mean distances at this level ranged from approximately 110 to 170 km and were considerably greater than distances observed within Zhongar-Alatau.

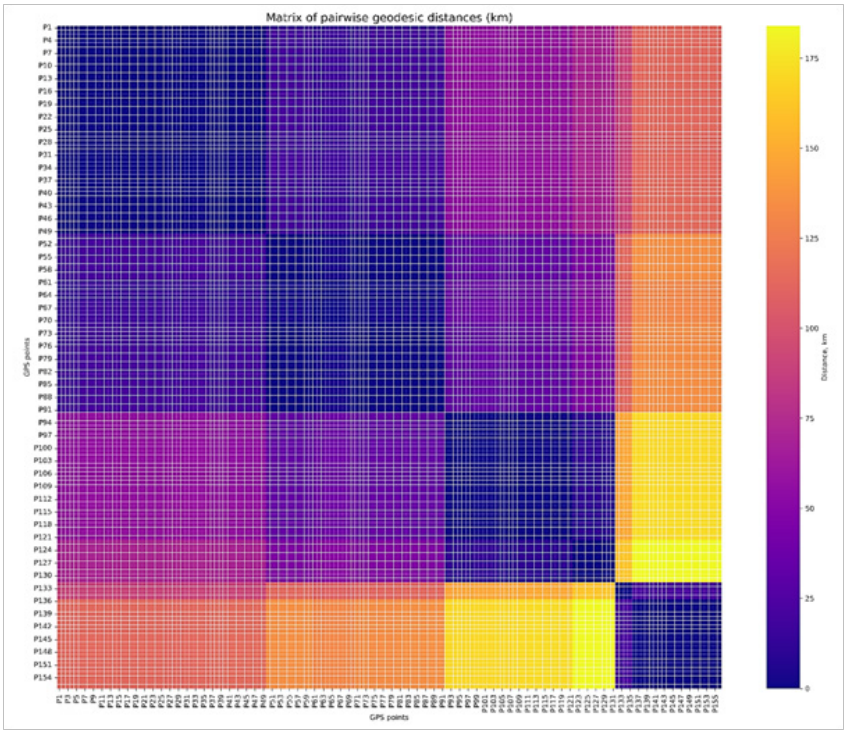


Figure 4. Complete matrix of pairwise geographic distances between all sampling points

Thus, the geographic distance analysis identified a structured rather than uniform distribution of the surveyed *M. sieversii* trees. The principal patterns included compact grouping within forestry districts, sequential spatial differentiation among the Zhongar-Alatau sites, and pronounced regional isolation of Tarbagatai.

Table 2. Average pairwise geographic distances (km) between sampling sites

Plot	Chernovskoye	Kokzharskoye	Tarbagatai	Topolevskoye
Chernovskoye	1.80	20.87	130.43	40.03
Kokzharskoye	20.87	0.69	109.78	60.90
Tarbagatai	130.43	109.78	6.83	170.14
Topolevskoye	40.03	60.90	170.14	5.61

DNA barcoding

To preserve the genetic resources of the wild *M. sieversii*, a DNA sample bank was created. DNA was extracted in triplicate from all 156 accessions collected during fieldwork using a modified CTAB method. The quality and concentration of the extracted DNA were monitored spectrophotometrically using a NanoDrop 1000 instrument (Thermo Scientific, USA); each sample was adjusted to a concentration of 50 ng/μL and stored at –20 °C in individually numbered tubes, each labelled with the tree identification number assigned during fieldwork, allowing every DNA sample to be traced back to its original tree and collection site. Thus, the DNA sample bank ensures long-term storage of genetic material from all surveyed *M. sieversii* populations from the Zhongar-Alatau and Tarbagatai State National Parks.

For molecular identification, DNA barcoding was performed using three chloroplast markers: rbcL, trnH-psbA, and matK, for 11 representative trees distributed across all four surveyed sites (three from Kokzharskoye, four from Chernovskoye, two from Topolevskoye, and two from Tarbagatai), together spanning most of the elevational range recorded at each site. These markers are standard for plant barcoding according to CBOL (Consortium for the Barcode of Life) recommendations and are widely used for species identification of wild fruit trees of the genus Malus.

The minimum and maximum length ranges (in base pairs, bp) for the trnH-psbA, matK, and rbcL regions were 231–420, 545–846, and 674–889, respectively. The average lengths of each region were 323.8, 758.2 and 766.5 bp, respectively. The GC content (%) for the trnH-psbA, matK, and rbcL regions ranged from 19.9 to 32.0%, 33.9 to 35.5%, and 42.3 to 43.7%, respectively. The mean GC values were 25.4%, 34.4%, and 42.6%, respectively (individual values for each of the 11 trees are given in Table 4). These GC content data are consistent with the known compositional properties of chloroplast markers in angiosperms: the trnH-psbA intergenic spacer is characteristically AT-rich, reflecting its non-coding nature, while the rbcL coding region shows substantially higher GC content, and matK occupies an intermediate position. All nucleotide sequences were manually edited using SeqMan II (version 6.1; DNASTAR Inc., Madison, WI, USA) to eliminate possible errors and improve the accuracy of the data. We used the BLAST method in the NCBI database to analyse the similarity of the obtained sequences; for each sequence, the top-ranking hit (best match) in the BLAST output was used to assess the degree of similarity with known reference sequences. The results showed a high level of similarity to the top hit, ranging from 98 to 100%, for all three markers. The sequencing results were uploaded to the international NCBI GenBank database, where each sample was assigned accession numbers for each of the three markers.

The resulting nucleotide sequences were uploaded to the international NCBI (National Center for Biotechnology Information) GenBank database, and accession numbers were assigned for the rbcL, matK and trnH markers (Table 3). This created a collection of nucleotide sequences, contributing to the global database of *M. sieversii* genetic resources in protected areas of Kazakhstan.

Table 3. NCBI GenBank Accession Numbers of rbcL, matK and trnH Sequences of *M. sieversii*

Sample	Accession Numbers		
	rbcL	matK	trnH
1	PZ462615	PZ462623	PZ469479
2	PZ462616	PZ462624	PZ469480
3	PZ452034	PZ462625	PZ469481
4	PZ452035	PZ462626	PZ469482
5	PZ452036	PZ462627	PZ469483
6	PZ452037	PZ462628	PZ469484

Continuation of Table 3

7	PZ452038	PZ462629	PZ469485
8	PZ452039	PZ462630	PZ469486
9	PZ452040	PZ462631	PZ469487
10	PZ452041	PZ462632	PZ469488
11	PZ452042	PZ462633	PZ469489

Table 4. Sequence length and GC content of the trnH-psbA, matK, and rbcL markers for the 11 genotyped *M. sieversii* trees, by sampling site (accession numbers given in Table 3)

Sample	Site	Elevation, m	trnH-psbA		matK		rbcL	
			bp	GC, %	bp	GC, %	bp	GC, %
1	Tarbagatai	1116	270	20.0	838	34.0	707	42.3
2	Tarbagatai	834	268	20.1	839	34.2	860	42.3
3	Kokzharskoye	1277	247	19.4	846	33.9	889	42.3
4	Kokzharskoye	1293	253	19.8	577	35.0	718	42.6
5	Kokzharskoye	1431	231	19.9	832	34.3	674	42.4
6	Chernovskoye	1212	291	22.0	838	34.0	863	42.6
7	Chernovskoye	1461	221	33.0	832	34.3	684	42.4
8	Chernovskoye	1457	253	23.7	539	35.1	726	42.4
9	Chernovskoye	1375	275	20.4	818	34.1	851	42.5
10	Topolevskoye	1231	294	21.8	813	34.1	712	42.4
11	Topolevskoye	1454	278	21.9	542	35.2	857	42.7

Discussion

Elevational distribution and ecological differentiation

The elevational distribution of M. sieversii recorded in Zhongar-Alatau State National Park is consistent with the established ecological range of the species. According to *A.D. Dzhangaliev*, wild apple forests in Kazakhstan occur mainly at elevations of 1000–1800 m, with the most favorable conditions found between 1200 and 1500 m [3]. Comparable elevations of 1000–1500 m have been reported by Yan et al. [10] for populations in *Xinjiang*, China, while *Richards* et al. [11] recorded M. sieversii at 1190–1760 m in the Dzungarian Range (Zhongar-Alatau) of Kazakhstan. The elevational ranges of Kokzharskoye and Chernovskoye forestries therefore fall within the recognized ecological optimum of the species.

The wider elevational range and greater variability observed in Topolevskoye forestry may reflect the pronounced topographic and environmental heterogeneity of the Sarkansky branch of the Zhongar-Alatau. *Zhang* et al. [12] identified temperature regime, particularly annual temperature range and seasonal variability, as one of the principal environmental factors determining the distribution of *M. sieversii* in the mountains of Central Asia. The variation observed in Topolevskoye may therefore be associated with differences in temperature and other environmental conditions along the local elevation gradient, although this hypothesis requires direct analysis of climatic and habitat variables.

The Tarbagatai population occupied a markedly lower elevational zone than the Zhongar-Alatau populations. Its observed range closely corresponds to that reported by *Richards* et al. [11] for the same region (890–1120 m). Those authors characterized the area as a dry continental forest exposed to winter temperatures as low as −40 °C and identified the Tarbagatai population as a distinct genetic cluster. The statistically significant elevational separation detected in the present study thus supports the ecological distinctiveness of this population.

The low-elevation position of the Tarbagatai population may also increase its vulnerability to climate change. Predictive models developed by *Zhu* et al. [8] indicate that suitable habitats for *M. sieversii* are likely to decline particularly in areas below 1000 m. Because a substantial proportion of

the surveyed Tarbagatai trees occurred below this threshold, this population may face a comparatively high risk of habitat contraction. The identification of Tarbagatai as an inadequately protected region by *Zhu* et al. [8] further emphasizes the need for targeted monitoring and conservation measures.

Population condition and fragmented distribution

Age structure differed among sites. Topolevskoye - part of a protected gene reserve where livestock grazing is excluded - contained the oldest trees recorded in this study and showed the lowest apparent regeneration, consistent with the findings of *Bekova* et al. [7], who identified stand degradation and senescence as major threats to *M. sieversii* populations in Zhongar-Alatau State National Park. In contrast, Tarbagatai, where livestock grazing is unregulated, contained a comparatively large number of young trees alongside mature individuals, suggesting more active regeneration despite the absence of formal protection from grazing; Kokzharskoye and Chernovskoye showed intermediate patterns. This contrast between a strictly protected but poorly regenerating site (Topolevskoye) and an unprotected but apparently more actively regenerating population (Tarbagatai) runs counter to the assumption that formal protection alone ensures successful natural regeneration, and is consistent with *Wang* et al. [13], who highlighted population aging and habitat degradation as continuing threats to wild apple populations in Kazakhstan despite formal protection.

The fragmented occurrence of isolated trees and small groups observed in the present study is not restricted to the surveyed forestry districts. Based on 8,344 occurrence records, *Zhu* et al. [8] estimated that the current distribution of *M. sieversii* in Central Asia is highly fragmented and covers approximately 49,956 km^2. *Zhang* et al. [12] likewise described the species as discontinuously distributed in mountain valleys of the arid regions of Central Asia and attributed this structure partly to climatic changes since the late Miocene. For Xinjiang populations, *Yan* et al. [10] reported a similarly discontinuous distribution confined to four principal regions. The spatial pattern observed in the present study therefore appears to reflect a broader characteristic of the species shaped by both historical processes and contemporary environmental conditions.

Fragmentation may restrict pollen and seed dispersal between local groups, potentially reducing gene flow and increasing genetic differentiation. However, geographic fragmentation alone does not demonstrate genetic isolation. Molecular genetic analyses are required to determine whether the spatially separated groups identified in this study also represent genetically distinct populations.

Spatial organization and conservation implications

The pairwise distance analysis revealed a hierarchical spatial structure spanning local, subregional, and regional scales (see Results).

This pattern is broadly consistent with the geographic structuring reported for *M. sieversii* in previous genetic studies. *Zhang* et al. [12] described a gradual east-to-west replacement of genetic lineages along the Tien Shan. *Yan* et al. [10] also found a significant relationship between genetic and geographic distances among *M. sieversii* populations. In their study, 83.1% of genetic variation occurred within populations and 16.9% among populations, indicating that substantial diversity is retained locally despite regional differentiation.

The pronounced spatial separation of Tarbagatai is particularly noteworthy. *Richards* et al. [11], based on 949 trees from eight sites in Kazakhstan, demonstrated geographic structuring among wild apple populations and identified Tarbagatai as genetically differentiated. *Volk* et al. [14] similarly reported that genetic differentiation among *M. sieversii* collection sites was associated with geographic location, while southern and southwestern populations showed greater admixture. Together with these previous genetic findings, the spatial isolation documented here supports the treatment of Tarbagatai as a distinct priority for monitoring.

Nevertheless, the present geographic analysis alone is insufficient to designate the four surveyed sites as independent conservation units. Such designation would require supporting evidence from population-genetic, demographic, and ecological analyses. At this stage, the four sites can more appropriately be regarded as separate monitoring units. Differentiated monitoring would make it possible to evaluate regeneration, stand condition, habitat change, and potential loss of connectivity within each area.

Overall, the results demonstrate that the surveyed *M. sieversii* populations are characterized by fragmented occurrence, uneven regeneration, hierarchical spatial organization, and pronounced

regional separation of Tarbagatai. These findings support the need for long-term site-specific monitoring and targeted in situ conservation, particularly in low-elevation and geographically isolated populations. In practical terms, priority should be given to regular monitoring of natural regeneration and stand condition at all four sites, to maintaining or restoring landscape connectivity between the fragmented stands to support pollen and seed dispersal, and to safeguarding the Tarbagatai population as a distinct conservation and monitoring priority given its combined geographic, elevational, and climatic vulnerability. The established DNA sample bank provides a practical basis for these efforts, enabling future genetic verification of restoration material, ex situ propagation, and, together with the ongoing project on disease resistance in wild Malus species, the selection of resistant genotypes for conservation breeding.

Conclusion

The study allowed us to characterize the spatial distribution and elevational range of wild *M. sieversii* (Ledeb.) M. Roem. in the Zhongar-Alatau and Tarbagatai State National Parks. During the fieldwork, 156 trees were examined at four sites, recording GPS coordinates and elevation.

M. sieversii populations are characterized by a fragmented hierarchical distribution: from compact local groups within forestry units (0.69–6.83 km) to a subregional gradient between the Zhongar-Alatau forestry units (21–61 km) and the Tarbagatai regional isolation (110–170 km). Elevation analysis revealed statistically significant differences between the sites (Kruskal-Wallis test: $H = 74.10$; $p < 0.001$): the Zhongar-Alatau forestry areas occupy higher elevations (1091–1461 m, M ± SD = 1308 ± 104 m), while Tarbagatai occupies a significantly lower elevational range (834–1119 m, M ± SD = 888 ± 87 m), which emphasizes not only its geographical but also its ecological isolation.

DNA was extracted from all 156 accessions in triplicate, and a DNA sample bank was created. DNA barcoding using the trnH-psbA, matK, and rbcL markers confirmed the species identity of all 11 analyzed samples (98–100% similarity to NCBI GenBank); the resulting sequences were deposited in GenBank and assigned accession numbers.

Age structure varied among sites, from the oldest trees and lowest apparent regeneration in the strictly protected, grazing-free Topolevskoye gene reserve to a comparatively large proportion of young trees in freely grazed Tarbagatai, highlighting the need for site-specific regeneration monitoring and restoration measures, particularly at Topolevskoye. The combination of field data, the DNA sample bank, and the nucleotide sequence collection forms a comprehensive basis for long-term monitoring and conservation of *M. sieversii* genetic resources in protected areas of Kazakhstan.

Authors' Contributions

AN: conceived and designed the study and acquired funding. SI and AK: developed the methodology and contributed to the interpretation of results, supervised the research. ZhN and BS: collected and prepared field samples. DD and AA: performed laboratory experiments, including DNA extraction, PCR amplification, and sequencing. AN and SI: conducted spatial analysis and data visualization. All authors contributed to the discussion, writing, and revision of the manuscript and approved the final version.

Information of funding

This research is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of the Republic of Kazakhstan for 2025–2027 No. AP26102807 «Study of wild and introduced populations of the endangered species *Malus niedzwetzkyana* and *Malus sieversii* for the selection of disease-resistant genotypes and the creation of in vitro collection for conservation».

References

1 Vavilov, N.I. (1926). *Centry proishozhdeniya kul'turnyh rastenii* [*Centers of origin of cultivated plants*]. L.: VIR, 248. [*In Russian*].

2 Cornille, A., Gladieux, P., Smulders, M.J.M., et al. (2012). New insight into the history of domesticated apple: secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties. *PLOS Genetics*, 8(5), e1002703.

3 Dzhangaliev, A.D. (2003). The Wild Apple Tree of Kazakhstan. *Horticultural Reviews*, 29, 63–303.

4 Forsline, P.L., Aldwinckle, H.S., Dickson, E.E., et al. (2003). Wild Apples and Fruit Trees of Central Asia. *Horticultural Reviews*, 29, 1–61.

5 Poyraz, I., Janisiewicz, W.J., Saftner, R., *et al.* (2021). Genetic Admixture in the Population of Wild Apple (Malus sieversii) from the Tien Shan Mountains, Kazakhstan. *Diversity*, 13(1), 29.

6 IUCN. (2007). Malus sieversii. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T32363A9693009. https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T32363A9693009.en

7 Bekova, R., Wennmann, J.T., Peil, A., *et al.* (2025). Assessment of genetic diversity and population structure of Malus sieversii and Malus niedzwetzkyana from Kazakhstan using high-throughput genotyping. *Tree Genetics & Genomes*, 21.

8 Zhu, Y., Luo, X., Watcharamongkol, S., et al. (2022). Wild Apples Are Not That Wild: Conservation Status and Potential Threats of Malus sieversii in the Mountains of Central Asia Biodiversity Hotspot. *Diversity*, 14(6), 489.

9 Doyle, J. (1991). *DNA protocols for plants. In Molecular Techniques in Taxonomy*. (eds Hewitt, G. M. et al.) Springer, NATO ASI Series, 57 283–293.

10 Yan, G., Long, H., Song, W., Chen, R. (2008). Genetic polymorphism of *Malus sieversii* populations in Xinjiang, China. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55, 171–181.

11 Richards, C.M., Volk, G.M., Reilley, A.A., et al. (2009). Genetic diversity and population structure in *Malus sieversii*, a wild progenitor species of domesticated apple. *Tree Genetics & Genomes*, 5, 339–347.

12 Zhang, H.X., Wen, Z.B., Wang, Q. (2022). Population genetic structure of *Malus sieversii* and environmental adaptations. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 46(9), 1098–1108.

13 Wang, N., Jiang, S., Zhang, Z., et al. (2018). Malus sieversii: the origin, flavonoid synthesis mechanism, and breeding of red-skinned and red-fleshed apples. *Horticulture Research*, 5,70.

14 Volk, G.M., Henk, A.D., Richards, C.M., Forsline, P.L., Chao, C.T. (2013). *Malus sieversii:* A Diverse Central Asian Apple Species in the USDA-ARS National Plant Germplasm System. *HortScience*, 48(12), 1440–1444.

Жойылып кету қаупі төнген *Malus sieversii* түрінің генетикалық ресурстарын сақтау мақсатында табиғи популяцияларының кеңістіктік ұйымдасуын зерттеу, ДНҚ-баркодтау және ДНҚ банкін қалыптастыру

Исламова С.С.[1,2], Какимжанова А.А.[2], Дюсембекова Д.А.[2], Нұрғожанова Ж.С.[3], Садакова Б.Д.[4] Нұртаза А.С.[2]

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ
Астана, Қазақстан
[2]«Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан
[3]«Жоңғар-Алатауы» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі, Сарқан, Қазақстан
[4]«Тарбағатай» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі, Үржар ауылы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. – мәдени алма сорттарының негізгі арғы тегі болып табылатын жабайы өсетін түр. Ол Қазақстан Республикасының Қызыл кітабына енгізілген және IUCN жіктемесі бойынша осал түр ретінде танылған. Бұл түрдің табиғи популяцияларын сақтау жүйелі мониторинг жүргізуді және олардың өсу орындарын жан-жақты сипаттауды талап етеді. Осы жұмыста «Жоңғар-Алатауы» және «Тарбағатай» мемлекеттік ұлттық табиғи парктері аумағында жүргізілген экспедициялық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты – *M. sieversii* популяцияларының кеңістіктік таралуын, өсуінің биіктік жағдайларын және молекулалық-генетикалық сипаттамаларын анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында 156 ағашқа зерттеу жүргізілді. Әрбір үлгі үшін GPS көмегімен географиялық координаттары мен теңіз деңгейінен биіктігі тіркелді.

Популяциялардың кеңістіктік құрылымы жұптық географиялық қашықтықтар матрицасы негізінде бағаланып, кейін QGIS бағдарламасында геоақпараттық өңдеу және визуализация жүргізілді. Зерттеу учаскелері арасындағы биіктік диапазондарының айырмашылығы Краскел-Уоллис параметрлік емес критерийі арқылы талданды. Жапырақ үлгілерінен үш қайталымда геномдық ДНҚ бөлініп алынды, оның негізінде ДНҚ үлгілерінің банкі қалыптастырылды. Түрлік сәйкестендіру хлоропласттық trnH-psbA, matK және rbcL маркерлері бойынша ДНҚ-баркодтау әдісімен расталды.

Нәтижелер. Кеңістіктік талдау зерттелген ағаштардың үш деңгейден тұратын иерархиялық кеңістіктік құрылымын көрсетті: жергілікті (орманшылықтар шегінде), субөңірлік (Жоңғар-Алатауы орманшылықтары арасында) және өңірлік (Тарбағатай популяциясының оқшауланууы). Биіктік талдауы зерттеу учаскелері арасындағы өсу биіктігінің статистикалық тұрғыдан мәнді айырмашылықтарын анықтады (Краскел–Уоллис тесті: H = 74,10; p<0,001): Жоңғар-Алатауы популяциялары неғұрлым жоғары биіктік белдеуінде (1091–1461 м, M ± SD = 1308 ± 104 м), ал Тарбағатай популяциясы неғұрлым төменгі биіктік белдеуінде (834–1119 м, M ± SD = 888 ± 87 м) таралған. Барлық 156 үлгіден үш қайталымда ДНҚ бөлініп алынып, ДНҚ үлгілерінің банкі қалыптастырылды. trnH-psbA, matK және rbcL маркерлері бойынша жүргізілген ДНҚ-баркодтау талданған 11 үлгінің түрлік сәйкестігін (98–100%) растады, ал алынған нуклеотидтік тізбектер NCBI GenBank дерекқорына тіркеу нөмірлері беріліп енгізілді.

Қорытынды. Алынған нәтижелер Тарбағатай популяциясының географиялық және экологиялық оқшауланғанын дәлелдейді. Қалыптастырылған ДНҚ банкімен бірге бұл деректер Қазақстанның ерекше қорғалатын табиғи аумақтарында *M. sieversii* түрінің генетикалық ресурстарын мониторингтеу мен сақтауға арналған сараланған іс-шараларды әзірлеудің кешенді ғылыми негізін құрайды.

Кілт сөздер: *Malus sieversii*; табиғи популяциялар; кеңістіктік таралу; биіктік талдауы; биоалуантүрлілікті мониторингтеу; ерекше қорғалатын табиғи аумақтар.

Пространственная организация, ДНК-баркодирование и создание банка ДНК диких популяций *Malus sieversii* для сохранения генетических ресурсов исчезающего вида

Исламова С.С.[1,2], Какимжанова А.А.[2], Дюсембекова Д.А.[2], Нургожанова Ж.С.[3], Садакова Б.Д.[4] Нуртаза А.С.[2]

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина» Астана, Казахстан
ТОО «Национальный центр биотехнологии», Астана, Казахстан
Государственный национальный природный парк «Жонгар-Алатау», Сарканд, Казахстан
Государственный национальный природный парк «Тарбагатай», село Уржар, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. – дикорастущий вид, являющийся основным предком культурных яблонь, занесённый в Красную книгу Республики Казахстан и признанный уязвимым видом по классификации МСОП. Сохранение природных популяций этого вида требует систематического мониторинга и детальной характеристики мест произрастания. В настоящей работе представлены результаты экспедиционных исследований на территории ГНПП «Жонгар-Алатау» и ГНПП «Тарбагатай», проведённых с целью описания пространственного распределения, высотных условий произрастания и молекулярно-генетической характеристики *M. sieversii.*

Материалы и методы. Обследовано 156 деревьев; для каждого образца зафиксированы GPS-координаты и высота над уровнем моря с использованием GPS. Пространственную структуру популяций оценивали на основе матрицы попарных географических расстояний с последующей геоинформационной обработкой и визуализацией в программе QGIS. Различия высотных диапазонов между участками анализировали с использованием непараметрического критерия

Краскела Уоллиса. Из листьев в трёх повторностях выделяли геномную ДНК, на основе которого был сформирован Банк ДНК-образцов. Видовую идентификацию подтверждали методом ДНК-баркодинга с использованием хлоропластных маркеров trnH-psbA, matK и rbcL.

Результаты. Пространственный анализ показал иерархическую пространственную структуру исследованных деревьев, включающую три уровня организации: локальный (внутри лесничеств), субрегиональный (между лесничествами Жонгар-Алатау) и региональный (обособление Тарбагатая). Высотный анализ выявил статистически значимые различия диапазонов произрастания между участками (тест Краскела-Уоллиса: H = 74,10; p<0,001): участки Жонгар-Алатау расположены на более высоких отметках (1091–1461 м, M ± SD = 1308 ± 104 м), Тарбагатай – к более низкому высотному поясу (834–1119 м, M ± SD = 888 ± 87 м). Для всех 156 образцов в трёх повторностях выделена ДНК и сформирован Банк ДНК-образцов; ДНК-баркодинг по маркёрам trnH-psbA, matK и rbcL подтвердил видовую принадлежность всех 11 проанализированных образцов (98–100%), полученные последовательности депонированы в GenBank с присвоением инвентарных номеров.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о географической и экологической обособленности популяции Тарбагатая и в совокупности с созданным Банком ДНК формируют комплексную основу для разработки дифференцированных мер по мониторингу и сохранению генетических ресурсов *M. sieversii* на охраняемых территориях Казахстана.

Ключевые слова: *Malus sieversii*; дикорастущие популяции; пространственное распределение; высотный анализ; мониторинг биоразнообразия; охраняемые природные территории.

UDC 631.445.4:631.433.53:631.5(045) **Research article**

Effects of treatment systems on carbon dioxide emissions and the agrochemical state of chernozems

Grigoriy A. Zvyagin[1], Akhylbek K. Kurishbaev[2], Sayagul O. Kenzhegulova[1]
Dilmurat Yerzhan[1], Gulaiym N. Aimukhambet[2], Zhanna S. Almanova[2]

[1]NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan
[2]NJSC "Kazakh National Agrarian Research University", Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: Sayagul O. Kenzhegulova: saya_keng@mail.ru
Co-authors: (1: GZ) regor1984111@rambler.ru; (2: AK) akylbekkk_17@mail.ru, (3: YD) Yerzhan.dilmurat@mail.ru; (4: GA) gulaiym.aimukhambet@kaznaru.edu.kz, (5: ZhA) almanova44@mail.ru

Received: 30.07.2026 **Accepted:** 16.09.2026 **Published:** 30.09.2026

Copyright: Zvyagin G.A. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. Organic carbon dynamics and carbon dioxide (CO_2) emissions of soil are important indicators of soil functioning and the sustainability of agricultural systems. In Northern Kazakhstan, intensive soil cultivation and contrasting climatic conditions may influence the mineralization of soil organic matter and soil nutrient availability. Conservation tillage practices, including no-till, may contribute to maintaining carbon in soil and soil fertility; however, their effects on CO_2 emissions and agrochemical properties of ordinary chernozem under regional conditions remain studied insufficiently. To evaluate the effects of soil tillage systems and mineral fertilization on the intensity of carbon dioxide (CO_2) emissions and agrochemical properties of ordinary chernozem under the conditions of Northern Kazakhstan.

Materials and Methods. Field experiments were conducted during 2024–2025 at the Karabalyk Agricultural Experimental Station on ordinary chernozem soil. Conventional tillage and no-till systems, as well as fallow treatment, were analyzed under unfertilized (control) and mineral fertilizer (N30P20) conditions. The intensity of CO_2 emissions of the soil was determined at the main growth stages of spring wheat. Humus content, nitrate nitrogen (N-NO_3), available phosphorus (P_2O_5), and exchangeable potassium (K_2O) were also determined.

Results. The intensity of soil CO_2 emissions depended on the tillage system and mineral fertilization. The highest CO_2 emission was recorded at the tillering stage, reaching 25.0 g CO_2 /m-2 under conventional tillage with the use of mineral fertilizer. By the end of the growing season, CO_2 emissions decreased to 2.1-4.1 g CO_2/m-2. Higher temperatures in 2025 enhanced organic matter mineralization and stimulated carbon cycling. Compared to conventional tillage, the no-till system maintained more stable humus content and mineral nutrient levels.

Conclusion. The no-till system combined with mineral fertilization contributes to the preservation of soil fertility and the stabilization of the soil carbon regime, thereby improving the efficiency of sustainable farming systems under the Northern Kazakhstan conditions.

Keywords: no-till; soil; mineral fertilizers; carbon dioxide emissions; humus; soil agrochemical properties.

Introduction

Located at the interface of the atmosphere, lithosphere, and biosphere, soil plays a pivotal role in the biogeochemical cycling of CO_2 and other gases [1]. It is the principal reservoir of organic carbon and serves as one of the major sinks for atmospheric CO_2 through carbon sequestration. Soil carbon sequestration is recognized as an important scientific and technological approach for mitigating accumulation of atmospheric carbon dioxide. The amount of carbon stored in soils (approximately 1400–1500 Gt C) is about twice the amount contained in the atmosphere [2]. Carbon is accumulated

in the soil through photosynthesis, during which atmospheric CO_2 is absorbed by plant leaves and subsequently incorporated into soil organic matter [3, 4, 5]. According to some researchers, approximately 25–40% of atmospheric carbon dioxide emissions originate from soil respiration [6].

In the global cycle carbon continuously moves between the soil and the atmosphere. According to numerous studies, annual carbon emissions from soils to the atmosphere in the form of carbon dioxide are estimated at 50–77 Gt C per year [6, 7]. The flax of carbon dioxide from the soil is primarily driven by the respiration of soil microorganisms, plant roots, and soil fauna [8]. Soil respiration constitutes a major component of carbon dioxide release from soils and includes root respiration, respiration of soil fauna, and the microbial decomposition of organic matter. It is influenced by numerous abiotic factors, such as soil temperature and moisture, as well as biotic factors, including the diversity and productivity of soil organisms [5, 9].

Agricultural use of soils significantly alters the carbon cycle and increases the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Soil cultivation, particularly plowing, intensifies greenhouse gas emissions from chernozem soils, resulting in a reduction of soil carbon stocks by 30–50% of their original content over the past 50 years. Carbon emissions to the atmosphere resulting from such soil transformation have been estimated at approximately 1,14 ± 0,18 Gt C per year [8, 10]. In addition, carbon dioxide emissions from agricultural soils vary, depending on the intensity of land use and the interaction with the weather conditions. These emissions are determined by the specific characteristics of the soil cover, agricultural practices, cultivation technologies, plant species composition, vegetation density, and the physiological state of plants.

The primary factor influencing changes in carbon dioxide (CO_2) emissions is the tillage system. Conservation tillage promotes the preservation of soil organic carbon by reducing soil aeration and slowing the mineralization of organic residues. No-till is considered one of the most effective practices for increasing carbon sequestration from the atmosphere into plants and soil due to lower CO_2 emissions [11]. Under this system, the soil structure and surface layer remain undisturbed, while CO_2 is kept or sequestrated through crop residues, root system, and soil microbial processes. In addition, no-till helps mitigate both wind and water erosion [12, 13]. In contrast, conventional tillage leads to a decline in soil humus content, deterioration of soil structure, increased soil aeration, and accelerated decomposition of organic matter, resulting in higher carbon dioxide emissions from the soil [14, 15].

Plant mineral nutrition, particularly nitrogen fertilization, is one of the key factors regulating the carbon cycle. The application of nitrogen fertilizers influences soil processes by stimulating plant growing and development, increasing crop productivity, and enhancing both biological activity and the mineralization of organic matter. This phenomenon is known as the “priming effect”, whereby the addition of mineral nitrogen accelerates the decomposition of soil organic carbon, leading to increased carbon dioxide emissions from the soil.

According to *Cherkasov* et al., carbon losses and CO_2 emissions from soils under different environmental and management conditions remain studied insufficiently [16].

Purpose of the study: to determine the effects of soil tillage systems and mineral nutrition on CO_2 emissions, organic matter transformation, and the agrochemical status of ordinary chernozem in Northern Kazakhstan.

Research objectives: to investigate the seasonal dynamics of CO_2 emissions under different soil tillage systems; to determine changes in humus content, soil organic carbon, and its fractional composition; to access the dynamics of the main soil agrochemical properties, including nitrate nitrogen ($N\text{-}NO_3$), available phosphorus (P_2O_5) and exchangeable potassium (K_2O); to evaluate the effects of mineral fertilization and weather conditions on the mineralization of soil organic matter; to substantiate the effectiveness of conservation farming practices in regulating the soil carbon regime and maintaining the fertility of ordinary chernozem soils.

Materials and Methods

The study was conducted on ordinary chernozem soils located in the steppe zone at Karabalyk Agricultural Experimental Station LLP Karabalyk district, Kostanay region, Kazakhstan.

The field experiment was established on an agricultural landscape represented by medium-depth ordinary chernozem soils formed under the conditions of a temperate continental climate during 2024–2025 at the Karabalyk agricultural experimental station, Nauchny settlement, Karabalyk district,

Kostanay region. Experimental plots were established according to the experimental design, including conventional tillage and no-till systems.

The experiment comprised control plots (without fertilizer application) and plots treated with nitrogen and phosphorus fertilizers at a rate of N30P20. A fallow treatment without mineral fertilizer application was also included in the experimental design. Each experimental plot measured 52 × 6 m (0.0312 ha) and the total experimental area was 0.2 ha (Table 1). Sowing and fertilizer application were carried out during the first ten days of May using spring wheat as the test crop. Ammophos and ammonium nitrate were applied to the fertilized plots at a rate of N30P20.

Table 1. Experimental design

Conventional tillage Control (without fertilizer application)	Conventional tillage Ammonium nitrate (N30), ammophos (P20)	No-till Control (without fertilizer application)	No-till Ammonium nitrate (N30), ammophos (P20)	Fallow plot

To assess soil fertility prior to establishing the field experiment, a soil profile was excavated on a watershed site and soil samples were collected from each genetic horizon for laboratory analysis. The soil profile exhibited weak differentiation between horizons, while a distinct boundary based on color was observed between the plow layer and the B_1 horizon. The combined thickness of the humus horizons (A + B_1) was 46 cm, classifying the soil as medium-platy structure in the Ap and B_1 horizons, gradually changing to a platy structure in the B_2 and BC horizons. Soil bulk density increased with depth, ranging from loose in the upper horizons to dense in the lower part of the profile. Strong effervescence with 10% hydrochloric acid (HCl) was observed from a depth of 45 cm, indicating the presence of carbonates. Carbonate accumulations in the form of impregnations were identified in the BC horizon.

Ordinary chernozem with a humus content exceeding 4% is classified as low-humus soil, indicating a moderate level of fertility and certain limitations in the accumulation of soil organic matter. The heavy loam texture developed on loess-like loam provides high water-holding capacity and considerable buffering capacity, contributing to the resilience of the agricultural landscape under drought conditions.

The experiment was conducted throughout the growing season from May to September and CO_2 emissions were measured using Shtanov's method [17].

According to the experimental design, soil samples were collected during the growing season from each treatment in three replicates for the analysis of the chemical, agrophysical and physicochemical properties of the soil under different agricultural management practices and analyzed using standard analytical procedures. Nitrate nitrogen (N-NO_3) was determined by the ionometric method, available phosphorus (P_2O_5) and exchangeable potassium (K_2O) by the Machigin method, humus by the Tyurin method, total nitrogen by the Kjeldahl method and soil organic carbon together with its fractions (labile carbon, humic acid carbon, and fulvic acid carbon) using conventional methods for soil organic matter fractionation [18]. All analytical determinations were performed in accordance with the relevant interstate State Standards (GOST) adopted and applied in the Republic of Kazakhstan. The experimental data were processed using descriptive statistical methods. Analysis of variance (ANOVA) was applied to evaluate the effects of soil tillage systems and mineral fertilization on the studied parameters and differences between treatment means were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results

Meteorological conditions during 2024–2025 were characterized by significant deviations from the long-term average. In 2024, the mean annual air temperature was +3.8 ºC, increasing to +5.8 ºC in 2025, compared to the long-term average of +2.9 ºC. These data indicate warmer than average conditions during the study period, particularly in the spring of 2025. The highest air temperatures were recorded in June and July (19.4–20.7 ºC), which promoted the intensification of biological processes in the soil (Figure 1).

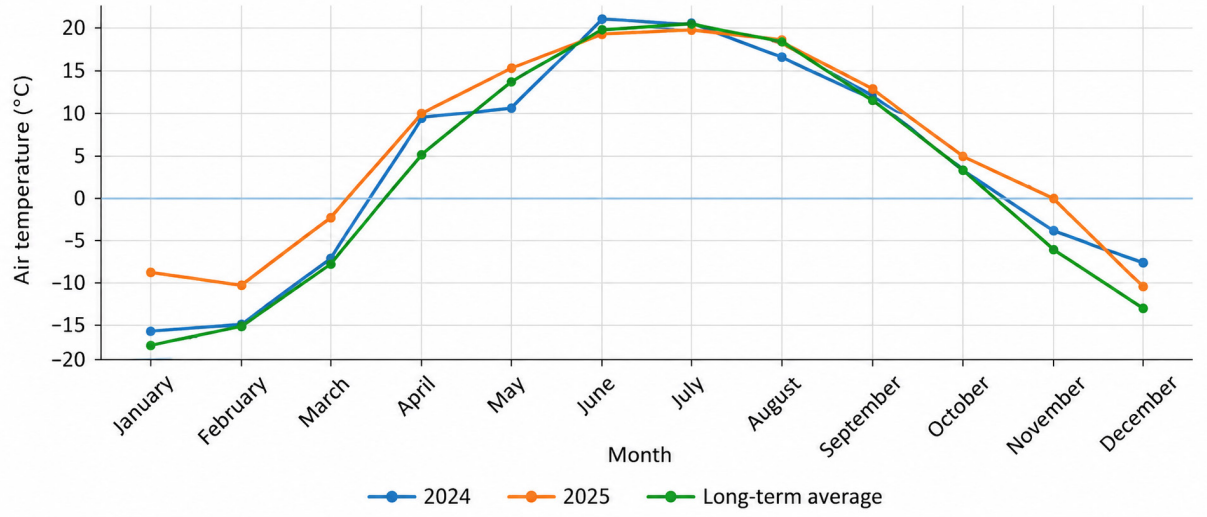


Figure 1. Average monthly air temperature in 2024–2025 and the long-term average at the Karabalyk Agricultural Experimental Station

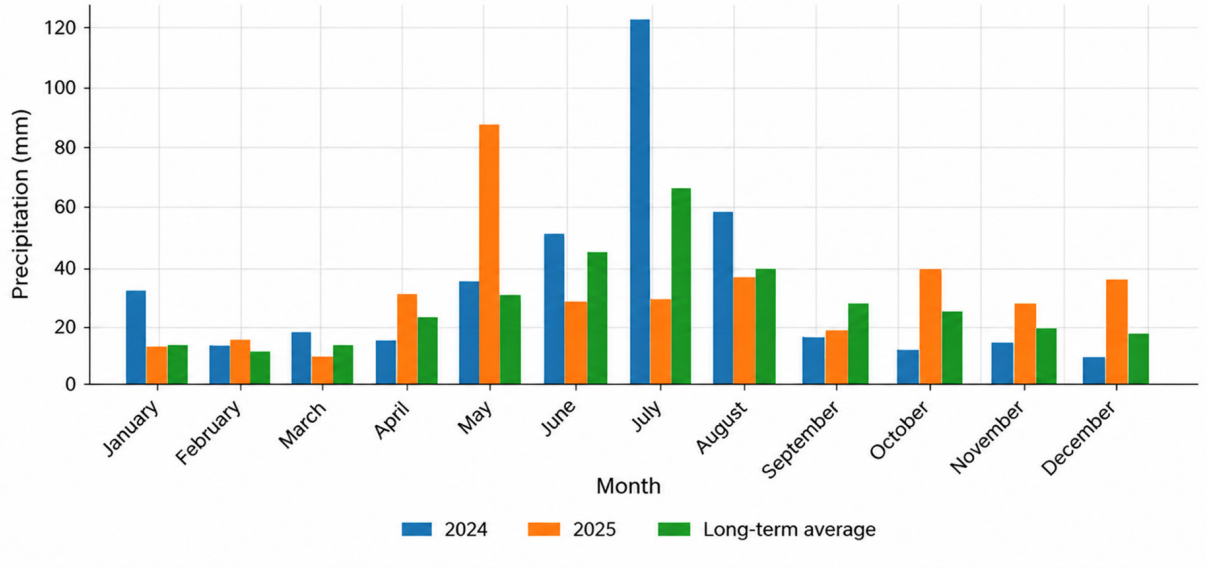


Figure 2. Monthly precipitation distribution in 2024–2025 and the long-term average at the Karabalyk Agricultural Experimental Station

Precipitation distribution varied considerably between the study years. In 2024, total precipitation during the growing season reached 269 mm, substantially exceeding the long-term average of 184 mm. The highest monthly precipitation was recorded in July (122 mm). By contrast, the 2025 growing season was characterized by relatively dry conditions with a total precipitation of 183 mm, despite increased rainfall in May (87 mm). Thus, 2024 was characterized by above-average moisture availability, whereas 2025 was warmer and relatively drier. Hydrothermal conditions differed considerably between the study years. In 2024, the Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov (HTC) was 1.0 in June, 1.8 in July, and 1.0 in August, indicating generally sufficient moisture availability during the main part of the growing season, with particularly high moisture availability in July. By contrast, the hydrothermal regime of 2025 was markedly more variable. The HTC was 1.9 in May, indicating high moisture availability at the beginning of the growing season, but subsequently decreased to 0.8 in June, 0.4 in July, and 0.7 in August. According to the Selyaninov classification, these values indicate the development of increasingly arid conditions during the summer, with the most pronounced moisture deficit occurring in July. Thus, 2024 was characterized by generally more favorable moisture conditions, whereas 2025 had a contrasting hydrothermal regime, with a moist beginning of the growing season followed by relatively dry conditions during June-August. These contrasting meteorological conditions had a significant influence on the intensity of soil biological processes and CO_2 emissions from the soil.

Table 2. Changes in the humus content of ordinary chernozem under different soil tillage systems and fertilization treatments in 2024–2025, %

Tillage system	Treatment	Before sowing		Tillering stage		Heading stage		After harvest	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Conventional	Control	4.18	4.40	4.18	4.41	4.30	4.36	4.24	4.34
	N30P20	4.52	4.60	4.50	4.58	4.60	4.61	4.18	4.60
No-till	Control	4.78	4.55	4.77	4.54	4.65	4.52	4.58	4.57
	N30P20	4.60	4.68	4.65	4.70	4.68	4.71	4.79	4.65
Fallow		4.50	4.41	4.56	4.37	4.59	4.59	4.60	4.35

According to the analytical results, the ordinary chernozem soils contained 4.18–4.79% humus and were classified as low-humus soils. Changes in soil humus content during 2024–2025 were influenced by the soil tillage system, mineral fertilization, and the growth stages of spring wheat (Table 2).

The climatic conditions of 2025 were characterized by a warmer spring and a less uniform distribution of precipitation than in 2024, which accelerated soil biochemical processes and enhanced the decomposition of soil organic matter. Under the no-till control treatment, humus content decreased compared with 2024, from 4.78% to 4.55% before sowing and from 4.77% to 4.54% at the tillering stage. This decline was associated with intensified organic matter mineralization resulting from higher temperatures, increased microbial activity and limited soil moisture availability.

Data analysis showed that in the unfertilized control treatments, humus content was lower and tended to decline by the end of the growing season.

Under conventional tillage, changes in humus content were less distinct. During the early growth stages in 2025, the control treatment showed a slight increase in humus content (4.40–4.41%), followed by stabilization at 4.30–4.34% during the remainder of the growing season. In contrast, the treatment receiving mineral fertilizers (N30P20) exhibited more stable humus preservation and a partial increase, reaching 4.60% by the end of the growing season. This improvement was associated with enhanced plant growth and biomass production, resulting in greater inputs of plant residues that partially compensated for the loss of soil organic matter.

The no-till system was characterized by higher humus content and greater preservation of soil organic carbon, which can be attributed to reduced soil disturbance and slower decomposition of organic matter. However, in 2025, a slight decline in humus content was observed during the early growth stages of the crop. Mineral fertilizer application promoted an increase in humus content by enhancing soil biological productivity and increasing the input of plant residues. The accumulation of humus depends on the amount of plant residue returned to the soil, its decomposition rate, the soil's capacity to stabilize humic substances, and the rate of humus mineralization [19]. In the present study, mineral fertilization resulted in relatively high humus contents (4.65–4.71%), indicating the potential to maintain stable humus levels through reduced mechanical soil disturbance and increased accumulation of plant residues. These findings are consistent with the previous studies [19, 20], which reported the positive effects of no-till practices and mineral fertilization on the preservation and accumulation of soil organic matter.

A consistent decline in soil humus content during the growing season was observed in the fallow treatment in 2025 compared with 2024. This decrease was associated with the absence of fresh organic matter inputs and the intensified mineralization of soil organic carbon.

Nitrate nitrogen ($N\text{-}NO_3$), one of the most readily available forms of nitrogen for plants, plays a key role in plant nutrition and crop productivity. The concentration of soil $N\text{-}NO_3$ is influenced by agronomic practices, particularly soil tillage systems and fertilization regimes. Evaluating the seasonal dynamics of soil $N\text{-}NO_3$ provides valuable information for optimizing crop management practices and improving nitrogen use efficiency.

The agrochemical analysis of ordinary chernozem showed very low, low, and moderate levels of nitrate nitrogen in the topsoil during 2024–2025. The $N\text{-}NO_3$ content ranged from 2.8 to 11.0 mg kg^{-1}, indicating the high mobility of mineral nitrogen in the soil under agricultural conditions (Table 3).

Table 3. Dynamics of soil nitrate nitrogen (N-NO_3) content under different tillage systems and fertilization treatments during 2024–2025, mg kg^{-1}

Tillage system	Treatment	Before sowing		Tillering stage		Heading stage		After harvest	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Conventional	Control	10.8	10.5	9.5	6.9	11.0	4.6	5.5	2.8
	N30P20	7.9	7.4	6.9	6.8	10.4	6.4	8.3	3.4
No-till	Control	8.5	8.0	8.0	8.2	8.5	6.4	6.6	3.4
	N30P20	9.2	8.7	11.0	10.7	6.8	6.5	7.6	3.1
Fallow		7.5	7.2	9.9	9.9	7.0	7.0	7.6	7.6

The 2025 growing season was characterized by a warmer spring and a less uniform distribution of precipitation than 2024, which contributed to a decline in soil nitrate nitrogen (N-NO_3) content during the second half of the growing season.

Under the conventional tillage system, the control treatment showed relatively high nitrate nitrogen (N-NO_3) content before sowing, with only minor differences between years (10.8–10.5 mg kg^{-1}). However, at the tillering stage, the N-NO_3 content decreased to 6.9 mg kg-1 in 2025 compared with 9.5 mg kg-1 in 2024, indicating more intensive nitrogen uptake by plants and faster depletion of mineral nitrogen under higher temperatures. At the heading stage, the differences between years became even more pronounced. In 2024, the N-NO_3 content reached 11.0 mg kg^{-1}, whereas in 2025 it declined to 4.6 mg kg^{-1}. After harvest, nitrate nitrogen content remained lower in 2025, reflecting the overall depletion of available nitrogen by the end of the growing season. A similar trend was observed in the fertilized treatment under conventional tillage. Compared with 2024, nitrate nitrogen content in 2025 decreased during the heading stage and after harvest. This reduction can be attributed to increased nitrogen uptake by plants for biomass production and grain formation, as well as the possible leaching of nitrate nitrogen into deeper soil horizons.

Under the no-till system, the seasonal dynamics of soil nitrate nitrogen (N-NO_3) were more stable, reflecting the preservation of crop residues and a more balanced mineralization regime. In the unfertilized control treatment, N-NO_3 concentrations remained relatively stable during the first half of the growing season and gradually declined toward harvest, indicating a more gradual release of nitrogen from soil organic matter. In the fertilized treatment, nitrate nitrogen accumulated to its highest levels at the tillering stage (11.0 mg kg^{-1} in 2024 and 10.7 mg kg^{-1} in 2025), reflecting the combined effect of fertilizer-derived mineral nitrogen and enhanced nitrification under the warmer spring conditions. During the subsequent growth stages, N-NO_3 concentrations declined to 6.5-7.6 mg kg^{-1}, primarily due to active nitrogen uptake by the growing plants.

The fallow treatment was characterized by relatively high nitrate nitrogen (N-NO_3) availability in both study years, which can be attributed to the absence of cultivated plants and the accumulation of mineral nitrogen through the mineralization of soil organic matter. During the growing season, however, N-NO_3 concentrations showed a gradual stabilization followed by a decline, reflecting natural nitrogen losses and a reduction in the intensity of soil microbial activity [20].

Phosphorus is one of the essential macronutrients determining crop productivity. Its plant-available form (P_2O_5) plays a crucial role in energy transfer, root development and yield formation. The availability of phosphorus in soil is strongly influenced by tillage practices, fertilization regimes and the biological characteristics of the cultivated crop.

The availability of plant-accessible phosphorus in the ordinary chernozem soils ranged from moderate to high throughout the growing season. This seasonal variation was determined by a combination of interacting factors, including the activation of soil microbial processes under warm and moist conditions, which promoted the mineralization of organic matter and the release of plant-available phosphorus. In addition, the application of phosphorus fertilizers directly increased the concentration of available phosphorus, while changes in soil physicochemical properties, particularly moisture and temperature, influenced phosphorus solubility and mobility.

The climatic conditions of the study years had a significant influence on the availability of plant-accessible phosphorus. The higher precipitation recorded in 2024 may have influenced phosphorus

availability within the studied soil layer through changes in soil moisture conditions, phosphate diffusion, root activity, and plant phosphorus uptake. In 2025, the lower P_2O_5 concentrations observed in some treatments were more likely associated with the combined effects of crop phosphorus uptake, fertilizer application, and changes in the proportion of extractable phosphorus within the soil, rather than with enhanced organic matter mineralization (Table 4).

In the control treatment under conventional tillage, the content of plant-available phosphorus was generally lower throughout the 2025 growing season than in 2024. At the heading stage, P_2O_5 content increased to 28.4 mg kg^{-1} in 2025 compared with 20.0 mg kg^{-1} in 2024. This variation may reflect temporal differences in plant phosphorus uptake and the amount of extractable phosphorus within the studied soil layer. In the fertilized treatment, the accessibility of plant-available phosphorus was consistently higher than in the control. Nevertheless, lower phosphorus concentrations were observed during the early growth stages in 2025 compared with 2024 (31.8 vs. 43.1 mg kg^{-1} before sowing). At the heading stage and after harvest, P_2O_5 concentrations were 38.2 and 40.5 mg kg^{-1}, respectively, indicating temporal variation in plant-available phosphorus during the growing season (Table 4).

Table 4. Plant-available phosphorus (P_2O_5) content in soil under different tillage systems and fertilization treatments during 2024–2025, mg kg^{-1}

Tillage system	Treatment	Before sowing		Tillering stage		Heading stage		After harvest	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Conventional	Control	38.5	33.6	40.9	32.1	20.0	28.4	31.1	27.5
	N30P20	43.1	31.8	46.0	40.0	20.9	38.2	39.7	40.5
No-till	Control	38.0	30.1	36.3	30.6	35.8	30.3	39.9	30.5
	N30P20	47.1	35.8	47.0	46.5	36.9	39.1	41.4	42.2
Fallow		48.1	30.4	54.7	54.7	23.2	23.2	45.4	45.4

The no-till system was characterized by a more stable phosphorus regime and smaller year-to-year fluctuations. In the unfertilized control treatment, plant-available phosphorus content was lower in 2025 than in 2024 at all crop growth stages. However, the seasonal pattern remained relatively stable, ranging from 30.1 to 30.6 mg kg^{-1} during the early growth stages and remaining close to 30.5 mg kg^{-1} after harvest. This stability can be attributed to minimal soil disturbance and a more uniform distribution of phosphorus within the soil-plant system.

Under the no-till system, mineral fertilization generally maintained higher levels of plant-available phosphorus compared with the unfertilized control. In the N30P20 treatment, P_2O_5 concentrations in 2024 were 47.1 mg kg^{-1} before sowing, 47.0 mg kg^{-1} at tillering, 36.9 mg kg^{-1} at heading, and 41.4 mg kg^{-1} after harvest. In 2025, the corresponding values were 35.8, 46.5, 39.1, and 42.2 mg kg^{-1}. The seasonal changes were moderate and did not indicate a consistent accumulation of plant-available phosphorus during the growing season. The observed variation likely reflected the combined effects of phosphorus fertilization, crop uptake, and temporal variability in the extractable phosphorus pool within the studied soil layer.

In the fallow treatment, a high initial level of plant-available phosphorus was observed, however, in 2025, the concentration before sowing decreased to 30.4 mg kg^{-1}, compared with 48.1 mg kg^{-1} in 2024. Throughout the growing season, phosphorus levels remained relatively stable, which can be attributed to the absence of crop uptake and, consequently, the lack of phosphorus removal with the harvested biomass.

Potassium is an essential plant macronutrient that plays a key role in numerous physiological and biochemical processes, including photosynthesis, carbohydrate synthesis and nutrient transport. It also enhances plant tolerance to drought stress and diseases. The content of plant-available potassium in soil depends on soil texture, tillage practices, and the level of fertilizer application.

The results of the agrochemical analysis showed that the ordinary chernozem soil contained very high levels of exchangeable potassium, exceeding 700 mg kg^{-1}.

A comparison of the two study years demonstrated that exchangeable potassium concentrations in 2025 were generally lower than in 2024 across all treatments. This decline may be attributed to the

warmer growing season and the uneven distribution of precipitation, which likely enhanced potassium uptake by plants and promoted its migration into deeper soil horizons (Table 5).

Table 5. Exchangeable potassium (K_2O) content in soil under different tillage systems and fertilization treatments during 2024–2025, mg kg^{-1}

Tillage system	Treatment	Tillering stage		Heading stage		After harvest	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025
Conventional	Control	734	715	854	731	860	722
	N30P20	882	730	876	727	860	730
No-till	Control	743	735	822	748	1023	727
	N30P20	784	750	815	736	1171	740
Fallow		739	739	910	910	1005	1005

Under the conventional tillage system, the unfertilized control treatment exhibited a consistent decline in exchangeable potassium content in 2025 compared with 2024. At the tillering stage, potassium concentrations decreased from 734 to 715 mg kg^{-1}, at the heading stage from 854 to 731 mg kg^{-1} and after harvest from 860 to 722 mg kg^{-1}. A similar seasonal pattern was observed in the fertilized treatment under conventional tillage, where exchangeable potassium concentrations were also lower in 2025 than in the previous year.

Under the no-till system, exchangeable potassium concentrations were higher in 2024, particularly after harvest, when values reached 1023–1171 mg kg^{-1}. This accumulation may be attributed to the retention of potassium in the topsoil due to the absence of mechanical soil disturbance and the preservation of crop residues. In 2025, exchangeable potassium content declined to 736–750 mg kg^{-1}, reflecting more intensive potassium uptake by plants under conditions of enhanced crop growth and higher temperatures.

The fallow treatment exhibited relatively stable exchangeable potassium concentrations (739–1005 vu kg^{-1}), which can be attributed to the absence of potassium removal by harvested crops.

The obtained results demonstrated that soil carbon dioxide (CO_2) emissions varied depending on the tillage system, mineral fertilization regime and the climatic conditions during the 2024–2025 growing seasons (Figure 3 and 4).

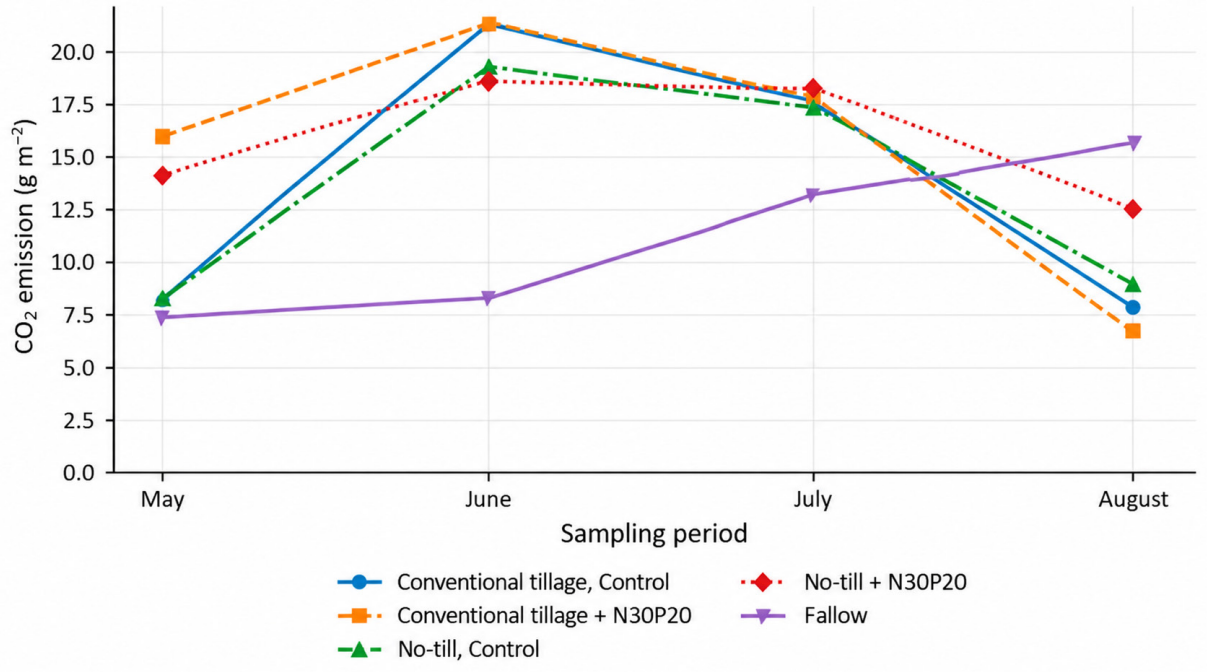


Figure 3. Seasonal dynamics of soil CO_2 emissions under different tillage systems and mineral fertilization levels in 2024

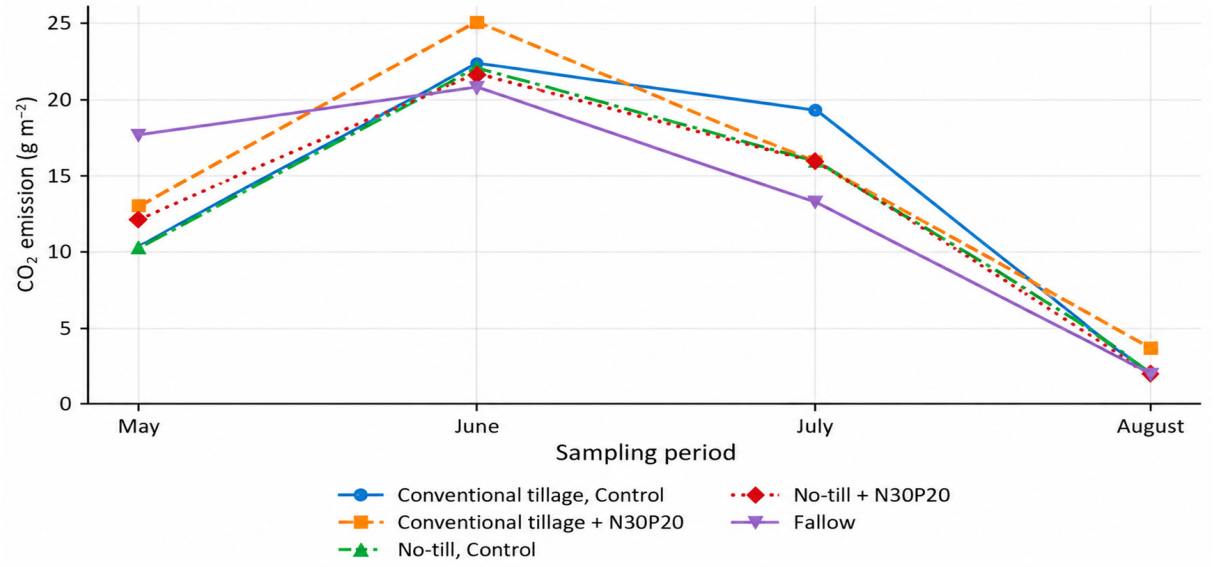


Figure 4. Seasonal dynamics of soil CO_2 emissions under different tillage systems and mineral fertilization levels in 2025

During the early growth stages of spring wheat (May–June), soil CO_2 emissions were higher in 2025 than in 2024. In May, CO2 emissions in the unfertilized control treatments increased from 7.3–8.0 to 10.1–17.5 g CO_2 m^{-2} under both conventional and no-till systems. The fallow treatment exhibited even greater CO_2 emissions, which can be attributed to the absence of vegetation cover, promoting more intensive mineralization of soil organic matter. Maximum CO_2 emissions were recorded in June, increasing from 8.1-21.4 g CO_2 m^{-2} in 2024 to 20.7-25.0 g CO_2 m^{-2} in 2025. The highest value (25.0 g CO_2 m^{-2}) was observed under conventional tillage with mineral fertilizer application, reflecting enhanced microbial activity stimulated by fertilizer inputs.

In July, the seasonal pattern of CO_2 emissions varied among the treatments. In several treatments, CO_2 emissions were lower in 2025 than in 2024, which may be associated with less favorable hydrothermal conditions and increased nitrogen uptake by plants. By contrast, annual differences in the fallow treatment were minimal, with CO_2 emissions of 13.1 and 13.2 g CO2 m^{-2} in 2024 and 2025, respectively.

The lowest soil CO_2 emissions during the growing season were recorded in August across all treatments, particularly in 2025, when values ranged from 2.2 to 3.6 g CO_2 m^{-2}. This decline indicates the depletion of readily available soil organic carbon, reduced microbial activity and the completion of the active crop growth period toward the end of the growing season.

During the growing season, the conventional tillage system was associated with elevated soil CO_2 emissions during the early stages of spring wheat growth, reaching 10.1, 22.2 and 19.2 g CO_2 m^{-2}. In the fertilized treatment, CO_2 emissions peaked at 25.0 g CO_2 m^{-2}, indicating that nitrogen application stimulated microbial decomposition of soil organic matter. However, mineral fertilization had little effect on CO_2 emissions during the subsequent crop growth stages. The decline in CO_2 emissions toward the end of the growing season was likely related to reduced precipitation, which limited soil microbial activity. Under the no-till system, both the unfertilized and fertilized treatments exhibited a more stable pattern of soil carbon flux during the initial stages of crop development in 2024–2025. In the unfertilized treatment, CO_2 emissions ranged from 8.1 to 19.3 g CO_2 m^{-2} in 2024 and from 10.1 to 21.9 g CO_2 m^{-2} in 2025. In the fertilized treatment, the corresponding values ranged from 14.1 to 18.6 g CO_2 m^{-2} in 2024 and from 11.9 to 21.5 g CO_2 m^{-2} in 2025. Thereafter, CO_2 emissions gradually declined as the crop progressed through later developmental stages. The fallow treatment exhibited a less stable pattern of soil CO_2 emissions, characterized by high initial emission rates followed by a marked decline during the remainder of the growing season. This pattern can be attributed to the rapid depletion of soil organic carbon and the absence of fresh organic matter inputs into the soil.

The results obtained for 2024–2025 showed that soil organic carbon content ranged from 2.42 to 2.78% in 2024 but declined to 1.86–2.37% in 2025. This reduction may be attributed to a more intensive

mineralization of soil organic matter under the influence of climatic conditions and increased soil biological activity. The highest organic carbon contents were recorded in the N30P20 treatment under the no-till system, reaching 2.78 in 2024 and 2.37% in 2025. These findings indicate that conservation tillage combined with mineral fertilization promotes the accumulation and preservation of soil organic matter (Table 6).

Table 6. Changes in soil organic carbon, its fractional composition and total nitrogen in ordinary chernozem under different tillage systems and fertilization treatments during 2024–2025

Tillage system	Treatment	N total, %		SOC, %		Labile carbon, %		Humic acids (HA), %		Fulvic acids (FA), %	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Conventional	Control	0.25	0.23	2.46	2.19	1.06	0.82	0.49	0.70	0.57	0.11
	N30P20	0.24	0.28	2.42	1.91	1.14	0.81	0.75	0.56	0.39	0.26
No-till	Control	0.24	0.30	2.66	1.86	0.99	0.85	0.60	0.51	0.38	0.34
	N30P20	0.27	0.25	2.78	2.37	1.19	0.90	0.67	0.53	0.52	0.36
Fallow	-	0.26	0.27	2.67	2.21	1.24	0.94	0.87	0.59	0.37	0.35

Total nitrogen is an important component of soil organic matter and its concentration reflects the status of soil humus. Total nitrogen content ranged from 0.24 to 0.27% in 2024 and from 0.23 to 0.30% in 2025, indicating high to very high nitrogen availability in the ordinary chernozem. The highest total nitrogen contents were recorded under the no-till system, suggesting better preservation of nitrogen-containing organic compounds and a more stable soil organic matter pool.

Labile carbon, the most mobile and readily decomposable fraction of soil organic matter, ranged from 0.99 to 1.24% in 2024 and from 0.81 to 0.94% in 2025. The decline in labile carbon content during the second year of the study indicates intensified mineralization of soil organic matter and greater involvement of carbon in the biogeochemical cycle. The highest labile carbon contents were recorded in the fallow treatment and in the fertilized no-till treatment.

The composition of soil humus was evaluated based on the ratio of humic acids to fulvic acids. The analysis of humus fractions showed that the content of humic acids exceeded that of fulvic acids in most treatments. In 2024, humic acid content ranged from 0.49 to 0.87%, while fulvic acid content varied from 0.37 to 0.57%. In 2025, the corresponding ranges were 0.51–0.70% and 0.11–0.36%, respectively. The predominance of humic acids indicates a more stable humus composition, whereas a higher proportion of fulvic acids reflects increased mineralization of soil organic matter. Over the two-year study period, humic acids predominated over fulvic acids in most treatments, indicating the formation of a humate-type humus in the ordinary chernozem.

During 2024–2025 the ratio of humic acids to fulvic acids (HA/FA) exceeded 1.29 in almost all treatments, demonstrating the stability of the humus status of the studied soils. The only exception was the conventional tillage treatment in the first year of the experiment, where the HA/FA ratio was below 1.0, indicating a humate-fulvate type of humus with a relatively higher proportion of mobile humic compounds.

Table 7. Analysis of variance results

Parameter	p (Treatment)	p (Year)	p (Growth stage)	p (Tillage system	p (Fertilization)	p (Interaction)
Humus	<0.001	0.895	0.537	<0.001	<0.001	0.045
$N\text{-}NO_3$	0.781	0.003	<0.001	0.819	0.836	0.278
P_2O_5	0.004	0.054	0.001	0.038	0.001	0.247
K_2O	0.221	0.002	0.010	0.364	0.347	0.982
CO_2	0.700	0.679	<0.001	0.574	0.161	0.984
Total N	0.798	0.431	–	0.519	0.824	0.519

Continuation of Table 7

Organic carbon (SOC)	0.182	0.005	–	0.222	0.539	0.125
Labile carbon	0.116	0.001	–	0.585	0.146	0.353
Humic acids	0.723	0.304	–	0.634	0.600	0.939
Fulvic acids	0.894	0.110	–	0.513	0.745	0.638

Statistical analysis of the data was performed using analysis of variance (ANOVA) and Pearson correlation analysis (Table 7, 8). In the block model, the effects of the treatment, study year, and crop growth stage were evaluated. For the spring wheat treatments, a factorial ANOVA was additionally applied to assess the effects of tillage system, mineral fertilization and their interaction. Mean values were compared using the least significant difference test and differences were considered statistically significant at $p \leq 0,05$. Correlations among humus, $N\text{-}NO_3$, P_2O_5, K_2O and soil CO_2 emissions were evaluated using Pearson's correlation coefficient.

Table 8. Results of Pearson correlation analysis

Parameter	Humus	$N\text{-}NO_3$	P_2O_5	K_2O	CO_2
Humus	1.000	0.028	0.438*	0.143	0.113
$N\text{-}NO_3$	0.028	1.000	0.062	0.234	0.656*
P_2O_5	0.438*	0.062	1.000	0.492*	0.005
K_2O	0.143	0.234	0.492*	1.000	-0.117
CO_2	0.113	0.656*	0.005	-0.117	1.000

*Note: * - correlation is statistically significant at p≤0,05; n=30.*

Exploratory ANOVA showed that the experimental treatment had a statistically significant effect on humus content ($p < 0,001$) and plant-available phosphorus ($p = 0,004$). For humus, significant effects of the tillage system, mineral fertilization and their interaction were detected. The dynamics of $N\text{-}NO_3$ were primarily determined by study year and crop growth stage, whereas K_2O content was mainly influenced by year and sampling phase. Soil CO_2 emission was significantly affected by the seasonal growth stage ($p < 0,001$).

Pearson correlation analysis revealed a positive relationship between $N\text{-}NO_3$ and CO_2 emission ($r = 0,559$; $p = 0,001$). In contrast, the relationships between CO_2 emission and humus, P_2O_5 and K_2O were not statistically significant.

Discussion

The obtained results demonstrate that tillage system, mineral fertilization, and climatic conditions had a significant influence on the transformation of soil organic matter and the intensity of soil CO_2 emissions in the ordinary chernozems of Northern Kazakhstan. Year-to-year differences in climatic conditions were among the main factors regulating the soil carbon regime. The warmer and relatively drier conditions in 2025 promoted microbial activity and accelerated the mineralization of soil organic matter, resulting in lower contents of soil organic carbon and labile humus fractions, together with increased CO_2 emissions during the early stages of the growing season. Similar trends have been reported in previous studies, which showed that higher soil temperatures combined with limited soil moisture accelerate organic matter decomposition and increase carbon losses through CO_2 emissions [6, 15, 21].

The present findings confirm that the no-till system provides more favorable conditions for the preservation of soil organic matter than conventional tillage. Under no-till management, humus content remained relatively stable at 4.5–4.7%, whereas conventional tillage was associated with greater fluctuations and an overall declining trend. This can be attributed to reduced soil disturbance, the retention of crop residues on the soil surface and lower soil aeration, all of which limit the mineralization of organic matter. Similar findings were reported by *Reicosky* (2008) and *Cooper* et al. (2021), who demonstrated that reduced and no-till systems enhance soil organic carbon storage while mitigating greenhouse gas emissions [12, 20].

Higher levels of soil organic carbon and total nitrogen under the no-till system indicate a more stable functioning of the soil carbon-nitrogen cycle. The increased total nitrogen content observed in the no-till treatments suggests slower mineralization of organic compounds and more efficient preservation of nitrogen-containing organic matter. These findings are consistent with the concept of physically protected soil organic matter, whereby the maintenance of soil structure promotes carbon stabilization within microaggregates and organo-mineral complexes.

Changes in labile carbon content confirmed the high sensitivity of this fraction to both climatic and anthropogenic influences. The decline in labile carbon observed in 2025 reflects enhanced incorporation of organic matter into the biogeochemical cycle and increased microbial respiration. According to *Blair* et al. (2006), labile carbon is one of the most informative indicators of early changes in soil fertility and can be used to assess the resilience of agroecosystems to climate change [22].

The predominance of humic acids over fulvic acids (HA/FA > 1,29) indicates the development of a humate-type humus, which is characteristic of chernozem soils in the steppe zone. A high HA/FA ratio reflects the relatively stable nature of soil organic matter and slower dehumification processes. Nevertheless, the observed decline in labile carbon and soil organic carbon during the warmer year suggests a gradual intensification of organic matter mineralization under the influence of ongoing climate change.

The results obtained for soil CO_2 emissions confirm the important role of tillage practices in regulating soil respiration. The highest CO_2 emissions were recorded at the tillering stage, reaching 25.0 g CO_2 m^{-2} under conventional tillage with mineral fertilization. The increased emissions observed in the fertilized treatments can be explained by the priming effect, whereby mineral nitrogen application stimulates microbial activity and accelerates the decomposition of soil organic matter. Similar findings were reported by *Kuzyakov* et al. (2000), who demonstrated that the addition of readily available nitrogen enhances soil microbial respiration and increases carbon losses from the soil [23].

Despite the increase in CO_2 emissions during the early stages of crop development, the no-till system was characterized by a more stable soil carbon regime and lower seasonal variability in CO_2 emissions. These findings indicate more efficient carbon sequestration processes and reduced losses of soil organic matter under no-till management.

The dynamics of nitrate nitrogen and plant-available phosphorus further demonstrate the advantages of the no-till system. A more uniform distribution of these nutrients can be attributed to the retention of crop residues, reduced soil erosion, and a more stable soil moisture regime. Particularly noteworthy was the accumulation of plant-available phosphorus in the no-till + N30P20 treatment, where P_2O_5 concentrations reached 42.2–70.4 mg kg^{-1} after harvest. These findings indicate that conversation tillage practices are highly effective in maintaining a positive soil nutrient balance.

Overall, the findings demonstrate that, under the conditions of Northern Kazakhstan, the adoption of no-till management combined with moderate rates of mineral fertilization is an effective strategy for regulating the soil carbon balance, improving agroecosystem resilience, and maintaining the fertility of ordinary chernozem soils. In the context of projected increases in air temperature and growing climatic aridity, the implementation of no-till practices can be considered one of most promising approaches for adapting agricultural systems to climate change while enhancing the potential for soil carbon sequestration.

It should be noted that this study covers only a two-year observation period, whereas the transformation of soil organic matter and changes in soil carbon stocks are long-term processes. Therefore, a more comprehensive evaluation of the effectiveness of tillage systems requires long-term field experiments that account for interannual climatic variability, soil biological activity, and the overall greenhouse gas balance, including CO_2, N_2O, and CH_4. Such studies would provide a more robust assessment of the potential of conservation tillage practices to regulate the carbon cycle in the agricultural landscapes of Northern Kazakhstan.

Conclusion

The study demonstrated that:

Tillage systems, mineral fertilization and hydrothermal conditions significantly influenced soil CO_2 emissions, soil organic carbon content and the agrochemical properties of ordinary chernozem

in Northern Kazakhstan. In 2025, higher temperatures combined with a pronounced moisture deficit during June-August were accompanied by lower soil organic carbon and labile carbon contents compared with 2024, indicating more intensive transformation and mineralization of the readily decomposable fraction of soil organic matter and its greater involvement in the soil carbon cycle.

Soil CO_2 emissions exhibited pronounced seasonal dynamics. The highest CO_2 emission rates were recorded at the tillering stage of spring wheat under conventional tillage combined with mineral fertilization (N30P20). By the end of the growing season, CO_2 emissions declined due to reduced microbial activity and the depletion of readily available carbon substrates.

The no-till system promoted a more stable soil carbon cycle and enhanced the preservation of soil organic matter. Under no-till management, humus content remained relatively stable at 4.52–4.79%, whereas conventional tillage was associated with greater fluctuations and an overall decline in humus content.

Under the warmer conditions of 2025, soil organic carbon and labile carbon contents declined, indicating intensified mineralization of soil organic matter and greater incorporation of carbon into the biogeochemical cycle.

Higher total nitrogen and soil organic carbon contents were observed under the no-till system, particularly in the N30P20 fertilized treatment, indicating improved preservation of soil organic matter and more stable functioning of the soil carbon-nitrogen cycle.

The ordinary chernozem used in the study was characterized by moderate to high levels of plant-available phosphorus and a very high content of exchangeable potassium. The application of mineral fertilizers in combination with the no-till system promoted a more stable soil nutrient regime and enhanced the accumulation of plant-available phosphorus (P_2O_5) in the upper soil horizon.

The analysis of humus fractional composition revealed a consistent predominance of humic acids over fulvic acids (HA/FA >1,29), indicating the formation of a humate-type humus and the relatively high stability of soil organic matter in the ordinary chernozem.

Authors' Contributions

ZhA and AK: conceived the study and developed the research methodology. SK and GZ: performed the data analysis and prepared the main manuscript. GZ, DE, and GA: conducted the field experiments, processed the experimental data, and contributed to the interpretation of the results. All authors contributed to the discussion of the findings, critically revised the manuscript, and approved the final version for publication.

Financing Information

The research was carried out within the framework of the grant-funded project of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2024–2026, AP23489663, entitled "Development of carbon balance regulation of agricultural landscape soils under land intensification in Northern Kazakhstan."

References

1 Dobrovolsky, V.V. (2003). *Osnovy biogeokhimii* [*Fundamentals of biogeochemistry*]. Akademiya Publishing Center. https://www.geokniga.org/books/3474 [*In Russian*].

2 Silva-Olaya, A.M., Cerri, C.E.P., La Scala, N., Dias, C.T.S., Cerri, C.C. (2013). Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. *Environ. Res.Lett.,* 8(1), 015014. DOI:10.1088/1748-9326/8/1/015014.

3 Uprety, D.C., Dhar, S., Dong, H., Kimball, B.A., Garg, A., Upadhyay, J. (2012). *Technologies for climate change mitigation: Agriculture sector.* UNEP Risø Centre. https://dspace.organic-platform.org/items/21e45e76-25ca-4336-a9c4-92f99768f563

4 Voronin, PY., Black, C.C. (2005). The significance and place of photosynthetic carbon sequestration in the organic branch of the global carbon cycle. *Russ J Plant Physiol.,* 52, 81–89. DOI:10.1007/s11183-005-0011-z.

5 Chimitdorzhieva, G.D., Egorova, R.A., Milkheev, E.Y., Tsybenov, Y.B. (2010). Potoki ugleroDpda v stepnyh ekosistemah (na primere Yzhnogo Zabaikal'ya) [Carbon fluxes in steppe ecosystems (a case study of Southern Transbaikalia)]. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii*, 2(6), 33–39. [*In Russian*].

6 Kenzhegulova, S.O., Zvyagin, G.A., Kurishbaev, A.K., Almanova, Zh.S., Erzhan, D. (2026). Ocenka emissii SO2 v zavisimosti ot sposoba obrabotki chernozyoma obyknovennogo Kostanaiskoi oblasti [Assessment of soil carbon dioxide emissions depending on the tillage system of ordinary chernozem in the Kostanay region]. *Eurasian agrotechnical journal*, 2(130), 141–154. DOI: 10.51452/eaj.2026.2(130).2240. [*In Russian*].

7 Kastornova, M.G., Demin, E.A., Eremin, D.I. (2021). Ekologicheskaya ocenka vliyaniya sel'skohozyaшstvennoш deyatel'nosti na emissiyu uglekislogo gaza iz chernozema vyshchelochennogo Tobol-Ishimskogo mezhdurech'ya [Ecological assessment of the impact of agricultural activity on the emission of carbon dioxide from the leached chernozem of the Tobol-Ishim interfluve]. *Agrarnyi vestnik Urala*, 10(213), 10–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20. [*In Russian*].

8 Sushko, S.V., Ananyeva, N.D., Ivashchenko, K.V., Kudeyarov, V.N. (2019). CO_2 emission, microbial biomass and basal respiration of chernozem under different land use systems. *Eurasian Soil Science*, 52(9), 1081–1091. DOI:10.1134/S0032180X19090090.

9 Sergaliyev, N.Kh., Zhiyengaliyev, A.T., Turbayev, A.Zh., Abisheva, S.Kh. (2015). Measurement of carbon dioxide emissions from soils under different grazing loads. *Novosti Nauki Kazakhstana,* 4(126),195–207.

10 Houghton, R.A., House, J.I., Pongratz, J., Werf, G.R., DeFries, R.S., Hansen, M.C., Quere, C.L., Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences,* 9, 5125–5142. DOI:10.5194/bg-9-5125-2012.

11 Kudryavtsev, A.E., Vaganov, E.S., Kanunnikov, S.V., Loktionov, V.A. (2024). Factors determining sequestration, deposition and emission of carbon dioxide in agrocenoses. *Vestnik AGAU,* 231(1), 37–44. DOI:10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44.

12 Cooper, H.V., Sjögersten, S., Lark, R.M. (2021). To till or not to till in a temperate ecosystem? Implications for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054022. DOI:10.1088/1748-9326/abe74e.

13 Kudeyarov, V.N. (2022). Vliyanie udobrenii i sistemy zemledeliia na sekvestraciyu ugleroda v pochvah [Influence of fertilizers and farming systems on carbon sequestration in soils]. *Agrokhimiya,* 12, 79–96. DOI:10.31857/S0002188122120092. [*In Russian*].

14 Saparov, A.S. (2019). State and rational use of soil and land resources of the Republic of Kazakhstan. *Soil Science and Agrochemistry*, 2, 10–20.

15 Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. DOI:10.1126/science.1097396.

16 Cherkasov, G.N., Matyusenko, N.P., Matyusenko, M.N. (2013). Vliyanie vida sevooborota, sistemy obrabotki pochvy i ekspozicii sklona na dinamiku emissii so2 iz chernozema tipichnogo [Influence of crop rotation type, tillage system and slope exposure on the dynamics of CO_2 emission from typical chernozem]. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK*, 6, 34–37. [*In Russian*].

17 Shtatnov, V.I. (1952). K metodike opredeleniya biologicheskoi aktivnosti pochvy [On the methodology of determining soil biological activity]. *Doklady VASKhNIL,* 6, 27–30. [*In Russian*].

18 Arinushkina, E.V. (1970). *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* [*Guide to chemical analysis of soils*]. M.: Izd-vo MGU, 491. [*In Russian*].

19 Dzhalankuzov, T.D., Akhmanova, A.U. (2013). Nekotorye osobennosti yuzhnyh chernozemov Severnogo Kazahstana [Some features of southern chernozems of Northern Kazakhstan]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*, 21–23. [*In Russian*].

20 Reicosky, D.C. (2008). Tillage-induced CO2 emissions and the role of soil carbon sequestration in mitigation of global warming. *Science of the Total Environment,* 404(2–3), 286–291. DOI:10.1016/j.scitotenv.2008.03.008.

21 Chen, X., Zhang, X., Zhang, S., Sun, H., Shao, L., Liu, X. (2016). Effects of fertilization on soil organic carbon stocks in cropland in China. *Science of the Total Environment*, 573, 1679–1687. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.09.026.

22 Blair, G.J., Lefroy, R.D.B. and Lise, L. (1995). Soil Carbon Fractions Based on Their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46, 1459–1466. DOI:10.1071/AR9951459.

23 Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11–12), 1485–1498. DOI:10.1016/S0038-0717(00)00084-5.

Өңдеу жүйелерінің көмірқышқыл газының шығарылуына және қара топырақтың агрохимиялық күйіне әсері

Звягин Г.А.[1], Куришбаев А.К.,[2] Кенжегулова С.О.[1], Ержан Д.[1], Аймұхамбет Г.Н.[2], Алманова Ж.С.[2]

[1]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстан жағдайында қара топырақтың (кәдімгі қара топырақ) агрохимиялық көрсеткіштері мен көмірқышқыл газының (CO_2) эмиссиясына топырақ өңдеу жүйелері мен минералдық қоректендірудің әсерін бағалау.

Материалдар мен әдістер. Далалық зерттеулер 2024–2025 жылдары Қарабалық ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясында кәдімгі қара топырақта жүргізілді. Дәстүрлі және нөлдік топырақ өңдеу технологиялары, сондай-ақ, бақылау және минералдық тыңайтқыштар (N30P20) енгізілген жағдайдағы сүрі танап зерттелді. Топырақтан CO_2 эмиссиясының қарқындылығы жаздық бидайдың негізгі даму кезеңдерінде анықталды. Сонымен қатар, қарашірінді мөлшері, нитратты азот ($N\text{-}NO_3$), жылжымалы фосфор (P_2O_5) және алмаспалы калий (K_2O) мөлшері анықталды.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері CO_2 эмиссиясының қарқындылығы топырақ өңдеу технологиясы мен минералдық қоректендіру деңгейіне тәуелді екенін көрсеттті. Көмірқышқыл газының ең жоғары бөлінуі түптену кезеңінде байқалып, минералды тыңайтқыш енгізілген дәстүрлі технология жағдайында 25,0 г $CO_2/м^2$ жетті. Вегетация кезеңінің соңында CO_2 эмиссиясы 2,1–4,1 $CO_2/м^2$ аралығына дейін төмендеді. 2025 жылғы ауа температурасының жоғары болуы органикалық заттардың минералдануын күшейтіп, көміртек айналымы үдерістерінің белсенділігін арттырды. Нөлдік технология дәстүрлі топырақ өңдеумен салыстырғанда қарашірінді мен минералдық қоректену элементтерінің анағұрлым тұрақты деңгейін қамтамасыз етті.

Қорытынды. Нөлдік топырақ өңдеу технологиясын минералдық қоректендірумен үйлестіріп қолдану топырақ құнарлылығын сақтауға және топырақтың көміртектік режимін тұрақтандыруға ықпал етеді, бұл Солтүстік Қазақстан жағдайында тұрақты егіншілік технологияларының тиімділігін арттырады.

Кілт сөздер: нөлдік технология; топырақ; минералды тыңайтқыштар; көмірқышқыл газының эмиссиясы; қарашірінді; топырақтың агрохимиялық көрсеткіштері.

Влияние систем обработки на эмиссию углекислого газа и агрохимическое состояние чернозёмов

Звягин Г.А.[1], Куришбаев А.К.[2], Кенжегулова С.О.[1], Ержан Д.1, Аймұхамбет Г.Н.[2], Алманова Ж.С.[2]

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина»
Астана, Казахстан
[2]НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Оценить влияние систем обработки почвы и минерального питания на интенсивность эмиссию углекислого газа (CO_2) и агрохимические показатели чернозема обыкновенного в условиях Северного Казахстана.

Материалы и методы. Полевые исследования выполнены в 2024–2025 гг. на Карабалыкской сельскохозяйственной опытной станции на черноземе обыкновенном. Изучались традиционная и нулевая технологии обработки почвы, а также паровой участок на фоне контроля и внесения

минеральных удобрений (N30P20). Определяли интенсивность эмиссии CO_2 из почвы в основные фазы развития яровой пшеницы, содержание гумуса, нитратного азота ($N\text{-}NO_3$), подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O).

Результаты. Установлено, что интенсивность эмиссии CO_2 зависела от технологии обработки почвы, удобренности. Максимальные показатели выделения углекислого газа отмечались в фазу кущения и достигали 25,0 г $CO_2/м^2$ при традиционной технологии на удобренном фоне. К концу вегетации выделение эмиссии снижалась до 2,1–4,1 г $CO_2/м^2$. Более высокие температуры 2025 года способствовали усилению минерализации органического вещества и активизации углеродного обмена. Нулевая технология обеспечивала более стабильное содержание гумуса и элементов минерального питания по сравнению с традиционной обработкой.

Заключение. Нулевая технология обработки почвы в сочетании с минеральным питанием способствует сохранению плодородия почвы и стабилизации углеродного режима почвы, что повышает эффективность устойчивых технологий земледелия в условиях Северного Казахстана.

Ключевые слова: нулевая технология; почва; минеральные удобрения; эмиссия углекислого газа; гумус; агрохимические показатели почвы.

UDC 575.112 **Research article**

Application of MLVA Analysis of Chloroplast Microsatellite Loci for Differentiating Wild and Cultivated *Malus* spp. germplasm

Vladislav A. Shevtsov[1], Oxana N. Khapilina[1], Yulia M. Efremova[1,2], Ainur S. Sarsenova[1], Asem R. Tumenbayeva[1], Saule M. Magzumova[1]

[1] "National Center for Biotechnology" LLP, Astana, Kazakhstan
[2]Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: Vladislav A. Shevtsov: xatabadich@gmail.com
Co-authors: (1: OKh) oksfur@mail.ru; (2: YuE) yefremova@dku.kz, (3: AS) sarainur@mail.ru; (4: AT) asem.tumenbaeva2016@mail.ru; (5: SM) magzumovas@list.ru

Received: 10.07.2026 **Accepted:** 17.09.2026 **Published:** 30.09.2026

Copyright: Shevtsov V.A. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. The genus *Malus* comprises wild and cultivated apple forms of major importance for breeding, the conservation of genetic resources, and studies of fruit-crop evolution. Although SSR (Simple Sequence Repeat) and SNP markers are widely used to assess genetic diversity in apples, organellar markers remain important because the chloroplast genome predominantly reflects a single maternal lineage and has a simpler, more conserved structure than the nuclear genome. The aim of this study was to investigate the genetic variability of chloroplast loci in representatives of the genus *Malus* using multiple-locus analysis of tandem repeats and to identify differences between wild and cultivated germplasm.

Materials and Methods. Forty-two chloroplast assemblies deposited in GenBank/ENA and one assembly generated in this study were analysed; the chloroplast genome of *Prunus ursina* (NC_068527) served as the outgroup. Microsatellite and VNTR-like loci were identified with MISA, orthologous loci were clustered with custom Python scripts, and primers for the variable loci were designed with Primer3. MLVA profiles were built with MLVA_finder, pairwise distances were calculated under the Stepwise Mutation Model, and a neighbour-joining tree was constructed.

Results. MISA analysis identified 2,918 SSR loci, of which 96.1% were mononucleotide repeats, predominantly poly-A/T. Clustering reduced these to 92 orthologous loci, 48 of which (approximately 52%) varied in repeat number. The eight most informative primer pairs were selected for the cpMLVA panel. The resulting tree showed tight clustering of *M. domestica* samples, more peripheral positions for wild species, and clear separation of the *Prunus* outgroup. BLAST analysis of the complete chloroplast genome confirmed that a record annotated as *M. fusca* (OR897844.1) is taxonomically questionable.

Conclusion. Chloroplast tandem repeats can serve as a compact marker system for differentiating wild and cultivated representatives of the genus *Malus* and for detecting erroneous metadata in public databases.

Keywords: *Malus* spp.; chloroplast genome; cpSSR; tandem repeats; VNTR; MLVA.

Introduction

The genus *Malus* comprises approximately 30–55 species of wild and cultivated apples, distributed primarily across the temperate regions of the Northern Hemisphere, and is one of the most important groups in global fruit-crop breeding [1, 2]. The cultivated apple (*Malus domestica* Borkh.) is the product of prolonged hybridization among *M. sieversii, M. sylvestris, M. orientalis*, and *M. baccata*, with the Central Asian ancestor *M. sieversii*, whose range encompasses the mountainous regions of Kazakhstan, Kyrgyzstan, and neighboring countries, playing a key role in its formation [3]. Whole-genome studies confirm the complex reticulate history of cultivated apples and multiple introgression events from wild species [4].

Wild relatives of *M. domestica* are of interest because they constitute a valuable genetic reservoir of resistance to biotic and abiotic stresses, including *Venturia inaequalis, Erwinia amylovora*, low temperatures, and drought, and are actively used in modern breeding programs [5]. At the same time, the decline of natural *M. sieversii* populations and the erosion of allelic diversity in commercial cultivars make conservation and inventorying high-priority tasks [6]. This is particularly relevant to Kazakhstan, a center of origin of cultivated apples where the most diverse populations of wild apples are still found. Accurate sample identification, including the distinction between wild and cultivated forms and the verification of cultivar identity, is essential for the effective use of genetic collections [7]. Molecular markers (SSR, SNP, and GBS) are widely used for the passporting of *M. domestica* cultivars and the analysis of population structure [4, 7]; however, the applicability of compact, readily reproducible marker systems for the preliminary screening of large collections remains an open question.

The chloroplast genome (plastome) of angiosperms is a circular double-stranded DNA molecule averaging 150-160 kb in size, with a conserved quadripartite structure comprising a large single-copy region (LSC), a small single-copy region (SSC), and a pair of inverted repeats (IRa and IRb) [8]. Despite its relatively small size, the plastome encodes approximately 110-130 genes involved in photosynthesis, transcription, and translation and retains a high degree of structural conservation even at the plant order level [9]. In most angiosperms, including members of the Rosaceae, chloroplasts are maternally inherited, enabling unambiguous tracing of maternal phylogenetic relationships and preventing the mixing of parental alleles during hybridization [10]. The low level of recombination and relatively slow substitution rate compared with the nuclear genome make the plastome a convenient system for phylogeographic and species-specific studies [11]. In addition to point substitutions and indels, plastomes contain abundant microsatellite (cpSSR) and longer tandem (VNTR-like) repeats, predominantly mononucleotide poly-A/T repeats concentrated mainly in the LSC region [12]. These loci have elevated mutation rates owing to replication errors (polymerase slippage) and are suitable for distinguishing closely related taxa and populations [13]. cpSSR markers have proven effective both for plant barcoding [14] and for analyzing the population structure of woody and fruit crops [12, 13]. Taken together, these properties-compactness, conservation of flanking regions, maternal inheritance, and the presence of hypervariable repeats-support viewing the plastome as a natural mini-system of markers suitable for the development of compact assay panels.

Microsatellites (Simple Sequence Repeats, SSRs) are short tandem repeats with monomers 1–6 bp long that are widely distributed in both nuclear and organellar genomes [15]. Variation in repeat number is driven primarily by DNA polymerase replication errors and produces high polymorphism while conserved flanking regions permit the design of primers for PCR amplification [16]. Longer tandem repeats (Variable Number Tandem Repeats, VNTRs; monomers ranging from several to tens of base pairs) follow similar mutational mechanisms and provide comparable discriminatory power [17]. Multiple-locus VNTR/SSR analysis (MLVA) simultaneously assesses repeat numbers at several independent loci, enabling the construction of reproducible allelic profiles and improving the discriminatory power of genotyping closely related samples [18]. The use of several markers also reduces the influence of homoplasy at individual loci and makes the method suitable for clustering, comparative analysis, and the construction of standardized MLVA profile databases [19]. In the present study, this logic was adapted to the *Malus* chloroplast genome: variable cpSSR/VNTR loci were treated not as individual markers but as a compact multilocus panel for assessing maternal plastome lineages and differentiating wild and cultivated germplasm.

The purpose of this study was to investigate the genetic variability of chloroplast loci in representatives of the genus *Malus* using multiple-locus analysis of tandem repeats and to identify differences between wild and cultivated germplasm.

Materials and Methods

DNA Extraction and Sequencing of *Malus* spp.

Genomic DNA was extracted from leaf material according to a protocol developed for plant plastomes [20]. Libraries were prepared using the Nextera XT DNA Library Preparation Kit (Illumina, USA). Sequencing was performed on an Illumina MiSeq platform using the MiSeq Reagent Kit v3 (600 cycles). The quality of raw reads was assessed using FastQC v0.11.15 [21], and aggregate quality assessment across all libraries was performed using MultiQC [22]. Next-generation sequencing (NGS)

was used to analyze *Malus* chloroplast DNA. Chloroplast DNA was isolated according to the protocol of *Chao Shi* et al. [20].

The dataset for MLVA analysis comprised 43 Malus chloroplast assemblies: 42 assemblies deposited in GenBank/ENA and one assembly generated in the present study (Chloroplast-162, shown as Chloroplast-162 in Figure 3). The chloroplast genome of *Prunus ursina* (NC_068527) was used as the outgroup. Thus, the final matrix used for the MLVA tree contained 44 samples in total (43 *Malus* and one Prunus outgroup), which is consistent with Figure 3. The selected samples, with their accession numbers and species assignments, are listed in Appendix 1.

Microsatellite and VNTR-like loci were identified using MISA (MIcroSAtellite identification tool, version 25.08.2020) [23] with the following parameters: definition (unit_size, min_repeats) = 1-10, 2-6, 3-5, 4-5, 5-5, and 6-5; interruptions(max_difference_between_2_SSRs) = 100. The MISA loci from all samples were clustered using custom Python scripts, with loci occurring at homologous positions treated as orthologous clusters. Loci with more than one allele across the dataset were selected as candidates for the cpMLVA panel.

For the selected variable loci, flanking regions were used to design primers with Primer3 [24] (default parameters for a 50–300 bp product, Tm 56–62 °C, and GC content 30–60%). In parallel, a manually selected primer pair was generated for each locus directly from conserved 20-bp flanking regions, followed by evaluation of Tm, GC content, homopolymeric tracts, and dimerization propensity. A total of 48 candidate primer pairs were generated and ranked *in silico* using a composite metric. Based on this ranking, the eight most informative and bioinformatically valid primer pairs were selected for the cpMLVA panel (Table 1).

MLVA profiles were constructed using the MLVA_finder software package (i2bc, https://github.com/i2bc/MLVA_finder), which determines the repeat copy number at each locus from assemblies and generates a sample-by-locus size/repeat-number matrix. The resulting profiles were analysed with the custom Python script mlva_distance_analysis.py, which converts repeat calls to inferred locus sizes, calculates pairwise distances using an SMM-style mean absolute size-distance metric, and constructs a neighbor-joining (NJ) tree with Bio.Phylo DistanceTreeConstructor. Missing values are ignored for pairwise distance calculation and replaced only by a maximum-distance fallback if two samples share no loci; in the final matrix used for Figure 3, no missing marker cells were reported. The display tree was rooted by automatic outgroup detection based only on the distance matrix, and *P. ursina* (NC_068527) was identified as a singleton outgroup. Bootstrap or other branch-support values were not calculated; therefore, the tree is interpreted as an MLVA profile-relatedness visualization. The MLVA distance analysis module and accompanying script are available on GitHub: https://github.com/Vladislav-Shevtsov/MLVA_distance_analysis.

De novo assembly of the *Malus* chloroplast genome generated in this study from Illumina MiSeq data was performed using Geneious Prime v2024.

Results

The sample used for chloroplast DNA extraction was collected on the premises of the “National Center for Biotechnology” LLP on 21 May 2026. The *Malus* spp. chloroplast genome was annotated using Chloe 1.0 (Figure 1). The chloroplast genome was 160,241 bp long; a total of 318 structural elements were annotated, including 131 gene features, 103 CDSs, 45 tRNAs, 8 rRNAs, 29 introns, and 2 repeat region features. The genome contained 112 unique genes: 78 protein-coding genes, 30 tRNA genes, and 4 rRNA genes.

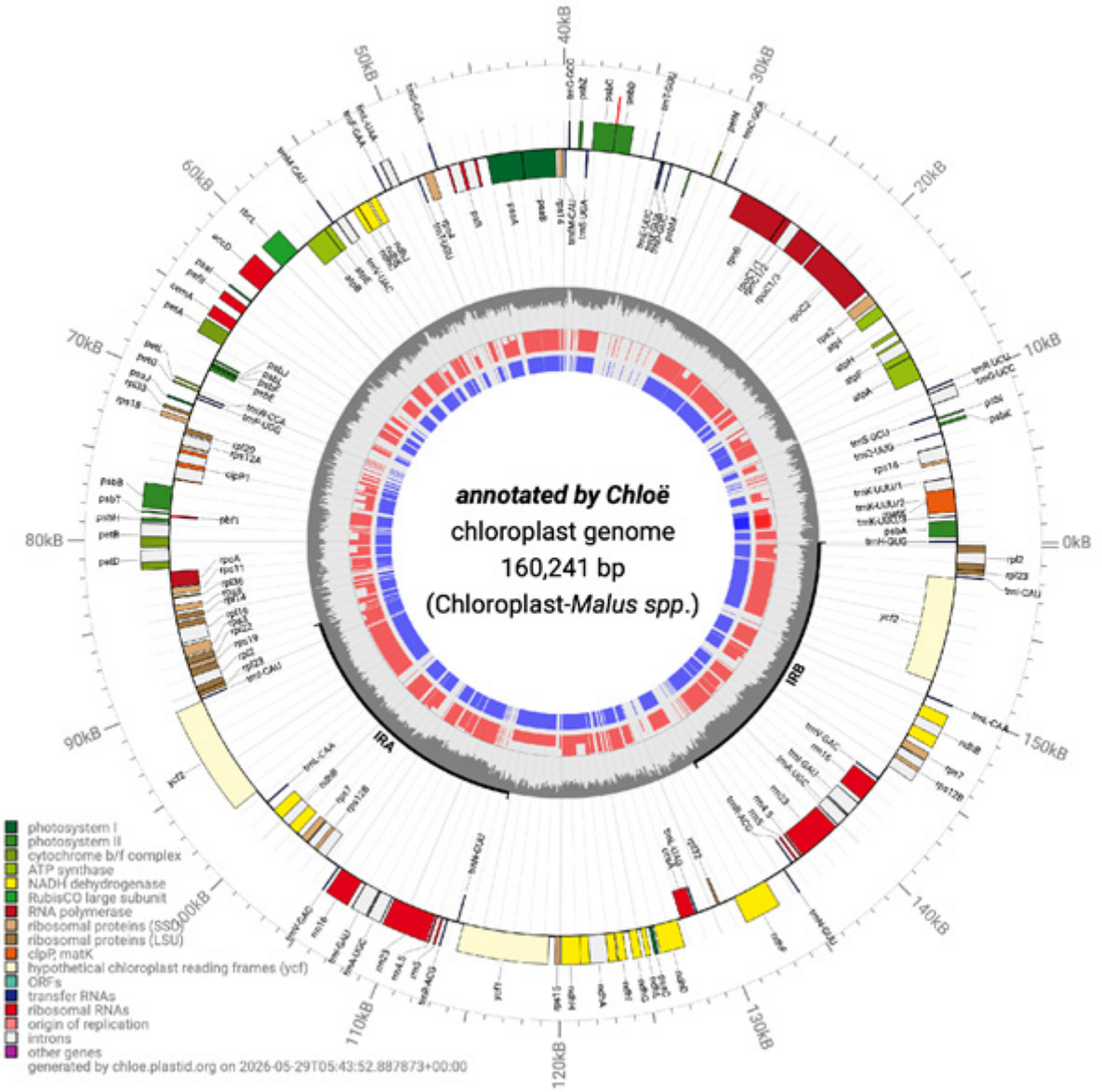


Figure 1. Gene structure in the *Malus* spp. chloroplast genome

The annotated genes included photosystem genes, ATP synthase genes, genes of the NADH dehydrogenase complex, ribosomal proteins, and rRNA/tRNA components. The laboratory component of the study-including DNA extraction, sample preparation, and molecular genetic procedures-was also carried out at the National Center for Biotechnology.

Selection of SSR/VNTR Loci in Chloroplast Genomes

For cpMLVA analysis, 42 public *Malus* chloroplast assemblies (Appendix 1) were selected, representing nine species of the genus: *M. domestica, M. fusca, M. doumeri, M. kansuensis, M. sieboldii, M. sikkimensis, M. rockii, M. baccata*, and one interspecific hybrid form, Malus hybrid. One assembly generated in the present study (Chloroplast-162 in Figure 3) was added to the MLVA profiling dataset. The *Prunus ursina* chloroplast genome (NC_068527.1) was included as an outgroup. MISA analysis of the 42 oriented, full-length public *Malus* chloroplast sequences identified 2,918 SSR loci; 393 loci (approximately 13.5%) occurred in compound configurations. The distribution by monomer length was strongly skewed toward mononucleotide repeats: 2,803 loci (96.1%) had a single-nucleotide monomer (predominantly poly-A/T: 2,699 of 2,803 loci), whereas 115 loci were dinucleotide repeats (predominantly AT/AT) (Figure 2). No tri-, tetra-, penta-, or hexanucleotide repeats were detected under the specified parameters.

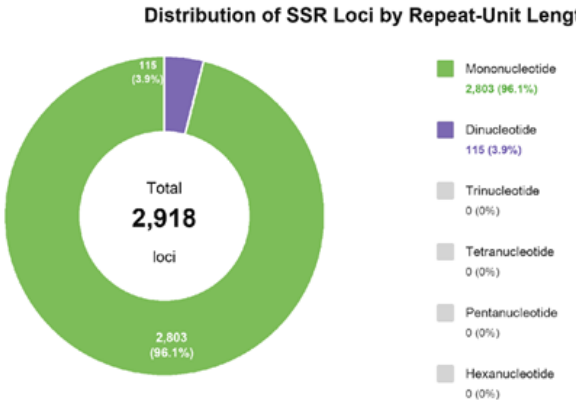


Figure 2. Distribution of SSR loci identified in *Malus* chloroplast genomes by monomer length

Aggregate clustering of loci against the reference assembly MK434916.1 (*M. domestica)* reduced the 2,918 primary MISA signals to 92 nonempty clusters (orthologous loci). Of these, 48 loci (approximately 52%) varied in repeat number, whereas 44 were monomorphic. Based on a combination of informativeness index, presence rate, and flanking-region quality, 48 initial primer pairs (designed with Primer3 or selected manually) were chosen from the variable loci and ranked *in silico*. The final cpMLVA panel comprised the eight most informative and technically valid primer pairs according to Primer3 analysis (Table 1).

Table 1. Eight most informative primer pairs for cpSSR/VNTR loci selected for the *Malus* spp. cpMLVA panel

№	Locus	Forward primer (5′→3′)	Reverse primer (5′→3′)
1	cpSSR012_1bp_62bp_15u	GTAAAATCCTTACATGATGC	GATCCCTTTATCAGCCAAAA
2	cpSSR053_1bp_52bp_12u	GAAAGGTGAAAGCTAAGACG	AATACTTGAACGGTCGATTC
3	cpSSR005_1bp_60bp_13u	CCCACACTTCTTTTCTTCTC	AGGGTACTTCATCTCATTTT
4	cpSSR057_1bp_68bp_10u	TCAGAAAAGGTGGAGGTTTT	CCGTTGAGTTCTTAATAATC
5	cpSSR055_1bp_62bp_11u	GAGTTACTTCGGAAACAAAA	GGAATTGGGAGAATAACAAA
6	cpSSR009_1bp_57bp_13u	ACCATGAGGAAGAACGTAAC	GAACAGTAAAGAGGTAAACA
7	cpSSR059_1bp_58bp_12u	ATGCATACGGTTCAACAAAA	CTACATCTACACATTGATTC
8	cpSSR052_1bp_68bp_11u	ACTCAAATTGTTTCGTTTTGACAGG	TCAAATTCATGAACCGTCCCC

MLVA Clustering

Using the custom script mlva_distance_analysis.py together with SciPy, seaborn, matplotlib, pandas, NumPy, and Bio.Phylo, a matrix of eight cpSSR/VNTR markers was constructed for 44 samples (43 *Malus* samples, including Chloroplast-162, and one *Prunus* outgroup) (Figure 3). The corresponding QC output reported 44 samples, eight MLVA loci, zero missing marker cells, the smm-size distance metric, NJ tree construction, and automatic identification of NC_068527_Prunus_ursina as the singleton outgroup. The MLVA tree showed clear clustering of *M. domestica* samples and separation of wild species and the outgroup.

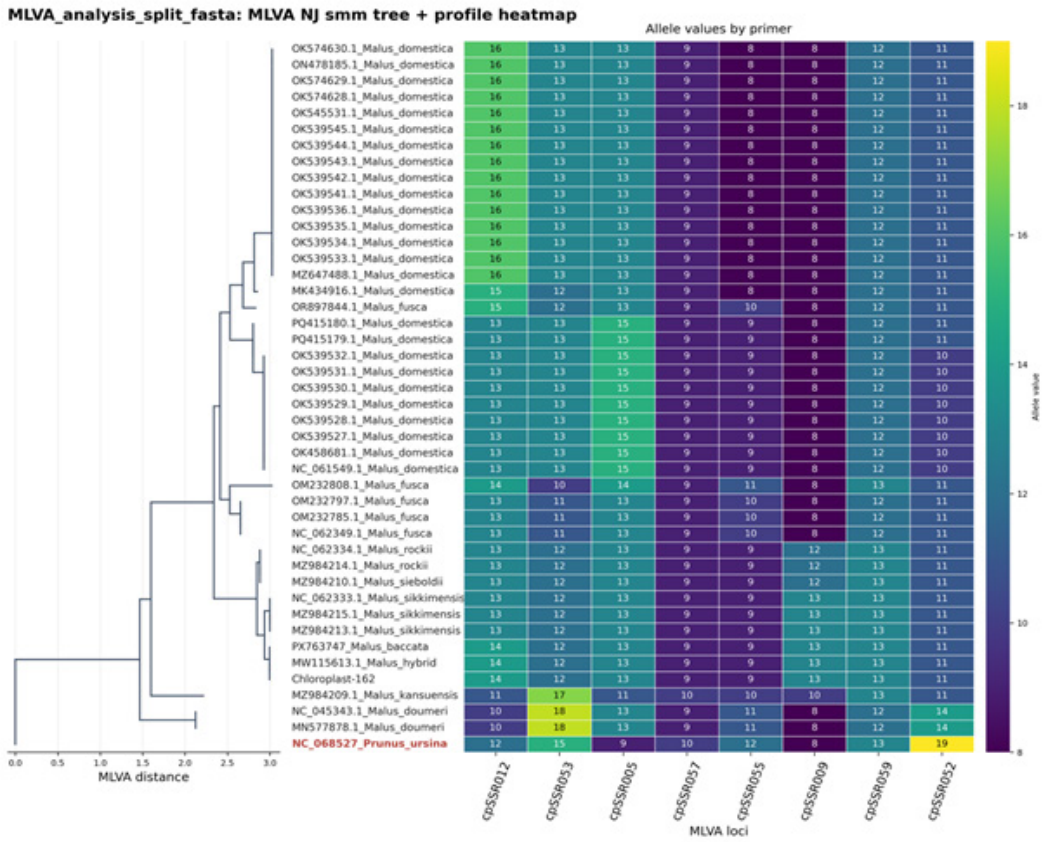


Figure 3. cpSSR/VNTR marker matrix for 44 samples of the genera *Malus* and *Prunus*

Wild *Malus* species occupied more peripheral positions, reflecting the accumulation of differences in their cpMLVA profiles. The outgroup sample *Prunus ursina* was clearly separated from all *Malus* representatives, confirming the informativeness of the selected loci for detecting intergeneric differences.

According to BLAST analysis of the complete chloroplast genome, the sample annotated as *Malus fusca* (OR897844.1) did not show specific similarity to *M. fusca*. When the results were sorted by Total Score, the highest values were obtained for *Malus sylvestris* (7.468e+05), followed by *M. sieversii* (4.589e+05), *M. domestica* (4.130e+05), and *M. sylvestris* (4.127e+05). *M. fusca* records had lower Total Score values, approximately 3.89–3.92e+05, and therefore were not supported as the closest group by this criterion.

When the results were sorted by Percent Identity, the closest matches were other species of the genus *Malus*: *M. hupehensis* (99.83%), *M. sieversii* (99.78%), and *M. micromalus, M. baccata, Malus* sp., and *M. sylvestris* (mostly 99.70–99.77%).

Given that *M. sieversii* is considered the principal ancestor of the cultivated apple *Malus domestica* and that *M. sieversii* accounted for the largest number of species-level matches in the BLAST analysis, the record was most likely submitted to NCBI with a provisional or erroneous species annotation. The position of this sample within the M. domestica cluster in the MLVA tree is consistent with the BLAST results and shows that analysis using eight chloroplast MLVA markers correctly reflects its actual genetic similarity. This finding supports the validity of the MLVA approach for analyzing plant chloroplast genomes and identifying questionable metadata in databases.

Discussion

The results support the applicability of chloroplast MLVA as an independent marker strategy. From a methodological perspective, transferring MLVA logic from bacterial genomes to angiosperm plastomes is reasonable because the plastome is comparable to a bacterial chromosome in size and compactness, undergoes little meaningful recombination, and is maternally inherited. Its cpSSR/VNTR allelic profile

can therefore be treated as a single haploprofile. Compact cpMLVA profiling substantially reduces the amount of data required to differentiate samples. Rather than performing whole-plastome alignment, the MLVA method alone can be applied. This approach is readily transferable among laboratories, is compatible with standard clustering methods used in bacterial MLVA, and may be suitable for building public MLVA-based databases for angiosperm chloroplast genomes.

The main methodological difference from earlier cpSSR work lies in the way the marker set was assembled. Universal cpSSR primer sets for dicotyledons comprise about ten loci designed from conserved plastome regions [13], and their transfer to non-model taxa is frequently accompanied by loss of amplification or of polymorphism [12]. In this work the panel was built de novo within the genus: clustering of the primary MISA signals against the *M. domestica* reference reduced 2,918 raw loci to 92 orthologous positions, of which 48 (approximately 52%) varied in repeat number. The proportion of informative loci is therefore considerably higher than is usually obtained with universal primer sets, because selection was based directly on observed allelic variation within the target group rather than on flanking-region conservation alone.

The topology obtained with the eight-marker panel reproduces the principal features described in previous chloroplast studies of the genus. Using plastid sequence data, *Volk* et al. [6] showed that *M. domestica* cultivars carry a narrow set of chloroplast haplotypes, whereas wild *Malus* species retain markedly greater plastome heterogeneity, which is attributed to a limited number of maternal lineages having entered the domesticated gene pool. The tight cluster of nearly identical cpMLVA profiles formed by the *M. domestica* samples, the more peripheral positions of the wild species, and the clear separation of the *Prunus* outgroup in our tree are in direct agreement with that observation.

The result is also consistent with nuclear-marker and whole-genome analyses describing cultivated apples as the product of reticulate evolution with a dominant *M. sieversii* contribution and repeated introgression from *M. sylvestris* and other wild species [1, 3, 4]. Because the plastome is maternally inherited, cpMLVA resolves only the maternal component of this history; the limited resolution within *M. domestica* should therefore be read as a property of the marker system rather than as an absence of diversity among cultivars, which nuclear SSR and SNP panels resolve well [4, 7].

The result obtained for accession OR897844.1 illustrates a practical application of the panel. This record, deposited as *M. fusca*, fell within the *M. domestica* cluster in the cpMLVA tree, and whole-plastome BLAST comparison returned *M. sylvestris, M. sieversii*, and *M. domestica* rather than *M. fusca* as the closest matches. Discrepancies between the declared taxonomic affiliation of public sequence records and their actual similarity are a recognised problem in plant barcoding, where the reliability of identification depends primarily on the quality of reference-database annotation [14]. cpMLVA does not replace whole-plastome comparison, but it flags such records at a small fraction of the computational cost, and the agreement between the eight-locus profile and the whole-genome BLAST result indicates that the reduced panel retains sufficient signal for this purpose.

Several limitations should be noted. Sampling was uneven: most wild species were represented by single accessions, so intraspecific variation is probably underestimated. Homoplasy at individual loci is also expected, because repeat-number states are limited and identical allele sizes can arise independently; the use of several independent loci mitigates this effect but does not eliminate it, as is well documented for bacterial MLVA schemes [18, 19]. Expanding the panel and increasing the sampling of wild populations, in particular of *M. sieversii* in Kazakhstan, are therefore the next steps.

Potential practical applications of the approach include screening *Malus* collections in centers of origin and commercial germplasm banks, where cpMLVA could rapidly and inexpensively detect divergent maternal lineages, potential introgressants from wild species, and erroneous duplicates.

Conclusion

The 42 public *Malus* chloroplast assemblies screened with MISA contained a rich set of variable tandem repeats, predominantly mononucleotide repeats, located in the LSC region of the plastome. The adapted MLVA-like approach (cpMLVA), implemented using a panel of eight primer pairs and evaluated on 43 *Malus* profiles together with the *Prunus* outgroup, has potential for differentiating wild and cultivated *Malus* representatives.

In addition, the method was further validated by BLAST analysis of the complete chloroplast genome of the disputed *Malus fusca* sample. When ranked by Total Score, the greatest similarity was observed

not with *M. fusca* but with *M. sylvestris* (7.468e+05), *M. sieversii* (4.589e+05), and M. domestica (4.130e+05), whereas *M. fusca* records had lower values. When sorted by Percent Identity, the closest matches also included several *Malus* species with high identity (99.70–99.83%), indicating ambiguity in the original *M. fusca* annotation in NCBI. The position of this sample within the *M. domestica* group in the MLVA tree was consistent with the BLAST results and confirmed the informativeness of the cpMLVA panel for identifying taxonomically questionable records. In our analysis, the eight-locus profile reproduced the principal groups within *Malus* and correctly separated the *Prunus* outgroup, confirming that the panel provides sufficient resolution.

Authors' Contributions

VSh and OKh: Conceptualized and designed the study, developed the cpMLVA workflow, performed the bioinformatic analysis, interpreted the results, and drafted the manuscript. YuE and ASa: Participated in data analysis, interpretation of chloroplast genome variation, sample processing, and validation of the analytical outputs. ATu: Provided laboratory support, data curation, and preparation of materials for analysis. SMa: Participated in chloroplast DNA extraction. All authors have read, reviewed, and approved the final manuscript.

Financing Information

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan in the framework of program funding for research AP26104633. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

References

1 Cornille, A., Giraud, T., Smulders, M.J.M., Roldán-Ruiz, I., Gladieux, P. (2014). The domestication and evolutionary ecology of apples. *Trends in Genetics*, 30(2), 57–65. DOI: 10.1016/j.tig.2013.10.002.

2 Peter, J. (2020). The *Malus* collection. *Royal Botanical Gardens.* https://www.rbg.ca/the-malus-collection/

3 Velasco, R., Zharkikh, A., Affourtit, J., Dhingra, A., Cestaro, A., Kalyanaraman, A., Viola, R. (2010). The genome of the domesticated apple (Malus × domestica Borkh.). *Nature Genetics*, 42(10), 833–839. DOI:10.1038/ng.654.

4 Migicovsky, Z., Gardner, K.M., Richards, C., Chao, C.T., Schwaninger, H.R., Fazio, G., Zhong, G.-Y., Myles, S. (2021). Genomic consequences of apple improvement. *Horticulture Research*, 8, 9. DOI:10.1038/s41438-020-00441-7.

5 Tegtmeier, R., Švara, A., Gritsenko, D., Khan, A. (2025). *Malus sieversii*: a historical, genetic, and conservational perspective of the primary progenitor species of domesticated apples. *Horticulture Research*, 12(1), uhae244. DOI:10.1093/hr/uhae244.

6 Volk, G.M., Henk, A.D., Baldo, A., Fazio, G., Chao, C.T., Richards, C.M. (2015). Chloroplast heterogeneity and historical admixture within the genus *Malus. American Journal of Botany,* 102(7), 1198–1208. DOI:10.3732/ajb.1500095.

7 Liang, W., Dondini, L., De Franceschi, P., Paris, R., Sansavini, S., Tartarini, S. (2015). Genetic diversity, population structure and construction of a core collection of apple cultivars from Italian germplasm. *Plant Molecular Biology Reporter,* 33(3), 458–473. DOI:10.1007/s11105-014-0754-9.

8 Wicke, S., Schneeweiss, G.M., dePamphilis, C.W., Müller, K.F., Quandt, D. (2011). The evolution of the plastid chromosome in land plants: gene content, gene order, gene function. *Plant Molecular Biology*, 76(3), 273–297. DOI:10.1007/s11103-011-9762-4.

9 Daniell, H., Lin, C.-S., Yu, M., Chang, W.-J. (2016). Chloroplast genomes: diversity, evolution, and applications in genetic engineering. *Genome Biology*, 17(134), 2–29. DOI:10.1186/s13059-016-1004-2.

10 Mower, J.P., Vickrey, T.L. (2018). Structural diversity among plastid genomes of land plants. *Advances in Botanical Research*, 85, 263–292. DOI: 10.1016/bs.abr.2017.11.013.

11 Provan, J., Powell, W., Hollingsworth, P.M. (2001). Chloroplast microsatellites: new tools for studies in plant ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution,* 16(3), 142–147. DOI:10.1016/S0169-5347(00)02097-8.

12 Ebert, D., Peakall, R. (2009). Chloroplast simple sequence repeats (cpSSRs): technical resources and recommendations for expanding cpSSR discovery and applications to a wide array of plant species. *Molecular Ecology Resources*, 9(3), 673–690. DOI:10.1111/j.1755-0998.2008.02319.x.

13 Weising, K., Gardner, R.C. (1999). A set of conserved PCR primers for the analysis of simple sequence repeat polymorphisms in chloroplast genomes of dicotyledonous angiosperms. *Genome,* 42(1), 9–19. DOI:10.1139/g98-104.

14 Hollingsworth, P.M., Graham, S.W., Little, D.P. (2011). Choosing and using a plant DNA barcode. *PLoS ONE*, 6(5), e19254. DOI: 10.1371/journal.pone.0019254.

15 Tautz, D. (1989). Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. *Nucleic Acids Research,* 17(16), 6463–6471. DOI:10.1093/nar/17.16.6463.

16 Schlötterer, C. (2000). Evolutionary dynamics of microsatellite DNA. *Chromosoma*, 109(6), 365–371. DOI:10.1007/s004120000089.

17 van Belkum, A., Scherer, S., van Alphen, L., Verbrugh, H. (1998). Short-sequence DNA repeats in prokaryotic genomes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(2), 275–293. DOI:10.1128/MMBR.62.2.275-293.1998.

18 Lindstedt, B.-A. (2005). Multiple-locus variable number tandem repeats analysis for genetic fingerprinting of pathogenic bacteria. *Electrophoresis*, 26(13), 2567–2582. DOI:10.1002/elps.200500096.

19 Vergnaud, G., Pourcel, C. (2009). Multiple locus variable number of tandem repeats analysis. *Methods in Molecular Biology*, 551, 141–158. DOI:10.1007/978-1-60327-999-4_12.

20 Shi, C., Hu, N., Huang, H., Gao, J., Zhao, Y.J., Gao, L.Z. (2012). An improved chloroplast DNA extraction procedure for whole plastid genome sequencing. *PLoS ONE*, 7(2), e31468. DOI: 10.1371/journal.pone.0031468.

21 Andrews, S. (2010). FastQC: a quality control tool for high throughput sequence data. *Babraham Bioinformatics, Babraham Institute, Cambridge, United Kingdom*. http://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc

22 Ewels, P., Magnusson, M., Lundin, S., Käller, M. (2016). MultiQC: summarize analysis results for multiple tools and samples in a single report. *Bioinformatics*, 32(19), 3047–3048. DOI:10.1093/bioinformatics/btw354.

23 Beier, S., Thiel, T., Münch, T., Scholz, U., Mascher, M. (2017). MISA-web: a web server for microsatellite prediction. *Bioinformatics*, 33(16), 2583–2585. DOI:10.1093/bioinformatics/btx198.

24 Untergasser, A., Cutcutache, I., Koressaar, T., Ye, J., Faircloth, B.C., Remm, M., Rozen, S.G. (2012). Primer3 - new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research,* 40(15), e115. DOI:10.1093/nar/gks596.

Appendix 1 – Accession numbers of chloroplasts used in the article (42 *Malus* accessions and the *Prunus ursina* outgroup)

MK434916.1, OK458681.1, OK539544.1, MN577878.1, OK539527.1, OK539545.1, MW115613.1, OK539528.1, OK545531.1, MZ647488.1, OK539529.1, OK574628.1, MZ984209.1, OK539530.1, OK574629.1, MZ984210.1, OK539531.1, OK574630.1, MZ984213.1, OK539532.1, OM232785.1, MZ984214.1, OK539533.1, OM232797.1, MZ984215.1, OK539534.1, OM232808.1, NC_045343.1, OK539535.1, OR897844.1, NC_061549.1, OK539536.1, PQ415179.1, NC_062333.1, OK539541.1, PQ415180.1, NC_062334.1, OK539542.1, ON478185.1, NC_062349.1, OK539543.1, PX763747.1, NC_068527.1

Malus spp. жабайы және мәдени гермоплазмасын ажырату үшін хлоропласт микросателлиттік локустарының MLVA-талдауын қолдану

Шевцов В.А.[1], Хапилина О.Н.[1], Ефремова Ю.М.[1,2], Сарсенова А.С.[1], Туменбаева А.Р.[1], Магзумова С.М.[1]

[1]«Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан
[2]Қазақстан-Неміс университеті, Алматы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. *Malus* туысы селекция, генетикалық ресурстарды сақтау және жеміс дақылдарының эволюциясын зерттеу үшін маңызы зор жабайы және мәдени алма формаларын біріктіреді. Алманың генетикалық әртүрлілігін бағалауда SSR және SNP маркерлері кеңінен қолданылғанымен, органеллалық маркерлер өз маңызын сақтайды, өйткені хлоропласт геномы негізінен бірыңғай аналық тұқымқуалаушылық желісін көрсетеді және ядролық геномға қарағанда қарапайым әрі консервативті құрылымға ие. Зерттеудің мақсаты – тандемді қайталанулардың көплокустық талдауы арқылы *Malus* туысы өкілдерінің хлоропласт локустарының генетикалық өзгергіштігін зерттеу және жабайы мен мәдени гермоплазма арасындағы айырмашылықтарды анықтау.

Материалдар мен әдістер. GenBank/ENA дерекқорына орналастырылған 42 хлоропласт жинағы және осы жұмыста алынған бір жинақ талданды; сыртқы топ ретінде *Prunus ursina* (NC_068527) хлоропласт геномы пайдаланылды. Микросателлиттік және VNTR тәрізді локустар MISA бағдарламасымен анықталды, ортологтық локустар Python скрипттерімен кластерленді, өзгермелі локустарға праймерлер Primer3 арқылы жобаланды. MLVA профильдері MLVA_finder пакетімен құрылды, жұптық қашықтықтар Stepwise Mutation Model бойынша есептеліп, neighbor-joining ағашы тұрғызылды.

Нәтижелер. MISA талдауы 2 918 SSR локусын анықтады, олардың 96,1%-ы мононуклеотидті қайталанулар (негізінен поли-A/T) болды. Кластерлеу нәтижесінде 92 ортологтық локус қалды, оның 48-і (шамамен 52%) қайталану санымен ерекшеленді. cpMLVA панеліне ең ақпаратты сегіз праймер жұбы таңдалды. Алынған ағашта *M. domestica* үлгілері тығыз кластер түзді, жабайы түрлер шеткі орындарды иеленді, ал *Prunus* сыртқы тобы айқын бөлінді. Толық хлоропласт геномының BLAST талдауы *M. fusca* (OR897844.1) деп белгіленген жазбаның таксономиялық тұрғыдан күмәнді екенін растады.

Қорытынды. Хлоропласт тандемді қайталанулары *Malus* туысының жабайы және мәдени өкілдерін ажырату үшін, сондай-ақ ашық дерекқорлардағы қате метадеректерді анықтау үшін ықшам маркерлік жүйе бола алады.

Кілт сөздер: *Malus* spp.; хлоропласт геномы; cpSSR; тандемді қайталанулар; VNTR; MLVA.

Применение MLVA-анализа микросателлитных локусов хлоропластов для дифференциации дикорастущего и культурного генофонда *Malus* spp.

Шевцов В.А.[1], Хапилина О.Н.[1], Ефремова Ю.М.[1,2], Сарсенова А.С.[1], Туменбаева А.Р.[1], Магзумова С.М.[1]

[1]ТОО «Национальный центр биотехнологии», Астана, Казахстан
[2]Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Род *Malus* объединяет дикорастущие и культурные формы яблони, имеющие важное значение для селекции, сохранения генетических ресурсов и изучения эволюции плодовых культур. Несмотря на широкое применение SSR- и SNP-маркеров для оценки генетического разнообразия яблони, органелльные маркеры сохраняют своё значение, поскольку хлоропластный геном преимущественно отражает единую материнскую линию наследования и имеет более простую и консервативную структуру по сравнению с ядерным геномом. Цель

работы – изучить генетическую изменчивость хлоропластных локусов представителей рода *Malus* с помощью мультилокусного анализа тандемных повторов и выявить различия между дикорастущим и культурным генофондом.

Материалы и методы. Проанализированы 42 хлоропластные сборки, депонированные в GenBank/ENA, и одна сборка, полученная в настоящей работе; в качестве внешней группы использован хлоропластный геном *Prunus ursina* (NC_068527). Микросателлитные и VNTR-подобные локусы выявляли с помощью MISA, ортологичные локусы кластеризовали собственными скриптами на Python, праймеры к вариабельным локусам подбирали в Primer3. MLVA-профили строили в пакете MLVA_finder, попарные расстояния рассчитывали по модели ступенчатых мутаций (SMM), после чего строили дерево методом neighbor-joining.

Результаты. Анализ MISA выявил 2 918 SSR-локусов, из которых 96,1% составили мононуклеотидные повторы, преимущественно поли-A/T. Кластеризация свела их к 92 ортологичным локусам, 48 из которых (около 52%) различались по числу повторов. Для панели cpMLVA отобраны восемь наиболее информативных пар праймеров. Полученное дерево показало плотную кластеризацию образцов *M. domestica*, более периферийное положение дикорастущих видов и чёткое отделение внешней группы *Prunus*. BLAST-анализ полного хлоропластного генома подтвердил, что запись, аннотированная как *M. fusca* (OR897844.1), является таксономически спорной.

Заключение. Хлоропластные тандемные повторы могут служить компактной маркерной системой для дифференциации дикорастущих и культурных представителей рода *Malus*, а также для выявления ошибочных метаданных в открытых базах данных.

Ключевые слова: *Malus* spp.; хлоропластный геном; cpSSR; тандемные повторы; VNTR; MLVA.

УДК 631.52 **Исследовательская статья**

Оценка селекционного материала яровой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в условиях северо-востока Казахстана

Жукова Н.А., **Вирясова Е.Н.**

ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция»
с. Кеменгер, Павлодарский район, Павлодарская область, Казахстан

Автор-корреспондент: Жукова Н.А.: natalya_08.89@mail.ru
Соавтор: (1: ЕВ) yelena.viryasova.74@mail.ru

Получено: 10.07.2026 **Принято:** 18.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Жукова Н.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Северо-Восток Казахстана характеризуется недостаточным и неравномерным увлажнением, высокой температурой в летний период и значительной межгодовой изменчивостью погодных условий. Для яровой мягкой пшеницы это особенно важно в период колошении-налив зерна, когда дефицит влаги в сочетании с повышенными температурами может существенно снижать количество и массу формирующегося зерна. В условиях изменения климата возрастает необходимость создания сортов, способных не только обеспечивать высокую урожайность в благоприятные годы, но и сохранять продуктивность при неблагоприятных гидротермических условиях. Поэтому традиционный отбор по максимальной урожайности недостаточен: необходимо учитывать адаптивность и стабильность генотипов при изменении условий среды. Цель исследований выявить перспективные генотипы яровой мягкой пшеницы с высокой продуктивностью и ценными показателями качества зерна в условиях северо-востока Казахстана.

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2024–2025 гг. на опытном поле ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция». Объектом исследований служили 30 селекционных линий яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания. В качестве стандартов использовали сорта Ертіс 97 и Павлодарская 93. Оценку селекционного материала проводили по урожайности, продолжительности вегетационного периода, массе 1000 зерен, содержанию белка, клейковины и натуре зерна в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Результаты. Контрастные по влагообеспеченности и температурному режиму погодные условия 2024–2025 годов позволили выявить различия в продуктивности изученных генотипов. Средняя урожайность лучших линий составила 21,1–23,6 ц/га у среднеспелой группы и 22,2–23,3 ц/га у среднепоздней, что превышало стандарты на 2,8–6,6 ц/га. Наиболее высокая средняя урожайность получена у линии Лютесценс 2/03-09-3 и составила 23,6 ц/га. Высокими показателями также характеризовались линии Лютесценс 43/94к-07-7, Лютесценс 42/93-09-1 и Эритроспермум 11/90-10-3, отличавшиеся сочетанием высокой продуктивности и ценных хозяйственно-биологических признаков.

Заключение. Комплексная оценка селекционного материала позволила выделить генотипы, характеризующиеся высокой продуктивностью и ценными показателями качества зерна в контрастных погодных условиях. Наиболее перспективная линия Лютесценс 2/03-09-3 (Павлодарская 25) рекомендована для дальнейшего использования в селекционных программах и передана на Государственное сортоиспытание Республики Казахстан.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница; урожайность; селекционный материал; сортообразец; генотип; качество зерна.

Как цитировать: Жукова, Н.А., Вирясова, Е.Н. (2026). Оценка селекционного материала яровой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в условиях северо-востока Казахстана. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 94-104. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2255

Введение

Яровая мягкая пшеница является одной из основных зерновых культур и занимает ведущие позиции в структуре посевных площадей Республики Казахстан. Производство высококачественного зерна пшеницы служит основой зернового комплекса и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Для северных и северо-восточных регионов страны, где зерновые культуры преимущественно возделываются в условиях естественного увлажнения, дефицит влаги и высокая температура в отдельные периоды вегетации являются одними из основных факторов, ограничивающих формирование урожая. На фоне современных климатических изменений возрастает частота и продолжительность стрессовых периодов, что усиливает необходимость поиска генотипов с повышенной адаптивностью и стабильностью продуктивности.

Анализ климатических данных за 1950–2020 гг. показал повышение среднегодовой температуры в Казахстане в среднем на 0,31 °C за десятилетие, при этом урожайность пшеницы достоверно связана с условиями засушливости в июне–июле [1].

Современная селекция пшеницы сталкивается с необходимостью совмещения двух, на первый взгляд, противоречивых требований – высокой потенциальной продуктивности и стабильности урожая при изменяющихся условиях среды. Генотип, обеспечивающий максимальную урожайность в благоприятный год, не всегда сохраняет своё преимущество при дефиците влаги и повышенных температурах. Поэтому в условиях климатической нестабильности селекционная ценность сорта всё в большей степени определяется не только величиной урожая, но и способностью стабильно реализовывать продукционный потенциал в различных условиях выращивания [1, 2, 3].

Проблема устойчивого производства зерна яровой пшеницы и стабилизации ее качества должна решаться комплексно прежде всего за счет использования сортов, хорошо приспособленных к местным условиям. Ориентация на высокий биологический потенциал продуктивности в определенной степени способствует снижению устойчивости сортов к неблагоприятным взаимодействиям внешней среды, поэтому большое значение имеет правильно подобранный сортовой материал, сочетающий достаточно высокую и стабильную продуктивность с хорошим качеством зерна, приспособленный к изменяющимся условиям конкретной зоны [4, 5].

Сорт является наиболее экономически эффективным средством получения высокого урожая при минимальных затратах. Замена старых сортов новыми более продуктивными, обладающими высокой адаптацией к почвенно-климатическим условиям конкретной местности – один из наиболее действующих и вместе с тем наиболее эффективный способ повышения урожаев [6].

Повышение урожайности и устойчивости зерновых культур требует комплексного подхода, включающего оптимизацию сортовой политики, агротехники и адаптацию к стрессовым факторам среды [7, 8]. Как отмечают исследователи, решающее значение в обеспечении стабильной урожайности принадлежит сорту, рассматриваемому как системе, способной реализовать генетический потенциал растения при изменяющихся внешних условиях [7].

Урожайность яровой мягкой пшеницы представляет собой комплексный количественный признак, зависящий от структуры урожая: числа растений и продуктивных стеблей на единице площади, числа и массы зерен в колосе [9, 10]. По данным [11], продуктивность пшеницы формируется под воздействием множества факторов среды – влаги, температуры, питательного режима, засоления, вызывающих разнообразие физиологических и морфологических реакций. Эти реакции нередко взаимодействуют, изменяя структуру и динамику формирования урожая. Определение степени стабильности хозяйственно-ценных признаков и характера их взаимосвязей имеет важное значение для повышения эффективности селекционного отбора и выявления закономерностей формирования урожая в зависимости от генотипа и условий среды [12].

В связи с этим особое значение приобретает оценка взаимодействия «генотип × среда» (G × E), поскольку различные генотипы могут существенно различаться по стабильности и адаптивности урожайности. Многоэкологические испытания яровой пшеницы, проведённые в Казахстане и Сибири, подтвердили возможность выделения генотипов с широкой адаптацией и высокой надёжностью урожайности [3].

Таким образом, проведение исследований по оценке селекционного материала яровой мягкой пшеницы позволяет не только выявить перспективные сортообразцы для включения в государственное сортоиспытание, но и определить направление дальнейшей селекции в условиях изменяющего климата и требований рынка к качеству зерна.

Целью исследований являлась комплексная оценка селекционного материала яровой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании для выявления перспективных генотипов, сочетающих высокую продуктивность и ценные показатели качества зерна в условиях северо-востока Казахстана.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2024–2025 годах на опытном участке ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция». Почвы опытного участка каштановые, супесчаные, с содержанием гумуса 0,71–0,87%, P2O5 - 135-150 мг/кг, pH – 6,4–6,6. Предшественник – чистый пар. Агротехника в опытах в целом соответствует технологии возделывания яровой пшеницы, принятой в данной зоне.

Материалом для исследований служили 30 перспективных сортообразцов яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания, испытание проводилось в четырехкратной повторности с учетной площадью 14 м^2 рандомизированным методом. Размещение стандартов через 10 номеров. Посев селекционных питомников проводился дисковой селекционной сеялкой ССФК-7. В качестве стандартов были использованы сорта среднеспелого типа Ертіс 97, среднепозднего Павлодарская 93.

Уборка урожая осуществлялась при полной спелости по мере созревания сортов напрямую комбайном «Wintersteiger». Работы выполнялись по методике государственного сортоиспытания [13].

Метеорологические условия вегетационных периодов 2024, 2025 годов отличились резко выраженной контрастностью не только в сравнении со среднемноголетними данными, но и по годам.

Суммарное количество осадков за вегетационный период в 2024 году составило 282 мм, в 2025 году 176,8 мм при среднемноголетнем значении 121,2 мм. Распределение их по фазам развития пшеницы было неравномерным, что сказалось на качестве зерна и урожайности. Вегетационный период 2024 года отличался избыточным увлажнением в фазу «колошение–восковая спелость», способствовавшим удлинению периода и увеличению урожайности.

Период вегетации яровой пшеницы в 2025 году резко отличался от 2024 года по влагообеспеченности почвы и температуре воздуха. Продолжительная жаркая и сухая погода наблюдалась в период от выхода в трубку до восковой спелости. В это время недостаток влаги стал одним из сдерживающих факторов, который значительно снизил озарённость колоса, массу 1000 зерен и, как следствие, урожайность.

Результаты

Урожайность – это один из основных признаков при оценке яровой пшеницы. Складывается из отдельных компонентов, в том числе сильное влияние на данный показатель оказывают метеорологические условия года изучения. Поскольку данная зона относится к зоне рискованного земледелия и каждый год изучения не похож на другой.

Создание сортов степного экотипа на северо-востоке Казахстана имеет свои особенности. Безморозный период в регионе составляет 100–110 дней, что позволит возделывать сорта яровой мягкой пшеницы среднеспелого и среднепозднего типа в разных соотношениях.

Период вегетации изучаемых линий пшеницы в среднем за 2024–2025 гг. варьировал от 81 до 89 дней, при этом у стандартов Ертіс 97 и Павлодарская 93 средняя продолжительность периода «всходы–полная спелость» составила соответственно 83 и 89 дней. Изучаемые линии распределены по группам спелости: среднеспелые 81–83 дня, среднепоздние 86–89 дней (таблица 1). Согласно многолетним данным метеонаблюдений, для региона характерно недостаточное увлажнение в первой половине вегетации, поэтому при отборе селекционного материала учитывалась продолжительность периода «всходы–колошение» как один из селекционных критериев.

Таблица 1. Продолжительность межфазных периодов лучших сортообразцов в конкурсном сортоиспытании, 2024–2025 гг.

Линии	Всходы–колошение, дней		Среднее	Всходы–полная спелость, дней		Среднее
	2024	2025		2024	2025	
I группа среднеспелые						
Epmic -97 st	38	40	39	83	84	83
Лютесценс 2/03-09-3	37	39	38	82	84	82
Лютесценс 261-10-5	37	40	38	80	84	82
Лютесценс 1087/04-2	38	39	39	81	82	81
Лютесценс 43/94к-07-7	38	41	39	83	84	83
II группа среднепоздние						
Павлодарская 93 st	43	45	44	90	88	89
Лютесценс 42/93-09-1	42	43	43	89	87	88
Эритроспермум 66-04-3ч.с.9	41	44	42	88	87	87
Лютесценс 2/02-09-8	40	43	41	88	85	86
Эритроспермум 11/90-10-3	42	44	43	89	88	89

В 2024 г. при более благоприятном влагообеспечении и сумме осадков за вегетационный период 282 мм продолжительность периода «всходы–колошение» у среднеспелых образцов составляла 37–38 дней, у среднепоздних 40–43 дня. Период «всходы–полная спелость» составлял 80–83 дня у среднеспелых и 88–90 дней у среднепоздних образцов. В 2025 г. количество осадков за период вегетации снизилось до 176,8 мм, при этом отмечались повышенные температуры и недостаток влаги в период от выхода в трубку до восковой спелости. На фоне различий погодных условий продолжительность периода «всходы–колошение» по сравнению с 2024 г. увеличилась у образцов обеих групп спелости на 1–3 дня. Период «всходы–полная спелость» в 2025 г. изменялся неодинаково: у среднеспелых образцов его продолжительность увеличилась на 1–4 дня, тогда как у среднепоздних сократилась на 1–3 дня.

Таблица 2. Урожайность лучших сортообразцов в конкурсном сортоиспытании, 2024–2025 гг.

Линии	Урожайность		Среднее	Отклонение от стандарта
	2024	2025		
I группа среднеспелые				
Epmic -97 st	23,0	11,1	17,0	-
Лютесценс 2/03-09-3	30,4	16,8	23,6	+6,6
Лютесценс 261-10-5	28,0	15,2	21,6	+4,6
Лютесценс 1087/04-2	27,5	14,8	21,1	+4,1
Лютесценс 43/94к-07-7	29,3	15,7	22,5	+5,5
$НСР_{05}$	3,0	1,5		
II группа среднепоздние				
Павлодарская 93 st	25,3	13,6	19,4	-
Лютесценс 42/93-09-1	31,2	15,4	23,3	+3,9
Эритроспермум 66-04-3ч.с.9	29,4	15,0	22,2	+2,8
Лютесценс 2/02-09-8	28,8	15,8	22,3	+2,9
Эритроспермум 11/90-10-3	30,6	16,1	23,3	+3,9
$НСР_{05}$	2,5	1,5		

Конечный результат сложного взаимодействия генотипа пшеницы с многочисленными абиотическими и биотическими факторами внешней среды наиболее полно проявляется в уровне урожайности сорта. Именно поэтому урожайность выступает одним из важнейших интегральных показателей, характеризующих хозяйственную ценность селекционного материала. В связи с этим, анализ результатов конкурсного сортоиспытания был ориентирован, прежде всего, на оценку продуктивности изучаемых образцов, при контрастных погодных условиях. Вегетационный период 2025 года характеризовался наиболее неблагоприятным сочетанием погодных факторов. В начальный период вегетации (май-июнь) отмечалась выраженная неравномерность влагообеспечения: количество атмосферных осадков в мае составило всего 50%, в июне 65%, что существенно ниже среднемноголетних показателей. Одновременно отмечалось длительное отсутствие эффективных осадков на фоне повышенного температурного режима, что негативно отразилось на начальном росте и развитии растений пшеницы.

Согласно полученным экспериментальным данным, в 2024 году продуктивность изучаемых образцов находилась в пределах 27,5–31,2 ц/га. Урожайность стандартов Ертіс 97 и Павлодарская 93 составила 23,0 и 25,3 ц/га соответственно (таблица 2). В 2025 году, характеризовавшемся повышенным температурным режимом и дефицитом влаги в отдельные периоды вегетации, значения данного показателя снизились до 14,8–16,8 ц/га, тогда как стандарты сформировали лишь 11,1 и 13,6 ц/га соответственно.

Средние показатели продуктивности за годы исследований у среднеспелых линий составили 21,1–23,6 ц/га, а у среднепоздних 22,2–23,3 ц/га, что характеризует выделившиеся линии как перспективные по продуктивности независимо от группы спелости (таблица 2).

Наибольший селекционный интерес среди среднеспелых образцов представляли Лютесценс 43/94к-07-7 и Лютесценс 2/03-09-3, обеспечившие превышение стандарта на 5,5 и 6,6 ц/га соответственно. В группе среднепоздних образцов лучшими оказались Лютесценс 42/93-09-1 и Эритроспермум 11/90-10-3, превысившие стандарт на 3,9 ц/га.

Полученные результаты показывают, что выделенные генотипы сохраняли преимущество по урожайности относительно соответствующих стандартов в оба года исследований. Это позволяет рассматривать их как перспективный материал для дальнейшего изучения в условиях рискованного земледелия.

В процессе проведения исследований проведен комплексный анализ качества зерна, позволивший выделить образцы с наиболее высокими показателями. Качественная характеристика зерна играет не менее важную роль, так как именно она определяет хозяйственную ценность сорта и его пригодность к использованию в продовольственных целях. Проведено изучение по качественным показателям зерна, масса 1000 зерен, содержание клейковины в зерне, натура.

Масса 1000 зерен является одним из показателей, характеризующих крупность и выполненность зерна, и имеет важное значение при оценке структуры урожая селекционного материала [14]. Формирование данного признака определяется как генотипическими особенностями, так и условиями выращивания. В условиях повышенной температуры и недостаточного влагообеспечения в период налива зерна продолжительность его формирования может сокращаться, что ограничивает накопление ассимилятов в зерновке и отражается на массе 1000 зерен. В 2024 году, при более благоприятном влагообеспечении в период формирования и налива зерна, масса 1000 зерен у изученных образцов варьировала от 36,5 до 41,0 г, тогда как в 2025 году от 37,5 до 40,5 г. При этом реакция отдельных генотипов на изменение условий года была неодинаковой. Так, у линии Лютесценс 1087/04-2 масса 1000 зерен снизилась с 40,0 до 37,5 г, тогда как у Лютесценс 43/94к-07-7 увеличилась с 38,0 до 39,5 г. Линия Лютесценс 2/03-09-3 характеризовалась высокой массой 1000 зерен в оба года 40,0 и 40,5 г соответственно. Наибольшее значение показателя в 2024 году отмечено у линий Лютесценс 42/93-09-1 и Эритроспермум 11/90-10-3 – 41,0 г (таблица 3).

Таблица 3. Качественные показатели лучших сортообразцов в конкурсном сортоиспытании, 2024–2025 гг.

Линии	Масса 1000 зёрен, г		Клейковина, %		Белок, %		Натура, г/л	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
I группа среднеспелые								
Epmic -97 st	36,5	38,0	31,7	29,8	14,8	12,2	788	770
Лютесценс 2/03-09-3	40,0	40,5	35,5	32,1	15,2	13,1	790	796
Лютесценс 261-10-5	39,5	39,5	30,0	30,3	13,1	12,7	788	778
Лютесценс 1087/04-2	40,0	37,5	34,0	29,4	14,9	13,0	798	751
Лютесценс 43/94к-07-7	38,0	39,5	30,9	30,7	13,8	12,8	796	764
II группа среднепоздние								
Павлодарская 93 st	37,5	40,0	33,2	30,2	15,1	14,2	795	782
Лютесценс 42/93-09-1	41,0	39,0	33,1	31,7	14,2	13,7	801	746
Эритроспермум 66-04-3ч.с.9	40,0	40,0	32,9	29,5	15,4	13,2	803	761
Лютесценс 2/02-09-8	39,5	38,5	32,4	29,9	15,1	13,8	789	772
Эритроспермум 11/90-10-3	41,0	39,5	34,1	30,9	13,9	12,0	799	798

Многолетними наблюдениями установлено, что показатели качества зерна содержание клейковины и белка, являются наиболее точными индикаторами, по которым можно судить об условиях произрастания пшеницы. Анализ результатов показал, что у выделенных образцов содержание клейковины в оба года исследований превышало 28%. В 2024 году значения показателя варьировали от 30,0 до 35,5%, тогда как в 2025 году от 29,4 до 32,1%. Снижение содержания клейковины у большинства образцов в 2025 году связано с менее благоприятными условиями в период формирования и налива зерна. Повышенная температурная нагрузка и недостаток влаги способствовали сокращению периода налива зерна, что отразилось на формировании его качественных показателей. Наиболее высокое содержание клейковины в 2025 году отмечено у Лютесценс 2/03-09-3 (32,1%) и Лютесценс 42/93-09-1 (31,7%). При этом Лютесценс 2/03-09-3 сохраняла высокое содержание клейковины в оба года исследований 35,5% в 2024 году и 32,1 % в 2025 году.

Содержание белка в зерне также характеризовалось межгодовой изменчивостью. В 2024 году его значения находились в пределах 13,1–15,4 %, тогда как в 2025 году 12,0–14,2%. Более высокое содержание белка в 2024 году у большинства образцов отражает различия в условиях формирования и налива зерна. Среди изучаемых линий максимальные значения в 2024 году отмечены у Эритроспермум 66-04-3ч.с.9 (15,4%) и Лютесценс 2/03-09-3 (15,2%). В 2025 году максимальное содержание белка среди изучаемых образцов отмечено у стандарта Павлодарская 93 (14,2%), тогда как среди селекционных линий наиболее высокие значения отмечены у Лютесценс 2/02-09-8 (13,8%) и Лютесценс 42/93-09-1 (13,7%) (таблица 3). В целом межгодовая динамика содержания белка свидетельствует о неодинаковой реакции генотипов на изменение условий выращивания.

Натура зерна является одним из важных показателей качества зерна. Данный показатель формируется под влиянием генетических особенностей сорта и условий выращивания. В 2024 году, характеризовавшемся более благоприятными условиями влагообеспеченности в период вегетации, селекционные номера формировали зерно с относительно высокой натурой. В группе среднеспелых образцов значение показателя варьировало от 788 до 798 г/л, тогда как у среднепоздних образцов – от 789 до 803 г/л.

В 2025 году в условиях повышенного температурного режима и недостаточного количества осадков в отдельные периоды вегетации, особенно в период формирования и налива зерна, у большинства изучаемых образцов отмечалось снижение натуры зерна. У среднеспелых селекционных номеров значения показателя составили 751–796 г/л, у среднепоздних 746–798 г/л. Наиболее заметное

снижение натуры по сравнению с 2024 годом отмечено у отдельных образцов среднепоздней группы, в частности у линии Лютесценс 42/93-09-1 с 801 до 746 г/л, а также у Эритроспермум 66-04-3ч.с.9 с 803 до 761 г/л. Вместе с тем у Эритроспермум 11/90-10-3 показатель изменился незначительно с 799 до 798 г/л.

По результатам конкурсного сортоиспытания в 2025 году, линия Лютесценс 2/03-09-3 была передана на Государственное сортоиспытание Республики Казахстан под названием Павлодарская 25. Сорт создан методом индивидуального отбора из гибридной комбинации (Харьковская 2 × Шадринская) × Казахстанская 19). Относится к разновидности Лютесценс, характеризуется среднеспелостью (79–84 дня), устойчивостью к засухе, полеганию и осыпанию.

Обсуждение

Полученные результаты показали существенную зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы от условий вегетационного периода. В 2024 году при более благоприятном влагообеспечении урожайность выделившихся среднеспелых линий составила 27,5–30,4 ц/га, среднепоздних – 28,8–31,2 ц/га. В 2025 году на фоне повышенного температурного режима и неравномерного распределения осадков урожайность снизилась соответственно до 14,8–16,8 и 15,0–16,1 ц/га. При этом выделившиеся линии сохраняли преимущество над соответствующими стандартами в оба года, что характеризует их как перспективный селекционный материал для дальнейшего изучения в условиях рискованного земледелия.

Выявленная межгодовая изменчивость согласуется с результатами исследований яровой пшеницы в Северном Казахстане. *Савин* и др. [2] установили существенное влияние условий среды, года испытания и взаимодействия «генотип × среда» на урожайность, отмечая значительное изменение продуктивности одного и того же генотипа в различных условиях. Полученные нами данные подтверждают данную закономерность: при снижении урожайности в 2025 году выделившиеся линии сохранили преимущество относительно соответствующих стандартов.

Существенное влияние погодных условий проявилось также в формировании урожайности и физических показателей зерна. В 2025 году продолжительный период повышенных температур и недостаточного увлажнения от выхода в трубку до восковой спелости сопровождался снижением урожайности и формированием менее благоприятных условий для налива зерна по сравнению с 2024 годом. Такая реакция соответствует общим закономерностям формирования продуктивности яровой пшеницы при воздействии водного и температурного стресса. По данным *Каратаев* и др.. [1], изменение климатических условий Казахстана сопровождается повышением температурного режима и изменением условий увлажнения, при этом засушливость в июне–июле оказывает существенное влияние на урожайность пшеницы. Аналогичные закономерности для Северного Казахстана и Западной Сибири отмечены *Моргунов* и др. [15], показавшими выраженную связь урожайности яровой пшеницы с погодными условиями, в частности с температурой и количеством осадков в течение вегетационного периода. Полученные в настоящем исследовании результаты в целом согласуются с указанными закономерностями, поскольку переход от более благоприятных условий 2024 года к жаркому и недостаточно увлажнённому 2025 году сопровождался существенным снижением урожайности изученных генотипов.

Продолжительность вегетационного периода выделившихся линий в среднем за 2024–2025 гг. составляла 81–89 суток. При этом в 2024 году продолжительность периода «всходы–полная спелость» у изученных линий варьировала от 80 до 90 суток, тогда как в 2025 году – от 82 до 88 суток. В 2024 году среднепоздние линии в целом формировали несколько более высокую урожайность, чем среднеспелые, тогда как в 2025 году различия между группами были менее выражены. Это указывает на то, что преимущество определённой группы спелости по урожайности зависит от конкретных условий года. *Савин* и др. также отмечают необходимость учитывать сроки развития и группу спелости при подборе исходного материала для конкретных агроклиматических условий [2].

Следует учитывать, что специальная полевая оценка засухоустойчивости, экологической пластичности и стабильности урожайности в настоящем исследовании не проводилась.

Поэтому полученные результаты характеризуют реакцию генотипов на конкретное сочетание температурного и водного режимов в годы испытаний и не могут рассматриваться как прямая оценка засухоустойчивости. Вместе с тем сохранение выделившимися линиями преимущества по урожайности над стандартами в оба года представляет практический интерес. *Gómez-Becerra* et al. подчёркивают необходимость многосторонней оценки генотипов в различных условиях для более объективной характеристики их продуктивности и реакции на изменение среды [16].

Наряду с урожайностью важным критерием отбора являлось качество зерна. Содержание клейковины у изученных линий в целом составляло 29,4–35,5%, белка 12,0–15,4 %, натура зерна 746–803 г/л. Наиболее выраженным сочетанием хозяйственно ценных признаков характеризовалась линия Лютесценс 2/03-09-3, средняя урожайность которой за два года составила 23,6 ц/га. В 2025 году у данной линии содержание клейковины составило 32,1 %, белка 13,1%, натура зерна 796 г/л, масса 1000 зерен 40,5 г. В 2024 году содержание клейковины и белка у неё было выше и составляло соответственно 35,5 и 15,2%. Линия Эритроспермум 11/90-10-3 отличалась высокой натурой зерна 799 г/л в 2024 году и 798 г/л в 2025 году. Наиболее высокое содержание клейковины в 2025 году отмечено у Лютесценс 2/03-09-3 (32,1%) и Лютесценс 42/93-09-1 (31,7%).

Полученные показатели качества сопоставимы с результатами исследований яровой мягкой пшеницы северных регионов Казахстана. *Тоболова* и *Логвинов* [17] отмечают существенную изменчивость содержания белка, клейковины и натуры зерна в зависимости от генотипа и условий выращивания. В их исследованиях содержание клейковины достигало 30%, белка – 15,7%, а натура зерна составляла 733,9–740 г/л. В настоящем исследовании ряд линий характеризовался более высоким содержанием клейковины и натурой зерна, что подтверждает их перспективность для дальнейшего селекционного изучения.

Современные исследования яровой хлебопекарной пшеницы Северного Казахстана также подчёркивают необходимость комплексного отбора по урожайности и качеству зерна [18]. Повышение продуктивности не всегда сопровождается улучшением качественных показателей, поэтому особую селекционную ценность представляют генотипы, сочетающие высокую урожайность с ценными технологическими признаками. В наших исследованиях наиболее выраженное сочетание этих признаков отмечено у линии Лютесценс 2/03-09-3.

Таким образом, результаты подтверждают целесообразность комплексной оценки селекционного материала по урожайности, срокам созревания и показателям качества зерна. Контрастные условия 2024 и 2025 гг. позволили выделить линии, сохранявшие преимущество по урожайности относительно соответствующих стандартов. Полученные результаты соответствуют современным представлениям о существенной роли погодных условий и взаимодействия генотипа со средой в формировании урожайности [2, 15, 16]. Наибольший интерес для дальнейшего селекционного изучения представляют линии Лютесценс 2/03-09-3, Лютесценс 43/94к-07-7, Лютесценс 42/93-09-1 и Эритроспермум 11/90-10-3.

Заключение

В результате конкурсного сортоиспытания установлена эффективность отбора перспективного селекционного материала яровой мягкой пшеницы в условиях северо-востока Казахстана. Выделенные линии сохраняли преимущество по урожайности относительно соответствующих стандартов в оба года исследований и характеризовались различным сочетанием показателей качества зерна. Наибольшую селекционную ценность представляют линии Лютесценс 2/03-09-3, Лютесценс 43/94к-07-7, Лютесценс 42/93-09-1 и Эритроспермум 11/90-10-3, рекомендованные для дальнейшего селекционного изучения и использования в селекционных программах. По комплексу хозяйственно ценных признаков линия Лютесценс 2/03-09-3 (Павлодарская 25) передана на Государственное сортоиспытание Республики Казахстан.

Вклад авторов

НЖ: постановка задачи, анализ данных и написание основной части статьи, ЕВ: сбор материала, подготовка литературного обзора. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Статья выполнена в рамках бюджетной программы 267 Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024–2026 годы по научно-технической программе BR24892821 «Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана».

Список литературы

1 Karatayev, M., Clarke, M., Salnikov, V., Bekseitova, R., Nizamova, M. (2022). Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan. *Heliyon*, 8(1), e08660. DOI: 10.1016/j.heliyon. 2021.e08660.

2 Savin, T., Turuspekov, Y., Amalova, A., *et al*. (2025). Spring Wheat Breeding in Northern Kazakhstan: Drivers of Diversity and Performance. *Crops*, 5(5), 63. DOI: 10.3390/crops5050063.

3 JRC MARS. (2023). *Drought followed by excessive rainfall diminished yield potential and grain quality of spring wheat and barley.*

4 Suchkova, S.A., Taranova, T.P., Zhunusbaeva, Zh.K., Zueva, T.I. (2013). Urozhainost' i kachestvo zerna yarovoi pshenicy v usloviyah Tomskoi oblasti [Yield and grain quality of spring wheat under the conditions of the Tomsk Region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta,* 370, 183–186. [*In Russian*].

5 Grigoriev, Yu.P., Kolmakov, Yu.V. (2014). Ocenka perspektivnyh form yarovoi myagkoi pshenicy dlya vozdelyvaniya v podtaiozhnoi zone Omskoi oblasti [Evaluation of promising forms of spring bread wheat for cultivation in the subtaiga zone of the Omsk Region]. *Agrarnaya Rossiya*, 8, 5–6. [*In Russian*].

6 Belyaev, N.N., Dubinkina, E.A. (2018). Ocenka adaptacii sortov ozimoi myagkoi pshenicy v usloviyah central'nogo Chernozem'ya [Assessment of the adaptation of winter bread wheat varieties under the conditions of the Central Black Earth Region]. *Nauchno-proizvodstvennyi zhurnal Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 3(27), 91-95. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-1040. [*In Russian*].

7 Goncharov, N.P., Goncharov P.L. (2005). Selekciya i semenovodstvo zernovyh kul'tur [Selection and seed production of grain crops]. M.: Kolos. [*In Russian*].

8 Kuz'min, V.P. (1970). Morfofiziologicheskie osnovy produktivnosti pshenicy [Morphophysiological Foundations of Wheat Productivity]. M.: Agropromizdat. [*In Russian*].

9 Kuz'min, V.P. (1970). Selekciya yarovoi pshenicy na zasuhoustoichivost'. Povyshenie zasuhoustoichivosti zernovyh kul'tur [Selection of spring wheat for drought resistance. Improving the drought resistance of grain crops]. M.: Kolos, 6-17. [*In Russian*].

10 Remeslo, V.N. (1976). *Zernovoe rastenie i urozhai* [*Grain plant and harvest*]. Kiev: Urozhai. [*In Russian*].

11 Dorofeev, V.F., i dr. (1976). Pshenica: biologiya, morfologiya, klassifikaciya, ispol'zovanie [Wheat: biology, morphology, classification, use]. *Nauka.* [In Russian].

12 Sereda, G.A., Sereda, T.G., Sereda, S.G., Ubykina, T.N. (2025). Variability and correlation of economically valuable traits with grain yield in spring soft wheat in Central Kazakhstan [Variability and correlation of economically valuable traits with grain yield in spring bread wheat in Central Kazakhstan]. Vestnik Kyzylordinskogo universiteta imeni Korkyt Ata. *Sel'skohozjajstvennye nauki*, 4 (75), 53–61. DOI: 10.52081/bkaku.2025.v75.i4.284. [*In Russian*].

13 *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohoziaistvennyh kul'tur. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury* (1989). [*Cereals, grain crops, leguminous crops, corn, and forage crops*]. Moskva: 2, 194.

14 Kuzmin, V.P. (1978). Voprosy selekcii sel'skohozyaistvennyh kul'tur [Issues of Agricultural Crop Breeding]. *Izbrannye nauchnye trudy*. Alma-Ata: Kainar, 432. [*In Russian*].

15 Morgounov, A., Altybaeva, D., Chudinov, V., Savin, T., Divashuk, M., Chernook, A., Belan, I., Iskakov, R., Kintal, I., Korobeynikov, N., Rozova, M., Tsygankov, V., Tsygankov, A., Yusov, V., Shamanin, V. (2026). Spring bread and durum wheat response to weather across sites in Northern Kazakhstan and Western Siberia. *Frontiers in Agronomy*, 8. DOI: 10.3389/fagro.2026.1883471.

16 Gómez-Becerra, H.F., Morgounov, A., Abugalieva, A.I. (2006). Evaluation of grain yield stability, reliability and cultivar recommendations in spring wheat (Triticum aestivum L.) from Kazakhstan and Siberia. *Journal of Central European Agriculture*, 7(4), 649–660. DOI: 10.5513/jcea.v7i4.407.

17 Tobolova, G.V., Loginov, Yu.P. (2024). Grain quality of spring soft wheat in the North Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 4, 472–481. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-04-472-481.

18 Savin, T., Morgounov, A., Chilimova, I., Guzmán, C. (2026). Spring Bread Wheat (Triticum aestivum L.) Grain Quality in Northern Kazakhstan: Status and Potential for Improvement for Domestic and Export Markets. *Agriculture*, 16 (7), 724. DOI: 10.3390/agriculture16070724.

Қазақстанның солтүстік-шығыс жағдайында конкурстық сорт сынауындағы жаздық жұмсақ бидайдың селекциялық материалын бағалау

Жукова Н.А., Вирясова Е.Н.

«Павлодар ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС
Кеменгер ауылы, Павлодар ауданы, Павлодар облысы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік-Шығыс Қазақстан ылғалдың тапшылығымен және біркелкі еместігімен, жазғы жоғары температурамен және ауа райы жағдайының айтарлықтай құбылмалылығымен сипатталады. Жаздық жұмсақ бидай үшін бұл, әсіресе, масақтану және дәннің толысу кезеңдерінде маңызды, өйткені ылғал тапшылығының жоғары температурамен үйлесуі қалыптасып жатқан дәндердің саны мен массасын едәуір төмендетуі мүмкін. Климаттың өзгеруі қолайлы жылдары жоғары өнім беріп қана қоймай, қолайсыз гидротермиялық жағдайларда да өнімділікті сақтауға қабілетті сорттарды дамыту қажеттілігін арттырады. Сондықтан тек максималды өнімділікке негізделген дәстүрлі сұрыптау жеткіліксіз, қоршаған орта жағдайларының өзгеруіне байланысты генотиптердің бейімділігі мен тұрақтылығын ескеру қажет. Зерттеудің мақсаты – Қазақстанның солтүстік-шығыс жағдайында жоғары өнімділігі және дән сапасының құнды көрсеткіштері бар жаздық жұмсақ бидайдың перспективалы генотиптерін анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2024–2025 жылдары «Павлодар ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС-нің тәжірибе алқабында жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде конкурстық сортсынақтағы жаздық жұмсақ бидайдың 30 селекциялық желісі алынды. Стандарт ретінде Ертіс 97 және Павлодарская 93 сорттары пайдаланылды. Селекциялық материал ауыл шаруашылығы дақылдарын мемлекеттік сортсынақтан өткізу әдістемесіне сәйкес өнімділігі, вегетациялық кезеңінің ұзақтығы, 1000 дәннің массасы, ақуыз бен клейковина мөлшері, сондай-ақ дәннің табиғаты бойынша бағаланды.

Нәтижелер. 2024–2025 жылдағы ылғалдылық пен температура жағдайын салыстыру зерттелген генотиптердің өнімділігіндегі айырмашылықтарды анықтауға мүмкіндік берді. Үздік желілердің орташа өнімділігі орташа мерзімде пісетін топта 21,1–23,6 ц/га, орташа кеш пісетін топта 22,2–23,3 ц/га құрап, стандарттар көрсеткіштерінен 2,8–6,6 ц/га жоғары болды. Ең жоғары орташа өнімділік Лютесценс 2/03-09-3 желісінде алынды және 23,6 ц/га құрады. Жоғары көрсеткіштерімен сондай-ақ Лютесценс 43/94к-07-7, Лютесценс 42/93-09-1 және Эритроспермум 11/90-10-3 желілері ерекшеленді, олар қарама-қайшы ауа райы жағдайында жоғары өнімділік пен құнды шаруашылық-биологиялық белгілердің үйлесуімен сипатталды.

Қорытынды. Селекциялық материалды кешенді бағалау контрастты ауа райы жағдайында жоғары өнімділігімен және дән сапасының құнды көрсеткіштерімен сипатталатын генотиптерді бөліп алуға мүмкіндік берді. Ең перспективалы Лютесценс 2/03-09-3 (Павлодарская 25) желісі селекциялық бағдарламаларда одан әрі пайдалануға ұсынылып, Қазақстан Республикасының Мемлекеттік сорт сынағына берілді.

Кілт сөздер: жаздық жұмсақ бидай; өнімділік; селекциялық материал; генотип; селекциялық желі; дән сапасы.

Assessment of spring bread wheat breeding material in competitive variety trials in Northeastern Kazakhstan

Natalya A. Zhukova, Elena N. Viryasova

«Pavlodar Agricultural Experimental Station» LLP
Kemenger village, Pavlodar District, Pavlodar Region, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. North-Eastern Kazakhstan is characterized by insufficient and uneven moisture availability, high summer temperatures, and considerable interannual variability in weather conditions. For spring bread wheat, these conditions are particularly important during the heading–grain filling period, when water deficit combined with elevated temperatures can substantially reduce the number and weight of developing grains. Under climate change, there is an increasing need to develop cultivars that can not only provide high yields under favorable conditions but also maintain productivity under adverse hydrothermal conditions. Therefore, conventional selection based solely on maximum yield is insufficient, and genotype adaptability and stability under changing environmental conditions should also be considered. The aim of the study was to identify promising spring bread wheat genotypes with high productivity and valuable grain quality characteristics under the conditions of North-Eastern Kazakhstan.

Materials and Methods. The study was conducted in 2024–2025 at the experimental field of "Pavlodar Agricultural Experimental Station" LLP. The study material consisted of 30 spring bread wheat breeding lines from a competitive variety trial. The cultivars Ertis 97 and Pavlodarskaya 93 were used as standards. The breeding material was evaluated for yield, duration of the growing season, thousand-grain weight, protein and gluten content, and grain test weight in accordance with the methodology for state variety testing of agricultural crops.

Results. Contrasting moisture and temperature conditions in 2024–2025 allowed us to identify differences in the productivity of the studied genotypes. The mean yield of the best-performing lines was 21.1–23.6 c/ha in the medium-maturing group and 22.2–23.3 c/ha in the medium-late-maturing group, exceeding the respective standards by 2.8–6.6 c/ha. The highest average yield was obtained by the Lutescens 2/03-09-3 line and amounted to 23.6 c/ha. The Lutescens 43/94к-07-7, Lutescens 42/93-09-1, and Erythrospermum 11/90-10-3 lines also demonstrated high performance, combining high productivity with valuable agronomic and biological traits under contrasting weather conditions.

Conclusion. Comprehensive evaluation of the breeding material enabled the identification of genotypes characterized by high productivity and valuable grain quality characteristics under contrasting weather conditions. The most promising line, Lutescens 2/03-09-3 (Pavlodarskaya 25), was recommended for further use in breeding programs and submitted for State Variety Testing in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: spring bread wheat; yield; breeding material; genotype; breeding line; grain quality.

УДК 630*161.4:633.34 (045) **Исследовательская статья**

Влияние морфо-биологических показателей на продуктивность сортов сои в условиях Северного Казахстана

Кипшакбаева Г.А., Сабит Д., Әшірбекова І.Ә., Кадринов М.Х.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина»
Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Кипшакбаева Г.А.: g.kipshakbayeva@kazatu.edu.kz
Соавторы: (1: ДС) onlyforworkdns@gmail.com; (2: ІӘ) i.ashirbekova@kazatu.edu.kz
(3: МК) m.kadrinov@kazatu.edu.kz

Получено: 06.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Кипшакбаева Г.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Исследования направлены на оценку влияния морфолого-биологических признаков на формирование продуктивности сортов сои различных групп спелости в условиях Северного Казахстана в виду необходимости расширения культуры. Как известно, ограничивающим фактором для ее внедрения является дефицит тепла, влаги и сортового материала. Цель исследований – определить влияние морфо-биологических признаков на формирование продуктивности сортов сои и выявить формы с высокими адаптивными показателями для практической селекции.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились в условиях сухо-степной зоны на базе ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (НПЦЗХ им. А.И. Бараева). В качестве исходного материала были использованы новые сорта и перспективный селекционный материал отечественной и зарубежной селекции. Учёт и анализ данных проводились по общепринятым методикам, с использованием дисперсионного анализа в программе Statistica 10, достоверность различий оценивалась при $P \leq 0,05$.

Результаты. Исследования показали, что выраженность морфо-биологических признаков определяется взаимодействием генотипа и условий среды (в среднем по показателям 72%). Биометрические показатели, в частности, содержание биомассы являются основными показателями, влияющие на увеличение вегетационного периода и получения высокого урожая ($r = 0,68…0,99$). Также, выявлены основные элементы структуры урожая, влияющие на формирование высокой урожайности зерна. Анализ урожайности сортов различных групп спелости показал их высокую вариативность в зависимости от группы спелости.

Заключение. Исследования показали, что высокие значения исследуемых признаков отмечались в группе ультраранних сортов, где урожайность превышала на 6,0 ц/га (46%). Ультраранняя группа также характеризовалась устойчивым проявлением изучаемых показателей, что обусловлено биологическими особенностями группы и их реакцией на условия стресса. Выявленные в результате исследований сортообразцы сои рекомендуются для использования в практической селекции с целью повышения продуктивности и стабильности сортов сои для условий Северного Казахстана.

Ключевые слова: сорт; соя; оценка; урожайность; стабильность.

Введение

Мировая площадь посевов сои превышает 100 млн га, выращивают ее в основных земледельческих регионах 90 стран мира. Культура занимает первое место в мировых ресурсах производства масла, шрота, и комбикормов имеет большой удельный вес в региональных и национальных продовольственных программах [1, 2]. По данным Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан соя имеет не более 4% от всех посевных площадей масличных

культур и преимущественно на юге страны распространены и посевные площади и высокие показатели урожайности как в условиях полива, так и на богаре. Северный регион представлен сравнительно меньшим показателем, однако высокий спрос на культуру формирует и основные требования к сортам, селекция которой не распространена в конкретных условиях.

Соя не возделывалась в условиях севера Казахстана в большей части из-за климатических особенностей региона. Более широкому внедрению культуры на север страны препятствуют стрессовые условия – ограниченность тепловых и влажностных ресурсов, а также отсутствие налаженной селекционной и семеноводческой деятельности. Недостаток отечественных адаптированных сортов сои остаётся ключевым фактором ограничивающих полноценное внедрение диверсификации АПК в сегменте масличных культур, такой культуры как соя [3, 4, 5, 6, 7].

Основой формирования потенциальной урожайности сои является обеспечение ее биологических потребностей в факторах внешней среды и агроклиматических условиях зоны Северного Казахстана. Ключевым фактором является уровень теплового обеспечения и влажностный режим как на отдельных этапах роста и развития, так и в течение всего вегетационного периода культуры. Исследования показывают, что воздействии этих факторов на вариабельность урожайности составляет в целом 60–80%, в сравнении с другими не менее важными факторами, определяющими продукционный процесс [8, 9].

Потепление климата и рост сумм активных температур в регионе Северного Казахстана создают более благоприятные условия для селекции сои на устойчивость к абиотическим стрессам, снижению чувствительности к фотопериоду и повышению адаптационной способности к агроклиматическим особенностям зоны [10, 11].

Цель исследований – изучение влияния основных морфо-биологических показателей на продуктивность сортов сои в условиях Северного Казахстана изучение физиологических особенностей формирования продуктивности сортов сои различных групп спелости в условиях Северного Казахстана.

Материалы и методы

Исследования проводили в условиях опытного поля в НПЦЗХ им. А.И. Бараева (Акмолинская область, Шортандинский район) в подзоне засушливой степи на южных карбонатных легкосуглинистых черноземов.

В качестве объектов исследований использовали коллекцию генотипов различного происхождения в количестве 252 сортообразцов. Закладку полевого опыта проводили по методическим указаниям Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) [12]. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывался по методике *Селянинова Г.Т.* [13], используя данные о среднесуточных температурах воздуха и суточных суммах осадков, полученные с метеостанции METUS.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием сои проводились в соответствии с методикой, описанной *W.R. Fehr* and *C.E. Cavines* [14]. По каждому образцу отбирали по 25 растений и проводили анализ по элементам структуры урожая [15].

Высоту растений измеряли переносной рейкой длиной 130 см с точностью до 1 см, при этом значения от 0,5 см и выше округлялись до ближайшего сантиметра. Высота прикрепления нижних бобов определялась путем измерения расстояния от места прикрепления нижнего боба до корневой шейки.

Биомассу растений и площади листьев зернобобовых культур определяли по методике *Ничипоровича А.А.* [16].

Уборку осуществляли по мере наступления уборочной спелости. Расчет уровня урожайности (ц/га) проводили на основе массы семян с делянки после обмолота снопа на ручной молотилке Wintersteiger LD 350.

Обработку полученных результатов исследований на достоверность осуществляли с использованием многофакторного метода дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и пакета программ Statistica 10. Различия полученных результатов возможны при уровне значимости $P \leq 0,05$ по критерию Стьюдента.

Погодные условия 2025 года характеризовались как неблагоприятные для роста и развития культуры сои согласно высокого температурного фона в первый период развития, превышение температурного фона составило в среднем до 5–6 °С, что, в свою очередь, определялось реакцией изучаемых сортов сои. Физиологический стресс отмечался как в первый период развития, так и в в фазы вегетативного роста, что сказалось в первую очередь на высоте растений особенно индетерминантных сортов. Температурный и влажностный режимы в период вегетации культуры сои представлен на рисунке 1.

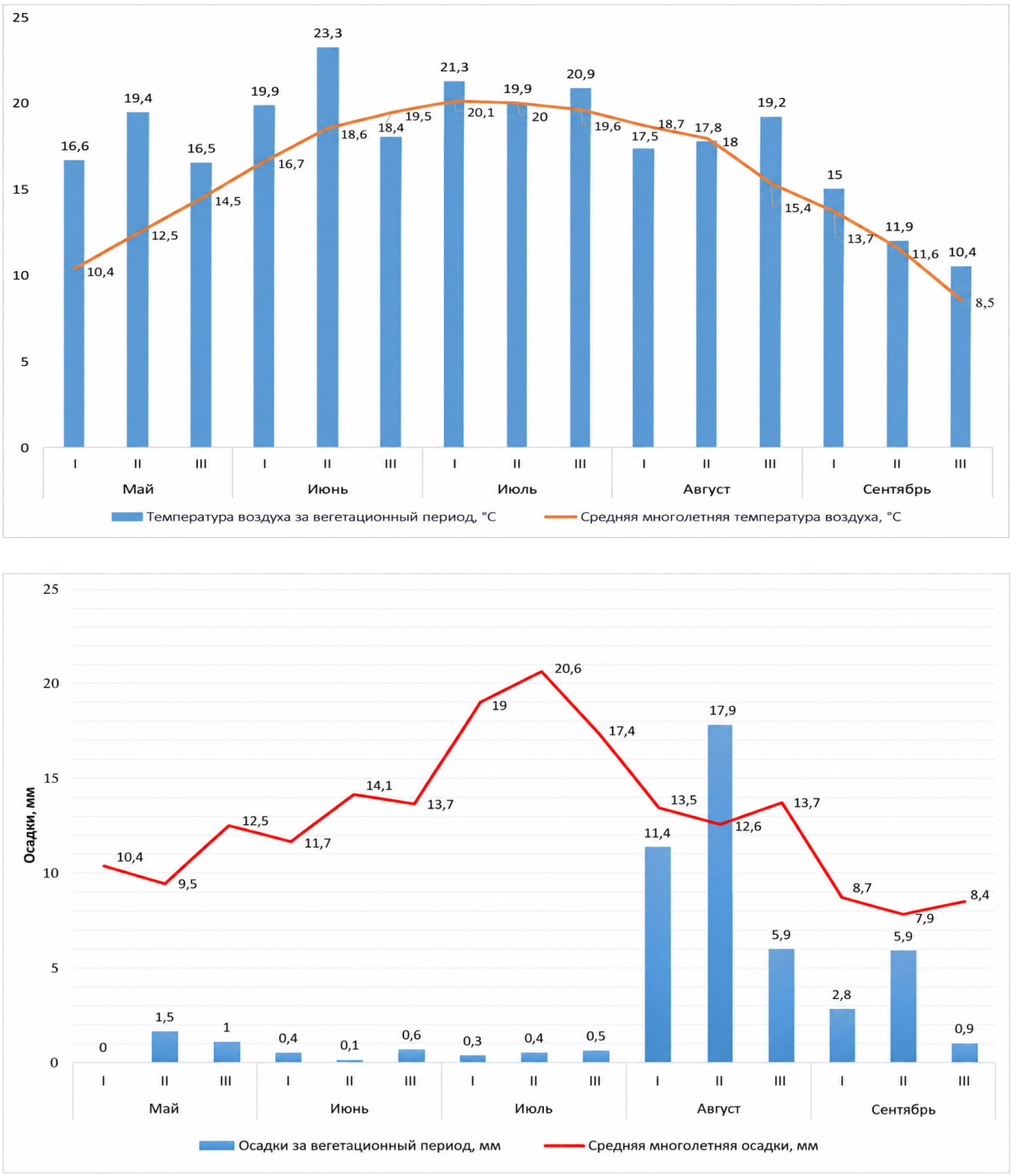


Рисунок 1. Температурный и влажностный режимы в период роста и развития сортов сои, 2025 г.

Агрометеорологические условия вегетационного периода 2025 года существенно отличались от среднемноголетних значений и в целом носили стрессовый характер для изучаемых сортов сои. Температурный фон на протяжении вегетационного периода был повышенным,

а влагообеспеченность крайне недостаточной, особенно в критические фазы онтогенеза и характеризовался повышенным температурным фоном и резким дефицитом влаги. Средняя температура составила +17,9 °С, что на 2 °С выше среднемноголетней. Сумма осадков за период вегетации была крайне низкой – 49,6 мм (дефицит составил 144,1 мм). Засушливые и жаркие условия в мае-июле совпали с критическими фазами развития сои и негативно отразились на последующем росте и развитии культуры, особенно среднеранней группы спелости. Осадки во второй половине вегетации частично смягчили стресс сортов более поздней группы спелости, однако в целом, погодные условия оцениваются как неблагоприятные для реализации продуктивного потенциала сорто в сои. При этом, необходимо отметить закономерную зависимость между температурой и количеством выпавших осадков. Эти заключения подтверждаются показателями ГТК и суммы эффективных температур в каждой декаде месяца за вегетационный период. Необходимо отметить, крайнюю их засушливость в фазы вегетативного роста, особенно отметить во время прохождения фаз цветения и налива культуры. Эти критические фазы роста и развития проходили в жёстких температурных условиях, дополнительной нагрузкой отмечается жёсткие условия ГТК, характеризующиеся как сухие. Увеличение осадков в конце вегетации привело к значительной реакции сортов индетерминантного типа развития (дополнительное ветвление, обильное цветение и увеличение биомассы) привело к удлинению их вегетации. Однако, учитывая условия года удалось изучить коллекционный материал на устойчивость к абиотическим факторам в условиях Северного Казахстана.

Результаты

Продолжительность вегетационного периода и его структура определяют приспособленность сорта к условиям данной климатической зоны. По нашим данным и по мнению других исследователей [4, 9, 17, 18], необходимо создавать сорта с продолжительностью вегетации до 100 дней, чтобы развитие прекращалось в конце августа или начале сентября. Это позволит вовремя закончить уборку и подготовить почву для последующей культуры. Как описывалось выше, условия вегетации 2025 года отличались от условий предыдущих годов исследований и характеризовались как остро засушливые. Выпавшие в конце вегетации осадки усложнили уборочные работы более ранних групп и затягиванию фазы спелости сортов поздних групп спелости. Распределение сортообразцов коллекции по группам спелости представлено на рисунке 2.

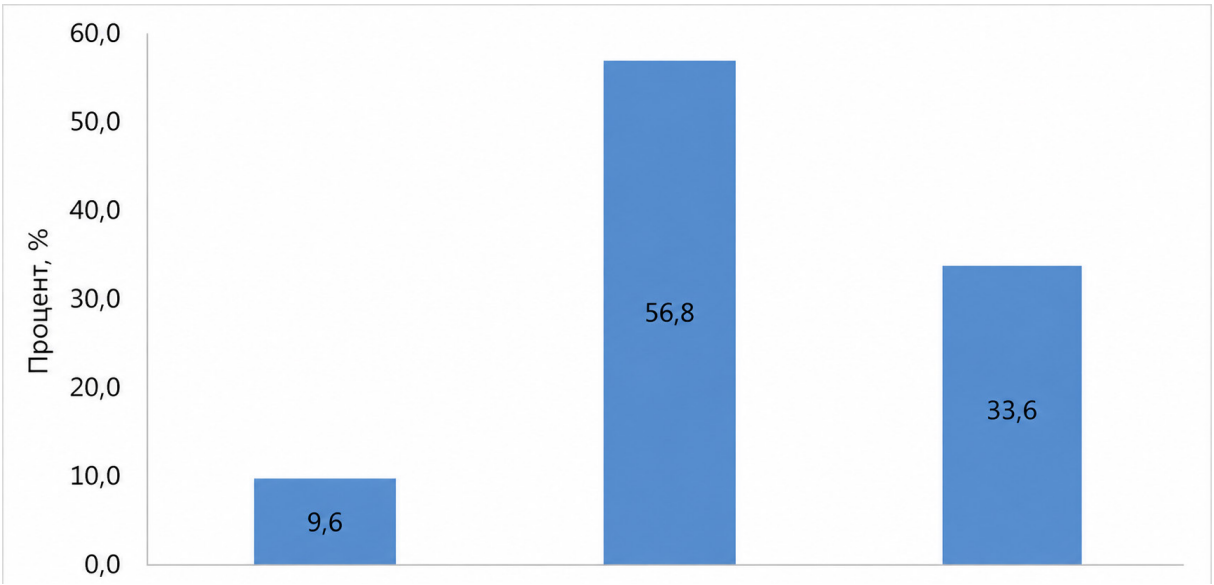


Рисунок 2. Гистограмма распределения коллекционного материала по группам спелости в процентном соотношении, 2025 г.

Ультраранняя группа спелости включала наименьшее число сортообразцов сои (9,6%), представленных в основном сортами российской и отечественной селекции. Длина

вегетационного периода составляла до 89 дней, при низкой изменчивости признака (CV – 1,99; σ^2=3,99). Засушливые условия вегетации способствовали его сокращению по сравнению с предыдущими годами. Ранняя группа спелости была наиболее многочисленной, что соответствует селекционной направленности для условий Северного Казахстана. Длина вегетационного периода достигала 100 дней, изменчивость была выше (CV=3,67; σ^2=13,08). К среднеранней груше относились 82 сортообразца преимущественно российского и отечественного происхождения с вегетационным периодом до 111 дней и минимальной вариабельностью признака (CV=1,04; σ^2=0,40).

Как показали исследования, большинство изученных морфологических признаков сои в условиях Северного Казахстана в значительной степени определяются взаимодействием генотипа и условиями среды. Наиболее стабильными показателями характеризовались высота растений и высота прикрепления нижнего боба, но и этот признак отличался особенно у группы ультраранней группы. Также, сильной вариабельностью отличались многие биометрические показатели и элементы структуры урожая. Это, в свою очередь, доказывает необходимость комплексной оценки и тщательного отбора при подборе сортов сои для условий Северного Казахстана и селекционной деятельности.

Определение сырой и сухой биомассы растений имеет большое значение при изучении засухоустойчивости сои, поскольку эти показатели напрямую связаны с водным режимом и накоплением органического вещества. Поэтому величина сухой биомассы в этот период может характеризовать потенциал урожайности (рисунок 3).

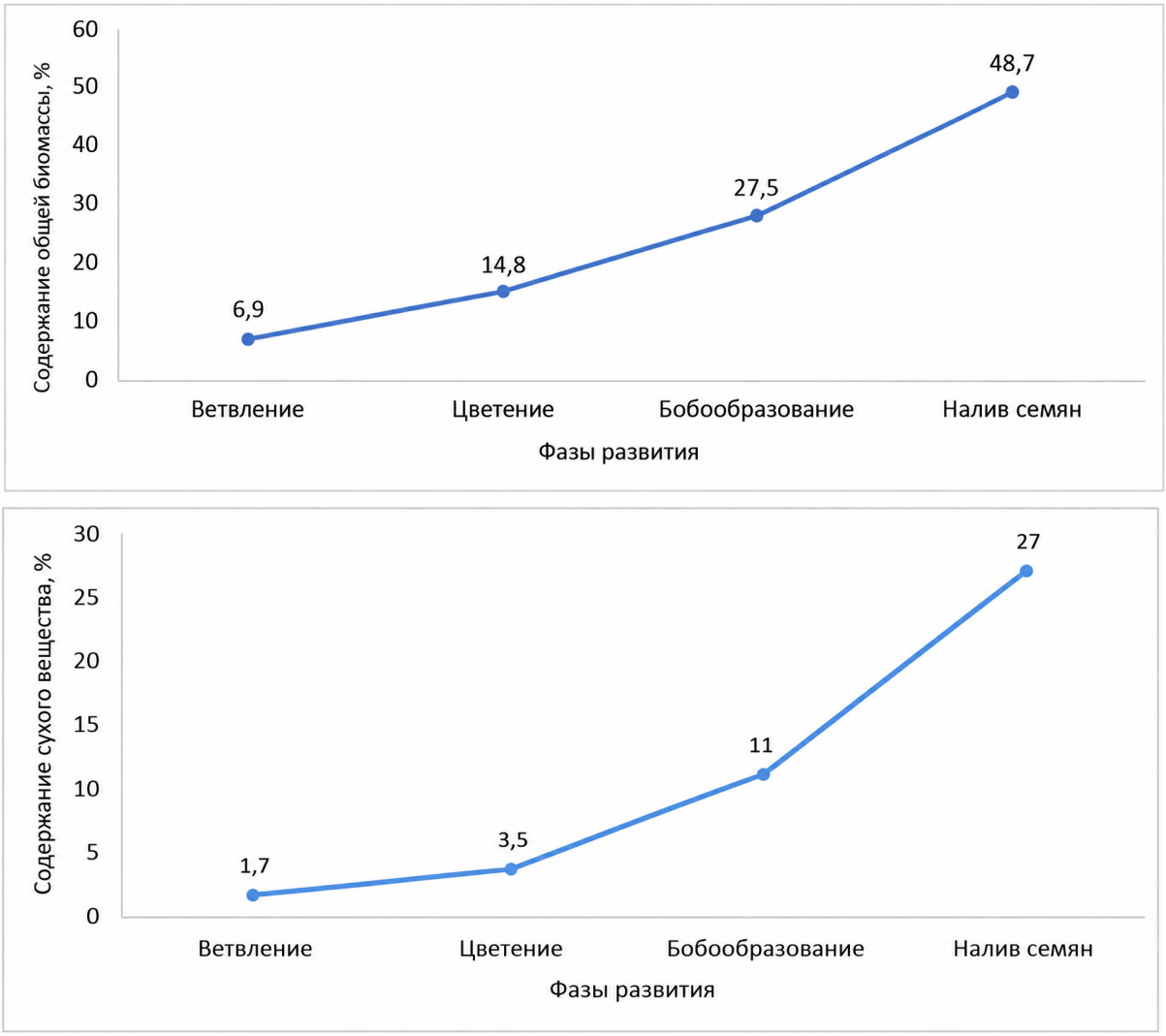


Рисунок 3. Показатели содержания общей биомассы (а) и сухого вещества (б) выделившихся сортообразцов сои ультраранней группы спелости в разрезе фаз развития

Показатели биомассы растения и содержания сухого вещества различались по сортам даже в одной группе спелости, различия между сортами в разрезе фаз развития в среднем составило 15–42%. Эти значения так же доказывает коэффициент вариации (CV), который варирует от 32,7 до 51,6%, что, в свою очередь, констатирует о нестабильности этого значения и в основном зависят от условий возделывания. Аналогичные данные получены в разрезе ранней и среднеранней групп спелости. В этих группах спелости также отмечается нестабильность изучаемых показателей, коэффициент вариации CV не характеризовался стабильными значениями, соответственно размах значений был в широких пределах. Выделившиеся сорта сои показывали различные значения как в разрезе группы спелости, так и в разрезе фаз развития. При этом, необходимо отметить схожесть показателей ультра и ранней групп спелости, однако, сорта среднеранней группы спелости показали значения в среднем на 8,05…13,9% выше. Эти показатели еще раз доказывают необходимость тщательного отбора сортов для условий Северного Казахстана, если учесть, что набор большой биомассы в начальный период развития сильно задерживает прохождение генеративных фаз, а с наступлением раннеосенних заморозков останавливают свой рост и развитие.

Если рассматривать комплекс изучаемых показателей структуры урожая, в разрезе групп спелости выделены ряд сортообразцов, обладающих высокими значениями и представляющие практический интерес при селекции на повышение урожайности сортов сои в условиях Северного Казахстана. В результате исследований выделены сортообразцы Ивушка, Бара, Чера -1, Алтом, Миляуша, Beidou 41, Kendou 61, Beidou 14 с высокими значениями элементов структуры урожая в разрезе каждой группы спелости. Сортообразцы сои отмечались многими показателями элементов структуры урожая и превышали значения стандартных сортов в разрезе групп спелости. Соответственно при селекции на повышение урожайности в условиях Северного Казахстана необходимо отметить важность значений элементов структуры при формировании урожайности и сортов с высокими их значениями, учитывая, что показатели зависят от условий возделывания больше, чем генетическая составляющая сорта.

Урожайность является интегральным показателем продуктивности растений и одним из главных критериев оценки засухоустойчивости сои. Погодные условия влияли на формирование показателя урожайности сортов сои, особенно первой половины их развития. Осадки в период конца фазы налива не способствовали формированию высокой урожайности, а наоборот, вызывали дополнительное цветение среднего и верхнего ярусов, особенно сортов интенсивного типа развития (недетерминантные). Раннеосенние заморозки и низкие температурный фон не способствовал формированию полноценного зерна, и большая часть урожая таких сортов не созрели. При формировании этого показателя условия года, особенно температурный и влажностный режимы, имели основной фактор влияния (влияние условий года и сорта составили – 76%), при этом, влияние фактора – сорт составило 8%. На рисунке 4 представлены минимальные и максимальные значения изучаемых сортообразцов сои в разрезе их групп спелости.

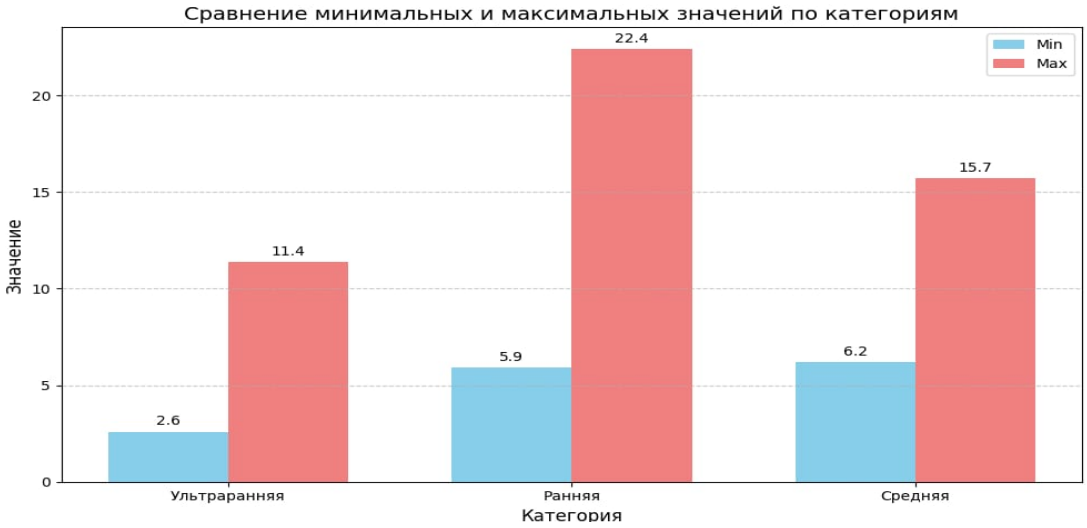


Рисунок 4. Гистограмма уровня урожайности в разрезе групп спелости (минимальные и максимальные значения), 2025 г.

Как показали результаты исследований сравнительно высокой урожайностью характеризовалась ранняя группа спелости (выделились сорта Ивушка, Бара, Чера -1, Алтом, Миляуша, Beidou 41, Kendou 61, Beidou 14 и т.д.). Средняя урожайность ультраранней группы спелости, учитывая ее биологические особенности и реакцию сортов на условия возделывания, составила 7,0 ц/га, поздняя среднеранняя группа – 10,9 ц/га. Коэффициент вариации CV показателя урожайности в ультраранней группе характеризовался высоким значением – 44,5% и показывал относительную устойчивость признака, при этом ранней и среднеранней групп спелости отличались значительной связью 24,4…23,9% соответственно. По результатам урожайности проведён дисперсионный анализ, теоретическое значение F0,5 находится на уровне 1,48 показателя, соответственно находится на 5% уровне значимости по F1=4 степени свободы, при этом Fф=2,47. Соответственно можно заключить, что в опыте имеются существенные различия и отсутствует нулевая гипотеза. Следовательно, доказывается влияние на показатель урожайности фактора годы и полученные результаты являются значимыми.

Для определения основных параметров показателей, формирующих урожайность проведён корреляционный анализ полученных результатов исследований (таблицы 1 и 2).

Таблица 1. Корреляционная связь изучаемых морфо-биологических признаков с урожайностью в разрезе сортов ультраранней группы созревания, 2025 год

Показатели	Урожайность	Высота растений	Длина корня	Число листьев	Интенсивность фотосинтеза	Длина междоузлий	Биомасса	Сухое вещество
Урожайность	1,00							
Высота растений	0,29	1,00						
Длина корня	-0,02	-0,32	1,00					
Число листьев	0,11	0,01	0,26	1,00				
Интенсивность фотосинтеза	-0,31	-0,64	0,35	0,43	1,00			
Длина междоузлий	-0,11	0,06	-0,56	-0,50	-0,13	1,00		
Биомасса	-0,08	0,14	0,40	0,43	0,24	0,08	1,00	
Сухое вещество	-0,05	0,13	0,39	0,57	0,30	0,00	0,99	1,00

Таблица 2. Корреляционная связь изучаемых морфо-биологических признаков с урожайностью среди сортов ранней группы созревания, 2025 год

Показатели	Урожайность	Высота растений	Длина корня	Число листьев	Интенсивность фотосинтеза	Длина междоузлий	Биомасса	Сухое вещество
Урожайность	1,00							
Высота растений	0,20	1,00						
Длина корня	0,37	-0,39	1,00					
Число листьев	-0,00	0,02	0,12	1,00				
Интенсивность фотосинтеза	0,10	0,03	-0,11	0,20	1,00			
Длина междоузлий	0,08	-0,23	0,31	-0,11	-0,41	1,00		
Биомасса	0,12	-0,28	0,39	-0,08	-0,30	0,67	1,00	
Сухое вещество	0,28	-0,28	0,26	0,17	0,19	0,20	0,25	1,00

В таблицах представлены результаты корреляционного анализа морфо-биологических признаков с урожайностью среди сортов очень ранней, ранней и среднеранней групп созревания за 2025 год. Анализ показал, что характер взаимосвязей между исследуемыми показателями в целом слабый и разносторонний, что свидетельствует об отсутствии выраженного доминирующего влияния какого-либо одного признака на формирование урожайности.

Аналогичные данные получены корреляционного анализа элементов структуры урожая с урожайностью изучаемых сортов сои. Линейная зависимость высоты растений и ультрараннеспелых сортообразцов с коэффициентом детерминации R^2 = 0,228 свидетельствует о том, что с увеличением урожайности наблюдается незначительное повышение высоты растений, однако, связь между этими показателями выражена умеренно, что может быть связано с влиянием других факторов среды и сортовыми особенностями образцов. С другой стороны, у раннеспелых образцов сои (R^2 = 0,013) увеличение урожайности и изменение высоты растений не влияют друг на друга. Вероятно, данный признак имеет низкую корреляционную зависимость с продуктивностью и определяется в большей степени генетическими особенностями сорта и условиями среды. Для среднеспелых сортов наблюдается отрицательная корреляция между высотой растений и урожайностью (R^2= 0,413), что указывает на тенденцию снижения высоты растений с увеличением урожайности. Это может свидетельствовать о перераспределении ассимилятов в пользу формирования урожая зерна при ограниченных ресурсах (таблица 3).

Таблица 3. Корреляционная зависимость высоты растений и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультрараннеспелая	y = 0,447x + 37,276	0,228	0,477
2	Раннеспелая	y = 0,116x + 43,804	0,013	0,114
3	Среднеспелая	y = -0,562x + 51,000	0,413	-0,643

С увеличением урожайности наблюдается тенденция к снижению количества бобов на одном растении, что может быть связано с перераспределением питательных веществ в пользу формирования массы зерна (таблица 4).

Таблица 4. Корреляционная зависимость количества бобов на 1 растение и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультрараннеспелая	y = 0,243x + 10,257	0,073	0,270
2	Раннеспелая	y = 0,021x + 16,844	0,000	0,000
3	Среднеспелая	y = -0,984x + 27,464	0,369	-0,607

У ультрараннеспелой группы наблюдается слабая положительная корреляция (R^2 = 0,137), что свидетельствует о незначительном повышении урожайности при увеличении числа зёрен в бобе. Для раннеспелой группы коэффициент детерминации (R^2 = 0,000) указывает на отсутствие зависимости между исследуемыми признаками. В среднеспелой группе выявлена слабая отрицательная корреляция (R^2 = 0,020), что может быть связано с влиянием других факторов, определяющих уровень урожайности (таблица 5).

Таблица 5. Корреляционная зависимость количества зёрен в бобе и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультрараннеспелая	y = 0,019x + 2,316	0,137	0,370
2	Раннеспелая	y = -0,001x + 2,757	0,000	0,000
3	Среднеспелая	y = -0,010x + 3,171	0,020	-0,141

Таким образом, характер взаимосвязи между количеством зёрен в бобе и урожайностью варьирует в зависимости от группы спелости, что подчёркивает необходимость учёта генетических и физиологических особенностей сортов при их оценке и отборе. В таблице 7 у ультрараннеспелой группы отмечена слабая положительная зависимость (R^2 = 0,120); у раннеспелой– очень слабая отрицательная (R^2 = 0,085); у среднеспелой – слабая положительная (R^2 = 0,046). В целом, корреляционные связи между признаками слабо выражены и зависят от группы спелости (таблица 6).

Таблица 6. Корреляционная зависимость массы семян с растения и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультрараннеспелая	y = 0,111x + 4,538	0,120	0,346
2	Раннеспелая	y = -0,075x + 10,289	0,008	-0,089
3	Среднеспелая	y = 0,184x + 7,698	0,046	0,214

Связи между массой семян в бобе и урожайностью варьирует в зависимости от группы спелости, при этом наиболее выраженная тенденция отмечена у ультрараннеспелых сортообразцов (таблица 7).

Таблица 7. Корреляционная зависимость массы семян с 1 боба и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультрараннеспелая	y = 0,007x + 0,363	0,231	0,481
2	Раннеспелая	y = 0,011x + 0,563	0,010	0,100
3	Среднеспелая	y = 0,087x + 0,081	0,148	0,385

В таблице 8 представлены изменения массы 1000 семян в зависимости от урожайности в различных группах спелости сортов сои. Для ультрараннеспелых образцов прослеживается отчётливая положительная зависимость (R^2 = 0,377), что свидетельствует о синхронном росте массы семян с увеличением продуктивности растений. У раннеспелой группы связь практически отсутствует (R^2 = 0,001), что указывает на независимость данных признаков и возможное влияние погодных факторов в период налива семян. В среднеспелой группе тенденция приобретает обратный характер – слабая отрицательная корреляция (R^2 = 0,125) указывает на

то, что увеличение урожайности сопровождается небольшим снижением массы семян. Характер взаимосвязи между массой 1000 семян и урожайностью варьирует в зависимости от группы спелости, что отражает различия в физиологических механизмах формирования урожая у сортов разного периода вегетации (таблица 8).

Таблица 8. Корреляционная зависимость массы 1000 семян и урожайности сортообразцов трех групп спелости сои, 2025 г.

№	Группа спелости	Уравнение регрессии	R^2	r (коэффициент корреляции)
1	Ультраранняя	y = 1,434x + 141,645	0,377	0,614
2	Раннеспелая	y = -0,236x + 202,151	0,001	-0,032
3	Среднеспелая	y = -2,280x + 222,895	0,125	-0,354

Наблюдаемая динамика у среднеспелой группы отражает эффект компенсации, при котором уменьшение массы отдельных семян компенсируется увеличением их количества. Подобное явление характерно для бобовых культур и связано с перераспределением ассимилятов при изменении условий питания и влагообеспечения. Ранее аналогичные закономерности описаны рядом исследователей: *Vogel* et al. (2021) отметили, что у сои часто наблюдается компенсация между числом семян и их размером; *Hodgson* et al. (2020) показали, что отрицательная корреляция между числом и размером семян является общей стратегией распределения ресурсов у однолетних растений; *Sandaña* et al. (2012) сообщили, что уменьшение числа семян может частично компенсироваться увеличением их массы; а *Poggio* et al. (2005) продемонстрировали полную компенсацию между числом и массой семян у некоторых сортов гороха [19,20,21,22].

По комплексу изучаемых показателей проведена оценка влияния изучаемых факторов на формирование урожайности в условиях Северного Казахстана (рисунок 5).

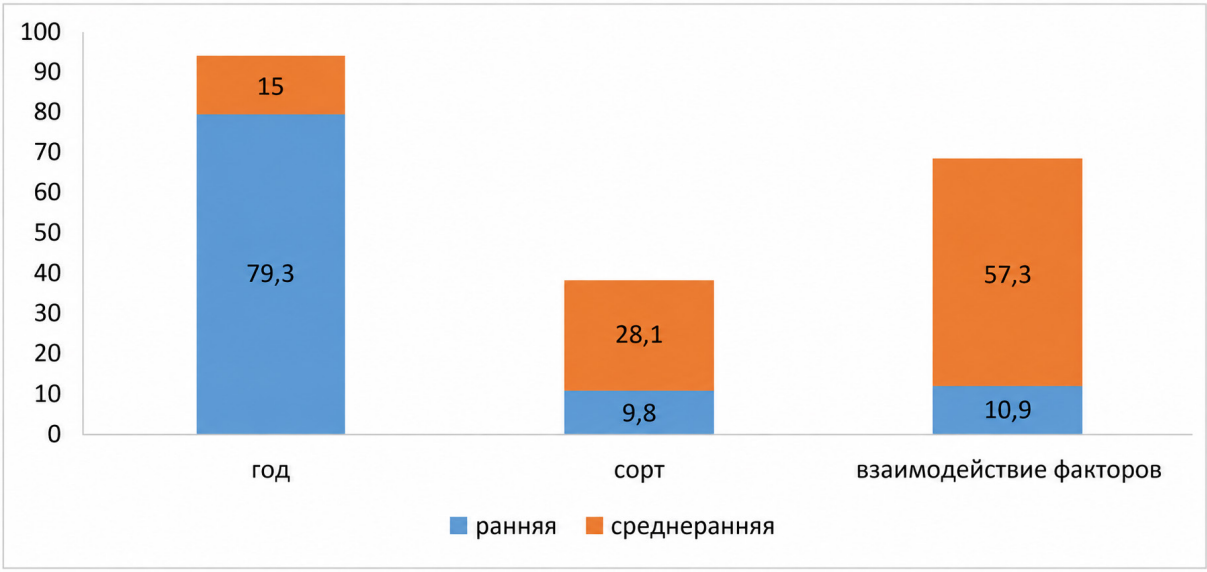


Рисунок 5. Влияние факторов на формирование комплекса хозяйственно-ценных признаков в разрезе основных групп спелости, 2025 г.

Для более конкретной оценки влияния факторов, рассмотрены 2 группы спелости, так как на созревание крайней группы влияют более благоприятные условия возделывания. Соответственно для формирования высокой урожайности сортов ранней группы спелости необходимо учитывать доминирующий фактор – условия года (79,3%). При использовании сортов более поздних групп спелости, увеличивается уровень взаимодействия факторов (57,3%),

что указывает на необходимость тщательного отбора сортового генофонда при селекции в условиях Северного Казахстана.

Обсуждение

Результаты исследования показали существенные различия исходного материала сои по продолжительности вегетационного периода и комплексу хозяйственно-ценных признаков. Изученные образцы были распределены на три группы спелости, что позволило дифференцированно оценить их адаптивные особенности в условиях Северного Казахстана. Продолжительность онтогенеза при этом выступает одним из важных показателей, определяющих возможность полноценного завершения развития растений в конкретных агроклиматических условиях. Сходная зависимость отмечена *Kipshakbayeva* et al., 2024 при изучении генетических параметров сортов сои различного происхождения в северных районах Казахстана: более раннее прохождение фенологических фаз было связано с сокращением вегетационного периода, а наличие рецессивных аллелей генов E1-E4 с более ранним созреванием.

Динамика морфо-биологических признаков в течение вегетации показала, что наиболее высокие значения большинства показателей отмечались в фазу налива семян. На данном этапе усиливается работа ассимиляционного аппарата и возрастает поступление продуктов фотосинтеза в формирующиеся семена. Поэтому именно продолжительность и интенсивность продукционного процесса в этот период во многом определяют последующую реализацию урожайного потенциала растений. Результаты *Sun* et al. (2025) также указывают на связь между продолжительностью репродуктивного периода, фотосинтетической активностью и формированием урожая. Авторы отмечают, что у современных сортов сои повышение фотосинтетической активности, увеличение площади листьев и более продолжительный период налива семян сопровождаются увеличением их массы и урожайности.

На основании совокупности изученных признаков выделены сорта Ивушка, Бара, Чера-1, Алтом, Миляуша, Beidou 41, Kendou 61 и Beidou 14. Их практическая ценность определяется сочетанием раннего созревания с достаточно выраженными продуктивными характеристиками. Для условий Северного Казахстана такое сочетание морфобиологических признаков особенно востребовано, поскольку увеличение продолжительности вегетационного периода может привести к неполному созреванию растений и, как следствие, к снижению урожайности. Ранее проведённые исследования в северных широтах Казахстана показали, что генотипы с ранним цветением и созреванием способны формировать вегетационный период продолжительностью около 92–102 суток, тогда как при преобладании доминантных аллелей E-локусов развитие растений происходило позднее.

Существенная доля взаимодействия «сорт × год», достигавшая 78%, показывает, насколько сильно погодные условия конкретного года влияют на проявление признаков растений. Взаимодействие генотипа со средой в данном случае является одним из факторов, определяющих различия в урожайности и других количественных признаках. Подобные результаты получены и в многофакторных испытаниях сои, где значимое влияние генотипа, среды и их взаимодействия установлено по комплексу хозяйственно-ценных показателей. *Retore* et al. (2026) также показали, что оценка адаптивности сои в различных условиях выращивания требует обязательного учёта взаимодействия генотипа со средой. Это особенно важно при отборе материала, предназначенного для регионов с нестабильными погодными условиями. Высокая выраженность взаимодействия «сорт × год» одновременно даёт возможность оценить устойчивость отдельных генотипов. Образцы, сохраняющие приемлемый уровень продуктивности при различающихся условиях года, представляют больший интерес для дальнейшего отбора, чем генотипы, преимущество которых проявляется только в благоприятной среде. Для Северного Казахстана этот критерий имеет особое значение, поскольку температурный режим и обеспеченность влагой в течение вегетации существенно изменяются по годам. Поэтому многолетняя оценка позволяет более объективно определить стабильность проявления хозяйственно-ценных признаков. *Retore, Fregonezi, Pavan, Chigeza* et al. (2026) показали, что многопризнаковый отбор, учитывающий урожайность, сроки созревания и другие характеристики, даёт возможность более точно выделять адаптированные генотипы.

Выявленные статистически значимые корреляции между морфометрическими показателями, элементами структуры урожая и урожайностью расширяют возможности отбора по косвенным признакам. Вместе с тем сила и направление этих связей могут зависеть от принадлежности образца к определённой группе спелости. Поэтому использование отдельных морфометрических показателей в качестве индикаторов продуктивности целесообразно проводить с учётом продолжительности онтогенеза и особенностей конкретной группы генотипов.

Результаты имеют также генетическое обоснование. *Cheng, Yuan, Huang, Ye* et al. (2026) установили связь адаптации сои к высоким широтам с генами, регулирующими сроки цветения и созревания, в том числе Tof11, Tof12 и GmRVE1. По данным авторов, определённые сочетания аллелей способствуют более раннему наступлению цветения и участвуют в адаптации культуры к условиям северных регионов. Полученные сведения согласуются с выявленной в настоящем исследовании перспективностью ультраранних генотипов и показывают целесообразность объединения полевой оценки с молекулярно-генетическим анализом исходного материала.

Исследования показали, что для селекции сои в условиях Северного Казахстана важна не только продолжительность вегетационного периода, но и способность растений сохранять продуктивность при изменении условий выращивания. Ультраранняя группа представляет наибольший интерес с точки зрения своевременного завершения вегетации в пределах ограниченного безморозного периода. Вместе с тем сокращение сроков созревания не должно достигаться за счёт существенного снижения продуктивности. Поэтому дальнейший отбор целесообразно ориентировать на генотипы, сочетающие ультрараннеспелость, эффективную работу фотосинтетического аппарата, высокую урожайность и стабильность проявления признаков в разные годы.

Заключение

Исследования позволили комплексно оценить исходный материал сои различного эколого-географического происхождения и выявить закономерности проявления морфобиологических, фотосинтетических и хозяйственно-ценных признаков в условиях Северного Казахстана. Установлено, что формирование продуктивности в значительной степени определяется адаптивной реакцией генотипов на условия года, при этом взаимодействие факторов «сорт × год» оказывает существенное влияние на изменчивость изучаемых признаков. Выявленные корреляционные взаимосвязи между морфометрическими показателями, и урожайностью могут служить научной основой для повышения эффективности отбора перспективных генотипов в селекционном процессе. Наиболее перспективной для дальнейшей селекционной работы и практического использования в условиях региона признана группа ультрараннеспелых сортов, обладающая наибольшим потенциалом адаптивности и хозяйственной ценности.

Вклад авторов

ГК: постановка задачи, разработка методологии исследования, анализ данных и написание основной части статьи. ІӘ, ДС, МК: проведение полевых экспериментов, сбор и обработка данных, участие в анализе результатов. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Исследования выполнены в рамках программно-целевого финансирования Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024–2026 гг. по научно-технической программе BR24992903 "Практическое внедрение современных молекулярно-генетических, физиолого-биохимических, биотехнологических методов и цифрового фенотипирования в селекцию экономически значимых сельскохозяйственных культур".

Список литературы

1 Pagano, M.C., Miransari, M. (2016). *The importance of soybean production worldwide.* Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production. Academic Press, 1–26.

2 Cattivelli, L. et al. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view. *Field Crops Research*, 105, 1–14.

3 Abugaliyeva, A.I., Didorenko, S.V. (2016). Genetic diversity of soybean cultivars belonging to different ripeness groups with regard to performance and quality. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding,* 20, 303–310. DOI: 10.18699/vj16.168.

4 Kipshakbayeva, G., Zargar, M., Rysbekova, A., Ashirbekova, I., Tleulina, Z., Amantayev, B., Kipshakbayeva, A., Baitelenova, A., Stybayev, G., Nejad, M. (2024). Assessment of the genetic parameters of soybean genotypes for precocity and productivity in the various cultivation conditions. *Heliyon*, 10(16), e36135.

5 Yerzhebayeva, R. et al. (2023). Marker-Assisted Selection for Early Maturing E Loci in Soybean Yielded Prospective Breeding Lines for High Latitudes of Northern Kazakhstan. *Biomolecules*, 13(7), 1146.

6 Kipshakbaeva, G.A., Goncharov, S.V., Tleulina, Z.T. (2023). Perspektivnye napravleniya selekcii soi v usloviyah Severnogo Kazahstana [Promising areas of soybean breeding in the conditions of Northern Kazakhstan]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury,* 2(46), 46–58. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-46-58. [*In Russian*].

7 Ashirbekova, I., Kipshakbayeva, G., Zargar, M., Gang, H.Y., Sabit, D., Amantayev, B., Baitelenova, A., Stybayev, G. (2025). Comparative Assessment of Different Soybean Genotypes (Glycine max [L.] Merr.) for Early Maturity and Cold Resistance. *ES Food Agrofor.*, 21, 1731. DOI: 10.30919/faf1731.

8 Kipshakbaeva, G.A., Goncharov, S.V., Tleulina, Z.T. (2023). Perspektivnye napravleniya selekcii soi v usloviyah severnogo Kazahstana [Promising areas of soybean breeding in the conditions of northern Kazakhstan]. *Nauchno-proizvodstvennyi zhurnal «Zernobobovye i krupyanye kul'tury»*, 2(46), 46–58. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-46-58. [*In Russian*].

9 Goncharov, S.V., Kipshakbaeva, G.A. (2023). Perspektivy razvitiya sortimenta soi v Respublike Kazahstan [Prospects for the development of the soybean variety in the Republic of Kazakhstan]. Zernobobovye i krupyanye kul'tury, 4(48), 34–41. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-34-41. [*In Russian*].

10 Munaitpasova, A.N., Baisholanov, S.S., Salieva, S.K., Arystanova, R, Karabkina, N.N., Arystanov, A.A. (2025). Temperaturnyi rezhim i resursy tepla v severo-kazahstanskoi oblasti [temperature regime and heat resources in North-Kazakhstan region]. Geografiya i vodnye resursy, 4, 130–148. DOI:10.55764/2957-9856/2025-4-130-148.51. [*In Russian*].

11 Kipshakbaeva, G.A., Ashirbekova, I.A., Amantaev, B.O., Sabit, D.M. (2025). Rezul'taty ocenki sortov soi razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyah Severnogo Kazahstana [The results of evaluating soybean varieties of different origins under the conditions of Northern Kazakhstan]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo issledovatel'skogo universiteta imeni S. Seifullina: mezhdisciplinarnyi,* 2(125), 14–29. [*In Russian*].

12 Vishnyakova, M.A., Seferova, I.V., Buravceva, T.V. i dr. (2018). K*ollekciya mirovyh geneticheskih resursov zernovyh bobovyh VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie: metodicheskie ukazaniya. 2-e izd., pererab. i dop* [The collection of global genetic resources of grain legumes at VIR: replenishment, conservation, and study: methodological guidelines. 2nd ed., revised. and expanded.]. Sankt-Peterburg: VIR, 143. [*In Russian*].

13 Gluhih, M.A. (2022). Zemledelie: Praktikum [Elektronnyi resurs]. 2-e izd., ster. [Agriculture: A Practical Guide [Electronic resource]. 2nd ed., revised.]. Sankt-Peterburg: Lan', 188. [*In Russian*].

14 Fehr, W., Caviness, C. (1977). *Stages of soybean development.* Iowa State University, 3–11.

15 Korsakov, N.I. i dr. (1975). *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollekcii zernovyh bobovyh kul'tur* [*Methodological guidelines for studying the collection of grain legumes*]. L.: VIR, 60. [*In Russian*].

16 Nichiporovich, A.A., Kuz'min, Z.E., Polozova, L.Ya. (1969). *Metodicheskie ukazaniya po uchetu i kontrolyu vazhneishih pokazatelei processov fotosinteticheskoi deyatel'nosti rasteniiv posevah* [*Methodological guidelines for monitoring and controlling the key indicators of plant photosynthetic activity in crops*]. Moskva: 91–93. [*In Russian*].

17 Balaka, G.T. i dr. (2019). Puti usovershenstvovaniya elementov tekhnologii vozdelyvaniya soi [Ways to improve the elements of soybean cultivation technology]. *Melioraciya i gidrotekhnika*, 4(36), 100–120. [*In Russian*].

18 Wijewardana, Ch., Reddy, K.R., Alsajri, F.A., Irby, J.T., Krutz, J., Golden, B. (2018). Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. *Irrigation Science*, 36(4-5). DOI:10.1007/s00271-018-0580-1.

19 Vogel, J.T. et al. (2021). Soybean Yield Formation Physiology - A Foundation for Precision Breeding Based Improvement. *Front Plant Sci.,* 12, 719706. DOI: 10.3389/fpls.2021.719706.

20 Hodgson, J.G. et al. (2020). Seed size, number and strategies in annual plants: a comparative functional analysis and synthesis. *Ann Bot.,* 126(7), 1109–1128. DOI: 10.1093/aob/mcaa151.

21 Sandaña, P. et al. (2012). Comparative assessment of the critical period for grain yield determination of narrow-leafed lupin and pea. *European Journal of Agronomy*, 40, 94-101. DOI: 10.1016/j.eja.2012.02.009.

22 Poggio, S.L. et al. (2005). Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (Pisum sativum) crops. *European Journal of Agronomy,* 22(1), 55-69.

23 Sun, H., Shen, S., Yang, J., Zou, J. et al. (2025). Soybean cultivar breeding has increased yields through extended reproductive growth periods and elevated photosynthesis. *Plants*, 14(11), 1675. DOI: 10.3390/plants14111675.

24 Cheng, Q., Yuan, J., Huang, Y., Ye, W. et al. (2026). Stepwise selection of Tof11/12 and GmRVE1 facilitates soybean adaptation to high-latitude regions. *Cell Reports*, 45, 117049.

25 Retore, Y.I., Fregonezi, B.F., Pavan, J.P.S., Chigeza, G. et al. (2026). Boosting soybean adaptation in Africa through multi-trait selection in multi-environment trials. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.,* 26(1). DOI:10.1590/1984-70332026v26n1a8.

Солтүстік Қазақстандағы майбұршақ сорттарының өнімділігіне морфологиялық және биологиялық белгілердің әсері

Кипшакбаева Г.А., Сабит Д., Әшірбекова И.А., Кадринов М.Х.

«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Дақылдарды кеңейту қажеттілігін ескере отырып, Солтүстік Қазақстандағы әртүрлі жетілу топтарындағы майбұршақ сорттарының өнімділігіне морфологиялық және биологиялық белгілердің әсерін бағалау. Жылу мен ылғал тапшылығы және шектеулі сорттық материал оны қабылдауды шектейтін факторлар болып табылатыны белгілі. Зерттеудің мақсаты – майбұршақ сорттарының өнімділігіне морфологиялық және биологиялық белгілердің әсерін анықтау және практикалық селекция үшін жоғары бейімделу өнімділігі бар сорттарды анықтау.

Материалдар мен әдістер. Далалық зерттеулер құрғақ дала аймағында «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС (А.И. Бараев ат. АШҒӨО) жүргізілді. Бастапқы материал ретінде отандық және шетелдік селекциядан алынған жаңа сорттар мен перспективалы селекциялық материалдар пайдаланылды. Деректерді жинау және талдау Statistica 10-дағы дисперсияны талдауды қоса алғанда, стандартты әдістерді қолдану арқылы жүргізілді. Айырмашылықтардың маңыздылығы P≤0,05 деңгейінде бағаланды.

Нәтижелер. Зерттеу морфо-биологиялық белгілердің экспрессиясы генотип пен қоршаған орта жағдайларының өзара әрекеттесуімен анықталатынын көрсетті (әрбір көрсеткіш үшін орташа есеппен 72%). Биометриялық көрсеткіштер, атап айтқанда биомасса мөлшері, өсу маусымының ұзаруына және жоғары өнімділікке әсер ететін негізгі факторлар болып табылады (r = 0,68–0,99). Жоғары дән өнімділігіне әсер ететін дақыл құрылымының негізгі элементтері де анықталды. Әртүрлі жетілу топтарындағы сорттардың өнімділігін талдау жетілу тобына байланысты жоғары өзгергіштікті көрсетті.

Қорытынды. Зерттеу жоғары өнімділік ультра ерте пісетін сорттар тобында байқалғанын көрсетті, мұнда өнімділік олардан 6,0 ц/га (46%) асып түсті. Ультра ерте топ сонымен қатар зерттелген параметрлердің тұрақты өнімділігін көрсетті, бұл топтың биологиялық

ерекшеліктеріне және олардың стрестік жағдайларға реакциясына байланысты. Зерттеу барысында анықталған майбұршақ сорттарының үлгілері Солтүстік Қазақстан жағдайлары үшін майбұршақ сорттарының өнімділігі мен тұрақтылығын арттыру үшін практикалық селекцияда қолдануға ұсынылады.

Кілт сөздер: сорт; майбұршақ; бағалау; өнімділік; тұрақтылық.

The influence of morphological and biological traits on the productivity of soybean varieties in Northern Kazakhstan

Gulden A. Kipshakbayeva, Dana Sabit, Inkar.A. Ashirbekova, Maulet Kh. Kadrinov

"S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University" NJSC, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. The study aimed to assess the influence of morphological and biological traits on the productivity of soybean varieties of different maturity groups in northern Kazakhstan, given the need to expand soybean cultivation. Heat and moisture deficits and limited varietal material are known to be limiting factors for its cultivation. The objective of the study was to determine the influence of morphological and biological traits on the productivity of soybean varieties and to identify varieties with high adaptive performance for practical breeding.

Materials and Methods. Field studies were conducted in the dry steppe zone at the A.I. Barayev Scientific and Production Center for Grain Farming (hereinafter referred to as the A.I. Barayev Scientific and Production Center for Grain Farming). New varieties and promising breeding material from domestic and foreign selection were used as source material. Data collection and analysis were conducted using standard methods, including analysis of variance in Statistica 10. Significance of differences was assessed at $P \leq 0.05$.

Results. The study showed that the expression of morpho-biological traits is determined by the interaction of genotype and environmental conditions (an average of 72% for each indicator). Biometric indicators, in particular biomass content, are the main factors influencing the length of the growing season and high yields ($r=0.68–0.99$). The key elements of crop structure that influence high grain yields were also identified. Yield analysis of varieties in different maturity groups revealed substantial variability among groups.

Conclusion. The study showed that high yields were observed in the ultra-early group of varieties, where yields exceeded them by 6.0 c/ha (46%). The ultra-early group also demonstrated consistent values for the studied parameters, which is due to the biological characteristics of the group and their response to stress conditions. The soybean variety accessions identified during the study are recommended for use in practical breeding to improve the productivity and stability of soybean varieties under the conditions of Northern Kazakhstan.

Keywords: variety; soybean; evaluation; yield; stability.

УДК 639.512 **Исследовательская статья**

Опыт выращивания пресноводной креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*) в поликультуре с австралийским красноклешневым раком (*Cherax quadricarinatus*)

Куанчалеев Ж.Б.[1], **Аубакирова Г.А.**[1], **Стожков Р.О.**[1], **Мусин С.Е.**[1], **Кучера В.**[2], **Бадрызлова Н.С.**[3]

[1] НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина» Астана, Казахстан
[2]Южночешский университет, Чешские Будеевице, Чешская Республика
[3]ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Алматы, Казахстан

Автор-корреспондент: Куанчалеев Ж.Б.: ihtiojax@mail.ru
Соавторы: (1: ГА) gulzhikk@bk.ru; (2: РС) warface.wf.90@mail.ru; (3: СМ) kz_forward@list.ru
(4: ВК) kucerv11@frov.jcu.cz; (5: НБ) ns_nina@mail.ru

Получено: 29.04.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Куанчалеев Ж.Б. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Выращивание членистоногих в прудах, бассейнах и установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) становится все более популярным во всем мире, в виду высокой рыночной стоимости и популярности свежей или охлажденной продукции членистоногих среди потребителей. Совместное выращивание самых популярных пресноводных членистоногих – гигантской креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879) и австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus* von Martens, 1868) может быть очень перспективным направлением в аквакультуре, но на данный момент мало изучено.

Материалы и методы. Совместное выращивание пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака проводили в 5 бассейнах УЗВ объемом 2,2 м^3 каждый. Для определения приростов и скорости роста, а также для определения суточных рационов еженедельно проводили тотальный облов гидробионтов из каждого бассейна. Для определения массы тела гидробионтов использовали весы MASSA-K ВК 600 с погрешностью 0,1 г. Для определения гидрохимического режима ежедневно определяли уровень растворенного кислорода и pH, а также температуру воды при помощи портативного термооксиметра YSI EcoSense DO200A и pH метра Testo 206. Раз в неделю проводили исследования на нитриты и нитраты при помощи капельных тестов фирмы Tetra.

Результаты. Изучено влияние различного соотношения пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака при выращивании в поликультуре. Абсолютный прирост во 2-й и 5-й группах был на 0,3 г и на 0,8 г больше, чем в контрольной (1-й группе), а в 3-й и 4-й группах на 1,7 г и 1,9 г меньше, чем в контрольной соответственно. Относительные приросты аналогично были выше во 2-й и 5-й группе на 3% и 20% соответственно. Наибольшая выживаемость, за исключением контрольной группы, была также отмечена во 2-й и 5-й группе – 90% и 87% соответственно, а наименьшая в 3-й и 4-й группе – 80% и 83% соответственно.

Заключение. Наибольшие приросты были отмечены в группах с неравномерным соотношением гидробионтов (2-я и 5-я группы), где абсолютные приросты составляли 11 г и 11,5 г соответственно. Данный факт свидетельствует о более оптимальных условиях для выращивания с минимальным возникновением конфликтных ситуаций. Эксперимент показывает значительные перспективы комбинированного выращивания пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака при соотношении 4:1.

Ключевые слова: креветка Розенберга; австралийский красноклешневый рак; УЗВ; поликультура.

Как цитировать: Куанчалеев, Ж.Б., Аубакирова, Г.А., Стожков, Р.О., Мусин, С.Е., Кучера, В., Бадрызлова, Н.С. (2026). Опыт выращивания пресноводной креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*) в поликультуре с австралийским красноклешневым раком (*Cherax quadricarinatus*). *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 120-130. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2229

Введение

Во всем мире существуют различные виды поликультуры креветок с ценными объектами аквакультуры и растениеводства. Самыми популярными являются совместное выращивание креветок Розенберга с карпом, тиляпией, а также сезонное выращивание креветки на рисовых полях [1, 2, 3].

Поликультура пресноводной креветки с карповыми видами рыб имеет экономическое развитие и высокий потенциал в странах Юго-Восточной Азии. В настоящее время технология поликультуры креветок очень хорошо используется фермерами прибрежных регионов, но, как правило, механизм практического выращивания до конца не ясен [4].

За последние десятилетия искусственное культивирование гидробионтов стало набирать все большую популярность, превращая отрасль в крупнейший источник продуктов питания для населения, которое с каждым годом все больше увеличивается. Предпосылками чему были и технологическое развитие аквакультуры, совершенствование существующих методов и адаптация новых способов выращивания гидробионтов, а также рациональное использование водных ресурсов [5].

Среди многочисленных факторов, влияющих на эффективность выращивания гидробионтов, плотность посадки, а также выбор объектов для поликультуры играет большую роль, так как скорость роста будет напрямую зависеть от плотности посадки даже при создании оптимальных условий выращивания. Культивирование объектов аквакультуры в экстремальных плотностях посадки может снизить качество гидрохимических показателей, а также увеличить риск возникновения патогенной микрофлоры. Данные факторы способствуют повышению стресса у гидробионтов, ухудшению аппетита и увеличению кормового коэффициента. В тоже время, выращивания гидробионтов при низких плотностях посадки, приводит к снижению производительности хозяйства, а также к неэффективному использованию ресурсов [6].

Поликультурные системы являются более устойчивыми и эффективными по сравнению с монокультурой в плане принадлежности к различным экологическим нишам, а также взаимодополнения в пищевых особенностях, вплоть до симбиотических взаимоотношений, что способствует рациональному использованию питательных веществ в водоеме или рециркуляционной системе, а также увеличивает продуктивность хозяйства [7].

Среди ракообразных выращиваемых в аквакультуре, креветка Розенберга занимает лидирующую позицию среди пресноводных видов благодаря относительно быстрому росту, толерантности к заболеваниям и эффективному потреблении кормовых ресурсов [8].

Потенциал поликультурных систем с использованием пресноводной креветки Розенберга очень велик. Информация по оптимальной плотности посадки с австралийским красноклешневым раком достаточно скудна. Данный фактор особенно важен для самцов обоих видов, которые имеют очень агрессивное нерестовое поведение и высокий каннибализм в период линьки [9].

Выращивание пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака проявляет устойчивый рост во всем мире, в связи с повышенным спросом на белок высокого качества и диверсификацией в аквакультуре, однако, увеличению производительности препятствуют технологические и биологические ограничения. Основные факторы, такие как качество водоисточника (растворенный кислород, температура, pH, концентрация азотной группы), плотность посадки, оптимальные рационы кормления и составы кормов, понимание основных биотехнологических особенностей при выращивании членистоногих, должны быть адаптированы и стабилизированы для поддержания устойчивого и долгосрочного производства [10].

На данный момент в Казахстане слабо развито направление культивирования пресноводной креветки Розенберга, в виду отсутствия необходимой информации по технологии выращивания, воспроизводства и кормления, а также информации о потенциальных объектах для поликультуры. Целью данного исследования было изучить показатели приростов, выживаемости, рационов кормления при поликультурном содержании пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака в УЗВ.

Материалы и методы

Исследования проводились в Казахстанско-Чешском международном научном центре аквакультуры (КЧМНЦА) при Агротехнопарке Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина. Работа охватывает исследования, проведённые с мая по июнь 2026 года.

Для совместного выращивания пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака использовали УЗВ, состоящую из 8 прямоугольных бассейнов из пищевого полипропилена объёмом 2200 л каждый (рисунок 1). Экспериментальное выращивание гидробионтов осуществляли в 5 бассейнах. Технические характеристики УЗВ представлены в таблице 1.



Рисунок 1. УЗВ для совместного выращивания пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака

Таблица 1. Технические характеристики УЗВ совместного содержания гидробионтов

№ п/п	Наименование	Показатели
1	Объем бассейна, л	2 200
2	Количество бассейнов, шт.	8
3	Объем биофильтра, л	4000
4	Производительность барабанного фильтра, $м^3$/ч	60
5	Мощность лампы ультрафиолетового стерилизатора, Вт	180
6	Объем рыбоводных емкостей УЗВ, л	17 600
7	Мощность насоса, Вт	1000

Кормление гидробионтов осуществляли комбинированным методом. В качестве корма использовали замороженный рыбный фарш, тёртые овощи (корм с растительными компонентами) и комбикорм Aller Aqua гранулами 2–4 мм. Суточный рацион для рыбного фарша и растительных компонентов составлял 5-7%, а для комбикорма – 4–5%.

В виду того, что австалийский красноклешневый рак менее комерчески привлекателен, но хорошо подходит по условиям выращивания, как добавочный объект, оценка показателей приростов учитывалась только для пресноводной креветки Розенберга.

Для определения абсолютного и относительного приростов, а также для определения суточных рационов еженедельно проводили тотальный облов гидробионтов из каждого бассейна. Для определения массы тела гидробионтов использовали весы MASSA-K BK 600 с погрешностью 0,1 г.

Для определения гидрохимического режима ежедневно определяли уровень растворенного кислорода и pH, а также температуру воды при помощи портативного термооксиметра YSI EcoSense DO200A и pH метра Testo 206. Раз в неделю проводили исследования на нитриты и нитраты при помощи капельных тестов фирмы Tetra.

Результаты

Для проведения эксперимента по совместному выращиванию пресноводной креветки Розенберга совместно с австралийским красноклешневым раком были отобраны особи со средней массой для креветки 4,02–4,12 г и раков 10,6–11,3 г (рисунок 2). Особи были разделены на 5 групп с разным соотношением пресноводной креветки Розенберга (К) и австралийского красноклешневого рака (Р). Общее количество гидробионтов в каждой группе составляло 75 шт.

1-я группа (контрольная) состояла исключительно из особей креветки Розенберга (100%К), 2-я группа – 80%К/20%Р, 3-я группа – 60%К/40%Р, 4-я группа – 40%К/60%Р и 5-я группа – 20%К/80%Р.



Рисунок 2. Совместное выращивание пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака

Для увеличения площади поверхности внутри бассейнов располагались искусственные укрытия-субстраты из плотной садовой сетки, скрученные в цилиндры диаметром 10–12 см и скреплённые между собой на несколько ярусов (в среднем 10–12 шт.), с одной стороны к которым крепили грузило в виде натурального камня, а с другой стороны поплавок в виде куска утеплителя (пеноплекс), которые образовывали специализированные вертикальные укрытия (рисунок 3).

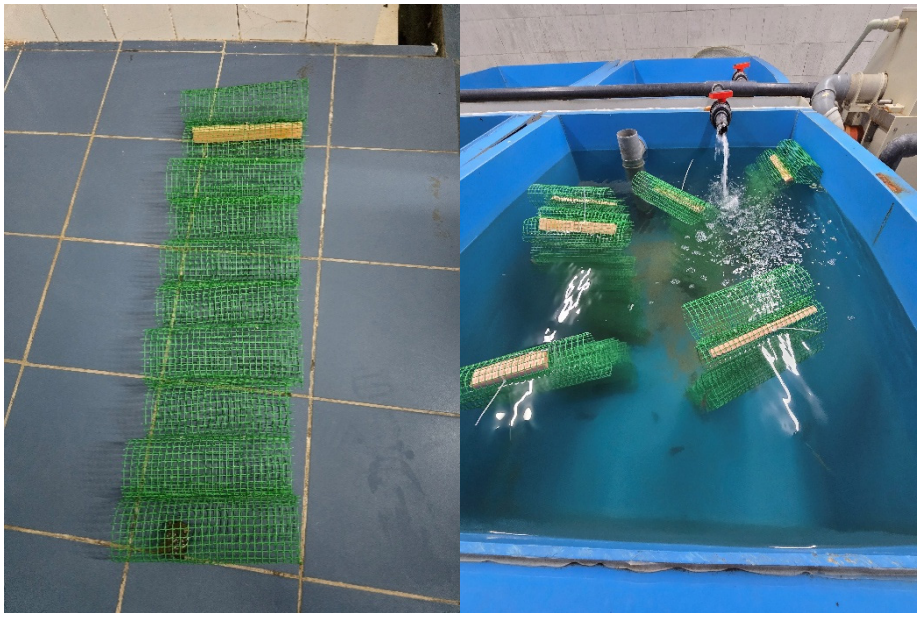


Рисунок 3. Вертикальные укрытия для членистоногих из садовой сетки

В начале эксперимента особи разных видов проявляли некоторую агрессию по отношению к друг другу, однако, спустя пару дней адаптации, конфликтные ситуации практически не проявлялись. Гидрохимический режим в период исследований был на приемлемом уровне (таблица 2).

Таблица 2. Гидрохимические показатели при выращивании членистоногих в УЗВ

Дата	t,°C	Гидрохимические показатели			
		O_2, мг/л	pH	NO_2, мг/л	NO_3, мг/л
04.05.2026 г.	29,3	5,8	8,2	0,1	3
11.05.2026 г.	28,8	5,9	8,0	0,1	3
18.05.2026 г.	28,4	5,8	7,9	0,2	10
25.05.2026 г.	27,6	6,2	7,7	0,1	5
01.06.2026 г.	28,6	5,7	8,3	0,1	15
08.06.2026 г.	29,1	5,9	8,1	0,1	5
15.06.2026 г.	28,5	5,3	7,8	0,05	3
22.06.2026 г.	28,4	5,6	7,9	0,05	3
29.06.2026 г.	29,3	5,8	7,6	0,1	5

Как показывают исследования, гидрохимический режим при совместном содержании пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака был на приемлемом уровне. Присутствовали незначительные колебания по температуре и кислородному режиму, нитриты и нитраты также имели незначительные колебания и зависели от эффективности работы биофильтра и количества подпитки свежей водой.

Экспериментальное совместное выращивание пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака проводили в УЗВ на протяжении 8 недель. Каждую неделю проводили тотальные обловы чтобы оценить абсолютные и относительные приросты, а также выживаемость при различных условиях поликультуры. Результаты экспериментальных работ представлены в таблице 3.

Таблица 3. Приросты пресноводной креветки Розенберга при совместном выращивании с австралийским красноклешневым раком с различным соотношением

Показатель	Группы				
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа
Соотношение креветок (К) к ракам (Р)	100%К	80%К/20%Р	60%К/40%Р	40%К/60%Р	20%К/80%Р
Масса креветки Розенберга в начале эксперимента, г	4,07 ± 0,32	4,12 ± 0,35	4,07 ± 0,30	4,02 ± 0,39	4,06 ± 0,34
Масса креветки Розенберга через 1 неделю выращивания, г	5,41 ± 0,43	5,47 ± 0,40	5,36 ± 0,37	5,22 ± 0,53	5,44 ± 0,41
Абсолютный прирост, г	1,34	1,35	1,29	1,2	1,38
Относительный прирост, %	32,9	32,8	31,7	29,9	34,0
Масса креветки Розенберга через 2 недели выращивания, г	6,72 ± 0,58	6,77 ± 0,53	6,45 ± 0,47	6,36 ± 0,51	6,82 ± 0,63
Абсолютный прирост, г	1,31	1,3	1,09	1,14	1,38
Относительный прирост, %	24,2	23,8	20,3	21,8	25,4
Масса креветки Розенберга через 3 недели выращивания, г	7,93 ± 0,65	8,27 ± 0,66	7,54 ± 0,58	7,21 ± 0,67	8,35 ± 0,73
Абсолютный прирост, г	1,21	1,5	1,09	0,85	1,53
Относительный прирост, %	18,0	22,2	16,9	13,4	22,4

Продолжение таблицы 2

Масса креветки Розенберга через 4 недели выращивания, г	9,31 ± 0,68	9,54 ± 0,84	8,62 ± 0,72	8,44 ± 0,77	9,83 ± 0,80
Абсолютный прирост, г	1,38	1,27	1,08	1,23	1,48
Относительный прирост, %	17,4	15,4	14,3	17,1	17,7
Масса креветки Розенберга через 5 недель выращивания, г	10,6 ± 0,78	10,9 ± 0,92	9,63 ± 0,81	9,49 ± 0,84	11,2 ± 0,93
Абсолютный прирост, г	1,29	1,36	1,01	1,05	1,37
Относительный прирост, %	13,9	14,3	11,7	12,4	13,9
Масса креветки Розенберга через 6 недель выращивания, г	12,0 ± 0,96	12,2 ± 1,0	10,8 ± 0,97	10,6 ± 0,99	12,5 ± 1,2
Абсолютный прирост, г	1,4	1,3	1,17	1,11	1,3
Относительный прирост, %	13,2	11,9	12,1	11,7	11,6
Масса креветки Розенберга через 7 недель выращивания, г	13,2 ± 1,2	13,5 ± 1,2	12,0 ± 1,1	11,8 ± 1,2	13,9 ± 1,5
Абсолютный прирост, г	1,2	1,3	1,2	1,2	1,4
Относительный прирост, %	10,0	10,7	11,1	11,3	11,2
Масса креветки Розенберга через 8 недель выращивания, г	14,8 ± 1,5	15,0 ± 1,4	13,1 ± 1,2	12,8 ± 1,2	15,6 ± 1,8
Абсолютный прирост, г	1,6	1,5	1,1	1	1,7
Относительный прирост, %	12,1	11,1	9,2	8,5	12,2
Абсолютный прирост за период выращивания, г	10,7	11,0	9,0	8,8	11,5
Относительный прирост за период выращивания, %	264	267	222	218	284
Выживаемость креветки за период выращивания, %	91	90	80	83	87

Кормление в период эксперимента осуществляли комбинированным методом при использовании стартового комбикорма Aller Aqua, замороженного рыбного фарша и перетёртых овощей (морковь и кабачок). Суточный рацион в начале эксперимента составлял 5% для комбикорма и фарша и 7,5% для растительных компонентов с постепенным снижением к концу эксперимента. Кормовые компоненты чередовались ежедневно.

На рисунках 4, 5 и 6 представлены относительные, абсолютные приросты и скорость роста пресноводной креветки.

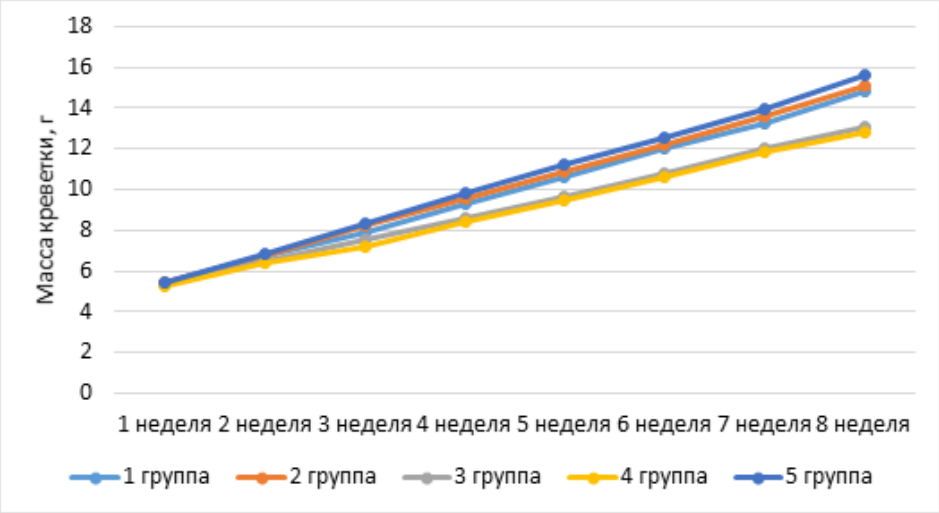


Рисунок 4. Приросты креветки Розенберга в период наблюдений, г

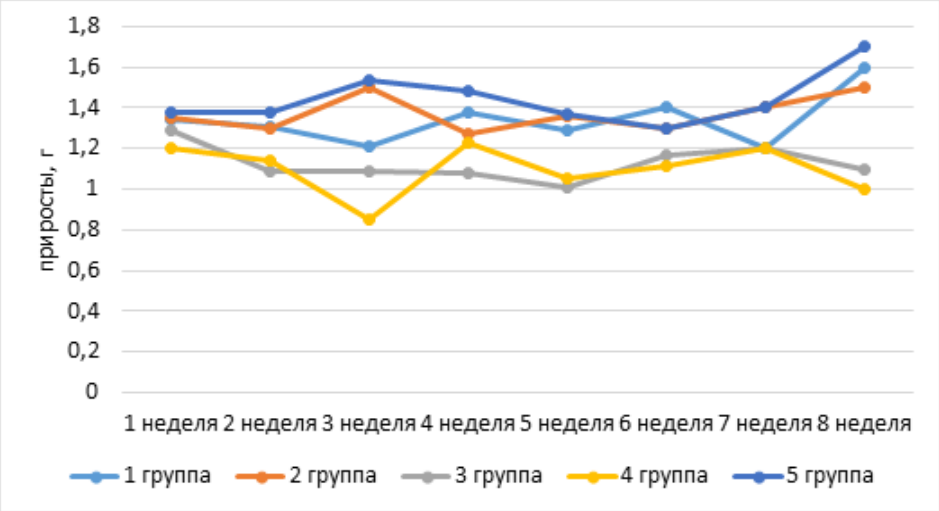


Рисунок 5. Абсолютный прирост креветки Розенберга, г

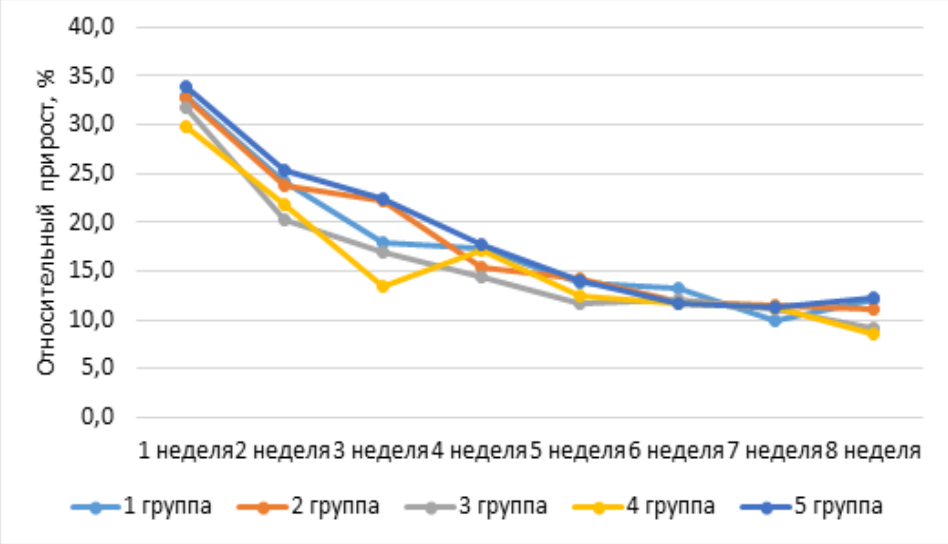


Рисунок 6. Относительный прирост креветки Розенберга, %

На рисунке 4 показаны приросты креветки Розенберга за период проведения эксперимента. При идентичных условиях выращивания, химическом составе воды и относительной плотности

посадки, лучшие приросты наблюдались в группах с неравномерным соотношением выращиваемых гидробионтов (80%К/20%Р и 20%К/80%Р). Различия между группами были статистически достоверными (P < 0 ,05).

Абсолютный прирост во 2-й и 5-й группе был на 0,3 г и на 0,8 г больше чем в контрольной (1-й группе), а в 3-й и 4-й группе на 1,7 г и 1,9 г меньше, чем контрольной соответственно. Относительные приросты аналогично были выше во 2-й и 5-й группе на 3 и 20% соответственно.

Наибольшая выживаемость, за исключением контрольной группы, была также отмечена во 2-й и 5-й группе – 90 и 87% соответственно, а наименьшая в 3-й и 4-й группе – 80 и 83% соответственно. Эксперимент показывает потенциал комбинированного выращивания пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака при соотношении 4:1 соответственно.

Обсуждение

Последние технологические достижения произвели методологическую инновацию в области культивирования членистоногих: способ выращивания объектов аквакультуры на биофлоке снижает затраты корма и улучшает гидрохимический режим; выращивание однополых особей позволяет достичь равномерного роста и стабильной производительности; происходит поиск дополнительных кормовых компонентов (белок животного происхождения на основе личинок насекомых, различные источники растительного происхождения, вплоть до отходов перерабатывающей промышленности) для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и снижение затрат на корма; подходы по снижению смертности выращиваемых гидробионтов, такие как использование многоярусных вертикальных систем на основе различных субстратов для увеличения площади поверхности и мест обитания объектов аквакультуры, использование поликультуры или интегрированное выращивание с различными растениями (аквапоника) показали более высокую выживаемость и устойчивость установки замкнутого водоснабжения.

Относительная скорость роста и абсолютные приросты в период эксперимента имели стабильную динамику. На первой и второй неделе отмечался максимальный набор массы во всех группах. На третьей и восьмой неделе наблюдался неравномерный скачек как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения массы приростов. Этот факт зачастую связан с прохождением линьки у исследуемых гидробионтов. В остальные периоды приросты не показывали существенных изменений.

Помимо некоторого агрессивного поведения между видами на начальном этапе, также были замечены случаи защиты самцами австралийских раков икряных самок пресноводной креветки Розенберга.

Заключение

Результаты эксперимента показывают относительный потенциал поликультуры пресноводной креветки Розенберга и австралийского красноклешневого рака при выращивании в УЗВ с достаточным количеством укрытий. В группах с более равномерным соотношением (60%К/40%Р и 40%К/60%Р) наблюдались низкие приросты – 222% в 3-й группе и 218% в 4-й группе. Выживаемость в данных группах была на 11% и 8% ниже, чем в контрольной соответственно.

Наибольшие приросты были отмечены в группах с неравномерным соотношением гидробионтов (2-я и 5-я группа), где абсолютные приросты составляли 11 г и 11,5 г соответственно. Данный факт свидетельствует о более оптимальных условиях для выращивания с минимальным возникновением конфликтных ситуаций, по сравнению с группами с более равномерным соотношением. Также высокие приросты 5-й группы обусловлены более подвижным образом жизни креветок и частичным перееданием задаваемого корма, предусмотренного для раков, которые передвигались значительно медленнее.

Вклад авторов

ЖК, ГА, VK, НБ: разработали и спроектировали концепцию исследования, поиск всесторонней литературы, анализ собранных данных и разработку рукописи. СМ и РС: выполнили последнюю редакцию и корректировку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и утвердили последнюю редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Исследования финансируются Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан в рамках научно-технической программы BR23591065 «Разработка и внедрение инновационных технологий и новых объектов аквакультуры, экономически эффективных в природно-климатических условиях различных регионов Казахстана» на 2024-2026 годы

Список литературы

1 Molcho, J., Levy, T., Benet, A., Naor, A., Savaya, A., Manor, R., Abramov, A., Aflalo, E.D., Shechter, A., Sagi, A. (2020). Three generations of prawns without the Z chromosome: Viable WW Macrobrachium rosenbergii all female populations in polyculture with Oreochromis niloticus. *Aquacultur*, 515, 734531. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734531.

2 Marwin, B.D.C., Charry, M.C.C., Kyle, D.L.R. (2026). Growth, survival, and economics of milkfish (Chanos chanos) and giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii) in monoculture and polyculture systems in brackishwater earthen ponds. *Tropical Animal Health and Production*, 58(5), 294. DOI: 10.1007/s11250-026-05107-5.

3 Huynh, K.H., Tran, N.H.N, Lam, M.L., Pham, Th.T.N., Nguyen, Th.NA. (2025). Polyculture of red seaweed Gracilaria tenuistipitata with postlarval giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii at different densities and feeding rates in the nursery phase. *Journal of Applied Phycology*,37, 2885–2899. DOI: 10.1007/s10811-025-03521-0.

4 Jewel, M.A.S., Haque, M.A., Rahman, M.H., Khatun, M.S., Akter, S., Bhuyain, M.A.B. (2021). Shrimp polyculture: An economically viable and environmentally friendly farming system in low saline coastal region of Bangladesh. *Iranian Journal of Fisheries Sciences,* 20(6), 1649–1663. DOI: 10.22092/ijfs.2021.125434.

5 Huynh, K.H., Pham, V.D., Doan, X.D. (2026). Evaluating optimal stocking density for the tank polyculture system of whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei) and all-male giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii) postlarvae. *International Journal of Aquatic Biology*, 14(1), 25–34. DOI: 10.22034/ijab.v13i6.2683.

6 Silveira, L.G.P., Rosas, V.T., Krummenauer, D., Fróes, C., Silva, A., Poersch, L.H., Fóes, G., Wasielesky, W.Jr. (2022). Establishing the most productive stocking densities for each stage of a multi-phase shrimp culture in biofloc technology system. *Aquaculture International,* 30, 1889–1903. DOI:10.1007/s10499-022-00879-7.

7 N'souvi, K., Sun, C., Che, B. (2021). Aquaculture technology adoption and profitability of the polyculture system practiced by prawn and crab farmers: Case study of Anhui province in China. *Aquaculture Reports*, 21, 100896. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100896.

8 FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action.* Rome, Italy: 244. DOI: 10.4060/ca9229en.

9 Aziz, D., Nguyen, V.T., Rahi, M.L., Hurwood, D.A., Mather, P.B. (2017). Identification of genes that potentially affect social dominance hierarchy in adult male giant freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture*, 476, 168–184. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.014.

10 Qi-Song, C.K., Chaiw-Yee, T., Wey-Lim, W. (2025). Enhancing productivity and sustainability in giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii farming: a review of advances and challenges. *Aquaculture International*, 33, 713. DOI: 10.1007/s10499-025-02388-9.

Розенберг тұщы су асшаяны (*Macrobrachium rosenbergii*) мен австралиялық қызылшымшуыр шаянын (*Cherax quadricarinatus*) полишаруашылық жағдайында өсіру тәжірибесі

Куанчалеев Ж.Б.[1], Аубакирова Г.А.[1], Стожков Р.О.[1], Мусин С. Е.[1], Кучера В.[2], Бадрызлова Н.С.[3]

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]Оңтүстік Чехия университеті, Чех Будеевице, Чех Республикасы
[3] «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Алматы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Буынаяқтыларды тоғанда, бассейндерде және тұйықталған сумен жабдықтау қондырғысында өсіру әлемде кеңінен таралуда, өйткені тұтынушылардың арасында буынаяқтылардан алынатын салқындатылатын өнімдердің жоғары нарықтық бағасы кеңінен сұранысқа ие. Танымал тұщы су буынаяқтылардың арасындағы Розенберг асшаянын (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879) және австралиялық қызылшымшуыр шаянын (*Cherax quadricarinatus* von Martens, 1868) бірлесе өсіруі аквашаруашылықтың перспективалы бағыттарының бірі болу мүмкіндігі қазіргі кезде аз зерттелген.

Материалдар мен әдістер. Розенберг тұщы су асшаяны мен австралиялық қызылшымшуыр шаянын бірлесе өсіру тұйықталған сумен жабдықтау қондырғы (ТСЖҚ) әр қайсысының көлемі 2,2 м^3 болатын 5 бассейнде жүргізілді. Гидробионттардың өсу қарқындығын, өсу жылдамдығын және тәуліктік азықтандыру нормасын анықтау үшін әр апта сайын әр бассейнде толық аулау жүргізілді. Гидробионттардың салмағын анықтау үшін өлшеу дәлелдігі 0,1 г бар MASSA-R DK 600 электрондық таразы қолданылды. Күн сайын судың гидрохимиялық режимін анықтау мақсатында судың оттегі көрсеткішін, pH деңгейін және судың температурасын YSI EcoSense DO200A портативті термооксиметрі, сонымен қатар Testo 206 pH метр көмегімен өлшенді. Аптасына бір рет Tetra фирмасының тамшылы тест-жүйелерін пайдалана отырып бассейндегі судың нитриттер мен нитраттардың концентрациясы анықталды.

Нәтижелер. Полишаруашылық жағдайында Розенберг асшаяны мен австралиялық қызылшымшуыр шаянын әртүрлі қатынастың әсері зерттелді. Екінші және бесінші топта тәріжибелік топпен (бірінші топ) салыстырғанда абсолюттік өсім 0,3 г және 0,8 г жоғары, ал үшінші және төртінші топта бұл көрсеткіш бақылау тобынан тиісінше 1,7 г және 1,9 г төмен болды. Салыстырмалы өсім көрсеткіші ұқсас үрдісті көрсетті, 2-ші және 5-ші топта салыстырмалы өсім бақылау тобымен салыстырғанда 3% және 20% жоғары болды. Ең жоғары тіршілік сақталу көрсеткіші бақылау тобын есепке алмағанда, 2-ші және 5-ші топта, ол 90% және 87%, төмен тіршілік сақталу көрсеткіші 3-ші және 4-ші топта байқалды, ол 80% және 83% құрады.

Қорытынды. Жоғары өсім әртүрлі сандық арақатынас топтарда байқалды (2-ші және 5-ші топтар), ол топтарда абсолютті өсім 11 г және 11,5 г құрады. Нәтиже бойынша аталған арақатынаста бірге өсіру олардың тіршілік етуі мен өсуі үшін қолайлы жағдай қалыптастыратынын, дарақтар арасындағы бәсекелестік пен қақтығыс жағдайларынының туындау ықтималдылығын төмендететінін көрсетеді. Жүргізілген тәжірибе нәтижесі Розенберг су асшаяны мен австралиялық қызылшымшуыр шаянын 4:1 арақатынасында аралас бірге өсірудің жоғары перспективасын көрсетеді.

Кілт сөздер: Розенберг асшаяшы; австралиялық қызылшымшуыр шаяны; ТСЖҚ; полишаруашылық.

Experimental cultivation of freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) in polyculture with Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*)

Zhaxygali B. Kuanchaliev[1], Gulzhan A. Aubakirova[1], Ruslan O. Stozhkov[1], Suyundyk E. Mussin[1]
Vaclav Kučera[2], Nina S. Badryzlova[3]

[1]NJSC "S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan
[2]University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic
[3] "Fisheries research and production center" LLP, Almaty, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Arthropod farming in ponds, tanks, and recirculating aquaculture systems (RAS) is becoming increasingly popular worldwide due to the high market value and consumer appeal of fresh or chilled arthropod products. Co-culture of the most popular freshwater arthropods, the giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879) and the red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus* von Martens, 1868) may be a very promising approach to aquaculture, but has been little studied to date.

Materials and Methods. Freshwater prawns and Australian red-claw crayfish were co-cultured in a recirculating aquaculture system in five tanks, each with a capacity of 2.2 m^3. All aquatic organismsfrom each tank were collected weekly to determine growth rates and weight increments, as well as to adjust daily rations. A MASSA-K BK 600 scale with an accuracy of 0.1 g was used to determine the body weight of the aquatic organisms. To determine the hydrochemical regime, dissolved oxygen and pH levels were measured daily, as well as water temperature, using a YSI EcoSense DO200A portable thermooxymeter and a Testo 206 pH meter. Nitrite and nitrate tests were performed weekly using Tetra drop test kits.

Results. The effects of varying the ratio of Rosenberg's freshwater prawns to Australian red-claw crayfish grown in polyculture were studied. Absolute growth in the second and fifth groups was 0.3 g and 0.8 g greater than in the control (first group), while in the third and fourth groups it was 1.7 g and 1.9 g less than the control. Relative growth was also higher in the second and fifth groups by 3% and 20%, respectively. The highest survival rate, excluding the control group, was also noted in the second and fifth groups – 90% and 87%, respectively, and the lowest in the third and fourth groups – 80% and 83%, respectively.

Conclusion. The highest growth rates were observed in groups with uneven aquatic organism ratios (the second and fifth groups), where absolute growth rates were 11g and 11.5 g, respectively. This indicates more optimal conditions for rearing, with reduced interspecific competition. The experiment demonstrates significant potential for combined rearing of Rosenberg's freshwater shrimp and Australian red-claw crayfish at a ratio of 4:1.

Keywords: Rosenberg shrimp; Australian red-claw crayfish; RAS; polyculture.

ӘОЖ 636.2.084:636.082 **Зерттеу мақаласы**

Қалмақ тұқымы малының әртүрлі жастағы бұқашықтары мен қашарларын өсіру технологиясының тірілей салмағы мен ет өнімділігіне әсері

Қажғалиев Н.Ж.[1], **Хасен Ж.С.**[1], **Маханбетова А.Б.**[1], **Нұргүлсім Қ.**[1], **Жамурова В.С.**[2]

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор: Қажғалиев Н.Ж.: kazhgaliev.n@mail.ru
Бірлескен авторлар: (1: ЖХ) hasenov.zhandos1990@ gmail.com; (2: АМ) Aikabek80@mail.ru
(3: ҚН) kacter-83@mail.ru; (4: ВЖ) zhamurova@yandex.ru

Қабылданған күні: 10.07.2026 **Қабылданды:** 29.10.2026 **Жарияланды:** 30.09.2026

Авторлық құқық: Қажғалиев Н.Ж. т.б. Бұл мақала ашық қолжетімділікте жарияланып, Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясының шарттарына сәйкес таратылады (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Ет бағытындағы ірі қара мал шаруашылығында өнімділікті арттырудың маңызды бағыттарының бірі – жас малды ғылыми негізде өсіру және азықтандыру технологияларын қолдану болып табылады. Осыған байланысты қалмақ тұқымы малының әртүрлі өсіру технологиялары жағдайындағы өнімділік көрсеткіштерін бағалау өзекті мәселе болып саналады. Зерттеудің мақсаты – қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларын әртүрлі өсіру технологиялары жағдайында өсірудің тірілей салмағы мен ет өнімділігіне әсерін анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу «Қазақ Асылдары» ЖШС-де (Ақтөбе облысы, Қобда ауданы) жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде 9, 12, 15 және 18 айлық қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарлары алынып, аналогтар қағидаты бойынша бақылау (жайылымдық өсіру) және тәжірибелік (қорада қарқынды өсіру) топтарына бөлінді. Зерттеу барысында тірілей салмақ, абсолюттік және орташа тәуліктік салмақ өсімі, ет өнімділігі мен ұша морфологиялық құрамы анықталды.

Нәтижелер. Қарқынды өсіру технологиясы қолданылған тәжірибе тобында барлық өнімділік көрсеткіштері бақылау тобынан жоғары болды. 18 айлық жаста бұқашықтардың тірілей салмағы 40,2 кг, қашарларда 31,7 кг артты. Абсолюттік салмақ өсімі бұқашықтарда 15,4%, қашарларда 15,0% жоғары болды. Сонымен қатар, тәжірибе тобында ұша салмағы, сойыс салмағы, сойыс шығымы және ұшадағы ет үлесі жоғарылап, сүйек үлесі төмендеді.

Қорытынды. Қорада қарқынды бағып-күту және теңгерімді азықтандыру технологиясы қалмақ тұқымы жас малының өсу энергиясын, ет өнімділігін және ұша сапасын арттыруда тиімді екені анықталды. Алынған нәтижелер аталған технологияны ет бағытындағы ірі қара мал шаруашылығында өндірістік жағдайда кеңінен қолданудың тиімділігін дәлелдейді.

Кілт сөздер: қалмақ тұқымы; бұқашықтар; қашарлар; өсіру технологиясы; қарқынды бордақылау; ет өнімділігі.

Кіріспе

Қазақстан Республикасында етті мал шаруашылығын дамыту агроөнеркәсіптік кешеннің басым бағыттарының бірі болып табылады. Елдің табиғи-климаттық ерекшеліктері жайылымдық мал шаруашылығын дамытуға қолайлы жағдай жасайды және жоғары сапалы сиыр етін өндіру көлемін арттыруға мүмкіндік береді. Осыған байланысты өнімділігі жоғары, қоршаған орта жағдайына жақсы бейімделген етті бағыттағы ірі қара мал тұқымдарын тиімді пайдалану мен оларды өсіру технологиясын жетілдіру ерекше маңызға ие. Соңғы жылдары етті ірі қара мал шаруашылығында жануарлардың генетикалық әлеуетін толық пайдалану, олардың өнімділік қасиеттерін арттыру және өндірістің экономикалық тиімділігін жоғарылату мәселелеріне ерекше көңіл бөлінуде. Бұл міндеттерді шешуде малды азықтандыру, күтіп-бағу, жас ерекшеліктеріне

сәйкес өсіру технологиясын қолдану және малдың физиологиялық даму заңдылықтарын ескеру маңызды рөл атқарады. Әсіресе әртүрлі жастағы бұқашықтар мен қашарларды өсірудің ғылыми негізделген технологиясын енгізу олардың тірілей салмақ қосуына, дене бітімінің дұрыс қалыптасуына, кейінгі өнімділігі мен ет сапасының жоғары болуына тікелей әсер етеді.

Қазақстанда етті мал шаруашылығын дамытуға ерекше көңіл бөлініп келеді. Соңғы жылдары отандық ғалымдар *Д.А. Баймұқанов, А.С. Қарынбаев, Н.Б. Сейдалиев, С.Б. Әбуғалиев* және басқа зерттеушілер етті бағыттағы ірі қара малдың селекциялық-асылдандыру жұмыстарын жетілдіру, өнімділік көрсеткіштерін арттыру және жергілікті табиғи-климаттық жағдайларға бейімделген тұқымдарды тиімді пайдалану мәселелерін жан-жақты зерттеген. Олардың еңбектерінде қалмақ тұқымы малының жоғары бейімделгіштігі, жайылымдық жағдайда жақсы өсіп-жетілуі, тәуліктік салмақ қосуы мен ет өнімділігінің жоғары деңгейде қалыптасатыны көрсетілген [1, 2, 3, 4].

Қалмақ тұқымы – Қазақстан жағдайында кеңінен өсірілетін ежелгі етті бағыттағы ірі қара мал тұқымдарының бірі. Бұл тұқым табиғи жайылым жағдайына жоғары бейімділігімен, төзімділігімен, азықты тиімді пайдалану қабілетімен, тәуліктік салмақ қосуының жоғарылығымен және сапалы ет өнімдерін беруімен ерекшеленеді. Қалмақ малының конституциялық беріктігі мен ұзақ қашықтыққа жайылып бағылуға бейімділігі оны еліміздің әртүрлі табиғи-экономикалық аймақтарында өсіруге мүмкіндік береді.

Дегенмен әртүрлі жастағы бұқашықтар мен қашарларды өсіру технологиясының олардың өсу қарқынына, тірілей салмақ динамикасына және ет өнімділігіне әсерін кешенді түрде бағалау мәселелері әлі де өзекті болып отыр. Малдың жас кезеңдеріне сәйкес азықтандыру деңгейі, күтіп-бағу жағдайы және өсіру технологиясы бұлшық ет пен сүйек тіндерінің қалыптасуына, май жиналу ерекшеліктеріне және ұша сапасының көрсеткіштеріне елеулі ықпал етеді. Сондықтан өндірістік жағдайда қолданылатын технологиялардың тиімділігін ғылыми тұрғыдан негіздеу ет өндірісінің көлемі мен сапасын арттырудың маңызды алғышарты болып саналады. Шетелдік ғалымдар *В.Н. Приступа, А.Ю. Колосов, Я.А. Колосов, О.Н. Орлова, Л.С. Дмитриева* және әріптестері қалмақ тұқымы малының жаңа зауыттық желілерінің өсу қарқынын, сойыс көрсеткіштерін, ұша морфологиясын және еттің физика-химиялық құрамын зерттеген. Олардың нәтижелері қарқынды өсіру технологиясын қолдану барысында бұқашықтардың ұша шығымы мен сүйексіз ет үлесінің артып, еттің тағамдық құндылығы жақсаратынын көрсетеді [5, 6].

Малдың тірілей салмағы мен ет өнімділігіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі – өсіру технологиясы. Бұзаудың туғаннан бастап өсіп-жетілу кезеңдерінде қолданылатын азықтандыру жүйесі, күтіп-бағу жағдайы, жайылымды пайдалану ерекшеліктері және технологиялық тәсілдер бұлшық ет тінінің қалыптасуына, майдың жиналуына және соңғы өнімнің сапасына тікелей ықпал етеді. Әсіресе әртүрлі жастағы бұқашықтар мен қашарлардың физиологиялық ерекшеліктерін ескере отырып жүргізілетін өсіру технологиясы олардың генетикалық әлеуетінің толық ашылуына мүмкіндік береді [7, 8].

Соған қарамастан, Қазақстан жағдайында қалмақ тұқымы малының әртүрлі жастағы бұқашықтары мен қашарларын өсіру технологиясының тірілей салмақтың қалыптасуына және ет өнімділігіне кешенді әсерін өндірістік жағдайда бағалауға арналған зерттеулер жеткіліксіз. Әсіресе нақты шаруашылық жағдайында алынған ғылыми деректерді жинақтау ет өндірісінің тиімділігін арттыру және ғылыми негізделген технологиялық ұсынымдар әзірлеу үшін маңызды.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – қалмақ тұқымы малының әртүрлі жастағы бұқашықтары мен қашарларын өсіру технологиясының олардың тірілей салмағы мен ет өнімділігіне әсерін анықтап, өндірістік жағдайда тиімді технологиялық шешімдерді ғылыми тұрғыдан негіздеу.

Материалдар мен әдістер

Этикалық бекіту

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ Биологиялық және медициналық этика жөніндегі жергілікті этика комитеті отырысының 2024 жылғы 16 қазандағы № 1 хаттамасы.

Зерттеу жұмыстары Ақтөбе облысында орналасқан «Қазақ Асылдары» ЖШС жағдайында 2025 жылдың 21 қазан айынан 2026 жылдың 1 шілде айы аралығында жүргізілді. Шаруашылық

етті бағыттағы қалмақ тұқымы ірі қара малын өсіруге маманданған және асыл тұқымды мал шаруашылығы мәртебесіне ие. Мұнда мал жыл бойы табиғи жайылымдарды тиімді пайдалану арқылы өсіріліп, қысқы кезеңде сүрлем, пішен, пішендеме және құнарландырылған құрама жеммен азықтандырылады. Шаруашылықта малды күтіп-бағу технологиясы Қазақстанның құрғақ дала аймағының табиғи-климаттық ерекшеліктеріне бейімделген.

Зерттеу нысаны ретінде 9 айлық қалмақ тұқымының 30 бұқашығы мен 30 қашары, барлығы 60 бас жас мал алынды. Жануарлар жасы, шығу тегі, тірілей салмағы, физиологиялық жағдайы және даму деңгейі ескеріліп, аналогтар қағидаты бойынша екі топқа бөлінді. Бақылау тобына 15 бұқашық пен 15 қашар, тәжірибе тобына 15 бұқашық пен 15 қашар енгізілді. Зерттеу барысында бір жануарлар тобының 9, 12, 15 және 18 айлық кезеңдердегі тірілей салмақ динамикасы мен салмақ өсімі бақыланды.

Тірілей салмақ көрсеткіштері жануарларды таңертеңгі азықтандыруға дейін электрондық таразыда жеке өлшеу арқылы анықталды. Өлшеулер белгіленген жас кезеңдерінде жүргізіліп, олардың негізінде абсолюттік, тәуліктік және салыстырмалы салмақ өсімі есептелді. Зерттеу келесі сұлба бойынша жүргізілді (1-кесте).

1-кесте. Зерттеу сұлбасы

Топ	Мал тобы	Мал саны, бас	Күтіп-бағу технологиясы	Зерттеу кезеңдері	Зерттелетін көрсеткіштер
I (бақылау)	Қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарлары	n=30 (15 бас бұқашық 15 бас қашар)	Жайылымдық өсіру технологиясы	9, 12, 15, 18 ай	Тірілей салмақ, абсолюттік, салыстырмалы және орташа тәуліктік салмақ өсімі, ет өнімділігі
II (тәжірибелік)	Қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарлары	n=30 (15 бас бұқашық 15 бас қашар)	Қорада қарқынды өсіру (бордақылау) технологиясы	9, 12, 15, 18 ай	Тірілей салмақ, абсолюттік, салыстырмалы және орташа тәуліктік салмақ өсімі, ет өнімділігі

Тәжірибе кезеңінде бақылау және тәжірибе топтарындағы жануарларды күтіп-бағу мен азықтандыру жағдайлары зерттеу сұлбасына сәйкес ерекшеленді. Бақылау тобындағы малдар жайылымдық технология бойынша өсіріліп, жайылым азығымен және қосымша азықтармен қамтамасыз етілді. Тәжірибе тобындағы жануарлар қорада қарқынды өсіру технологиясы бойынша күтіп-бағылып, қоректілігі жоғары теңгерімді рационмен азықтандырылды. Топтар арасындағы негізгі зерттелетін фактор өсіру және азықтандыру технологиясының ерекшелігі болды.

Тәжірибе кезеңінде бұқашықтар мен қашарларға шаруашылықтағы қабылданған рацион бойынша азық берілді. Рацион құрамына табиғи пішен, жүгері карнажы, күнбағыс күнжарасы және құнарландырылған жем енгізілді.

Ет өнімділігін бағалау мақсатында 18 айлық жастағы тәжірибелік малдардың ішінен әр топтан 3 бастан, барлығы 6 бас мал іріктеліп, бақылау сойысы жүргізілді. Бақылау сойысына алынған жануарлар тірілей салмағы, дене бітімі және физиологиялық жағдайы бойынша топтың орташа көрсеткіштеріне сәйкес таңдалды.

Бақылау сойысы жалпы қабылданған зоотехникалық әдістемелерге сәйкес жүргізілді. Сойыс алдында малдар 24 сағат бойы азықтандырылмай, ылғал суға еркін қолжетімділік қамтамасыз етілді. Сойыс алдындағы тірілей салмақ электрондық таразыда өлшенді.

Алынған эксперименттік мәліметтер биометриялық өңдеуден өткізілді. Статистикалық талдау барысында арифметикалық орташа мән (M), орташа қателік (m), стандарттық ауытқу (SD)

есептелді. Зерттелген көрсеткіштер арасындағы айырмашылықтардың сенімділігі Стьюденттің t-критерийі арқылы бағаланып, P < 0,05 деңгейінде статистикалық мәнді деп қабылданды. Мәліметтерді өңдеу үшін Microsoft Excel және IBM SPSS Statistics бағдарламалары пайдаланылды.

Нәтижелер

Етті бағыттағы ірі қара мал төлдерінің өсуі мен ет өнімділігі бірнеше факторға байланысты қалыптасады. Оған генетикалық ерекшелік, азықтандыру деңгейі, қоршаған орта жағдайы, күтіп-бағу технологиясы және төлдің жеке биологиялық қасиеттері жатады. Сондықтан төлдің өсуін бағалағанда осы факторларды бірге қарастыру қажет.

Зерттеу барысында қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының әртүрлі күтіп-бағу технологиясы жағдайындағы тірілей салмақ динамикасы, салмақ өсімі және ет өнімділігі салыстырмалы түрде бағаланды. Жануарлар 9, 12, 15 және 18 айлық жас кезеңдерінде өлшенді. Рацион қоректілігі малдардың жас ерекшелігі мен физиологиялық қажеттілігіне сәйкес теңестірілді. Азықтандыру кезінде азық өлшемі, қорытылатын протеин мөлшері және алмасу энергиясы ескерілді (2-кесте).

2-кесте. Қорада бағып-күту технологиясы бойынша бір басқа шаққандағы тәуліктік рацион құрылымы орта есеппен

Көрсеткіштер	Бақылау тобы (жайылымда бағып-күту)		Тәжірибе тобы (қорада бағып-күту)	
	Бұқашықтар (n=15)	Қашарлар (n=15)	Бұқашықтар (n=15)	Қашарлар (n=15)
Рацион				
Табиғи жайылым шөбі, кг	25,0	22,8	-	-
Пішен, кг	-	-	4,5	4,5
Жүгері карнажы, кг,	-	–	2	2
Күнбағыс күнжарасы, кг	-	–	1,3	1,3
Жаншылған арпа, кг	2,0	2,0	3,0	3,0
Бор, г	30	30	70	70
Тұз, г	30	30	70	70
Премикс, (құрамында A, D, E дәрумендері бар) г	50	50	100	100
Рацион құрамында				
Құрғақ зат, кг	7,96	7,42	10,60	9,91
Шикі протеин, %	11,8	10,9	14,9	13,8
Месқарында ыдырайтын протеин (МЫП), % ҚЗ	7,8	7,2	9,3	8,9
Нейтралды-детергентті клетчатка (НДК), % ҚЗ	32,5	33,4	28,1	29,0
Крахмал, % ҚЗ	17,5	16,8	24,6	23,8
Азот балансы (NH3), %	92,6	88,4	109,8	105,7
Құрылымдық емес көмір сулар (БВУ, NFC), %	34,2	35,1	41,8	40,9

Ескерту: бақылау тобындағы жануарлар табиғи жайылымда бағып-күтіліп, рационның негізгі бөлігін жайылым шөбі құрады. Кестеде келтірілген бақылау тобы рационының қоректілік көрсеткіштері жайылымдық азық пен қосымша берілген азықтардың жалпы қоректілігін ескере отырып есептелген.

2-кесте деректеріне сәйкес, бақылау және тәжірибе топтарындағы жануарлардың азықтандыру деңгейі қолданылған өсіру технологиясына байланысты ерекшеленді.

Бақылау тобындағы бұқашықтар мен қашарлар жайылымдық өсіру технологиясы бойынша күтіп-бағылды. Олардың рационының негізгі бөлігін табиғи жайылым шөбі құрады, оның орташа тәуліктік тұтынылу мөлшері бұқашықтарда 25,0 кг, қашарларда 22,8 кг деңгейінде есептелді. Қосымша азық ретінде бір басқа тәулігіне 2,0 кг жаншылған арпа, 30 г бор, 30 г ас тұзы және 50 г дәрумендi-минералдық премикс берілді. Рационның есептік құрғақ зат мөлшері бұқашықтарда 7,96 кг, қашарларда 7,42 кг құрады. Ал, тәжірибе тобындағы жануарлар қорада қарқынды өсіру технологиясы бойынша күтіп-бағылып, тәуліктік рацион құрамына 4,5 кг пішен, 2,0 кг жүгері карнажы, 1,3 кг күнбағыс күнжарасы, 3,0 кг жаншылған арпа, 70 г бор, 70 г ас тұзы және 100 г дәрумендi-минералдық премикс енгізілді. Рационның құрғақ зат мөлшері бұқашықтарда 10,60 кг, қашарларда 9,91 кг болды.

Рационның химиялық құрамын салыстыру нәтижесінде тәжірибелік топтағы бұқашықтардың құрғақ затты тұтынуы 10,60 кг, ал қашарларда 9,91 кг болғаны анықталды. Бұл көрсеткіш бақылау тобындағы бұқашықтармен (7,96 кг) және қашарлармен (7,42 кг) салыстырғанда тиісінше 33,2 және 33,6% жоғары болды. Бақылау тобындағы жануарлардың рационының негізгі бөлігін табиғи жайылым шөбі құрады. Жайылым шөбіндегі құрғақ зат мөлшерін есептік түрде 25% деп қабылдағанда, бұқашықтардың тәулігіне тұтынған 25,0 кг жайылым шөбінде шамамен 6,25 кг құрғақ зат болды. Қосымша берілген 2,0 кг жаншылған арпаның құрғақ зат мөлшері шамамен 1,72 кг болғанын ескергенде, рациондағы құрғақ заттың жалпы мөлшері 7,96 кг құрады. Қашарларда 22,8 кг жайылым шөбінен шамамен 5,70 кг құрғақ зат және 2,0 кг жаншылған арпадан 1,72 кг құрғақ зат түсіп, рациондағы құрғақ заттың жалпы мөлшері 7,42 кг құрады.

Жалпы, тәжірибелік топта пайдаланылған рацион құрамындағы пішен, жүгері карнажы, күнбағыс күнжарасы және құнарландырылған жемнің үйлесімді арақатынасы энергия мен протеиннің тиімді теңгерімін қамтамасыз етті. Соның нәтижесінде қоректік заттардың қорытылуы жақсарып, месқарындағы ашу процестері тұрақтанып, ацидоз қаупі төмендеді. Бұл өз кезегінде малдардың өсу қарқыны мен ет өнімділігінің жоғарылауына оң ықпал етті.

Зерттеу барысында қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының 9, 12, 15 және 18 айлық жас кезеңдеріндегі тірілей салмағы анықталды (3-кесте). Алынған нәтижелер малдардың тірілей салмағының жас ұлғайған сайын біртіндеп артқанын және өсу қарқынының қолданылған бағып-күту технологиясына тәуелді болғанын көрсетті.

3-кесте. Қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының тірілей салмағы, кг

Көрсеткіштер	Бақылау тобы (жайылымда бағып-күту)		Тәжірибе тобы (қорада бағып-күту)	
	Бұқашықтар (n=15)	Қашарлар (n=15)	Бұқашықтар (n=15)	Қашарлар (n=15)
9 айлық	185,4 ± 3,1	182,8 ± 2,9	187,6 ± 3,4*	184,5 ± 3,0*
12 айлық	235,7 ± 3,8	230,4 ± 3,5	244,9 ± 4,1*	237,8 ± 3,7*
15 айлық	348,2 ± 4,2	309,7 ± 3,9	358,5 ± 4,6*	318,2 ± 4,0*
18 айлық	422,6 ± 4,9	375,9 ± 4,3	462,8 ± 5,1**	407,6 ± 4,6**

*Ескерту: * - P <0,05; ** - P <0,01.*

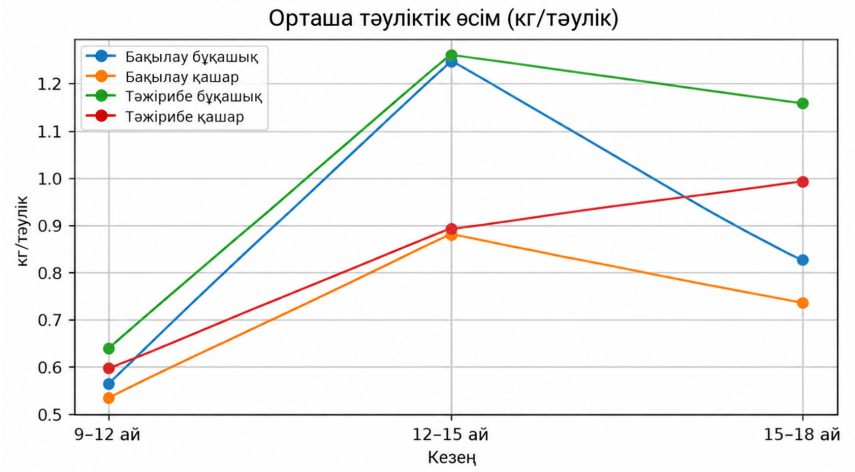
3-кесте мәліметтері бойынша, зерттеудің барлық жас кезеңдерінде тәжірибе тобындағы бұқашықтар мен қашарлардың тірілей салмағы бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болды. 9 айлық жаста топтар арасындағы айырмашылық шамалы болып, бұқашықтарда 2,2 кг (1,2%), қашарларда 1,7 кг (0,9%) құрады. Жануарлардың жасы ұлғайған сайын топтар арасындағы айырмашылық артып, 18 айлық жаста ең жоғары деңгейге жетті: тәжірибе тобындағы бұқашықтардың тірілей салмағы бақылау тобынан 40,2 кг немесе 9,5%, ал қашарларда 31,7 кг немесе 8,4% жоғары болды.

Осыған орай, зерттеу кезеңінде тәжірибе тобындағы жануарлардың тірілей салмақ бойынша артықшылығы біртіндеп артқаны байқалды. Бұл қорада қарқынды бағып-күту және қоректілігі жоғары рационмен азықтандырудың жас малдың өсу қарқынына оң ықпал еткенін көрсетеді. Сонымен қатар барлық жас кезеңдерінде бұқашықтардың тірілей салмағы қашарларға қарағанда

жоғары болды, бұл ет бағытындағы ірі қара малға тән жыныстық диморфизммен байланысты. Сондай-ақ, барлық жас кезеңдерінде бұқашықтардың тірілей салмағы қашарларға қарағанда жоғары болды. Бұл ет бағытындағы ірі қара малға тән жыныстық диморфизммен түсіндіріледі. Бұқашықтарда бұлшықет ұлпасының қарқынды дамуы мен өсу энергиясының жоғары болуы олардың тірілей салмағының қашарларға қарағанда жоғары қалыптасуына ықпал етті.

Зерттеудің барлық жас кезеңдерінде тәжірибе тобындағы бұқашықтар мен қашарлардың тірілей салмағы бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болды. 9-15 айлық кезеңде топтар арасындағы айырмашылық статистикалық мәнді деңгейге жеткен жоқ (P>0,05). Жануарлардың жасы ұлғайған сайын топтар арасындағы айырмашылық артып, 18 айлық жаста тәжірибе тобындағы бұқашықтардың тірілей салмағы 462,8 ± 5,1 кг болып, бақылау тобынан 40,2 кг немесе 9,5% жоғары болды (P<0,01). Қашарларда да осы кезеңде тәжірибе тобының көрсеткіші 407,6 ± 4,6 кг болып, бақылау тобымен салыстырғанда 31,7 кг немесе 8,4% жоғары болды (P<0,01). Зерттеу нәтижелері тәжірибелік топта қолданылған қорада қарқынды бағып-күту және теңгерімді азықтандыру технологиясының малдардың өсу қарқынына оң әсер еткенін көрсетті.

Малдың өсу қарқынын бағалауда маңызды көрсеткіштердің бірі – орташа тәуліктік салмақ өсімі болып табылады. Бұл көрсеткіш малдың белгілі бір уақыт аралығында тәулігіне қанша салмақ қосқанын сипаттайды және қолданылған бағып-күту мен азықтандыру технологиясының тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Осыған байланысты, зерттеуде қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының 9-18 айлық жас кезеңдеріндегі орташа тәуліктік салмақ өсімі есептеліп, бақылау және тәжірибе топтарының көрсеткіштері салыстырылды (1-сурет).



1-сурет. 9–18 ай аралығындағы жас төлдердің өсім көрсеткіштері

1-сурет деректері тәжірибе тобындағы бұқашықтар мен қашарлардың орташа тәуліктік салмақ өсімі зерттеудің негізгі кезеңдерінде бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болғанын көрсетті. Топтар арасындағы ең айқын айырмашылық 15–18 айлық кезеңде байқалды: тәжірибе тобындағы бұқашықтардың салмақ өсімі бақылау тобынан 40,2%, қашарларда 35,0% жоғары болды. Бұл қарқынды өсіру технологиясының зерттеудің соңғы кезеңінде жас малдың өсу қарқынына айқын әсер еткенін көрсетеді. Алынған нәтижелер бұқашықтардың барлық жағдайда қашарларға қарағанда жоғары өсу энергиясына ие екенін көрсетті. Бұл жыныстық ерекшеліктерге байланысты бұқашықтарда бұлшықет ұлпасының қарқынды қалыптасуымен және зат алмасу үдерістерінің жоғары белсенділігімен түсіндіріледі. Соның нәтижесінде олардың абсолюттік және орташа тәуліктік салмақ өсімі қашарларға қарағанда жоғары деңгейде қалыптасты.

Тәжірибелік топтағы жоғары өсім көрсеткіштері рацион құрамына енгізілген жоғары сапалы пішеннің, жүгері карнажының, күнбағыс күнжарасының, жаншылған арпаның және витаминді-минералды қоспалардың оңтайлы үйлесімімен түсіндіріледі. Мұндай рацион организмді жеткілікті мөлшерде энергиямен, қорытылатын протеинмен және минералдық элементтермен қамтамасыз етіп, месқарындағы микробиологиялық процестердің қалыпты жүруіне жағдай жасады. Нәтижесінде қоректік заттардың қорытылуы мен сіңірілуі жақсарып, бұлшықет ұлпасының қалыптасуы мен тәуліктік салмақ өсімі артты.

Сонымен қатар, тәжірибелік топтағы малдардың өсу қарқынының жоғары болуы қарқынды өсіру технологиясының тиімділігін дәлелдейді. Бұл технологияда малдардың азыққа қолжетімділігі тұрақты болып, қоршаған орта факторларының қолайсыз әсері азаяды. Соның нәтижесінде азық энергиясы организмнің тіршілік әрекетін қамтамасыз етуге емес, негізінен дене салмағын арттыруға жұмсалады.

Жалпы алғанда, қарқынды қорада бағып-күту технологиясы қолданылған тәжірибе тобында барлық жас кезеңдерінде салмақ өсімі жоғары болды. Әсіресе бұл технологияның тиімділігі айқын байқалып, олардың абсолюттік және орташа тәуліктік өсімі бақылау тобымен салыстырғанда шамамен 15–18 ай аралығында байқалып, бұқашықтарда 40,2%, қашарларда 35,0% деңгейіне жетті. Бұл көрсеткіштер қарқынды өсіру технологиясының ет бағытындағы қалмақ тұқымды жас малдардың өнімділік әлеуетін толық ашуға мүмкіндік беретінін және оны өндірістік жағдайда кеңінен қолданудың тиімді екенін дәлелдейді.

Ет бағытындағы ірі қара мал шаруашылығында өнімділікті бағалаудың негізгі көрсеткіштерінің бірі – малдың ет өнімділігі болып табылады. Ет өнімділігі малдың генетикалық ерекшелігіне, жынысына, жасына, күтіп-бағу технологиясына және азықтандыру деңгейіне тікелей байланысты қалыптасады. Сондықтан, жүргізілген тәжірибеде әртүрлі күтіп-бағу технологиясының қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының ет өнімділігіне әсерін анықтау мақсатында бақылау және тәжірибелік топтағы малдарға бақылау сойысы жүргізілді.

Бақылау сойысы кезінде сойыс алдындағы тірілей салмақ, ұша салмағы, ұша шығымы, іш майының салмағы, сойыс салмағы және сойыс шығымы анықталды. Алынған нәтижелер 4-кестеде келтірілген.

4-кесте. 18 айлық бұқашықтар мен қашарлардың ет өнімділігі

Көрсеткіштер	Бақылау тобы (жайылымда бағып-күту)		Тәжірибе тобы (қорада бағып-күту)	
	Бұқашықтар (n=3)	Қашарлар (n=3)	Бұқашықтар (n=3)	Қашарлар (n=3)
Сойыс алдындағы тірілей салмақ, кг	422,6 ± 4,9	375,9 ± 4,3	462,8 ± 5,1**	407,6 ± 4,6**
Ұша салмағы, кг	236,3 ± 3,6	198,4 ± 3,2	266,1 ± 3,8**	227,0 ± 3,5**
Ұша шығымы, %	56,0 ± 0,4	52,8 ± 0,3	57,5 ± 0,5	55,7 ± 0,4**
Іш май салмағы, кг	9,4 ± 0,4	7,8 ± 0,3	13,1 ± 0,5**	10,2 ± 0,4*
Сойыс салмағы, кг	245,7 ± 3,8	206,2 ± 3,4	279,2 ± 4,0**	237,2 ± 3,7**
Сойыс шығымы, %	58,1 ± 0,5	54,8 ± 0,4	60,3 ± 0,5*	58,1 ± 0,4**

Ескерту: бақылау тобымен салыстырғанда: * - P<0,05; ** - P<0,01.

4-кесте мәліметтері бойынша, 18 айлық қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының ет өнімділігіне өсіру технологиясының әсері байқалды. Бақылау сойысының нәтижелері қорада қарқынды өсірілген тәжірибе тобындағы жануарлардың негізгі ет өнімділігі көрсеткіштері жайылымда бағып-күтілген бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болғанын көрсетті.

Тәжірибе тобындағы бұқашықтардың сойыс алдындағы тірілей салмағы 462,8 кг болып, бақылау тобымен салыстырғанда 40,2 кг немесе 9,5%, ұша салмағы 12,6%, ал сойыс салмағы 13,6% жоғары болып, аталған айырмашылықтар статистикалық шынайы болды (P<0,01). Сойыс шығымы 2,2 пайыздық тармаққа жоғарылады (P<0,05**), ал ұша шығымы бойынша айырмашылық статистикалық шынайы болған жоқ (P>0,05). Ал қашарларда тәжірибе тобының сойыс алдындағы тірілей салмағы бақылау тобынан 8,4%, ұша салмағы 14,4%, сойыс салмағы 15,0% жоғары болды (P<0,01). Ұша және сойыс шығымы тиісінше 2,9 және 3,3 пайызға жоғарылап, айырмашылық статистикалық шынайы болды (P<0,01). Бұл нәтижелер тәжірибе тобында ет өнімділігінің бірқатар негізгі көрсеткіштері бойынша статистикалық шынайылығы жоғары көрсеткіштер қалыптасқанын көрсетеді.

Ұша салмағы бойынша да тәжірибе тобының артықшылығы сақталды: бұқашықтарда бұл көрсеткіш бақылау тобынан 12,6%, қашарларда 14,4% жоғары болды.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер қорада қарқынды өсіру және қоректілігі жоғары рационмен азықтандыру жағдайында қалмақ тұқымы жас малының тірілей салмағы мен негізгі сойыс көрсеткіштерінің жоғарылағанын көрсетті. Тәжірибе тобында ұша және сойыс салмағының, сондай-ақ ұша мен сойыс шығымының артуы қоректендіру деңгейінің жоғарылауы ет өнімділігінің қалыптасуына оң ықпал еткенін көрсетеді (5-кесте).

5-кестеде 18 айлық қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарлары ұшасының морфологиялық құрамы көрсетілген.

5-кесте. Қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарлары ұшасының морфологиялық құрамы

Көрсеткіштер	Бақылау тобы (жайылымда бағып-күту)		Тәжірибе тобы (қорада бағып-күту)	
	Бұқашықтар (n=3)	Қашарлар (n=3)	Бұқашықтар (n=3)	Қашарлар (n=3)
Ұша салмағы, кг	236,3 ± 3,6	198,4 ± 3,2	266,1 ± 3,8**	227,0 ± 3,5**
Ет, кг	178,4 ± 2,9	149,4 ± 2,6	203,8 ± 3,2**	173,2 ± 2,8**
Май, кг	17,2 ± 0,8	15,0 ± 0,7	21,5 ± 0,9*	19,5 ± 0,8*
Сүйек, кг	40,6 ± 0,9	33,9 ± 0,8	40,7 ± 0,8	34,3 ± 0,7
Ет шығымы, %	75,5 ± 0,4	75,3 ± 0,5	76,6 ± 0,5	76,3 ± 0,4
Май шығымы, %	7,3 ± 0,2	7,6 ± 0,2	8,1 ± 0,2*	8,6 ± 0,2*
Сүйек үлесі, %	17,2 ± 0,3	17,1 ± 0,3	15,3 ± 0,2**	15,1 ± 0,2**

Ескерту: бақылау тобымен салыстырғанда: * - P<0,05; ** - P<0,01.

5-кесте мәліметтері бойынша, тәжірибе тобындағы бұқашықтар мен қашарлардың ұша салмағы және ет массасы бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болып, айырмашылықтар статистикалық шынайы болды (P<0,01). Ұшадағы май массасы мен май шығымы бойынша да тәжірибе тобының артықшылығы анықталды (P<0,05). Сонымен қатар тәжірибе тобындағы сүйек үлесі бұқашықтарда 17,2%-дан 15,3%-ға, қашарларда 17,1%-дан 15,1%-ға дейін төмендеп, айырмашылық статистикалық шынайы болды (P<0,01).

Сүйектің абсолюттік массасы мен ет шығымы бойынша бақылау және тәжірибе топтары арасында статистикалық мәнді айырмашылық анықталған жоқ (P>0,05). Жалпы алғанда, алынған нәтижелер қарқынды бағып-күту жағдайында ұшадағы ет пен майдың абсолюттік мөлшерінің артып, сүйектің салыстырмалы үлесінің төмендегенін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері қорыта келе, қорада қарқынды бағып-күту технологиясы қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының ұша морфологиялық құрамын жақсартты. Тәжірибе тобында ұша салмағы, ет және май мөлшері мен олардың ұшадағы үлесі жоғарылағанымен, сүйек үлесі төмендегені анықталды. Бұл қарқынды азықтандыру технологиясының бұлшықет тінінің дамуын күшейтіп, жоғары сапалы еттің қалыптасуына оң әсер еткенін көрсетеді. Нәтижесінде тәжірибе тобындағы малдардың ұшасы морфологиялық тұрғыдан құндырақ болып қалыптасты, бұл ет өндірісінің технологиялық және экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері қорада қарқынды бағып-күту және ғылыми негізделген теңгерімді азықтандыру технологиясының қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының өнімділік көрсеткіштеріне оң әсер еткенін көрсетті. Тәжірибе тобындағы малдардың тірілей салмағы, абсолюттік және орташа тәуліктік салмақ өсімі барлық жас кезеңдерінде бақылау тобынан жоғары болды. Сонымен қатар тәжірибе тобында ұша салмағы, сойыс салмағы, сойыс және ет шығымы артты, ал ұшадағы сүйек үлесі төмендеді. Алынған нәтижелер қарқынды өсіру технологиясының қалмақ тұқымы жас малының өсу энергиясын күшейтіп, ет өнімділігі мен ұша сапасын жақсартуға мүмкіндік беретінін дәлелдейді. Алынған зерттеу нәтижелері отандық және шетелдік ғалымдардың етті бағыттағы ірі қара малды қарқынды өсіру мен азықтандыру технологиясының тиімділігі жөніндегі тұжырымдарымен сәйкес келеді. Отандық ғалымдар *Д.А.*

Баймұқанов, А.С. Қарынбаев, С.Б. Әбуғалиев және *Н.Б. Сейдалиев* еңбектерінде етті бағыттағы ірі қара малдың өнімділік әлеуетін толық пайдалану үшін малдың жас ерекшелігіне сәйкес теңгерімді азықтандыру мен тиімді күтіп-бағу технологиясын қолданудың маңызы атап көрсетілген. [1, 2, 3, 4]. Біздің зерттеуімізде де қорада қарқынды бағып-күту жағдайында өсірілген қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының тірілей салмағы, салмақ өсімі және ет өнімділігі бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болды.

Шетелдік зерттеушілер ғалымдар *В.Н. Приступа, А.Ю. Колосов, Я.А. Колосов, О.Н. Орлова, Л.С. Дмитриева, В.И. Ерошенко, Л.В. Скрипник, Д.В. Торосян* және басқа авторлар қалмақ тұқымы малының қарқынды өсіру жағдайында жоғары сойыс көрсеткіштерін, жақсы ұша шығымын және еттің сапалық құрамының жақсаруын көрсететінін дәлелдеген [5, 6]. Бұл біздің зерттеу нәтижелерімен үйлеседі, себебі тәжірибе тобында ұша салмағы, сойыс салмағы, сойыс шығымы және ұшадағы ет үлесі бақылау тобынан жоғары болды. Сонымен қатар *P.J. Van Soest, J.F. Hocquette, L. Gallo, E.M. Putri* және басқа шетел ғалымдарының зерттеулерінде рациондағы энергия, протеин, құрылымдық емес көмірсулар мен минералдық заттардың теңгерімі бұлшықет ұлпасының қалыптасуына, қоректік заттардың қорытылуына және ет сапасына тікелей әсер ететіні көрсетілген [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Осы тұрғыдан алғанда, тәжірибе тобындағы жоғары көрсеткіштер рацион құрамындағы пішен, жүгері карнажы, күнбағыс күнжарасы, жаншылған арпа және дәрумендi-минералдық қоспалардың тиімді үйлесімімен түсіндіріледі.

Біздің зерттеу нәтижелеріміз аталған ғылыми еңбектерді толықтыра отырып, Қазақстанның өндірістік жағдайында қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларын қорада қарқынды өсіру технологиясының тиімді екенін дәлелдейді. Әсіресе 15–18 айлық кезеңде тәжірибе тобындағы малдардың салмақ өсімі мен ет өнімділігі айқын жоғарылауы бұл технологияны ет бағытындағы шаруашылықтарда қолданудың практикалық маңызын көрсетеді [17, 18].

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларын қорада қарқынды бағып-күту және теңгерімді азықтандыру олардың өсу көрсеткіштері мен ет өнімділігінің жоғарылауымен сипатталғанын көрсетті.

Тәжірибе тобындағы жануарлардың тірілей салмағы зерттеудің барлық жас кезеңдерінде бақылау тобынан жоғары болды. Ең жоғары айырмашылық 18 айлық жаста байқалып, тәжірибе тобындағы бұқашықтардың тірілей салмағы бақылау тобынан 40,2 кг немесе 9,5%, ал қашарларда 31,7 кг немесе 8,4% жоғары болды ($P<0,01$). 15-18 ай аралығында абсолюттік салмақ өсімі бұқашықтарда бақылау тобынан 40,2%, қашарларда 35,0% жоғары болды.

Бақылау сойысының нәтижелері бойынша тәжірибе тобындағы бұқашықтардың ұша салмағы бақылау тобымен салыстырғанда 12,6%, сойыс салмағы 13,6% жоғары болды ($P<0,01$), ал сойыс шығымы 2,2 пайызға артты ($P<0,05$). Қашарларда ұша салмағы 14,4%, сойыс салмағы 15,0% жоғары болып, сойыс шығымы 3,3 пайызға артты ($P<0,01$). Бұл көрсеткіштер тәжірибе тобындағы жануарлардың ет өнімділігінің жоғары болғанын сипаттайды.

Ұшаның морфологиялық құрамын бағалау кезінде тәжірибе тобындағы бұқашықтар мен қашарларда еттің абсолюттік мөлшері тиісінше 14,2% және 15,9% жоғары болды. Сонымен қатар сүйек үлесі бұқашықтарда 1,9, қашарларда 2,0 пайызға төмендеді ($P<0,01$). Бұл тәжірибе тобында ұшаның морфологиялық құрамының ет өнімділігі тұрғысынан қолайлы бағытта өзгергенін көрсетті.

Осыған орай, қорада қарқынды бағып-күту және ғылыми негізделген теңгерімді азықтандыру технологиясы қалмақ тұқымы бұқашықтары мен қашарларының тірілей салмағын, салмақ өсімін, ет өнімділігін және ұша сапасын арттыруда жоғары тиімділік көрсетті. Сондықтан аталған технологияны ет бағытындағы ірі қара мал шаруашылығында өндірістік жағдайда қолдану өнім өндіру тиімділігін арттырудың және жоғары сапалы сиыр етін алудың тиімді жолдарының бірі болып табылады.

Авторлардың үлесі

НҚ: зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, ғылыми жетекшілік, зерттеу әдістемесін жасау, нәтижелерді талдау, мақаланы ғылыми редакциялау және соңғы нұсқасын бекіту. ЖХ:

эксперименттік зерттеулерді жүргізу, материалдарды жинақтау, тәжірибелік деректерді өңдеу және талдау, кестелерді дайындау, мақаланың бастапқы мәтінін жазу. АМ, ВЖ: зерттеу нәтижелерін интерпретациялау, статистикалық өңдеуге қатысу, ғылыми әдебиеттерді талдау, мақаланы редакциялау; ҚН: зерттеу нәтижелерін талдау, мақаланың ғылыми мазмұнын жетілдіру, әдебиеттерді рәсімдеу және қолжазбаны жариялауға дайындауға қатысу. Барлық авторлар зерттеу нәтижелерін талқылауға қатысып, мақаланың соңғы нұсқасын оқып, жариялауға мақұлдады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Ғылыми жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі 2024–2026 жылдары қаржыландырған AP23488071 «Қалмақ тұқымы малы етінің сапасына полиморфты гендердің әсері» мемлекеттік грант жобасы аясында орындалды.

Әдебиеттер тізімі

1 Baimukanov, D.A., Abugaliev, S.B., Seidaliev, N.B. (2020). *Etti iri qara mal sharýashylyǵy* [*Beef Cattle Breeding*]. Almaty: Bastau, 312. [*In Kazakh*].

2 Karynbaev, A.S., Baimukanov, D.A. (2021). *Etti baǵyttaǵy iri qara mal seleksıasy jáne ósirý tehnologıasy* [*Selection and breeding technology of beef cattle*]. Astana: S. Seıfýllın atyndaǵy QATZÝ, 284. [*In Kazakh*].

3 Abugaliev, S.B., Seidaliev, N.B. (2019). *Iri qara maldy azyqtandyrý jáne bordaqylaý tehnologıasy* [*Feeding and fattening technology of cattle*]. Almaty: Evero, 248. [*In Kazakh*].

4 Qazaqstan Respýblıkasy Aýyl sharýashylyǵy mınıstrligi. (2022). Etti baǵyttaǵy iri qara maldy ósirý jónindegi usynymdar [Recommendations for breeding beef cattle]. Астана: 96. [*In Kazakh*].

5 Pristupa, V.N., Kolosov, A.Y., Kolosov, Y.A., Orlova, O.N., Dmitrieva, L.S., Eroshenko, V.I., Skripnik, L.V., Torosyan, D.V. (2017). Meat productivity and the quality of raw meat of animals of Kalmyk breed new factory lines. *Theory and Practice of Meat Processing*, 2(2), 69–79. DOI: 10.21323/2414-438X-2017-2-2-69-79.

6 Pristupa, V.N., Babkin, O.A., Kolosov, A.Y., Kazmin, A.V. (2026). Myasnaya produktivnost' krupnogo rogatogo skota kalmyckoi porody razlichnyh linii pri stoilovo-pastbishhnoi sisteme soderzhaniya [Meat productivity of cattle kalmyk breed of different lines when stall-pasture system maintenance]. *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 1, 25–27. [*In Russian*].

7 Baımuqanov, D.A., Prıstýpa, V.N., Kolosov, IÝA., Donnık, N.M., Torosán, D.S., Kolosov, A.Iý., Orlova, O.N., Iýldashbaev, Iý.A., Chylbak-ool, S.O. (2019). Qalmaq tuqymynyń ipi qara malynyń ónimdiligi men asyl tuqymdylyǵyn arttyrý [Improvement of breeding and productive traits of Kalmyk cattle breed]. *Vestnik Nacional'noi akademii nauk Respubliki Kazahstan*, 2, 128–145. [*In Kazakh*].

8 *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.* (2016). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th revised edition. Washington, DC: National Academies Press, 494.

9 Van Soest, P.J. (2018). *Nutritional Ecology of the Ruminant.* 3rd ed. Ithaca: Cornell University Press, 476.

10 McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., *et al*. (2022). *Animal Nutrition*. 8th ed. Harlow: Pearson Education, 712.

11 *FAO. (2022).* Beef Cattle Production Systems. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

12 Gallo, L., De Marchi, M., Bittante, G. (2021). Growth performance and carcass characteristics of beef cattle under different feeding systems. *Animals*, 11(8), 2315.

13 Hocquette, J.F., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C., Pethick, D.W. (2019). Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal*, 14(8), 1688–1699.

14 Ojo, A.O., Mulim, H.A., Campos, G.S., Junqueira, V.S., Lemenager, R.P., Schoonmaker, J.P., Oliveira, H.R. (2024). Exploring feed efficiency in beef cattle: from data collection to genetic and nutritional modeling. *Animals*, 14(24), 3633. DOI: 10.3390/ani14243633.

15 Li, L., Zhu, Y., Wang, X., He, Y., Cao, B. (2014). Effects of different dietary energy and protein levels and sex on growth performance, carcass characteristics and meat quality of F1 Angus × Chinese Xiangxi yellow cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology,* 5, 21. DOI: 10.1186/2049-1891-5-21.

16 Putri, E.M., Zain,, M., Warly, L., Hermon, H. (2021). Effects of rumen-degradable-to-undegradable protein ratio in ruminant diet on in vitro digestibility, rumen fermentation, and microbial protein synthesis. *Vet. World*, 14(3), 640–648. DOI: 10.14202/vetworld.2021.640-648.

17 Kazhgaliyev, N.Zh., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A.B., Zhumagaziyeva, S.M., Khasen, Zh. (2025). Qalmaq tuqymy malynan anyqtalǵan polımorfty genderdiń dene ólshemderi men tiri salmaǵynyń ósýine áseri [Effect of polymorphic genes identified in Kalmyk cattle on body measurements and live weight growth]. *Qorqyt ata atyndaǵy Qyzylorda ýnıversıtetiniń Habarshysy. Aýyl sharýashylyǵy ǵylymdary seriasy*, 3(74), 227–242. DOI: 10.52081/bkaku.2025.v74.i3.300. [*In Kazakh*].

18 Kazhgaliyev, N.Zh., Ateikhan, B., Titanov, Zh.E., Makhanbetova, A.B. (2025). *Iri qara mal sharýashylyǵy, sút jáne et óndirý tehnologıasy: oqýlyq* [*Cattle breeding, milk and meat production technology: textbook*]. Astana: S. Seıfýllın atyndaǵy Qazaq agrotehnıkalyq zertteý ýnıversıteti, 336. [*In Kazakh*].

Влияние технологии выращивания бычков и телок калмыцкой породы разного возраста на живую массу и мясную продуктивность

Кажгалиев Н.Ж.[1], Хасен Ж.С.[1], Маханбетова А.Б.[1], Нургульсим К.[1], Жамурова В.С.[2]

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина»
Астана, Казахстан

[2]НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Одним из важнейших направлений повышения продуктивности мясного скотоводства является применение научно-обоснованных технологий выращивания и кормления молодняка. В связи с этим, оценка продуктивности калмыцкого скота при различных технологиях выращивания представляет научный и практический интерес. Цель исследования – определить влияние различных технологий выращивания бычков и тёлок калмыцкой породы на их живую массу и мясную продуктивность.

Материалы и методы. Исследования проведены в ТОО «Қазақ Асылдары» (Актюбинская область, Хобдинский район). Объектом исследования являлись бычки и тёлки калмыцкой породы в возрасте 9, 12, 15 и 18 месяцев, распределённые по принципу аналогов на контрольную (пастбищная технология) и опытную (интенсивное выращивание в условиях помещения) группы. В ходе исследования определяли живую массу, абсолютный и среднесуточный прирост, мясную продуктивность и морфологический состав туш.

Результаты. В опытной группе, выращенной по интенсивной технологии, все показатели продуктивности были выше по сравнению с контрольной группой. В возрасте 18 месяцев живая масса бычков была выше на 40,2 кг, а тёлок – на 31,7 кг. Абсолютный прирост живой массы превышал показатели контрольной группы на 15,4% у бычков и на 15,0% у тёлок. Кроме того, в опытной группе отмечено увеличение массы туши, убойной массы, убойного выхода и выхода мякоти при одновременном снижении доли костной ткани.

Заключение. Интенсивная технология содержания в сочетании со сбалансированным кормлением эффективно повышает интенсивность роста, мясную продуктивность и качество туш молодняка калмыцкой породы. Полученные результаты подтверждают целесообразность широкого применения данной технологии в мясном скотоводстве.

Ключевые слова: калмыцкая порода; бычки; тёлки; технология выращивания; интенсивный откорм; мясная продуктивность.

The effect of the rearing technology of Kalmyk breed bulls and heifers of different ages on live weight and meat productivity

Nurlybay Zh. Kazhgaliyev[1], Zhandos S. Khasen[1], Aizhan B. Makhanbetova[1], Kaster Nurgulsim[1]
Venera S. Zhamurova[2]

[1]NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan
[2]NJSC "Kazakh National Agrarian Research University", Almaty, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. The application of scientifically based rearing and feeding technologies is one of the key approaches to improving productivity in beef cattle production. Therefore, assessing the productive performance of Kalmyk cattle under different rearing systems is of considerable scientific and practical importance. Aim – to evaluate the effects of different rearing technologies on the live weight and meat productivity of Kalmyk bull calves and heifers.

Materials and Methods. The study was conducted at Kazakh Asyldary LLP, Aktobe Region, Kazakhstan. Kalmyk bull calves and heifers aged 9, 12, 15, and 18 months were allocated to control (pasture-based rearing) and experimental (intensive indoor rearing) groups according to the analogue principle. Live weight, absolute and average daily weight gain, meat productivity, and carcass morphological characteristics were evaluated

Results. Animals reared under the intensive production system demonstrated superior productive performance compared with the control group. At 18 months of age, the live weight of bull calves and heifers exceeded that of the control group by 40.2 kg and 31.7 kg, respectively. Absolute weight gain was 15.4% higher in bull calves and 15.0% higher in heifers than in the control group. Furthermore, the experimental group showed increased carcass weight, slaughter weight, dressing percentage, and meat yield, while the proportion of bone tissue was reduced.

Conclusion. Intensive indoor rearing combined with balanced feeding effectively improved growth performance, meat productivity, and carcass quality of young Kalmyk cattle. The findings support the practical application of this production technology for enhancing the efficiency of beef cattle production.

Keywords: kalmyk cattle; bull calves; heifers; rearing technology; intensive fattening; meat productivity.

УДК 632.38:635.64:578.821(574) **Исследовательская статья**

Диагностика вируса мозаики пепино (*PepMV*) и вируса коричневой морщинистости плодов томата (*ToBRFV*) в образцах томата и перца из отдельных регионов Республики Казахстан

Сүлейман М.А.., Әжімахан М.Ә., Хасанов В.Т.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Әжімахан М.Ә.: moldir_kazatu@mail.ru
Соавторы: (1: МС) suleiman_madina@mail.ru; (2: ВХ) vadim_kazgatu@mail.ru

Получено: 27.07.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Сүлейман М.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылка и цель. Статья посвящена диагностике *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – опасных карантинных патогенов, являющихся сравнительно новыми объектами фитосанитарного мониторинга в Республике Казахстан и представляющих серьёзную угрозу для выращивания томатов в теплицах и открытом грунте.

Материалы и методы. Методом ОТ-ПЦР было исследовано 122 образца растений из различных регионов Казахстана (Туркестанская, Алматинская и Акмолинская области). Наличие вируса *ToBRFV* было выявлено в 14% образцов, вируса *PepMV* – в 7%. При сопоставлении результатов ОТ-ПЦР и ИХА для *ToBRFV* получено совпадение положительных результатов во всех 11 исследованных образцах, тогда как для *PepMV* методом ИХА подтверждён один из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов.

Результаты. Установлено совпадение симптомов с молекулярными данными, продемонстрирована высокая эффективность комбинированного использования молекулярных и экспресс-иммунологических методов диагностики.

Заключение. Полученные данные подтверждают выявление *PepMV* и *ToBRFV* в исследованных образцах растений из обследованных регионов Республики Казахстан и указывают на необходимость усиления фитосанитарного контроля, регулярного мониторинга посадок томата и перца в теплицах и открытом грунте и применения современных методов лабораторной диагностики.

Ключевые слова: томат; карантинные объекты; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; ОТ-ПЦР; ИХА.

Введение

Томат является сравнительно неприхотливой сельскохозяйственной культурой. Однако, потери урожая, обусловленные болезнями, значительно превышают ущерб, наносимый вредителями. Степень развития заболеваний зависит от комплекса факторов, включая погодные условия, уровень агротехники и видовой состав патогенов, поражающих растения томата. Особую опасность представляют вирусные инфекции, которые, являясь высокоспециализированными патогенами, существенно снижают урожайность и ухудшают качество получаемой продукции [1].

Pepino mosaic virus (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – карантинные патогены, включенные в Единый перечень карантинных организмов Евразийского экономического союза, утвержденный Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30.11.2016 г. № 158 «Об утверждении единого перечня карантинных объектов Евразийского экономического союза» [2].

В Республике Казахстан оба вируса включены в Перечень карантинных объектов и чужеродных видов, по отношению к которым устанавливаются и осуществляются мероприятия по карантину растений [3].

PepMV – инвазивный вирус, первоначально выявленный у перуанского пепино (*Solanum muricatum*), впоследствии распространившийся на томаты в теплицах Европы, Америки, Азии и

Океании [4]. *ToBRFV* – инвазивный вирус, впервые описанный в 2015 году в Израиле и Иордании как новый тобамовирус. *ToBRFV* быстро распространился в странах Ближнего Востока, Европы, Америки и Азии [5].

Вирионы *PepMV* нитевидные (длина ≈ 508 нм), геном представлен одноцепочечной РНК с пятью открытыми рамками считывания. Вирионы вируса *ToBRFV* имеют форму палочки (длина ≈ 300 нм), геном – РНК с четырьмя открытыми рамками считывания [5]. Симптомы появляются через 2-3 недели после заражения. Вирус *PepMV* характеризуется деформацией листьев, мраморностью плодов и возможной скрытой инфекцией. Вирус *ToBRFV* вызывает хлороз, мозаику, некроз, коричневые пятна на незрелых плодах и неравномерное созревание [6].

Оба вируса передаются механически (через загрязненные инструменты, руки, одежду, контакт с растениями), через семена, а также опылителями и белокрылками [6, 7]. Вирус *ToBRFV* очень заразен и долго сохраняется в окружающей среде, он также содержится в семенах томатов и перца [7, 8].

Экономический ущерб, наносимый *PepMV*, обусловлен снижением качества плодов и листьев, а *ToBRFV* – деформацией плодов, снижением урожайности и товарности продукции. При смешанных инфекциях вирус *ToBRFV* значительно повышает титры вируса *PepMV*, что приводит к тяжелым симптомам (сморщивание плодов, желтая пятнистость, выраженная деформация) даже при заражении слабыми изолятами вируса *PepMV* [5].

Согласно статистическому анализу импортной продукции Республики Казахстан за 2024-2025 годы, в январе-декабре 2024 года общий объем импорта составил 1 607 036,5 тыс. долларов США (3 925 444,9 т). На продукты, подверженные вирусной инфекции, пришлось: томаты – 57 209,1 тыс. долларов США (61 025,3 т, 3,55% от общего объема); перец (*Capsicum*/*Pimenta*) – 12 068,3 тыс. долларов США (12 955,1 т, 0,75%).

В 2025 году общий объем импорта сократился до 1 494 237,4 тыс. долларов США (2 862 468,1 т). В то же время импорт томатов составил 56 929,0 тыс. долларов США (66 750,3 т, 3,8%), перца – 13 441,4 тыс. долларов США (17 642,0 т, 0,9%). Таким образом, несмотря на общее снижение импорта, импорт томатов и перца в натуральном выражении увеличился на 5 725,0 и 4 686,9 т соответственно [9].

При этом, анализ посевных площадей основных пасленовых культур показал, что наибольшие площади занимают томаты – 23 098,9 га в 2025 году, перец – 8 461,5 га, почти в три раза меньше. Основные площади сосредоточены в южных регионах, в первую очередь в Туркестанской области (9 205,3 га под помидоры и 4 192,3 га под перец), а также в Алматинской области. Такая географическая концентрация создает зоны повышенного фитосанитарного риска в случае заноса *PepMV* и *ToBRFV* [10].

Средняя урожайность томатов по республике составила 279,0 ц/га, перца – 263,2 ц/га. Высокая интенсивность производства требует поддержания стабильного фитосанитарного состояния, поскольку распространение вирусов может привести к значительным потерям урожая и ухудшению качества продукции [11].

Более 98% площадей под томатами и около 97% площадей под перцем сосредоточено в крестьянских (фермерских) хозяйствах и домашних хозяйствах населения. Это требует организации систематического фитосанитарного контроля не только на крупных предприятиях, но и среди мелких производителей, где риск позднего выявления инфекций особенно высок.

Выявление вируса *ToBRFV* в тепличном комплексе ТОО «Теплица-Казтомат» в Экибастузе в 2024 году с установлением карантинной зоны [12], а также неоднократные случаи обнаружения вируса PepMV в казахстанских помидорах, экспортируемых в Россию [13–16], подчеркивают необходимость усиления фитосанитарного контроля.

Несмотря на отдельные случаи выявления *PepMV* и *ToBRFV* на территории Республики Казахстан, данные патогены остаются сравнительно новыми объектами фитосанитарного мониторинга и научных исследований. В перечень карантинных объектов Республики Казахстан *PepMV* и *ToBRFV* были включены приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 апреля 2021 года № 147 «О внесении дополнений в приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 марта 2015 года №4-4/282» в перечень карантинных вредных организмов, отсутствующих на территории Республики Казахстан, имеющих карантинное значение. Согласно приказу Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 26 января

2026 года №32, данные вирусы были перенесены в перечень чужеродных видов, отсутствующих на территории Республики Казахстан.

Первые сообщения об обнаружении *ToBRFV* в Казахстане появились лишь в последние годы, что свидетельствует о недостаточной изученности распространения, биологических особенностей и фитосанитарного значения данных вирусов в условиях республики. В связи с этим проведение мониторинга и изучение распространения *PepMV* и *ToBRFV* в различных регионах Казахстана представляет актуальную научную и практическую задачу.

Совершенствование методов диагностики позволит более эффективно сдерживать распространение патогенных микроорганизмов и минимизировать экономические потери, так как вирусы могут находиться в латентной форме и выраженность их симптомов может протекать скрытно.

Выраженность симптомов *PepMV* зависит от штамма вируса, сорта растения, возраста и условий выращивания. Вирус вызывает системный некроз на перце и латентную инфекцию многих сорняков. *ToBRFV* поражает томаты и перец. На томатах это проявляется хлорозом, деформацией листьев, некрозом стеблей, пятнистостью и деформацией плодов; на перце это проявляется пожелтением, некрозом и часто гибелью растений. Степень поражения варьируется в зависимости от сорта и внешних факторов [17].

Таким образом, широкий спектр растений-хозяев, высокая степень механической передачи и значительное усиление симптомов при смешанных инфекциях подтверждают высокий фитосанитарный риск *PepMV* и *ToBRFV* и необходимость тщательной оценки рисков, связанных с ними.

В статье рассматриваются потенциальные растения-хозяева, эколого-географическое распространение, а также выявление данных вирусов на территории Казахстана.

Целью исследования является мониторинг распространения *PepMV*, *ToBRFV* и проведение диагностического тестирования данных вирусов методами ОТ-ПЦР и ИХА.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе лаборатории молекулярной диагностики фитопатогенов, лаборатории биотехнологии растений, а также лаборатории молекулярно-генетического анализа и защиты растений Института сельского и лесного хозяйства НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина».

Для проведения молекулярно-диагностических исследований были отобраны образцы. Потенциально поражёнными территориями были определены Алматинская и Туркестанская области Республики Казахстан.

Объектами исследования служили 122 сортообразца томата и перца с симптомами вирусных заболеваний.

Было проведено обследование посадок томата и перца в теплицах и открытом грунте. В основных регионах выращивания томатов и перцев были собраны образцы листьев и плодов с симптомами, характерными для вирусной инфекции (мозаика, хлороз, деформация листьев, неравномерное созревание и мраморность плодов, некрозы). В ходе лабораторного мониторинга проведена молекулярная диагностика 122 образцов растений методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией. Из общего количества 79 образцов были исследованы на наличие ToBRFV и 43 образца - на наличие *PepMV*.

Отбор растительного материала проводили с учётом общих требований ГОСТ 12430-2019 [18]. В обследованных теплицах и участках открытого грунта проводили целевой отбор растений томата и перца с визуальными признаками, характерными для вирусной инфекции. Для лабораторной диагностики отбирали листья и плоды с проявлениями мозаики, хлороза, деформации листьев, некрозов, неравномерного созревания и мраморности плодов. Каждый образец исследовали индивидуально методом ОТ-ПЦР.

РНК выделяли с помощью набора реагентов «РИБО-сорб» (РФ) [19], согласно протоколу производителя. Для получения кДНК использовали набор реагентов для обратной транскрипции «РЕВЕРТА-L» (РФ) [20], согласно протоколу производителя. Для проведения обратной транскрипции используют готовый набор реагентов «РЕВЕРТА-L». Расход реагентов на один образец составляет: RT-mix - 10,4 мкл, RT-G-Mix - 0,42 мкл, MMLV - 0,5 мкл.

Полученную реакционную смесь инкубировали в амплификаторе при 37 °С в течение 30 минут. После завершения инкубации к смеси добавляют 20 мкл ДНК-буфера. Полученный раствор готов к дальнейшему использованию.

Реакционную смесь для амплификации готовят из расчёта на конечный объём 25 мкл. Состав смеси: деионизированная вода - 10 мкл, мастер-микс - 8 мкл, прямой и обратный праймеры - по 1 мкл каждого из рабочего раствора с концентрацией 10 мкМ, кДНК - 5 мкл. Конечная концентрация каждого праймера в реакционной смеси составляла 0,4 мкМ. Амплификацию проводили на амплификаторе T100 (BioRad, США), с использованием специфических праймеров.

Для выявления *PepMV* использовали праймеры PepMV-F1 (5'-TGTCCTTACGCGCTTAATGATTA-3') и PepMV-R1 (5'-GTTAATGGAGTAAATCGCAGGGA-3'), обеспечивающие амплификацию фрагмента размером 474 п.н. [21]. Для выявления *ToBRFV* использовали праймеры ToBRFV-FD (5'-GTCCCGATGTCTGTAAGGCTTGC-3') и ToBRFV-RD (5'-GCAGGTGCAGAGGACCATTGTAA-3'), обеспечивающие амплификацию фрагмента размером 680 п.н. [22].

Условия амплификации после синтеза кДНК были следующими: начальная стадия денатурации при 95 °С в течение 5 мин; 35 циклов, включающих денатурацию при 95 °С в течение 30 с, отжига праймера (56 °С – 30 с для *PepMV* и 57 °С – 30 с для *ToBRFV*) элонгацию при температуре 72 °С (30 с для *PepMV* и 60 с для *ToBRFV*); финальная элонгация при температуре 72 °С в течение 5 мин. Продукты ПЦР были разделены на 1,5%-ном агарозном геле, окрашены бромистым этидием и визуализированы с помощью трансиллюминатора.

Для сопоставления результатов экспресс-диагностики использовали иммунохроматографический анализ (ИХА) с использованием тест-наборов ImmunoStrip *PepMV* [23] и ImmunoStrip *ToBRFV* [24] производства Agdia (США). Иммунохроматографический анализ проводили согласно инструкции производителя Agdia. Для приготовления экстракта использовали 0,15 г растительной ткани и 3 мл экстракционного буфера SEB1, что соответствовало соотношению 1:20. Растительный материал тщательно гомогенизировали в экстракционном пакете, после чего полученный экстракт оставляли на 3 мин. Тест-полоску ImmunoStrip погружали в экстракт до указанной производителем отметки. Результат учитывали в течение 30 мин. Появление контрольной и тестовой полос расценивали как положительный результат, появление только контрольной полосы – как отрицательный. При отсутствии контрольной полосы результат считали недействительным.

Результаты

Для оценки вероятности ввоза *PepMV* и *ToBRFV* был проведен анализ данных Глобальной базы данных Европейская и Средиземноморская организация по карантину и защите растений (ЕОКЗР) и показателей внешней торговли. По данным ЕОКЗР, оба вируса широко распространены в Европе, Азии, Америке, Африке и Океании, и во многих странах изучаемые вирусы имеют карантинный статус (рисунки 1, 2) [24].

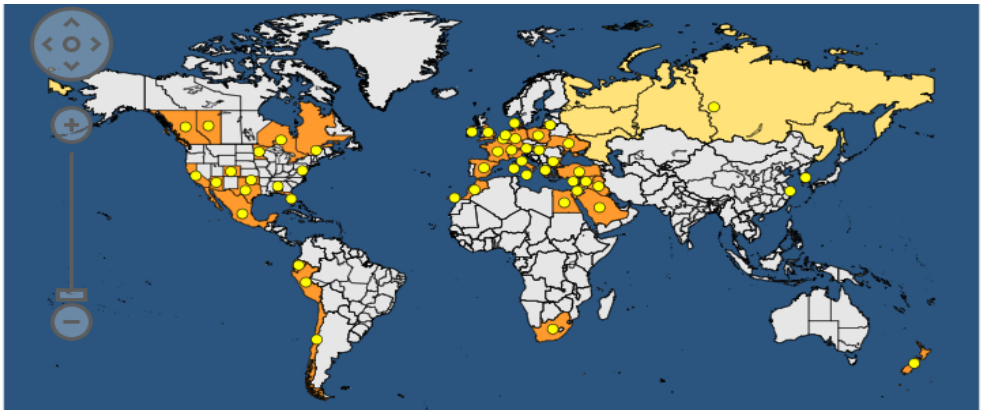


Рисунок 1. Распространение PepMV
- присутствует на территории страны
EPPO Global Database
(https://gd.eppo.int/taxon/PEPMV0/distribution).

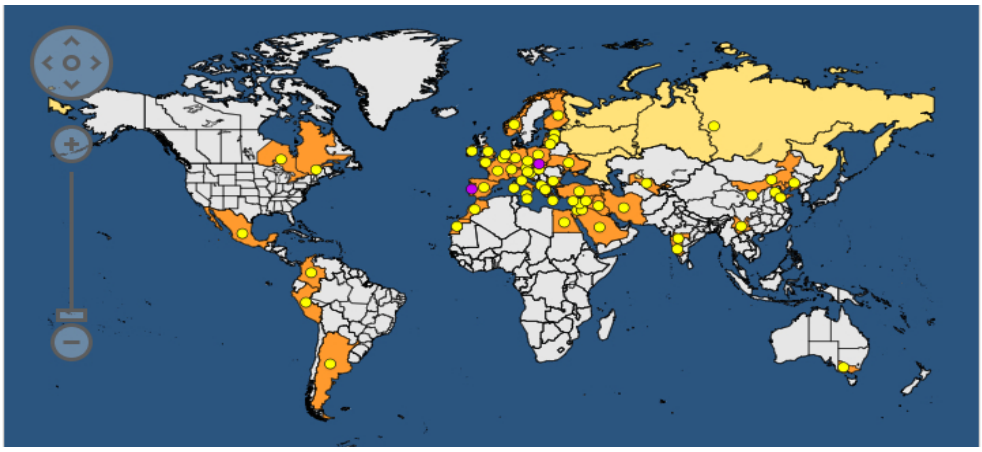


Рисунок 2. Распространение ToBRFV
- присутствует на территории страны
- присутствует, но ограниченно распространен
EPPO Global Database
(https://gd.eppo.int/taxon/TOBRFV/distribution).

Анализ внешней торговли показал, что значительная часть импорта поступает из стран, где зарегистрированы эти вирусы. В январе-феврале 2026 года импорт Казахстана составил 9,64 млрд долларов США, при этом наибольшая доля пришлась на Китай и Россию (по 31%), а также Германию, Соединенные Штаты, Турцию, Италию, Республику Корея и другие страны. Большинство из этих стран находятся в зоне распространения *PepMV* и *ToBRFV* [25].

Дополнительным фактором риска остается ежегодный импорт более 56 000 т свежих томатов и более 13 000 т перца, а также семян и посадочного материала. Зараженные продукты могут стать источником проникновения вирусов, которые затем распространяются механическим путем, через семена, рассаду и во время сельскохозяйственных работ.

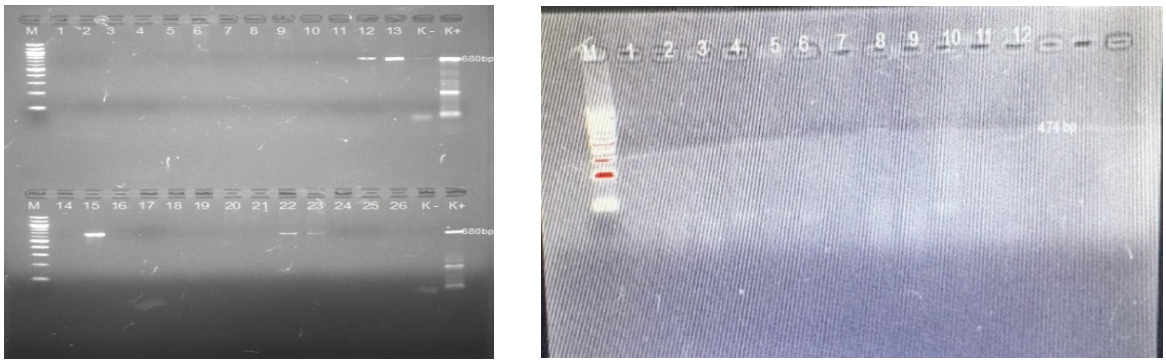
Учитывая, что основные районы выращивания томатов и перцев сосредоточены в южных регионах Республики Казахстана, в первую очередь, в Туркестанской и Алматинской областях, занесение этих вирусов в эти регионы может привести к их быстрому распространению и значительным экономическим потерям. Полученные результаты подтверждают необходимость усиления фитосанитарного контроля импортируемой продукции, совершенствования методов лабораторной диагностики вируса *PepMV* и *ToBRFV*, а также проведения систематического мониторинга посевов томатов и перца для обеспечения своевременного выявления и локализации потенциальных очагов инфекции.

На следующем этапе с целью выявления очагов распространения карантинных вирусов томатов *PepMV* и *ToBRFV* были отобраны образцы растений из потенциально пораженных регионов и областей Республики Казахстан для молекулярно-диагностических исследований (таблица 1). Были обследованы Алматинская, Туркестанская и Акмолинская области Республики Казахстан.

Таблица 1. Перечень регионов отбора и количество исследованных образцов

П/н	Область	Культура	Количество образцов
1	Акмолинская	Томат/перец	22
2	Алматинская	Томат/перец	26
3	Туркестанская	Томат/перец	74

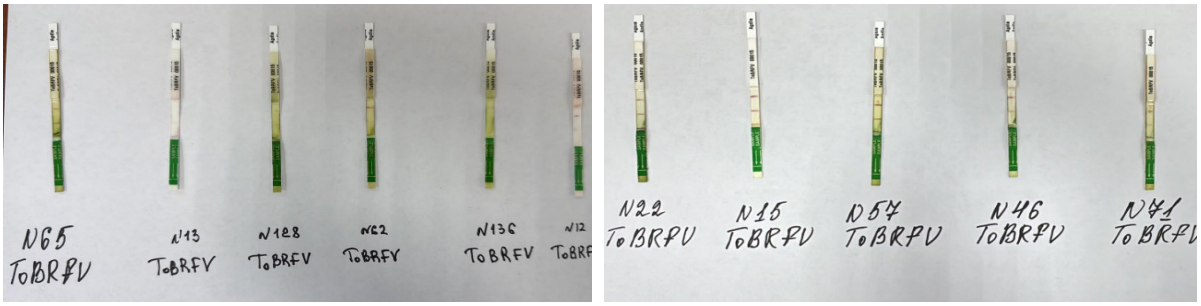
По результатам ОТ-ПЦР *ToBRFV* выявлен в 11 из 79 исследованных образцов, что составило 13,9 %, тогда как *PepMV* выявлен в 3 из 43 исследованных образцов, что составило 7,0 % (рисунок 3). Наличие *ToBRFV* подтверждено в образцах №12, 13, 15, 22, 46, 57, 62, 65, 71, 128 и 136, *PepMV* в образцах №8, 10, 12. Доля положительных результатов среди образцов, исследованных на *ToBRFV*, составила 13,9 %, тогда как среди образцов, исследованных на *PepMV*, – 7,0 %. Поскольку диагностика двух вирусов проводилась на разных выборках, прямое сравнение их распространённости не проводилось. Названия исследуемых образцов приведены в таблице 2.



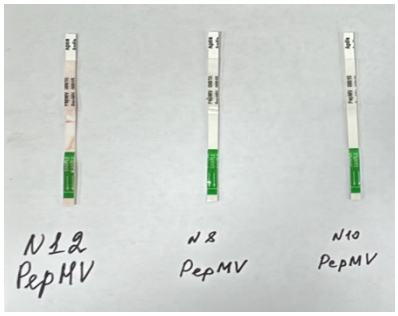
А Б

Рисунок 3. Электрофореграммы продуктов ОТ-ПЦР: А - *ToBRF*V, ожидаемый размер ампликона 680 п.н.; В - *PepMV*, ожидаемый размер ампликона 474 п.н.; М - маркер молекулярной массы GeneRuler 100 bp DNA Ladder; К- - отрицательный контроль, К+ - положительный контроль

По результатам ИХА *ToBRFV* выявлен во всех 11 образцах, ранее показавших положительный результат ОТ-ПЦР. При этом в образцах № 13, 62, 128 и 136 тестовая зона была выражена слабо, однако результат оценивался как положительный. Для *PepMV* положительный результат ИХА получен только для образца № 12, тогда как образцы № 8 и № 10, положительные по данным ОТ-ПЦР, методом ИХА дали отрицательный результат. Таким образом, для *ToBRFV* результаты ИХА и ОТ-ПЦР совпали по качественной оценке, хотя интенсивность тестовой зоны в отдельных образцах различалась. Для *PepMV* совпадение результатов двух методов было неполным. Полученные данные указывают на целесообразность использования ИХА в качестве метода экспресс-скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР.



Образцы, протестированные методом ИХА на наличие *ToBRFV*



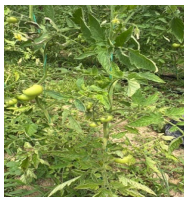
Образцы, протестированные методом ИХА на наличие *PepMV*

Рисунок 4. Результаты иммунохромотографического анализа образцов на *ToBRFV* и *PepMV* (названия исследуемых образцов приведены в таблице 2)

Детально сопоставлены результаты лабораторных исследований и симптомы вирусной инфекции. Результаты представлены в таблице 2.

№ 3 (131)/2026 ISSN 3135-243X, 3135-2448

Таблица 2. Анализ симптомов вирусов *ToBRFV* и *PepMV* с данными молекулярной диагностики (ОТ-ПЦР) и экспресс-метода ИХА

№	Регион	Селекционный образец	Симптомы вирусной инфекции	ОТ-ПЦР		ИХА	
				Tomato brown rugose fruit virus	*Pepino mosaic virus*	*Tomato brown rugose fruit virus*	*Pepino mosaic virus*
8	Туркестанская область	Lesvos		-	+	-	-
10	Туркестанская область	Socorro		-	+	-	-
12	Туркестанская область	Socorro		+	+	+	+
13	Туркестанская область	Pegasus		+	-	+ слаб	-
15	Туркестанская область	Runner		+	-	+	-
22	Туркестанская область	MRT 2749		+	-	+	-
46	Туркестанская область	Сайлау 4		+	-	+	-

Продолжение таблицы 2

57	Туркестанская область	Мамстон		+	-	+	-
62	Туркестанская область	Аламина		+	-	+ слаб	-
65	Туркестанская область	Malika		+	-	+	-
71	Туркестанская область	Вега		+	-	+	-
128	Алматинская область	Diana		+	-	+ слаб	-
136	Алматинская область	NC 515		+	-	+ слаб	-

Примечание: «+» - положительный результат; «+ слаб.» - слабо выраженная тестовая зона; «-» - отрицательный результат»

Анализ полученных данных подтвердил наличие выраженных симптомов вирусного T*omato brown rugose fruit virus* поражения у исследуемых образцов. У образцов № 12, 13, 15, 22, 46, 57, 62, 65, 71, 128 и 136 наблюдались характерные признаки заболевания: сморщивание и деформация молодых листьев, их сужение (игольчатость), постепенное увядание с последующим пожелтением и гибель всего растения.

Образцы № 8, 10 и 12 продемонстрировали типичные симптомы заражения вирусом PepMV. Степень выраженности симптомов варьировала в зависимости от образца. На начальных этапах поражения симптомы проявлялись в верхней части растений в виде формирования светло-зеленых узких (игольчатых) листьев и задержки роста. По мере развития инфекции на листьях отмечались мозаичная окраска, желтая угловатая пятнистость, слабовыраженный межжилковый хлороз и различные деформации. На побегах и цветках наблюдалось образование

некротических участков, негативно влияющих на развитие цветков и формирование плодов. При сильном поражении растения становились угнетенными, низкорослыми и деформированными. На плодах томата, инфицированных PepMV, обычно формировались желто-красные мозаичные узоры (мраморность), приводящие к неравномерному созреванию плодов. Наличие вируса было подтверждено методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР). Результаты оценки чувствительности свидетельствуют о высокой эффективности применяемого метода диагностики.

Обсуждение

Данное исследование подтверждает, что *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) представляют реальную фитосанитарную угрозу для овощеводства в Республике Казахстан. Анализ международных данных из EPPO Global Database показал широкое географическое распространение обоих вирусов и их присутствие у большинства основных торговых партнеров Казахстана. Это указывает на сохраняющийся риск заноса патогенов через международные перевозки семян, посадочного материала и свежей овощной продукции [26].

Анализ статистических данных показал, что, несмотря на снижение общего объема импорта растениеводческой продукции в 2025 году по сравнению с предыдущим годом, объемы импорта томатов и перцев остаются высокими. Более того, в натуральном выражении импорт обеих культур увеличился. Учитывая, что семена, рассада и свежие продукты являются потенциальными переносчиками вирусных инфекций [6], эти тенденции могут способствовать повышению риска заноса карантинных вирусов на территорию Республики Казахстан.

Не менее важным фактором является структура отечественного овощеводства. Основные площади выращивания томатов и перцев сосредоточены в Туркестанской и Алматинской областях, где также высока интенсивность производства. Концентрация значительных площадей восприимчивых растений-хозяев в определенных регионах создает благоприятные условия для быстрого распространения инфекции в случае ее заноса. Дополнительным фактором риска является преобладание в структуре производства крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств населения, где проведение регулярного фитосанитарного мониторинга может быть затруднено.

Обнаружение вируса *ToBRFV* в тепличном комплексе в Павлодарской области, а также неоднократные обнаружения вируса *PepMV* в экспортируемых партиях казахстанских томатов подтверждают, что эти вирусы уже циркулируют внутри страны и требуют постоянного мониторинга. В связи с этим, использование методов молекулярной диагностики, основанных на ОТ-ПЦР, является одним из наиболее эффективных инструментов раннего выявления инфекции, позволяющих выявлять вирусы даже в бессимптомных случаях.

Молекулярные методы широко применяются для диагностики *PepMV* и *ToBRFV*. В работах *Ota* et al. [7] и *Ling* et al. [27] показана высокая аналитическая чувствительность систем RT-qPCR при выявлении вирусов в растительном и семенном материале. Следует учитывать, что RT-qPCR отличается от использованной в настоящем исследовании конвенциональной ОТ-ПЦР с электрофоретической детекцией и, как правило, характеризуется более низким пределом обнаружения. В настоящей работе ОТ-ПЦР использовали как качественный метод подтверждения наличия специфических фрагментов генома *PepMV* и *ToBRFV*.

Полученные нами результаты по подтверждению инфекции методом ИХА также согласуются с данными китайских исследователей, которые разработали и применили иммунохроматографические тест-полоски (CGICS) в сочетании с ОТ-ПЦР для диагностики вирусной инфекций томата. Авторы показали высокую степень совпадения результатов иммунохроматографического и молекулярного методов, что подтверждает целесообразность методов ИХА в качестве экспресс-скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР [28].

Полученные нами данные показывают, что ИХА может использоваться как метод оперативного скрининга. Для *ToBRFV* результаты ИХА совпали с данными ОТ-ПЦР во всех 11 исследованных положительных образцах, при этом у образцов № 13, 62, 128 и 136 тестовая зона была выражена слабо. Для *PepMV* два из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов дали отрицательный результат ИХА. Это указывает на необходимость подтверждения отрицательных или сомнительных результатов ИХА молекулярным методом.

Таким образом, полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к предотвращению распространения *PepMV* и *ToBRFV*, включая усиление фитосанитарного контроля импортируемой продукции, устойчивых сортообразцов, проведение регулярного мониторинга тепличных хозяйств и посевов в открытом грунте, а также внедрение современных методов молекулярно-генетической диагностики в государственную систему карантина растений Республики Казахстан.

Заключение

В результате проведенного исследования была проведена оценка фитосанитарных рисков, связанных с распространением *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) на территории Республики Казахстан.

Анализ структуры производства овощей в Республике Казахстан показал, что наибольшие площади, отведенные под выращивание томатов и перцев, сосредоточены в южных регионах страны, в первую очередь в Туркестанской и Алматинской областях, что определяет эти территории как зоны повышенного фитосанитарного риска в случае появления патогена.

В ходе исследования методом ОТ-ПЦР проанализировано 122 образца растений томата и перца из Акмолинской, Алматинской и Туркестанской областей. На наличие *ToBRFV* исследовано 79 образцов, из которых 11 оказались положительными, что составило 13,9%. На наличие *PepMV* исследовано 43 образца, из которых положительными были 3, или 7,0%. Поскольку исследования двух вирусов проводились на разных выборках, полученные показатели не позволяют непосредственно сравнивать распространённость *ToBRFV* и *PepMV*.

При сопоставлении результатов ИХА и ОТ-ПЦР для *ToBRFV* совпадение положительных результатов отмечено во всех 11 образцах, при этом в четырёх из них тестовая зона ИХА была выражена слабо. Для *PepMV* методом ИХА подтверждён один из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования ИХА для оперативного скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР.

В целом, результаты исследования указывают на реальное присутствие и распространение двух опасных карантинных вирусов (*ToBRFV* и *PepMV*) на территории Республики Казахстан и подчеркивают необходимость дальнейшего усиления фитосанитарного мониторинга и совершенствования системы диагностики.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования системы карантинного фитосанитарного контроля, расширения мониторинга посевов томатов и перца, а также проведения регулярного тестирования импортируемой продукции с использованием современных методов молекулярно-генетической диагностики. Реализация этих мер позволит своевременно выявлять очаги инфекции, предотвращать дальнейшее распространение вирусов и снижать экономические потери овощеводческого сектора Республики Казахстан.

Вклад авторов

МӘ, МС, ВХ: участвовали в сборе и подготовке образцов для проведения ОТ-ПЦР и ИХА диагностики, подготовили литературный обзор, обобщили результаты исследований, выполнили анализ данных и совместно подготовили текст статьи, провели окончательную редакцию и вычитку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования МСХ РК на 2024-2026 годы по научно-технической программе BR22887230 «Создание эффективной системы управления численностью популяций карантинных вредных организмов, ограничено распространенных на территории РК», проекту «Проведение апробации современных методов диагностики карантинных вредных организмов».

Список литературы

1 Ahatov, A.K., Gannibal, F.B., Meshkov, Ju.I., Dzhalilov, F.S., Chizhov, V.N., Ignatov, A.N., Polishhuk, V.P., Shevchenko, T.P., Borisov, B.A., Stroikov, Ju.M., Beloshapkina, O.O. (2013). *Bolezni i vrediteli ovoshhnyh kul''tur i kartofelya* [*Diseases and pests of vegetable crops and potatoes*]. Moskva: Tovarishhestva nauchnyh izdanii KMK, 414. [*In Russian*].

2 Reshenie Soveta Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii *ot № 158.* (2016). *Ob utverzhdenii edinogo perechnya karantinnyh obektov Evraziiskogo ekonomicheskogo soyuza* [*On the approval of the unified list of quarantine objects of the Eurasian Economic Union*]. https://adilet.zan.kz/rus/docs/H16EV000158. [*In Russian*].

3 *Ob utverzhdenii perechnya karantinnyh obektov i chuzherodnyh vidov, po otnosheniyu k kotorym ustanavlivayutsya i osushhestvlyayutsya meroprijatiya po karantinu rastenii, i perechnya osobo opasnyh vrednyh organizmov* [*On the approval of the list of quarantine objects and alien species in relation to which plant quarantine measures are established and implemented, and the list of particularly dangerous harmful organisms*]. (2015). https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011739. [*In Russian*].

4 Roggero, P., Masenga, V., Lenzi, R., Coghe, F., Ena, S., Winter, S. (2001). First report of Pepino mosaic virus in tomato in Italy. *Plant Pathology*, 50(6), 798–798. DOI:10.1046/j.1365-3059.2001.00621.x.

5 Klap, C., Luria, N., Smith, E., Hadad, L., Bakelman, E., Sela, N., Dombrovsky, A. (2020). Tomato brown rugose fruit virus contributes to enhanced pepino mosaic virus titers in tomato plants. *Viruses*, 12(8), 879.

6 Golnaraghi, A., Gaur, R.K. (*Eds*.). (2024). New and Emerging Plant Viruses: The Threat to Food Security. CRC Press.

7 Ota, E., Shinosaka, H., Ishibashi, K., Takeyama, S., Matsuyama, M., Tomitaka, Y., Kubota, K. (2025). Development and evaluation of a SYBR Green-based RT-qPCR assay with a specific primer set for tomato seed testing against tomato brown rugose fruit virus. *Journal of General Plant Pathology*, 91(3), 160–170.

8 Mehle, N., Luigi, M., Tiberini, A., Manglli, A., Vučurović, A., Faggioli, F. (2023). Testing of tomato brown rugose fruit virus by real-time RT-PCR (Bernabe-Orts et al. 2021): validation report. EURL-Virology, European Union Reference Laboratory for Pests of Plants on Viruses, Viroids and Phytoplasmas.

9 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Eksport i import tovarov produkcii rastenievodstva* [*Eksport i import tovarov produkcii rastenievodstva*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

10 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Posevnye ploshhadi sel'skohozyaistvennyh kul'tur pod urozhai 2025 goda v Respublike Kazahstan* [*Sown areas of agricultural crops for the 2025 harvest in the Republic of Kazakhstan*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

11 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Valovyisbor sel'skohozyaistvennyh kul'tur v Respublike Kazahstan za 2025 god* [*Gross harvest of agricultural crops in the Republic of Kazakhstan in 2025*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

12 ElDala.kz. (2024). *Karantin vveli v Ekibastuze iz-za virusa tomatov* [*Quarantine has been imposed in Ekibastuz due to a tomato virus*]. https://eldala.kz/novosti/ovoshchi-i-frukty/20126-karantin-vveli-v-ekibastuze-iz-za-virusa-tomatov [*In Russian*].

13 Federal'naya sluzhba po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru (Rossel'hoznadzor). (2021). *Upravleniem Rossel'hoznadzora po Altaiskomu krayu i Respublike Altai vyyavlen virus mozaiki pepino v 5 partiyah tomatov* [*The Rosselkhoznadzor Directorate for the Altai Territory and the Republic of Altai has identified the pepino mosaic virus in 5 batches of tomatoes*]. https://fsvps.gov.ru/news/upravleniem-rosselhoznadzora-po-altajskomu-kraju-i-respublike-altaj-vyjavlen-virus-mozajki-pepino-v-5-partiyah-tomatov/ [*In Russian*].

14 Tengrinews – informacionnaya platforma. (2021). *Iz Kazahstana v Rossiyu pytalis' provezti zarazhennye pomidory* [*They tried to smuggle infected tomatoes from Kazakhstan to Russia*]. https://tengrinews.kz/sng/kazahstana-rossiyu-pyitalis-provezti-zarajennyie-pomidoryi-440145/ [*In Russian*].

15 ElDala.kz - agrarnyi sait Kazahstana. (2022). *Krupnuyu partiyu zarazhennyh tomatov iz RK vyyavili v RF* [*A large consignment of contaminated tomatoes from Kazakhstan was detected in Russia*]. https://

eldala.kz/novosti/ovoshchi-i-frukty/8556-krupnuyu-partiyu-zarazhennyh-tomatov-iz-rk-vyyavili-v-rf [*In Russian*].

16 Federal'naya sluzhba po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru (Rossel'hoznadzor). (2024). *Rossel'hoznadzor predotvratil vvoz v Sverdlovskuju oblast' 18 tonn tomatov iz Kazahstana, zarazhennyh virusom mozaiki pepino* [*Rosselkhoznadzor prevented the import of 18 tons of tomatoes from Kazakhstan, infected with the pepino mosaic virus, into the Sverdlovsk Region*]. https://fsvps.gov.ru/news/rosselhoznadzor-predotvratil-vvoz-v-sverdlovskuju-oblast-18-tonn-tomatov-iz-kazahstana-zarazhennyh-virusom-mozaiki-pepino/m [*In Russian*].

17 Vserossiiskii centr karantina rastenii. (2026). *Virus mozaiki pepino* (*PepMV*) [*Pepino mosaic virus (PepMV)*]. https://www.vniikr.ru/upload/medialibrary/pdf/_%20%D0%92%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%81%20%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BA%D0%B8%20%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D0%BE%20PepMV.pdf [*In Russian*].

18 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 12430-2019 – Karantin rastenii. Metody i normy otbora obrazcov podkarantinnoi produkcii pri karantinnom fitosanitarnom dosmotre i laboratornyh issledovaniyah [Plant Quarantine. Methods and Standards for Sampling Quarantine Products during Quarantine Phytosanitary Inspection and Laboratory Testing]. (2019). Moskva: Standartinform, 4-5. [*In Russian*].

19 Nabor reagentov «RIBO-sorb». (2026). https://www.amplisens.ru/catalog/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii-dopolnitelnye-reagenty/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii/ribosorb/ [*In Russian*].

20 Nabor reagentov dlya obratnoi transkripcii «REVERTA-L». (2026). https://www.amplisens.ru/catalog/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii-dopolnitelnye-reagenty/dopolnitelnye-reagenty/revertal/ [*In Russian*].

21 Li, Q.A., Zhang, J.K., Zeng, X.D., Wang, Q., Wang, Z.H., Xu, W.X. (2023). Studies on the detection of Pepino mosaic virus using RT-PCR and dot blot methods. *Acta Phytopathologica Sinica*, 53(6), 1262–1265.

22. Guo H., Dong X., Wang Z., An M., Yang X., Xia Z., Wu Y. (2024). First Report of Tomato Brown Rugose Fruit Virus Infecting Solanum lycopersicum in Northeast China. *Plant Disease*, 108(2), 542. DOI: 10.1094/PDIS-11-23-2395-PDN.

23 Test-nabor ImmunoStrip PepMV. (2026). https://orders.agdia.com/agdia-immunostrip-for-pepmv-isk-13001

24 EPPO Global Database (https://gd.eppo.int/taxon/PEPMV0/distribution)

25 Test-nabor ImmunoStrip ToBRFV. (2026). https://orders.agdia.com/agdia-immunostrip-for-tobrfv-isk-66800

26 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. (2026). *Osnovnye pokazateli vneshnei torgovli Respubliki Kazahstan po stranam* [T*he main indicators of the foreign trade of the Republic of Kazakhstan by country*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

27 Salem, N.M., Jewehan, A., Aranda, M.A., Fox, A. (2023). Tomato brown rugose fruit virus pandemic. *Annual review of phytopathology*, 61(1), 137–164.

28 Ling, K.S., Wechter, W.P., Jordan, R. (2007). Development of a one-step immunocapture real-time TaqMan RT-PCR assay for the broad-spectrum detection of *Pepino mosaic virus. Journal of virological methods*, 144(1–2), 65–72.

29 Zhao, X., Wu, J., Ma, Z., Shi, Y., Fang, Z., Wu, J., Zhou, X. (2024). Development and application of monoclonal antibody-based dot-ELISA and colloidal gold immunochromatographic strip for rapid, specific, and sensitive detection of tomato brown rugose fruit virus. *Journal of virological methods,* 323, 114841.

Қазақстан Республикасының аумағында пепино мозаика вирусының (*PepMV*) және қызанақ жемісінің қоңыр қатпарлы вирусының (*ToBRFV*) диагностикасы

Сүлейман М.А., Әжімахан М.Ә., Хасанов В.Т.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Мақала Қазақстан Республикасы үшін салыстырмалы түрде жаңа, жылыжайлар мен ашық топырақта қызанақ өсіруге елеулі қауіп төндіретін қауіпті карантиндік патогендер қызанақ вирустарын – *Pepino mosaic virus* (*PepMV*, пепино мозаикасының вирусы) және T*omato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*, Қызанақ жемісінің қоңыр қатпарлы вирусы) диагностикалауға арналған.

Материалдар мен әдістер. КТ-ПТР әдісімен Қазақстанның түрлі өңірлерінен (Түркістан, Алматы және Ақмола облыстары) өсімдіктердің 122 үлгісі зерттелді. *ToBRFV* вирусы үлгілердің 14%-ында, *PepMV* вирусы үлгілердің 7%-да анықталды. ИХТ әдісінің нәтижесі ПТР нәтижелерімен салыстырмалы бағаланды, *ToBRFV* үшін барлық зерттелген 11 үлгіде оң нәтижелердің сәйкестігі анықталса, ал *PepMV* үшін КТ-ПТР-де көрсеткен оң үш үлгінің біреуі ИХТ әдісімен расталды.

Нәтижелер. Симптомдардың молекулалық деректермен сәйкестігі анықталды, диагностиканың молекулалық және экспресс-иммунологиялық әдістерін қатар пайдаланудың жоғары тиімділігі көрсетілді.

Қорытынды. Нәтижелер Қазақстан Республикасының зерттелген аймақтарынан зерттелген өсімдік үлгілерінде *PepMV* және *ToBRFV* анықталғанын растайды және фитосанитариялық бақылауды күшейту, жылыжайларда және ашық егістікте қызанақ пен бұрыш екпелерін тұрақты мониторинг жұмыстарын және зертханалық диагностиканың заманауи әдістерін қолдану қажеттігін көрсетеді.

Кілт сөздер: қызанақ; карантиндік нысандар; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; КТ-ПТР, ИХТ.

Diagnostics of Pepino mosaic virus (*PepMV*) and Tomato brown rugose fruit virus (*ToBRFV*) in tomato and pepper samples from selected regions of the Republic of Kazakhstan

Madina A. Suleiman, Moldir A. Azhimakhan, Vadim T. Khassanov

NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. This article is devoted to the diagnostics of tomato viruses – *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) and *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – dangerous quarantine pathogens that are relatively recent targets of phytosanitary monitoring in the Republic of Kazakhstan and pose a serious threat to tomato cultivation in greenhouses and open fields.

Materials and Methods. A total of 122 plant samples from various regions of Kazakhstan (Turkestan, Almaty, and Akmola regions) were tested by RT-PCR. *ToBRFV* was detected in 14% of the samples, while *PepMV* was detected in 7%. For *ToBRFV*, the ICA results were consistent with the RT-PCR results for all 11 positive samples, whereas for *PepMV* only one of three RT-PCR-positive samples was positive by ICA.

Results. The observed symptoms were consistent with the molecular data, and the high effectiveness of combining RT-PCR with immunochromatographic testing was demonstrated.

Conclusion. The results confirm the detection of *PepMV* and *ToBRFV* in the plant samples collected from the surveyed regions of the Republic of Kazakhstan and highlight the need to strengthen phytosanitary control measures, conduct regular monitoring of tomato and pepper crops in both greenhouses and open fields, and use modern laboratory diagnostic methods.

Keywords: tomato; quarantine pests; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; RT-PCR; ICA.

УДК 631.52 **Исследовательская статья**

Экологическое сортоиспытание гибридов сахарной свёклы в условиях Павлодарской области

Жукова Н.А., **Кабыкенов Т.А.**

ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция»
с. Кеменгер, Павлодарский район, Павлодарская область, Казахстан

Автор-корреспондент: Жукова Н.А.: natalya_08.89@mail.ru
Соавтор: (1: ТК) kabykenovt@inbox.ru

Получено: 17.08.2026 **Принято:** 21.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Жукова Н.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Сахарная свёкла является одной из стратегически значимых технических культур, обеспечивающих сырьевую базу сахарной промышленности и продовольственную безопасность Казахстана. В последние годы повышение эффективности свекловодства приобретает особую актуальность в связи с необходимостью увеличения объемов отечественного производства сахара и снижения зависимости от импортного сырья. В связи с этим возрастает значение экологического сортоиспытания, позволяющего объективно оценить адаптационные возможности современных гибридов и определить наиболее устойчивые и продуктивные формы для конкретных природно-климатических условий. Цель исследования – провести экологическую оценку гибридов сахарной свёклы и определить наиболее перспективные для возделывания в условиях Павлодарской области.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились в 2024–2025 гг. на опытном поле ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция» в условиях капельного орошения. Объектами исследований служили 10 гибридов сахарной свёклы отечественной и зарубежной селекции. Учеты и наблюдения проводили в соответствии с общепринятой методикой конкурсного сортоиспытания и методикой исследований по сахарной свёкле Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы (ВНИС).

Результаты. На основании полученных данных по совокупности хозяйственно-ценных признаков выделены перспективные гибриды отечественной и зарубежной селекции. В 2024 году наиболее высокой урожайностью характеризовались гибриды Буря – 512,0 ц/га, Dusuderia – 504,0 ц/га, Скала – 496,4 ц/га и Абулхайыр – 488,3 ц/га. Однако в 2025 году у Dusuderia и Абулхайыра произошло снижение урожайности, тогда как Буря – 445,0 ц/га и Скала – 412,0 ц/га, несмотря на снижение урожайности по сравнению с 2024 годом, сохранили наиболее высокие показатели среди изученных гибридов. По содержанию сахара выявлены различия между годами исследований. В 2024 году наибольшая сахаристость отмечена у стандарта Шекер – 23,0%. В условиях 2025 года наиболее высоким содержанием сахара характеризовались гибриды Скала – 21,7%, Ольжич – 21,2% и Болашак – 20,5%. При этом данные гибриды сочетали высокую сахаристость с хорошей урожайностью. Наибольший сбор сахара среди изученных вариантов за период исследований отмечен у гибрида Буря в 2024 году – 116,2 ц/га.

Заключение. Результаты продемонстрировали полезность экологического сортоиспытания для предварительной оценки гибридов сахарной свёклы в условиях Павлодарской области. Выделены наиболее перспективные гибриды отечественной и зарубежной селекции, сочетающие высокую урожайность и повышенную сахаристость. Установлено, что гибриды Болашак, Ольжич, Скала и Буря характеризовались сравнительно устойчивыми показателями продуктивности в течение двух лет исследований при различающихся погодных условиях вегетационных периодов.

Ключевые слова: сахарная свёкла; гибрид; экологическое сортоиспытание; урожайность; сахаристость; адаптивность.

Как цитировать: Жукова, Н.А., Кабыкенов, Т.А. (2026). Экологическое сортоиспытание гибридов сахарной свёклы в условиях Павлодарской области. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 156-168. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2281

Введение

Необходимой составной частью продовольственной безопасности страны является обеспечение населения сахаром за счет собственного производства [1]. В Казахстане производство сахара в значительной степени зависит от импортного сырья, что обуславливает необходимость расширения собственного производства сахарной свёклы и повышения эффективности ее возделывания.

Традиционно основными регионами возделывания сахарной свёклы в Казахстане являются южные области – Алматинская, Жамбылская и область Жетісу, где сосредоточены значительные посевные площади и основные мощности по переработке сахарной свёклы. Вместе с тем, расширение сырьевой базы сахарной промышленности требует изучения возможности возделывания культуры в других регионах страны. В этом отношении северные и северо-восточные регионы, в том числе Павлодарская область, представляют определённый научный и практический интерес.

Павлодарское Прииртышье располагает рядом предпосылок для возделывания сахарной свёклы, включая наличие орошаемых земель и возможности регулирования водного режима растений. Вместе с тем, природно-климатические условия региона существенно отличаются от традиционной зоны свекловодства. Для Павлодарской области характерен резко континентальный климат, значительные колебания температуры воздуха, ограниченное количество атмосферных осадков, а также относительно короткий период вегетации. Возможные поздние весенние и ранние осенние заморозки, высокая температура в летний период и неравномерное обеспечение влагой могут оказывать существенное влияние на рост, развитие и формирование продуктивности сахарной свёклы.

В связи с этим, успешность возделывания культуры в условиях Павлодарской области во многом определяется правильным подбором гибридов, обладающих высокой продуктивностью, хорошими технологическими качествами и способностью адаптироваться к местным природно-климатическим условиям.

Сахарная свёкла является относительно новой для региона культурой, в связи с чем вопросы её адаптации и продуктивности в условиях Павлодарской области остаются недостаточно изученными. Поэтому проведение экологического сортоиспытания сахарной свеёклы имеет важное научное и практическое значение, поскольку позволяет изучить биологические особенности различных генотипов и выявить сорта и гибриды, наиболее полно адаптированные к конкретным условиям выращивания [2].

Проблема получения устойчивых урожаев сахарной свёклы является наиболее острой и сложной, так как производство сахара в значительной степени зависит от стабильности природных условий [3]. Для решения проблемы стабильного получения высоких урожаев требуется изучение адаптивной способности, экологической стабильности и оценка среды для отбора гибридов сахарной свёклы, более устойчивых в местных природно-климатических условиях, что вызывает определенный научный и практический интерес.

Основная задача экологического сортоиспытания – оценка новых перспективных сортов и гибридов по важнейшим хозяйственно-ценным признакам перед сдачей их в государственное сортоиспытание. При этом, выделяются образцы, сочетающие продуктивность и стабильность при изменяющихся экологических условиях [4]. В настоящее время особую значимость приобретает вопрос выявления хозяйственно-полезных признаков (урожайность, сахаристость, сбор сахара) гибридов сахарной свёклы [5, 6]. При этом, высокая урожайность корнеплодов не всегда сопровождается повышенной сахаристостью, поэтому оценка гибридов должна проводиться комплексно, с учётом как количества получаемого сырья, так и его качества.

По мнению *Корниенко А.В., Мазепина М.Г.* [7], одной из актуальных задач селекционной работы является создание гибридов с высокой потенциальной продуктивностью и широкой адаптивной способностью. В этой связи важное значение приобретает экологическое сортоиспытание, которое является завершающим этапом селекционного процесса и позволяет выявлять адаптивные различия перспективных гибридов, а также проводить отбор наиболее стабильных из них по урожайности и другим хозяйственно ценным признакам [4].

Кляченко В.И. и *Борисюк В.А.* [8] при изучении биологических особенностей сортов и гибридов сахарной свёклы в различных ценозах отмечали наличие у каждого генотипа определённого

биологического потенциала, который характеризуется количественными показателями и обусловлен его генетическими особенностями. По мнению авторов, особенности проявления данного потенциала могут использоваться для характеристики генотипа и оценки его продуктивных возможностей в различных условиях.

Формирование урожайности и качественных показателей сахарной свёклы определяется биологическими особенностями гибридов, технологией их возделывания и условиями выращивания. Современные исследования направлены на оценку селекционных образцов по продуктивности и технологическим качествам, а также на совершенствование технологии возделывания культуры применительно к различным почвенно-климатическим условиям. Важную роль в формировании продуктивности играют сортовые и гибридные особенности культуры, в связи с чем сравнительная оценка гибридов по урожайности и качественным показателям в конкретных почвенно-климатических условиях имеет практическое значение [9, 10, 11].

Адаптивное растениеводство предусматривает ориентацию элементов технологии возделывания сахарной свёклы на создание оптимальных условий для наиболее полной реализации биологического потенциала сорта или гибрида. Даже при использовании сходной технологии выращивания различные гибриды могут существенно различаться по продуктивности вследствие генетических особенностей и неодинаковой реакции на почвенно-климатические условия и отдельные элементы технологии. По данным многофакторных исследований, различия между генотипами сахарной свёклы по урожайности корнеплодов и сбору сахара могут быть весьма существенными: преимущество наиболее продуктивного гибрида над средним значением стандартов достигло 37,0 и 34,4% [12]. При этом, ещё большее влияние на формирование сбора сахара оказывают место выращивания и особенности условий конкретного года [13, 14].

Для получения стабильно высоких урожаев сахарной свёклы с хорошими технологическими показателями необходимо максимально использовать потенциал гибридов и строго соблюдать агротехнологии. Погодные условия играют ключевую роль в процессе роста и развития сахарной свёклы [15]. Понимание влияния погодных условий на разных этапах вегетации позволяет минимизировать негативное воздействие и добиваться более стабильных и высоких урожаев за счет применения агротехнических и организационных мер [16].

В связи с этим, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью комплексной оценки продуктивности и качества перспективных гибридов сахарной свёклы в специфических почвенно-климатических условиях Павлодарской области. Полученные результаты позволят обосновать рекомендации по выбору наиболее адаптированных гибридов для производственного использования, оптимизировать элементы технологии возделывания и внести вклад в развитие свеклосахарного подкомплекса северного региона Казахстана.

Цель исследований – провести экологическое сортоиспытание отечественных и зарубежных гибридов сахарной свёклы, оценить их продуктивность и технологические показатели качества, а также выделить наиболее перспективные по продуктивности и качественным показателям гибриды для возделывания в условиях Павлодарской области.

Материалы и методы

Экологическое сортоиспытание гибридов сахарной свёклы проводили в 2024–2025 гг. на опытном участке ТОО «Павлодарская сельскохозяйственная опытная станция» в с. Кеменгер, Павлодарский район, Павлодарская область, Казахстан (52,360168° с.ш., 77,272662° в.д.) (рисунок 1).



Рисунок 1. Карта расположения экспериментального участка сахарной свёклы в с. Кеменгер (52,360168° с.ш., 77,272662° в.д.).
Базовая карта: Esri Satellite, OpenStreetMap; система координат WGS 84

Опыт проводили с применением капельного орошения. Почвенные условия опытного участка представлены каштановой супесчаной почвой с содержанием гумуса 1,0–1,3%, подвижного фосфора (P2O5) – 135–150 мг/кг и pH почвенного раствора 6,4–6,6. Предшественником сахарной свёклы являлся чистый пар. Посев проводили в период с первой по вторую декаду мая при наступлении физической спелости почвы. В 2024 г. посев проведен 14 мая, в 2025 г. – 10 мая. Объектами исследований служили 10 гибридов сахарной свёклы отечественной и зарубежной селекции: Жавелот, Шекер, Абулхайыр, Болашак, Dusuderia, Smart Iberia, Сонячный, Ольжич, Скала, Буря. В качестве стандарта использовали гибрид Шекер.

Опыт закладывали в двух повторности по 10 вариантов в каждой. Двукратная повторность соответствовала принятой схеме экологического сортоиспытания гибридов сахарной свёклы на опытном участке. Варианты размещали систематическим методом согласно схеме опыта, с обратным порядком их расположения в повторностях. Площадь учетной делянки составляла 72 м^2. Делянки 4-рядковые с шириной междурядий 60 см. Глубина заделки семян – 2,5–3,0 см. Норма высева – 1,1 посевных единицы на гектар. Между повторностями и по краям опыта предусматривались защитные зоны шириной 1 м. Общая площадь опытного участка с учетом защитных зон составляла 1512 м^2.

Перед посевом вносили аммиачную селитру (N 34,4%) в дозе 120 кг/га в физическом весе (41,3 кг/га в д.в.). Систему защиты посевов от сорной растительности осуществляли с применением гербицидов: до посева – почвенный гербицид Дуал Голд, КЭ (960 г/л S-метолахлора) в норме 1,5 л/га, по вегетирующим сорнякам – однократно гербицид Бицепс Гарант, КЭ (70 г/л десмедифама + 90 г/л фенмедифама + 110 г/л этофумезата) в норме 3,0 л/га. Междурядные обработки проводили вручную.

Капельное орошение проводили с мая по сентябрь в зависимости от погодных условий, количества атмосферных осадков и потребности растений во влаге. В 2024 г. орошение осуществляли с 14 мая по 30 сентября. За вегетационный период проведено 74 полива с поливной нормой за один полив 8,9 м^3 на опытный участок (58,9 м3/га). Суммарная оросительная норма составила 658,6 м^3 на опытный участок (4355,8 м^3/га).

В 2025 г. орошение проводили с 10 мая по 30 сентября. За вегетационный период выполнено 90 поливов с поливной нормой за один полив 10,0 м^3 на опытный участок (66,1 м^3/га). Суммарная оросительная норма составила 900,0 м^3 на опытный участок (5952,4 м^3/га). Сроки и частоту орошения корректировали в зависимости от погодных условий, количества атмосферных осадков и фактического состояния растений.

Уборку сахарной свёклы проводили вручную с 10 по 13 октября при наступлении технической спелости корнеплодов. Учет урожая осуществляли путем взвешивания корнеплодов с каждой учетной делянки площадью 72 м^2 на электронных весах с последующим пересчётом урожайности на 1 га. Сахаристость корнеплодов определяли рефрактометрическим методом с использованием портативного рефрактометра Atago PAL-1. Для определения сахаристости в каждом из двух повторений отбирали по 10 корнеплодов, которые использовали для проведения анализа. Сбор сахара (Сс, ц/га) рассчитывали по формуле:

$$Сс = (У \times С) / 100,$$

где

Сс – сбор сахарац/га;

У – урожайность корнеплодов ц/га;

С – сахаристость корнеплодов, %.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа. В качестве фактора анализа рассматривали гибрид; дисперсионный анализ проводили отдельно по каждому году исследований (2024 и 2025 гг.) с учётом двух повторностей опыта. Достоверность различий между средними значениями оценивали по величине наименьшей существенной разницы ($НСР_{05}$) при уровне значимости $p \leq 0,05$. Расчёт $НСР_{05}$ проводили в соответствии с методикой *Доспехова Б.А.* [17]. Корреляционные связи между изучаемыми признаками оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона. Статистические расчеты выполняли с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.0. Учеты и наблюдения проводили в соответствии с общепринятой методикой конкурсного сортоиспытания и методикой исследований по сахарной свекле Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы (ВНИС) [18].

Для объективной оценки продуктивности гибридов важное значение имеет анализ гидротермических условий вегетационного периода. В годы проведения исследований (2024–2025 гг.) метеорологические условия различались по температурному режиму и количеству атмосферных осадков, что сформировало контрастные погодные условия для оценки продуктивности изучаемых гибридов сахарной свёклы при капельном орошении (таблица 1).

Вегетационный период 2024 года характеризовался относительно благоприятным температурным режимом и повышенным количеством атмосферных осадков. За май–сентябрь выпало 313,3 мм осадков, что значительно превышало среднемноголетнюю норму (137,2 мм). Среднемесячная температура воздуха в течение вегетационного периода в целом соответствовала среднемноголетним значениям. Сочетание атмосферных осадков и регулируемого капельного орошения, вероятно, способствовало поддержанию благоприятного водного режима посевов.

В 2025 году температурный режим отличался повышением температуры в начале вегетации. В мае среднемесячная температура составила 16,9 °С при среднемноголетней норме 13,5 °С. За май–сентябрь выпало 205,9 мм атмосферных осадков при среднемноголетней норме 137,2 мм. Распределение осадков в течение вегетации было неравномерным: в начале вегетации их количество было ниже нормы, тогда как в августе отмечалось увеличение до 74,5 мм (таблица 1). Более высокий температурный фон и неравномерное распределение осадков в начале вегетации могли создавать дополнительную нагрузку на растения. Такие условия могли ограничивать формирование листового аппарата и накопление ассимилятов. При этом проведение исследований в условиях капельного орошения обеспечивало дополнительное поступление воды в посевы.

Таблица 1. Метеорологические данные по наблюдениям Красноармейской АМС за 2024–2025 гг.

Месяц	Средне месячная температура, °С		Среднемноголетняя температура, °С	Отклонение температуры от нормы, °С		Осадки, мм		Среднемноголетние осадки, мм	Отклонение осадков от нормы, мм	
	2024	2025		2024	2025	2024	2025		2024	2025
Май	12,4	16,9	13,5	-1,1	+3,4	78,1	13,5	27,0	+51,1	-13,5
Июнь	22,1	22,9	20,0	+2,1	+2,9	50,5	42,4	25,0	+25,5	+17,4
Июль	23,0	22,0	21,8	+1,2	+0,2	87,5	46,4	36,0	+51,5	+10,4
Август	19,8	18,6	19,2	+0,6	-0,6	66,5	74,5	33,2	+33,3	+41,3
Сентябрь	11,2	13,4	12,4	-1,2	+1,0	30,7	29,1	16,0	+14,7	+13,1
Октябрь	9,5	2,5	3,8	+5,7	-1,3	0,0	14,3	20,0	-20,0	-5,7

Примечание: Климатическая норма – период 1991–2020 гг. по данным Красноармейской АМС.

Результаты

В результате экологического сортоиспытания установлена выраженная вариабельность изучаемых гибридов сахарной свёклы по основным хозяйственно-ценным признакам. Различия между генотипами проявлялись в формировании густоты стояния растений, массе корнеплода, урожайности и сахаристости, при этом степень проявления отдельных признаков изменялась в зависимости от условий вегетационного периода.

Одним из важных элементов формирования урожая сахарной свёклы являлась густота стояния растений, поскольку данный показатель определяет площадь питания растений и оказывает влияние на формирование индивидуальной и общей продуктивности посева. В 2024 году к периоду уборки густота стояния составляла 5–6 растений на 1 погонный метр. В 2025 году, на фоне отличавшихся от 2024 года температурного режима и распределения атмосферных осадков, к периоду уборки сформировалась меньшая густота стояния растений 4–5 растений на 1 погонном метре (таблица 3). Таким образом, между годами исследований наблюдались различия в фактической густоте стояния растений, что сопровождалось неодинаковым проявлением продуктивности отдельных гибридов.

При этом характер взаимосвязи густоты стояния с массой корнеплода и урожайностью изменялся по годам. Для оценки данной зависимости был проведён корреляционный анализ по данным каждого года исследований (таблица 2). В 2024 году статистический анализ проведен по 9 гибридам, поскольку гибрид Жавелот в данном году не испытывался и экспериментальные данные по нему отсутствовали. В 2025 году в статистический анализ включены все 10 изучаемых гибридов.

В 2024 году между густотой стояния и массой корнеплода, а также урожайностью выявлена слабая отрицательная корреляционная связь ($r = -0,247$; $p = 0,521$ и $r = -0,239$; $p = 0,536$ соответственно), статистически незначимая ($p > 0,05$). В 2025 году, напротив, установлена статистически значимая положительная корреляция густоты стояния с массой корнеплода ($r = 0,684$; $p = 0,029$) и урожайностью ($r = 0,869$; $p = 0,001$). Таким образом, в 2024 году статистически значимых корреляционных связей не выявлено, тогда как в 2025 году установлены статистически значимые положительные связи густоты стояния как со средней массой корнеплода, так и с урожайностью.

Таблица 2. Корреляционная связь густоты стояния растений с массой корнеплода и урожайностью гибридов сахарной свёклы

Год	n	Густота × масса корнеплода (r)	p	Густота × урожайность (r)	p
2024	9	−0,247	0,521	−0,239	0,536
2025	10	0,684	0,029	0,869	0,001

Различия в густоте стояния создавали неодинаковые условия для формирования индивидуальной продуктивности растений. В 2024 году масса корнеплодов варьировала от 310 до 700 г. Максимальные значения отмечены у Бури – 700 г, Smart Iberia – 680 г, Ольжича и Скалы – по 640 г. В 2025 году диапазон массы корнеплода составил 318,2–545,7 г, при этом наиболее крупные корнеплоды сформировали Буря – 545,7 г, Ольжич – 522,8 г и Скала – 480,6 г. Сопоставление результатов двух лет показывает, что изменение условий вегетационного периода в большей степени отразилось на максимальной массе корнеплода. Так, у Бури данный показатель снизился с 700 до 545,7 г, у Скалы – с 640 до 480,6 г, а у Ольжича – с 640 до 522,8 г. Вместе с тем, именно эти гибриды сохраняли наиболее высокую массу корнеплода и в 2025 году, что может указывать на их способность поддерживать сравнительно высокий уровень формирования корнеплодов при различающихся условиях вегетационного периода.

Наши исследования показали значительное изменение уровня урожайности корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от изучаемых гибридов (таблица 3).

Урожайность стандартного гибрида Шекер в 2024 году составила 360,0 ц/га, тогда как в 2025 году снизилась до 341,1 ц/га. Наиболее высокой продуктивностью за годы исследований характеризовались гибриды Буря и Скала. Урожайность гибрида Буря составила 512,0 ц/га в 2024 году и 445,0 ц/га в 2025 году. Урожайность гибрида Скала составила соответственно 496,4 и 412,0 ц/га. Перспективными также проявили себя гибриды Болашак и Ольжич, которые в условиях 2025 года сформировали урожайность 360,0 и 362,6 ц/га соответственно, превысив показатель стандарта Шекер (341,1 ц/га). Вместе с тем реакция гибридов на изменение условий была неодинаковой. Наиболее существенное снижение урожайности отмечено у гибридов Абулхайыр – с 488,3 до 260,6 ц/га, у Dusuderia – с 504,0 до 276,0 ц/га. В то же время у гибридов Буря и Скала в 2025 году отмечено снижение урожайности по сравнению с 2024 годом, однако они сохранили наиболее высокие показатели урожайности среди изученных гибридов.

Таблица 3. Результаты экологического сортоиспытания гибридов сахарной свёклы, 2024-2025 гг.

№ п/п	Название гибрида	Густота стояния растений перед уборкой, шт./пог. м		Урожайность, ц/га		Масса корнеплода, г	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025
1	Шекер st	6	5	360,0	341,1	340,0	320,2
2	Жавелот	-	4	-	294,3	-	326,4
3	Абулхайыр	5	4	488,3	260,6	420,0	318,2
4	Болашак	6	5	372,3	360,0	310,0	408,3
5	Dusuderia	6	4	504,0	276,0	560,0	397,4
6	Smart Iberia	5	4	424,1	250,1	680,0	326,7
7	Сонячный	5	5	376,0	354,3	540,0	493,5
8	Ольжич	5	5	392,0	362,6	640,0	522,8
9	Скала	6	5	496,4	412,0	640,0	480,6
10	Буря	6	5	512,0	445,0	700,0	545,7
	$НСР_{05}$			41,0	24,0	14,4	15,2

Это указывает на сохранение сравнительно высокого уровня продуктивности данных гибридов при различающихся условиях вегетационного периода. Особого внимания заслуживает Ольжич, у которого при снижении массы корнеплода с 640,0 до 522,8 г урожайность в 2025 году составила 362,6 ц/га, превысив показатель стандарта Шекер (341,1 ц/га). Аналогичная тенденция отмечена у Болашак, урожайность которого в 2025 году достигла 360,0 ц/га при 372,3 ц/га в 2024 году. Относительно небольшое снижение продуктивности этих гибридов указывает на их способность поддерживать сравнительно высокий уровень урожайности при менее благоприятных условиях.

Изменение условий выращивания отразилось не только на урожайности, но и на сахаристости корнеплодов. В 2024 году максимальное содержание сахара отмечено у стандарта Шекер –

23,0%, тогда как в 2025 году его сахаристость снизилась до 19,6% (рисунок 2). При этом отдельные гибриды в условиях 2025 года обеспечили более высокое содержание сахара, что свидетельствует о различной генотипической реакции на погодные условия года. Максимальная сахаристость отмечена у Скалы – 21,7%, Ольжича – 21,2%, Болашак – 20,5%. Таким образом, в условиях 2025 года преимущество отдельных гибридов проявлялось уже не только в урожайности, но и в способности поддерживать более высокое качество корнеплодов.

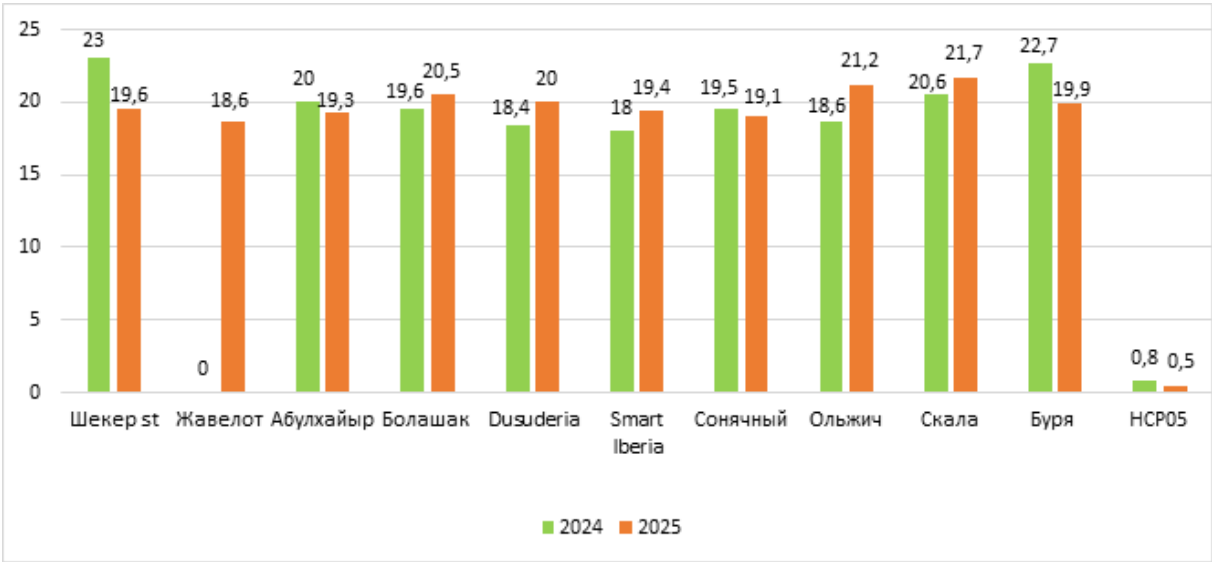


Рисунок 1. Сахаристость гибридов сахарной свёклы в экологическом сортоиспытании, 2024–2025 гг.

Более комплексным показателем продуктивности гибридов является сбор сахара с единицы площади, поскольку данный показатель учитывает урожайность корнеплодов и их сахаристость. В 2024 году максимальный сбор сахара обеспечил гибрид Буря – 116,2 ц/га, при урожайности 512,0 ц/га и сахаристости 22,7%. В 2025 году лидирующие позиции сохранили Скала – 89,40 ц/га, Буря – 88,56 ц/га. При этом Ольжич и Болашак обеспечили 76,87 и 73,80 ц/га, превысив показатель стандарта Шекер – 66,86 ц/га (рисунок 2).

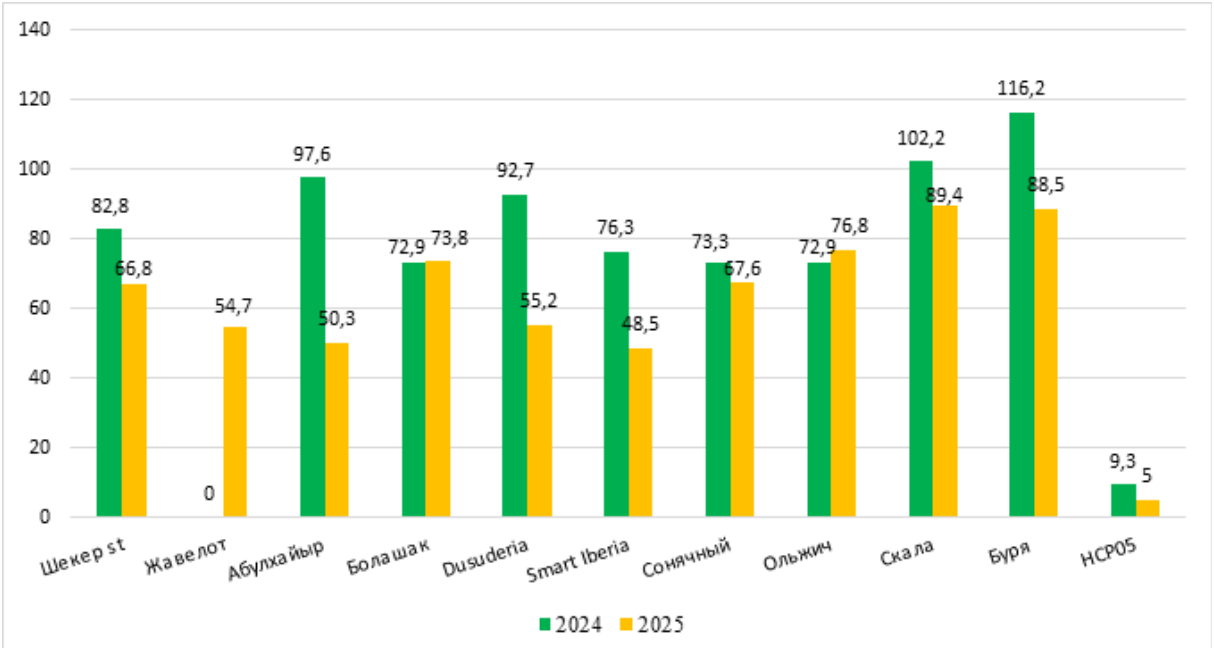


Рисунок 2. Сбор сахара гибридов сахарной свёклы в экологическом сортоиспытании, 2024–2025 гг.

Таким образом, результаты двухлетнего экологического сортоиспытания показали различия между изучаемыми гибридами по урожайности, сахаристости и сбору сахара. Выраженность этих показателей варьировала в зависимости от складывающихся водно-температурных условий вегетационного периода. Гибриды Буря и Скала характеризовались высокой урожайностью и сбором сахара в оба года исследований, при этом Буря обеспечил максимальную урожайность и сбор сахара в 2024 году, а Скала - максимальный сбор сахара в 2025 году, тогда как Болашак и Ольжич отличались меньшим снижением урожайности в 2025 году и повышенной сахаристостью корнеплодов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности данных гибридов для дальнейшего изучения в условиях Павлодарской области.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о различной реакции гибридов сахарной свёклы на изменяющиеся условия выращивания и подтверждают важность генотипического фактора при формировании урожайности и качественных показателей корнеплодов. В условиях 2025 года стандарт Шекер по совокупности изучаемых признаков уступал ряду гибридов. Наиболее высокая урожайность отмечена у гибридов Буря – 445,0 ц/га и Скала – 412,0 ц/га, при этом урожайность стандарта составила 341,1 ц/га. Отечественные гибриды Болашак и Ольжич также сформировали урожайность выше стандарта – 360,0 и 362,6 ц/га соответственно. Полученные результаты согласуются с данными исследований, в которых показано, что отдельные генотипы сахарной свёклы способны формировать урожайность выше стандартов в зависимости от условий конкретной среды [19].

Полученная закономерность согласуется с результатами исследований, показывающих существенную зависимость продуктивности сахарной свёклы от взаимодействия генотипа и условий среды. *Hassani* и соавт. при изучении 20 генотипов в пяти пунктах в течение двух лет установили достоверное влияние года, места выращивания, генотипа и их взаимодействий на урожайность корнеплодов и сбор белого сахара. Авторы отмечают, что отдельные генотипы способны сохранять высокую продуктивность при изменении условий среды, однако сочетание высокой урожайности и стабильности характерно не для всех генотипов [20]. В исследовании *Dang* и соавт. при оценке 16 сортов в семи экологических пунктах было показано, что условия среды существенно влияют на урожайность и сахаристость, а комплексная оценка позволяет выявлять генотипы с более высокой адаптивностью и стабильностью продуктивности [21].

В наших исследованиях подобная закономерность проявилась при сравнении результатов 2024 и 2025 гг. Несмотря на менее благоприятные условия влагообеспеченности в начале вегетации 2025 года, гибриды Буря и Скала сохранили наиболее высокие показатели продуктивности среди изученных гибридов, хотя их урожайность снизилась по сравнению с 2024 годом. Различия в реакции гибридов на условия влагообеспеченности отмечались и в исследованиях *Ebmeyer* и соавт., которые показали неодинаковую устойчивость генотипов сахарной свёклы к водному стрессу [22]. Это свидетельствует о перспективности их дальнейшего изучения в условиях Павлодарской области. Вместе с тем, снижение урожайности большинства гибридов по сравнению с 2024 годом показывает, что даже высокопродуктивные генотипы в различной степени реагируют на изменение погодных условий.

Важным показателем хозяйственной ценности является не только урожайность корнеплодов, но и содержание сахара. В 2 025 году наибольшей сахаристостью характеризовались Скала – 21,7%, Ольжич – 21,2% и Болашак – 20,5%, тогда как у стандарта Шекер данный показатель составил 19,6%. Таким образом, отдельные гибриды при более напряжённом водно-температурном режиме сохраняли относительно высокую способность к накоплению сахаров в корнеплодах.

Различия в комплексной продуктивности наиболее чётко проявились при оценке сбора сахара. В 2024 году максимальный показатель получен у гибрида Буря – 116,2 ц/га, а у Скалы – 102,2 ц/га. В 2025 году, несмотря на снижение урожайности, данные гибриды сохранили высокий сбор сахара – 88,56 и 89,40 ц/га соответственно. Таким образом, их преимущество обусловлено сочетанием высокой урожайности и достаточно высоким содержанием сахара.

Таким образом, результаты экологического сортоиспытания в условиях Павлодарской области свидетельствуют о различной степени реализации продуктивного потенциала изучаемых гибридов в зависимости от условий года и их генотипических особенностей.

Заключение

Проведённое экологическое сортоиспытание позволило выявить различия между изученными гибридами сахарной свёклы по основным хозяйственно-ценным признакам в условиях Павлодарской области.

По результатам исследований наиболее перспективными по совокупности изученных показателей выделились гибриды Буря и Скала. Гибрид Скала характеризовался сочетанием высокой урожайности, повышенной сахаристости и высокого сбора сахара, в 2025 году обеспечив максимальный сбор сахара среди изученных гибридов. Буря характеризовался высокой урожайностью в оба года исследований и максимальным сбором сахара в 2024 году. Гибриды Болашак и Ольжич также представляют интерес для дальнейшего изучения, сочетая сравнительно высокую урожайность с повышенной сахаристостью корнеплодов и значительным сбором сахара.

Полученные результаты позволяют рекомендовать Бурю и Скалу для дальнейшего изучения в условиях Павлодарской области, а Болашак и Ольжич – как представляющие интерес для последующей оценки.

Список литературы

1 Shkhazadov, A.Z. (2012). Problemy effektivnogo ispol'zovaniya potenciala sveklosaharnogo podkompleksa [Problems of effective utilization of the potential of the beet-sugar subcomplex]. *Molodoi uchenyi*, 4(39), 197–199. [*In Russian*].

2 Shermagambetov, K., Tokhetova, L.A., Karlykhanov, A. (2002). Oblysta Kant kyzylshasy dakylyn óndiriske eńgizudiń ǵylymi negizderi [Scientific foundations for introducing sugar beet cultivation into agricultural production in the region]. *Vestnik Kyzylordinskogo gosudarstvennogo Universiteta im. Korkyt Ata*, 1, 120–121. [*In Kazakh*].

3 Koshelyaev, V.V. (2009). Adaptivnaya sposobnost', ekologicheskaya stabil'nost' i ocenka sredy dlya otbora sortov i gibridov saharnoi svekly [Adaptive capacity, ecological stability and environmental assessment for the selection of sugar beet varieties and hybrids]. *Niva Povolzhya*, 2(11), 19–23. [*In Russian*].

4 Burenin, V.I., Yudaeva, V.E., Plyushch, O.V. (1998). Ekologicheskaya stabil'nost' kollekcionnyh obrazcov [Ecological stability of collection accessions]. *Saharnaya svekla*, 2, 3–16. [*In Russian*].

5 Apasov, I.V. (2015). Semenovodstvo saharnoi svekly – strategicheskii resurs sveklosaharnogo kompleksa Rossii [Sugar beet seed production as a strategic resource of the beet-sugar complex of Russia]. *Sahar*, 12, 28–30. [*In Russian*].

6 Putilina, L.N., Dvoryankin, E.A., Smirnov, M.A. (2017). Sveklosaharnyi kompleks Rossii: sostoyanie i napravleniya razvitiya [Beet-sugar complex of Russia: current state and development trends]. *Vestnik VGUIT*, 79(2), 180–190. [*In Russian*].

7 Kornienko, A.V., Mazepin, M.G. (1995). Konkurentosposobny li otechestvennye sorta i gibridy saharnoi svekly [Are domestic sugar beet varieties and hybrids competitive?]. *Sakharnaya svekla*, 11, 8–10. [*In Russian*].

8 Klyachenko, V.I., Borisyuk, V.A. (1989). *Biologicheskie osobennosti sortov i gibridov saharnoi svekly v razlichnyh cenozah* [*Biological characteristics of sugar beet varieties and hybrids in different cenoses*]. Fiziol. -biohim. osnovy produktivnosti saharnoi svekly, Kiev: VNII saharnoi svekly, 63-76. [*In Russian*].

9 Oshevnev, V.P. (2022). Otbor otechestvennyh selekcionnyh obrazcov saharnoi svekly s vysokimi tehnologicheskimi kachestvami [Selection of domestic breeding accessions of sugar beet with high technological quality]. *Saharnaya svekla*, 2, 7–11. [*In Russian*].

10 Oshevnev, V.P. (2013). Gibridy saharnoi svekly dlya razlichnyh regionov Rossii [Sugar beet hybrids for different regions of Russia]. *Zemledelie*, 4, 39–41. [*In Russian*].

11 Minakova, O.A., Kosyakin, P.A., Borontov, P.A. (2022). Osnovnye rezul'taty nauchnyh issledovanii v oblasti tehnologii vozdelyvaniya saharnoi svekly [Main results of scientific research in the field of sugar beet cultivation technology]. *Saharnaya svekla*, 9, 19–25. [*In Russian*].

12 Hassani, M., Heidari, B., Stevanato, P. (2020). Combining abilities of sugar beet genotypes for root- and sugar-related traits under multi-environment trials. *Plant Breeding*, 139(1), 192–206. DOI: 10.1111/pbr.12755.

13 Putilina, L.N., Bartenev, I.I., Lazutina, N.A. (2020). Tehnologicheskoe kachestvo saharnoi svekly v zavisimosti ot sortovyh osobennostei i agrotehnicheskih priemov vozdelyvaniya [Technological quality of sugar beet depending on varietal characteristics and cultivation practices]. *Saharnaya svekla*, 3, 21–25. DOI: 10.25802/SB.2020.46.44.005. [*In Russian*].

14 Märländer, B. (1991). Zuckerrüben: Optimierung von Anbauverfahren, Züchtungsfortschritt, Sortenwahl [Sugar beet: Optimization of cultivation methods, breeding progress, variety selection]. *Stadthagen: Ute Bernard-Pätzold Druckerei & Verlag; Saur*, 6–138.

15 Vostrukhin, N.P., Gulyaka, M.I. (2013). *Monitoring dinamiki formirovaniya urozhainosti i kachestva saharnoi svekly v Belarusi za 1966-2011 gody* [*Monitoring of the dynamics of sugar beet yield and quality formation in Belarus during 1966–2011*]. Nesvizh: Nesvizhskaya Tipografiya im. S. Budnogo, 16–25. [*In Russian*].

16 Tabynbayeva, L.K., Bastauubayeva, Sh.O., Konysbekov, K.T., Ospanbekova, A.O., Nusubaliyeva, F., Myrzamuratov, K. (2025). Izuchenie elementov sortovoi tehnologii perspektivnogo gibrida saharnoi svekly «Bolashak» v usloviyah yugo-vostoka Kazahstana [Study of varietal cultivation technology elements of the promising sugar beet hybrid "Bolashak" under the conditions of southeastern Kazakhstan]. *Izdenister, nátıjeler–Issledovaniya, rezul'taty*, 2(106). [*In Russian*].

17 Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii)* [*Methodology of field experiment (with basics of statistical processing of research results)*]. 5th ed., suppl. and revised. Moscow: Agropromizdat, 351. [*In Russian*].

18 *Metodika issledovaniya po saharnoi svekle* [*The methodology of research on sugar beet*] (1988). Kiev: VNIIS, 28. [*In Russian*].

19 Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A. et al. (2023). Stability analysis and selection of sugar beet (Beta vulgaris L.) genotypes using AMMI, BLUP, GGE biplot and MTSI. *Sci Rep*., 13, 10019. DOI: 10.1038/s41598-023-37217-7.

20 Hassani, M., Mahmoudi, S.B., Saremirad, A. et al. (2023). Genotype by environment and genotype by yield*trait interactions in sugar beet: analyzing yield stability and determining key traits association. *Sci Rep.*, 13, 23111. DOI: 10.1038/s41598-023-51061-9.

21 Dang, X., Lin, Y., Hu, X., Li, Y. (2025). Comprehensive evaluation of sugar beet varieties based on genotype × yield × trait (GYT) in different environments. *Sci Rep*., 15, 9853. DOI: 10.1038/s41598-025-90126-9.

22 Ebmeyer, H., Fiedler-Wiechers, K., Hoffmann, C.M. (2021). Drought tolerance of sugar beet – Evaluation of genotypic differences in yield potential and yield stability under varying environmental conditions. *European Journal of Agronomy*, 126, 126262. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126262.

Павлодар облысы жағдайында қант қызылшасы будандарына экологиялық сортсынақ жүргізу

Жукова Н.А., Кабыкенов Т.А.

«Павлодар ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС
Кеменгер ауылы, Павлодар ауданы, Павлодар облысы, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар және мақсат. Қант қызылшасы қант өнеркәсібін шикізатпен қамтамасыз ететін және Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін стратегиялық маңызы бар техникалық дақылдардың бірі болып табылады. Соңғы жылдары отандық қант өндірісінің көлемін арттыру және импорттық шикізатқа тәуелділікті төмендету қажеттілігіне байланысты қант қызылшасы өндірісінің тиімділігін арттыру ерекше өзектілікке ие болуда. Осыған байланысты қазіргі заманғы будандардың бейімделу мүмкіндіктерін объективті бағалауға және нақты табиғи-климаттық жағдайлар үшін неғұрлым тұрақты және өнімді формаларды анықтауға мүмкіндік беретін экологиялық сортсынақтың маңызы артып келеді. Зерттеудің мақсаты – қант қызылшасы будандарына экологиялық бағалау жүргізу және Павлодар облысы жағдайында өсіруге неғұрлым перспективаларын анықтау.

Материалдар мен әдістер. Далалық зерттеулер 2024–2025 жж. «Павлодар ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС тәжірибе алқабында тамшылатып суару жағдайында жүргізілді. Зерттеу нысандары отандық және шетелдік селекцияның 10 қант қызылшасы будандары болды. Есепке алу мен бақылаулар конкурстық сортсынақтың жалпыға бірдей қабылданған әдістемесіне және Қант қызылшасының Бүкілресейлік ғылыми-зерттеу институтының (БҒЗИ) қант қызылшасы бойынша зерттеулер әдістемесіне сәйкес жүргізілді.

Нәтижелер. Алынған деректер негізінде шаруашылық-құнды белгілер жиынтығы бойынша отандық және шетелдік селекцияның перспективалы будандары бөлініп алынды. 2024 жылы ең жоғары өнімділікпен Буря – 512,0 ц/га, Dusuderia – 504,0 ц/га, Скала – 496,4 ц/га және Абулхайыр – 488,3 ц/га будандары сипатталды. Алайда 2025 жылы Dusuderia және Абулхайыр будандарында өнімділіктің төмендеуі байқалды, ал Буря – 445,0 ц/га және Скала – 412,0 ц/га будандары 2024 жылмен салыстырғанда өнімділіктің төмендеуіне қарамастан, зерттелген будандар арасында ең жоғары көрсеткіштерін сақтап қалды. Қант құрамы бойынша зерттеу жылдары арасында айырмашылықтар анықталды. 2024 жылы ең жоғары қанттылық Шекер стандартында – 23,0% байқалды. 2025 жылғы жағдайда қанттың ең жоғары құрамымен Скала – 21,7%, Ольжич – 21,2% және Болашак – 20,5% будандары сипатталды. Бұл ретте аталған будандар жоғары қанттылықты жақсы өнімділікпен ұштастырды. Зерттеу кезеңінде зерттелген нұсқалар арасындағы ең жоғары қант түсімі 2024 жылы Буря буданында тіркелді – 116,2 ц/га.

Қорытынды. Нәтижелер Павлодар облысы жағдайында қант қызылшасы будандарын алдын ала бағалау үшін экологиялық сортсынақтың пайдалылығын көрсетті. Жоғары өнімділік пен жоғары қанттылықты біріктіретін отандық және шетелдік селекцияның неғұрлым перспективалы будандары бөлініп алынды. Болашак, Ольжич, Скала және Буря будандары вегетациялық кезеңдердің әртүрлі ауа райы жағдайында екі жылдық зерттеулер барысында өнімділіктің салыстырмалы түрде тұрақты көрсеткіштерімен сипатталғаны анықталды.

Кілт сөздер: қант қызылшасы; будан; экологиялық сортсынақ; өнімділік; қанттылық; бейімделгіштік.

Ecological variety testing of sugar beet hybrids under the conditions of Pavlodar Region

Natalya A. Zhukova, Temirbolat A. Kabykenov

Pavlodar Agricultural Experimental Station LLP, Kemenger vil., Pavlodar District, Pavlodar Region, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Sugar beet is one of the strategically important industrial crops that provides the raw material base for the sugar industry and ensures the food security of Kazakhstan. In recent years, improving the efficiency of sugar beet production has become particularly relevant due to the need to increase the volume of domestic sugar production and reduce dependence on imported raw materials. In this regard, the importance of ecological variety testing is growing, which allows an objective assessment of the adaptive potential of modern hybrids and the identification of the most stable and productive forms for specific climatic conditions. The aim of the study was to conduct an ecological assessment of sugar beet hybrids and identify the most promising for cultivation in Pavlodar Region.

Materials and Methods. Field studies were conducted in 2024–2025 at the experimental field of ‘‘Pavlodar Agricultural Experimental Station’’ LLP under drip irrigation conditions. The objects of research were 10 sugar beet hybrids of domestic and foreign breeding. Records and observations were carried out in accordance with the generally accepted methodology of competitive variety testing and the methodology of research on sugar beet of the All-Russian Research Institute of Sugar Beet (VNIS).

Results. On the basis of the obtained data, promising hybrids of domestic and foreign breeding were identified by a set of economically valuable traits. In 2024, the highest yields were characterized by hybrids Burya – 512.0 c/ha (51.2 t/ha), Dusuderia – 504.0 c/ha (50.4 t/ha), Skala – 496.4 c/ha (49.6 t/ha) and

Abulkhayyr – 488.3 c/ha (48.8 t/ha). However, in 2025, Dusuderia and Abulkhayyr showed a decrease in yield, whereas Burya (445.0 c/ha) and Skala (412.0 c/ha), despite a decrease in yield compared with 2024, maintained the highest yield levels among the hybrids studied. Differences were revealed in sugar content between the years of research. In 2024, the highest sugar content was noted in the standard Sheker – 23.0%. Under the conditions of 2025, hybrids Skala – 21.7%, Olzhich – 21.2% and Bolashak – 20.5% were characterized by the highest sugar content. At the same time, these hybrids combined high sugar content with good yield. The highest sugar yield among the studied variants during the research period was recorded for the hybrid Burya in 2024 – 116.2 c/ha (11.62 t/ha).

Conclusion. The results demonstrated the usefulness of ecological variety testing for the preliminary assessment of sugar beet hybrids under the conditions of Pavlodar Region. The most promising hybrids of domestic and foreign breeding, combining high yield and increased sugar content, were identified. It was established that hybrids Bolashak, Olzhich, Skala and Burya were characterized by comparatively stable productivity indicators during two years of research under different weather conditions of the growing seasons.

Keywords: sugar beet; hybrids; ecological variety testing; yield; sugar content; adaptability.

УДК 632.727:591.543.4:551.58(574) **Исследовательская статья**

Прогнозирование фенологии вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана на основе пространственного анализа

Байбусенов К.С., Елубаев Д.Р., Усалинов Е.Б., Аманбай Ж.З.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Елубаев Д.Р.: dastanrmz@gmail.com
Со-авторы: (1: КБ) baibussenovks10051987@gmail.com; (2: ЕУ) erkin.usalinov@gmail.com
(3: ЖА) amanbai_zhasulan@mail.ru

Получено: 21.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Байбусенов К.С. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Прогноз фенологии вредителей нестадных саранчовых важен при организации фитосанитарного мониторинга и определении времени проведения его работ. Целью работы являлось выявление закономерностей пространственного распределения и многолетней изменчивости дат массового отрождения личинок вредителей в агроклиматических районах Республики Казахстан по материалам фитосанитарного наблюдения за период 2003–2025 гг.

Материалы и методы. Многолетние наблюдения сроков появления фенофаз вредителей - нестадные саранча по административным регионам РК; календарная дата массового выхода из яйцевой диапаузы личинок переведена в DOY (день года); пространственная оценка проведена через призму агроклиматических зон, определенных по параметрам тёплого и влажного режима зоны. Межзональные различия оценивали критерием Фридмана, согласованность пространственного порядка – коэффициентом конкордации Кендалла, многолетние тенденции – критерием Манна-Кендалла и оценкой наклона Сена. Пространственная устойчивость фенологического режима оценивалась по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена.

Результаты. Выявлена чёткая зональная неоднородность временных интервалов массового выхода личинок по агроклиматическим районам Казахстана. Временной разброс между максимальными сроками выходил за пределы одного месяца - от 21.04 варидно-теплом районе до 14.05 в сильноувлажненном умеренно теплом. Зональный эффект достоверный (χ^2=226,0; P <0,001) с большим коэффициентом пространственной согласованности W = 0,983. Установлена статистически достоверная динамика сдвигов начала отрождения на -0.2 дня/год (p=0.010) без изменения его локализации (ρ=0.995). Фиксация эффектов по району и году позволила описать 98,9% дисперсии времени отрождения. Примерный интервал смены возрастов личинок – от 13 до 16 дней с момента массового выхода их из кубышек.

Заключение. Агроклиматическое районирование позволяет учитывать пространственную неоднородность фенологического развития вредных нестадных саранчовых. Полученные результаты могут использоваться для дифференцированного планирования сроков фитосанитарных обследований и совершенствования системы фенологического прогнозирования с учётом фактических полевых и агрометеорологических данных.

Ключевые слова: вредные нестадные саранчовые; фенология развития; фенологический прогноз; агроклиматические районы; пространственное моделирование; фитосанитарный мониторинг.

Введение

Вредоносные нестадные саранчовые – одна из самых опасных групп фитофагов степной, сухостепной и полупустынной растительности Евразии [1]. В подходящих для них природных

климатических условиях создают местноочаговые вспышки численности. Приводят к падению продуктивности посевов, деградации естественных пастбищ и росту расходов по мерам защиты растений [2]. Нестабильно-сидячие виды саранчи в Казахстане повсеместно присутствуют на основных зонах земледелия страны и подлежат ежегодному государственному фитосанитарному наблюдению. При изменении климатических условий актуальность применения научно доказанных фенологических прогнозов растёт для определения сроков максимального риска появления вредителя и оптимизации работы по защите растений [3].

Эффективность фитосанитарного мониторинга зависит не только от размера популяций, но и от способности точно предсказать время наступления ключевых фенологических фаз [4, 5].

Наиболее информативным периодом обследований является массовое отрождение личинок младших возрастов, когда достигается максимальная достоверность оценки фитосанитарного состояния популяций и эффективности защитных мероприятий [6]. Поэтому прогнозирование сроков появления личинок имеет не меньшее практическое значение, чем прогнозирование численности вредителей [7, 8].

За последнее время все более востребованными становятся подходы к прогнозированию распространения и динамики популяций вредителей посредством применения ГИС, ДЗЗ, климатических реанализов, спутниковых снимков, а также пространственное моделирование [5, 9]. Точность прогнозирования достигается за счёт использования агроклиматических параметров – температура воздуха и почва, количество атмосферных осадков, влажность почвы, вегетационный индекс. Одновременно внедряются методы машинного обучения для выявления сложных взаимосвязей между экологическими факторами и динамикой развития насекомых [13–15]. Однако большинство исследований посвящено прогнозированию численности и пространственного распределения вредителей, тогда как вопросам фенологического прогнозирования вредных нестадных саранчовых уделяется значительно меньше внимания.

Фенологическое развитие вредителей растений, в том числе и саранчовых определяется комплексом абиотических факторов. Сроки выхода эмбрионов из диапаузы, отрождения личинок и последующего развития зависят от температуры воздуха и почвы, режима осадков, влажности почвы и накопления суммы эффективных температур [15]. При этом разные виды отличаются экологическими требованиями и скоростью развития. Применение одинаковых сроков по календарю при игнорировании пространственного варьирования агроклиматического фактора приводит к ошибкам в фенологическом прогнозе [16].

Казахстан характеризуется выраженной широтной зональностью, высокой континентальностью климата и разнообразием агроклиматических условий, определяющих сезонную динамику развития вредных нестадных саранчовых [17]. Пространственно-временная изменчивость сроков прохождения фенологических фаз обусловлена различиями в сроках весеннего потепления, накопления эффективных температур, продолжительности безморозного периода и режиме увлажнения. Несмотря на многочисленные исследования биологии, экологии и прогнозирования численности саранчовых, вопросы пространственного фенологического прогнозирования в различных агроклиматических зонах Казахстана остаются недостаточно изученными [15, 18].

Целью исследования являлось прогнозирование фенологического развития вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана на основе пространственного анализа многолетних данных фитосанитарного мониторинга за 2003–2025 гг. Для достижения поставленной цели определены пространственные особенности сроков отрождения личинок, оценена устойчивость выявленных закономерностей и проанализирована продолжительность развития личинок до второго возраста как наиболее значимого периода для организации фитосанитарного мониторинга.

Материалы и методы

В ходе исследований использованы материалы фенологического мониторинга вредных нестадных саранчовых, которые проводились государственными фитосанитарными службами Республики Казахстан в течение 2003–2025 гг. Показатели характеризуют динамику 23 лет наблюдений за пространственно-временной вариабельностью фенологии вредителя по разным

природно-климатическим зонам республики. Исходный массив включал 12 115 наблюдений, выполненных в 167 административных районах Республики Казахстан.

Фенологические данные охватывали комплекс вредных нестадных саранчовых, которые встречаются совместно и причиняют вред сельскохозяйственным культурам в составе многовидового комплекса. В связи с совместным обитанием видов и особенностями проведения фитосанитарного мониторинга анализ фенологических сроков проводился для комплекса в целом, без формирования отдельных временных рядов по каждому виду. При этом по материалам мониторинга наиболее массовыми и вредными видами являлись: *Calliptamus italicus, Calliptamus barbarus, Oedaleus decorus, Dociostaurus brevicollis, Chorthippus biguttulus, Arcyptera microptera, Notostaurus albicornis, Chorthippus albomarginatus.*

Первичной единицей анализа являлась дата наступления фенологической фазы, зарегистрированная для административного района в конкретном году. Для оценки статистической независимости сопоставляли интервалы между восемью последовательными фенологическими фазами. Поскольку в ряде случаев поздние фазы определялись прибавлением фиксированного числа суток к предыдущим, основным показателем исследования была принята дата массового отрождения личинок. Продолжительность развития до второго возраста анализировали отдельно как показатель, имеющий практическое значение для организации фитосанитарного мониторинга [19, 20].

Календарные даты переводились в порядковый номер дня в году (DOY – Day of Year). По пространственной принадлежности проводили группировку по агроклиматическому районированию территории Республики Казахстан с учётом административно –территориального деления за 2025 год. Агроклиматическое районирование выполнено согласно схемам, представленным в литературе по тепловодному обеспечению территории. В отличие от существующих подходов использовали четыре многолетних показателя: дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °C, продолжительность теплого периода, его среднюю температуру и коэффициент увлажнения. По их сочетанию выделено 11 агроклиматических зон [21].

Для каждой зоны рассчитывали медиану и межквартильный интервал даты массового отрождения личинок. Различия между зонами оценивали критерием Фридмана, согласованность – коэффициентом конкордации Кендалла (Kendall's W), а попарные сравнения – критерием знаковых рангов Уилкоксона с поправкой Холма. Многолетние тенденции анализировали критерием Манна-Кендалла, величину тренда определяли по оценке наклона Сена (Sen's slope estimator) [22, 23]. Оценка пространственной устойчивости фенологического режима проводилась по методу ранговой корреляции Спирмена. Кроме того, была разработана модель с фиксированными эффектами района и года для анализа пространственной неоднородности и межгодовой вариации сроков фенологического развития. В качестве зависимой переменной использовали дату массового отрождения личинок, выраженную в днях года (DOY). Фиксированный эффект района учитывал устойчивые различия фенологических сроков между административными территориями, тогда как эффект года отражал общую межгодовую изменчивость. Долю объяснённой вариации оценивали по коэффициенту детерминации R^2 [24].

Статистика обрабатывалась в среде Python (библиотеки Pandas, NumPy, SciPy, Statsmodels, GeoPandas), пространственная обработка и подготовка картоматериала проводилась в QGIS 3.40. Уровень значимости во всех вычислениях установлен на уровне $p<0,05$.

Результаты

Предварительный анализ фенологического календаря показал, что зарегистрированные фенологические фазы не являются независимыми временными рядами. В 73,3% последовательностей наблюдений воспроизводился одинаковый набор межфазных интервалов, а в 87,6% случаев второй возраст регистрировался через 15 суток после массового отрождения личинок; 95% наблюдений находились в интервале 13–16 суток. Поэтому в качестве критерия пространственного анализа взято время массового выхода личинок, а период до второго возраста – критерий для организации фитосанитарного мониторинга.

Выявлена выраженная пространственная неоднородность сроков массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана (таблица 1). Наиболее

ранние сроки отмечены в аридной жаркой зоне –111-й день года (21 апреля), наиболее поздние - в очень увлажнённой умеренно тёплой зоне – 134-й день года (14 мая), при максимальной разнице 23 суток. Различия статистически значимы (χ^2 Фридмана = 226,0; p<0,001), а высокий коэффициент конкордации Кендалла (W = 0,983) свидетельствует о сохранении практически неизменной последовательности агроклиматических зон по срокам массового отрождения личинок в течение всего периода исследований.

Таблица 1. Сроки отрождения и ориентировочного наступления второго возраста по агроклиматическим зонам

Агроклиматическая зона	Количество	Отрождение, DOY: медиана [Q1–Q3]	Медианная дата отрождения	Ориентир II возраста
Аридная / Жаркая	26	111 [104–116]	21 апр.	6 мая
Увлажнённая / Жаркая	3	112 [109–114]	22 апр.	7 мая
Горная Ю	2	113 [109–115]	23 апр.	8 мая
Полуаридная / Жаркая	32	115 [112–118]	25 апр.	10 мая
Горная ЮВ	12	116 [113–119]	26 апр.	11 мая
Аридная / Тёплая	9	122 [118–125]	2 мая	17 мая
Полуаридная / Тёплая	57	126 [124–128]	6 мая	21 мая
Горная В	8	129 [126–130]	9 мая	24 мая
Полуаридная / Умеренно тёплая	29	131 [128–134]	11 мая	26 мая
Увлажнённая / Умеренно тёплая	27	132 [129–135]	12 мая	27 мая
Очень увлажнённая / Умеренно тёплая	9	134 [131–137]	14 мая	29 мая

Пространственная картина многолетних медиан дат массового отрождения личинок отражает полученные результаты (рисунок 1). Ранние даты приходятся на юг и ЮЗ Казахстан, поздние - на севере страны; центральная и восточная части расположены между ними.

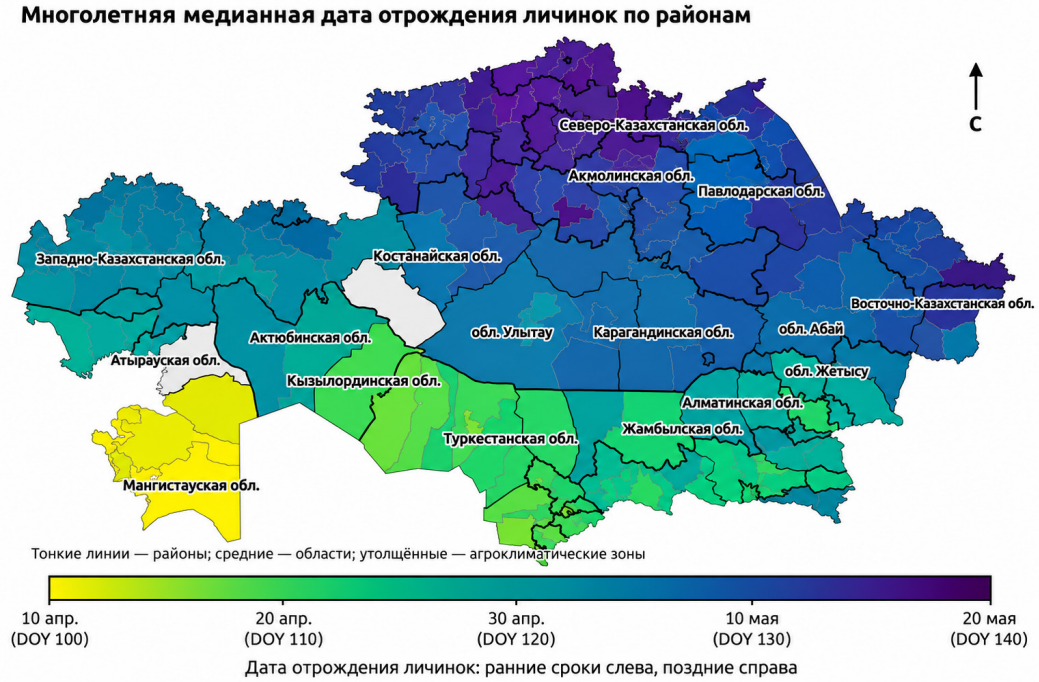


Рисунок 1. Пространственное распределение многолетних медианных сроков массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана (2003–2025 гг.)

Границы пространственного распространения фенологических различий не совпадают в точности с административными границами – следовательно применение агроклиматического районирования для фенологического прогнозирования является обоснованным. На карте показан многолетний режим времени отрождения без учёта вариаций погоды по годам.

Для оценки долговременных изменений были сопоставлены два пятилетних периода – 2003–2007 и 2021–2025 гг. (рисунок 2).

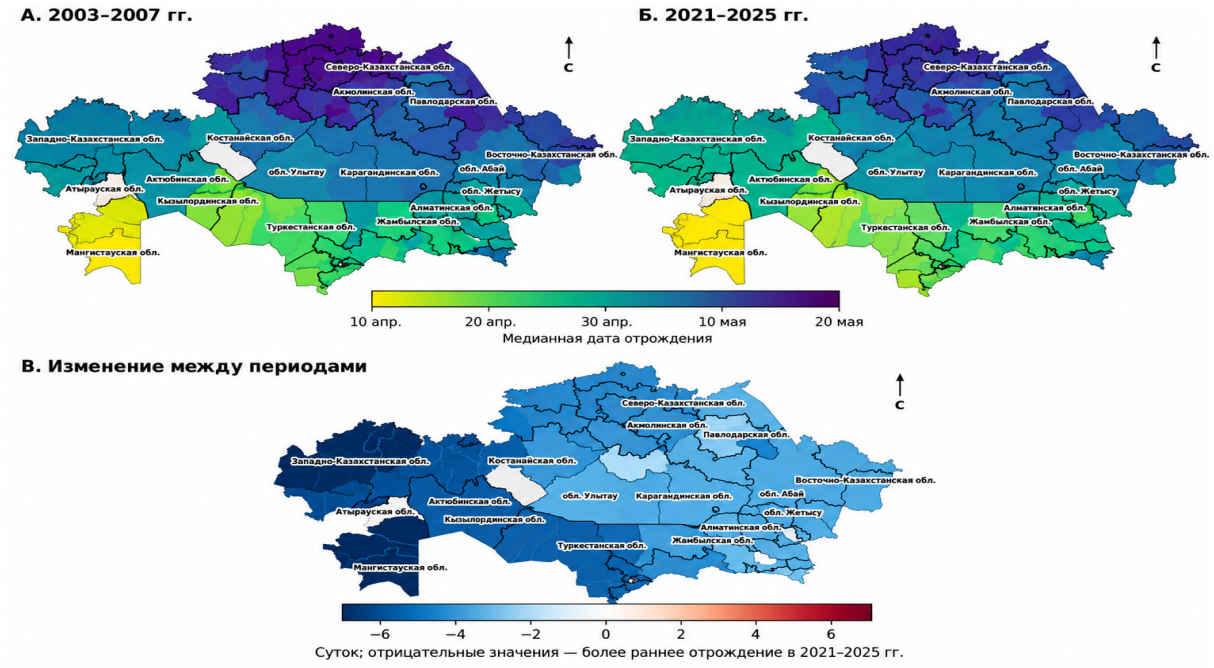


Рисунок 2. Медианные даты отрождения в 2003–2007 и 2021–2025 гг. и разность между периодами. На картах показаны границы и названия областей



Рисунок 3. Зональная последовательность дат отрождения и расчётного ориентира наступления второго личиночного возраста

Во всех сопоставимых районах сроки массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых сместились на 3–7 суток в сторону более раннего наступления, при медианной разности –5 суток. Многолетний ряд показал статистически достоверный тренд на сдвиг в сторону более раннего появления личинок (tau= -0.379; p=0.010), индекс наклона по Сену равен -0,2 суток/год (95% ДИ: -0, 33.0,00). При этом пространственное распределение фенологии оставалось стабильным – медиана рангового коэффициента корреляции Спирмана ρ=0,995.

Модель с фиксированными эффектами района и года объяснила 98,9% общей вариации сроков массового отрождения личинок. Высокая доля объяснённой вариации указывает на значительный вклад устойчивых различий между районами и общей межгодовой тенденции в формирование пространственно-временной структуры фенологии.

Оценка сроков достижения личинками второго возраста показала, что в жарких агроклиматических зонах его ожидаемое наступление приходится на конец апреля – начало мая, тогда как в более прохладных и увлажнённых зонах этот период смещается на вторую половину мая (рисунок 3).

Полученные календарные ориентиры позволяют дифференцированно планировать очередность проведения фитосанитарных обследований в зависимости от агроклиматических условий территории. Вместе с тем прогнозируемые сроки наступления второго возраста следует рассматривать как основу для организации мониторинга, а не как критерий принятия решений о проведении защитных мероприятий. Итоговое заключение делать исходя из данных полевых исследований, реальной плотности популяции вредного нестадного саранчового.

Для обобщения полученных результатов и оценки статистической надежности выявленных закономерностей в таблице 2 представлены основные показатели выполненного статистического анализа, характеризующие пространственные различия сроков отрождения личинок, их многолетнюю динамику и устойчивость пространственной структуры фенологического развития.

Таблица 2. Основные статистические оценки пространственно-временной структуры дат отрождения

Показатель	Оценка	Интерпретация
Межзональные различия	$\chi^2(10)=226,0$; $p<0,001$	Сроки неодинаковы между зонами
Согласованность зонального порядка	W=0,983	Почти постоянный порядок зон по срокам
Долговременная направленность	−0,20 суток/год; p=0,010	Формальное смещение к ранним датам
Межгодовое сходство карт	медиана ρ=0,995	Пространственный рисунок крайне устойчив
Модель «район + год»	R^2=0,989	Преобладают постоянные различия районов и общий сдвиг года
Отрождение → II возраст	15 суток; 95%: 13–16	Практическое окно, не независимая фаза

Показатели таблицы 2 говорят о достоверности результатов. По значимости критерия Фридмана и коэффициенту конкордации Кендалла можно сказать, что есть стабильные различия в сроках массового отрождения личинок по агроклиматическим зонам. Временная динамика показала наличие статистически достоверной тенденции на сдвиг фенофазы вперед во времени без потери пространственного порядка районов. Результаты позволяют говорить о наличии как региональной специфичности, так и общих межлетних сдвигов ритмов развития – база для фенологического прогноза вредной нестадной саранчи в агроклиматических районах Казахстана.

Обсуждение

Самый главный итог исследований – установление 23 дней разницы во времени массового выхода личинок вредных нестадных саранчевых из разных по контрасту агроклиматических зон Казахстана. Полученные различия соответствуют современным представлениям о фенологическом развитии саранчовых, согласно которым скорость завершения эмбрионального развития после диапаузы определяется преимущественно температурным режимом, а влажность почвы существенно влияет на сроки отрождения личинок [1, 15, 16, 24]. Аналогичные

закономерности отмечены для представителей семейства Acrididae в аридных и полуаридных регионах, где пространственная неоднородность тепловых и гидротермических условий обусловливает различия сроков прохождения фенологических фаз [2, 18, 24].

Особенности горных территорий подтверждают влияние не только широтного положения, но также высоты местности, экспозиции склонов и локальных микроклиматических условий на фенологическое развитие. Поэтому агроклиматическое районирование обеспечивает более точное фенологическое прогнозирование по сравнению с административно-территориальным делением [5, 7, 12].

Полученные результаты дополняют исследования по прогнозированию численности и пространственного распределения вредных нестадных саранчовых в Казахстане [11, 13, 14]. В отличие от них, настоящее исследование ориентировано на прогнозирование сроков развития, позволяющее определить оптимальное время проведения фитосанитарных обследований. Следовательно, карты фенологического прогноза дополняют карты фитосанитарного риска, обеспечивая пространственно-временное планирование мониторинга [4, 21].

Выявленная тенденция к более раннему массовому отрождению личинок требует осторожной интерпретации. Практически синхронное смещение сроков во всех агроклиматических зонах может быть связано как с современными климатическими изменениями, так и с особенностями формирования многолетнего фенологического календаря. Поэтому выявленная скорость изменения (–0,20 суток в год) требует дальнейшей проверки по первичным полевым наблюдениям, данным о видовом составе и многолетним агрометеорологическим рядам [15, 17, 24]. При этом важное значение имеют сумма эффективных температур и другие агроклиматические предикторы, определяющие продолжительность развития различных видов саранчовых [15, 16, 24].

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных фенологических параметров при совершенствовании государственного фитосанитарного мониторинга. Указанные сроки массового выхода личинок и расчётный срок 13–16 дней до II возраста можно использовать для организации маршрутного обследования, включение этих сроков в ГИС с периодической коррекцией по условиям агрометеорологии позволит разработать региональную систему фенологического прогнозирования исследуемых вредителей.

Заключение

Установлено, что сроки массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых существенно различаются между агроклиматическими зонами Казахстана. Использование агроклиматического районирования позволило более точно отразить региональные особенности фенологического развития по сравнению с единым календарным подходом. Разница между крайними по времени отрождения личинок районами достигает 23 дней, однако наблюдается стабильная пространственная структура районов за период с 2003 по 2025 год.

Результаты работы показывают эффективность применения длительных рядов материалов фитосанитарного мониторинга для построения фенологического прогноза вредоносных нестадных видов саранчовых. Наблюдаемая тенденция к смещению сроков выхода личинок на раннее время нуждается в дальнейшем уточнении по материалам первичных полевого мониторинга и агрометеорологии.

Практическая ценность работы состоит в применении времени массового выхода личинок из яиц как стартовой точки для организации фитосанитарного контроля. Интервал 13–16 дней до выхода во второй возраст можно использовать при составлении графика последующих осмотров, но только с учётом уточнения фактическими данными полевых исследований.

Список литературы

1 Uvarov, B.P. (1977). *Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology.* 2: Behaviour, ecology, biogeography, population dynamics. London: Centre for Overseas Pest Research, 613.

2 Zhang, L., Lecoq, M., Latchininsky, A., Hunter, D. (2019). Locust and grasshopper management. *Annual Review of Entomology*, 64, 15–34. DOI: 10.1146/annurev-ento-011118-111644.

3 Latchininsky, A.V., Sergeev, M.G., Childebaev, M.K., Chernyakhovsky, M.E., Lockwood, J.A., et al. (2002). *Acridids of Kazakhstan, Central Asia and adjacent territories.* Laramie: University of Wyoming, 387.

4 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Practical guidelines on locust and grasshopper monitoring in Caucasus and Central Asia.* Rome: FAO. https://www.fao.org/

5 Latchininsky, A.V., Sivanpillai, R. (2010). *Locust habitat monitoring and risk assessment using remote sensing and GIS technologies.* In Integrated management of arthropod pests and insect-borne diseases. Dordrecht: Springer, 163–188.

6 Latchininsky, A.V. (2013). Locusts and remote sensing: A review. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7, 075099. DOI: 10.1117/1.JRS.7.075099.

7 Klein, I., Oppelt, N., Kuenzer, C. et al. (2021). Application of remote sensing data for locust research and management. *Insects*, 12(3), 233. DOI: 10.3390/insects12030233.

8 Sivanpillai, R., Latchininsky, A.V., Driese, K., Kambulin, V. (2006). Mapping locust habitats in River Ili Delta, Kazakhstan, using Landsat imagery. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117, 128–134.

9 Latchininsky, A.V., Sivanpillai, R., Driese, K.L., Wilps, H. (2007). Can early season Landsat images improve locust habitat monitoring in the Amudarya River Delta of Uzbekistan? *Journal of Orthoptera Research*, 16(2), 167–173.

10 Sivanpillai, R., Latchininsky, A.V. (2008). Can late summer Landsat data be used for locating Asian migratory locust (*Locusta migratoria migratoria*) oviposition sites in the Amudarya River Delta, Uzbekistan? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128(2), 346–353.

11 Malakhov, D.V., Tsychuyeva, N.Y., Kambulin, V.E. (2018). Ecological modeling of Locusta migratoria L. breeding conditions in south-eastern Kazakhstan. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 3(1).

12 Klein, I., van der Woude, S., Schwarzenbacher, F., Muratova, N., Slagter, B., Malakhov, D., Oppelt, N., Kuenzer, C. (2022). Predicting suitable breeding areas for different locust species: A multi-scale approach accounting for environmental conditions and current land cover situation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 107, 102672. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102672.

13 Baibussenov, K.S., Amanbay, Zh.Z. (2025). Sovershenstvovanie metodov fitosanitarnogo kontrolya saranchi v umerenno vlazhnoi umerenno tyoploi agroklimaticheskoi zone Kazahstana na osnove primeneniya geoinformacionnyh i informacionnyh tehnologii [Improvement of methods of phytosanitary control of locusts in the moderately humid moderately warm agro-climatic zone of Kazakhstan based on the use of geoinformation and information technologies]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo issledovatelskogo universiteta imeni S. Seifullina*, 2(126). DOI: 10.51452/kazatu.2025.2/1(126).1912. [*In Russian*].

14 Baibussenov, K.S., Amanbay, Zh.Z., Bekbaeva, A.B. et al. (2025). Applying machine learning models to predict population dynamics of harmful non-gregarious locusts across Kazakhstan agroclimatic zones. *World Journal of Environmental Biosciences*, 14(4), 100–111.

15 Buckley, L.B. (2022). Temperature-sensitive development shapes insect phenological responses to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 52, 100897. DOI: 10.1016/j.cois.2022.100897.

16 Wang, X., Zhang, L., Ma, J., Wang, H., Zhao, Z. (2014). Improving the degree-day model for forecasting Locusta migratoria manilensis (Meyen) (Orthoptera: Acrididae). *PLoS ONE*, 9(3), e90024. DOI: 10.1371/journal.pone.0090024.

17 Azhbenov, V.K., Dinasilov, A.S., Arystangulov, S.S., Zhumagaliev, A.K., Nurmanov, Zh.G., Nikonorov, A.P. (2024). Fitosanitarnyi kontrol' za marokkskoi saranchoi v Kazahstane v usloviyah antropogennogo vliyaniya i masshtabnyh izmenenii klimata [Phytosanitary control of Moroccan locusts in Kazakhstan under conditions of anthropogenic influence and large-scale climate change]. *Elita.uz - Elektron Ilmiy Jurnal*, 1(1), 20–22. [*In Russian*].

18 Sergeev, M.G., Childebaev, M.K., Vankova, I.A., Gapparov, F.A., Kambulin, V.E., Kokanova, E.O., Lachininsky, A.V., Pshenitsyna, L.B., Temreshev, I.I., Chernyakhovsky, M.E. *et al*. (2022). *Ital'yanskaja sarancha Calliptamus italicus (Linnaeus, 1758): Morfologiya, rasprostranenie, ekologija, upravlenie populyaciyami* [*Italian locust Calliptamus italicus (Linnaeus, 1758): Morphology, distribution, ecology, and population management*]. Rome: FAO, XVIII, 333. DOI: 10.4060/cb7921ru. [*In Russian*].

19 Sagitov, A.O., Duisembekov, B.A., Ismuhambetov, Zh.D. i dr. (2016). *Fitosanitarnyi monitoring osobo opasnyh i vrednyh organizmov (vreditelei, boleznei, sornyakov)* [*Phytosanitary monitoring of especially dangerous and harmful organisms (pests, diseases, weeds)*]. Almaty: Kazahskii nauchno-issledovatel'skii institut zashhity i karantina rastenii, 3-e izd., 376. [*In Russian*].

20 Kambulin, V.E., Yskak, S., Uspanov, A.M., Niyazbekov, Zh.B., Esimov, U.O., Boltaev, M.D., Ermekbaev, B.U., Bashkaraev, N.A., Nurmanov, Zh.G. (2024). *Rekomendacii po primeneniju bespilotnyh letatel'nyh apparatov (BPLA) dlja fitosanitarnogo monitoringa lichinok saranchovyh* [*Recommendations on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for phytosanitary monitoring of locust larvae*]. Almaty: Kazahskii nauchno-issledovatel'skii institut zashhity i karantina rastenii im. Zh. Zhiembaeva, 36. [*In Russian*].

21 Latchininsky, A.V. (2026). *Practical guidelines on locust and grasshopper monitoring in Caucasus and Central Asia.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/ DOI: 10.4060/cd7870en.

22 Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.

23 Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

24 Rebaudo, F., Rabhi, V.-B. (2018). Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: Review of major developments, challenges, and future directions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(8), 607–617. DOI: 10.1111/eea.12693.

Қазақстанның агроклиматтық аймақтарында зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық дамуын кеңістіктік талдау негізінде болжау

Байбусенов К.С., Елубаев Д.Р., Усалинов Е.Б., Аманбай Ж.З.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық болжамы фитосанитариялық мониторингті уақтылы ұйымдастыру және зерттеу мерзімдерін оңтайландыру үшін маңызды. Зерттеудің мақсаты 2003–2025 жылдардағы фитосанитариялық мониторинг деректері негізінде Қазақстанның агроклиматтық аймақтарындағы зиянды саяқ шегірткелер дернәсілдерінің жаппай шығу мерзімдерінің кеңістіктік ерекшеліктері мен көпжылдық динамикасын анықтау.

Материалдар мен әдістер. Қазақстанның әкімшілік аудандары бойынша зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық фазаларының басталу мерзімдері туралы көпжылдық деректер пайдаланылды. Дернәсілдердің жаппай шығуының күнтізбелік күндері жылдың реттік күндеріне (DOY) түрлендірілді. Кеңістіктік талдау аумақтың жылумен және ылғалмен қамтамасыз етілу көрсеткіштеріне негізделген агроклиматтық аудандастыруды ескере отырып жүргізілді. Аймақтар арасындағы айырмашылықтар Фридман критерийімен, кеңістіктік реттіліктің сәйкестігі Кендалл конкордация коэффициентімен, көпжылдық үрдістер Манн–Кендалл критерийі және Сен көлбеуін бағалау әдісімен бағаланды. Фенологиялық режимнің кеңістіктік тұрақтылығы Спирменнің рангтік корреляция коэффициенті бойынша бағаланды.

Нәтижелер. Қазақстанның агроклиматтық аймақтары арасында дернәсілдердің жаппай шығу мерзімдерінің айқын кеңістіктік сарапануы анықталды. Ең ерте және ең кеш мерзімдер арасындағы айырмашылық 23 тәулікті құрады: аридті ыстық аймақта 21 сәуірден өте ылғалды қоңыржай жылы аймақта 14 мамырға дейін. Аймақтар арасындағы айырмашылықтар статистикалық тұрғыдан маңызды болды (χ^2=226,0; p<0,001), ал кеңістіктік реттіліктің тұрақтылығы жоғары болды (W=0,983). Дернәсілдердің ертерек шығуына қарай статистикалық тұрғыдан маңызды үрдіс анықталды, оның жылдамдығы жылына −0,20 тәулік (p=0,010), бұл ретте кеңістіктік құрылым сақталды (ρ=0,995). Аудан мен жыл тұрақты әсерлері бар модель шығу мерзімдерінің вариациясының 98,9% түсіндірді. Дернәсілдердің жаппай шығуынан кейін екінші жасқа өтуінің болжамды кезеңі 13–16 тәулікті құрады.

Қорытынды. Агроклиматтық аудандастыру зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық дамуының кеңістіктік біркелкі еместігін ескеруге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер нақты далалық және агрометеорологиялық деректерді ескере отырып, фитосанитариялық зерттеулер мерзімдерін саралап жоспарлау және фенологиялық болжау жүйесін жетілдіру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: зиянды саяқ шегірткелер; фенологиялық даму; фенологиялық болжау; агроклиматтық аймақтар; кеңістіктік талдау; фитосанитариялық мониторинг.

Forecasting the phenological development of harmful non-gregarious locusts in the agroclimatic zones of Kazakhstan based on spatial analysis

Kurmet S. Baibussenov, Dastan R. Yelubayev, Yerkin B. Ussalinov, Zhasulan Z. Amanbay

NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Forecasting the phenology of damaging non-gregarious locusts allows timely organization of phytosanitary monitoring, optimizing survey timing. The goal of the research was to identify the spatial features and trends over time in the period of mass emergence of damaging non-gregarious locust nymphs across agro-climatic regions of Kazakhstan using data from phytosanitary surveillance conducted between 2003–2025.

Materials and Methods. Long-term data on the dates of phenophases in harmful non-grasshopper species from regions of Kazakhstan are presented. The calendar date of massive nymph emergence was transformed to day-of-year (DOY). Spatial analyses were carried out with consideration of agro-climate zoning according to thermal and water supply criteria. Differences between zones were assessed using the Friedman test, consistency of the spatial order was assessed using Kendall's coefficient of concordance, long-term trends were assessed using the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. The spatial stability of the phenological regime was assessed using Spearman's rank correlation coefficient.

Results. Spatial variability of time of mass nymphs hatching for agro-climatic regions of Kazakhstan revealed. Difference between minimum and maximum dates – 23 days (April 21 in dry-hot region up to May 14 in very-wet moderately-warm region); differences between regions are significant (χ^2=226.0; $p<0.001$), stability of spatial pattern is high (W=0.983). Statistically significant trend towards earlier nymph hatching was -0.20 days/year (p=0.010) with preserved spatial pattern (rho = 0.995); model with fixed effects of district and year accounted for 98.9% variance in hatching dates; estimated time from mass hatching until reaching second instar was 13–16 days.

Conclusion. Agroclimatological zonation allows considering the space-time variability of phenology of damaging nongregarious locusts. The obtained results may find application in differential scheduling of phytosurveys and optimization of a phenological forecasting system based on current field and agro-meteorological observations.

Keywords: harmful non-gregarious locusts; phenological development; phenological forecasting; agroclimatic zones; spatial analysis; phytosanitary monitoring.

УДК 633.358:631.524.85:631.559 **Исследовательская статья**

Формирование урожайности гороха посевного в зависимости от хозяйственно-ценных признаков и погодных условий сухостепной зоны Северного Казахстана

Ошергина И.П., Тен Е.А., Гладких Д.М., Жанзаков Б.Ж.

ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А. И. Бараева», Казахстан, п. Научный

Автор-корреспондент: Ошергина И.П.: egoriha76@mail.ru
Соавторы: (1: ЕТ): jekon_t87.07@mail.ru; (2: ДГ): dserviced@mail.ru; (3: БЖ): baha_zhan93@mail.ru

Получено: 08.09.2026 Принято: 29.09.2026 Опубликовано: 09.10.2026

Авторские права: Ошергина И.П. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Продуктивность гороха посевного (*Pisum sativum* L.) в условиях сухостепной зоны Северного Казахстана в значительной степени зависит от погодных условий вегетационного периода, прежде всего от влагообеспеченности в критические фазы развития растений. Изучение взаимосвязей между урожайностью и элементами её структуры имеет важное значение для селекции адаптивных форм. Цель исследования – установить связь урожайности гороха с хозяйственно-ценными признаками и оценить её зависимость от погодных условий.

Материалы и методы. Полевые исследования проведены в 2024–2025 гг. на базе ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (НПЦЗХ им. А.И. Бараева). Изучено 37 коллекционных образцов гороха усатого и листочкового морфотипов. Оценка включала основные элементы структуры урожая: число бобов и семян на растении, массу семян с растения и массу 1000 зёрен. Урожайность определяли по массе семян с делянки. Погодные условия характеризовали по температуре воздуха, количеству осадков и гидротермическому коэффициенту. Для анализа использован корреляционный метод.

Результаты. Наибольшая средняя урожайность среди представленных образцов отмечена у усатого Л-26/120 – 353,0 г/м^2 и листочкового Л-64/83 – 338,9 г/м^2 морфотипов, что выше соответствующих стандартов на 95,5 и 71,8 г/м^2. Между числом семян на растении и массой семян с растения установлена сильная положительная корреляция: у усатого морфотипа r = 0,96 в 2024 г. и 0,89 в 2025 г., у листочкового – r = 0,81 в оба года ($p<0,05$). Связь этих признаков с урожайностью была слабее: соответственно r = -0,46 и -0,42 в 2024 г., 0,23 и 0,07 в 2025 г. у усатых форм; 0,25 и 0,10 в 2024 г., -0,17 и -0,13 в 2025 г. у листочковых форм ($p>0,05$). У листочкового морфотипа в 2025 г. выявлена положительная корреляция урожайности с высотой прикрепления нижнего боба (r = 0,52; $p <0,05$).

Заключение. Число семян на растении и масса семян с растения характеризуют индивидуальную продуктивность, однако их использование при отборе необходимо сочетать с прямым учётом урожайности делянки. Л-26/120 и Л-64/83 выделены для дальнейшего испытания. Двухлетние наблюдения не позволяют подтвердить преимущество раннеспелых форм или количественно оценить влияние погодных факторов на урожайность.

Ключевые слова: горох полевой; урожайность; элементы структуры урожая; корреляционные связи; погодные условия.

Введение

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) относится к числу наиболее значимых зернобобовых культур. Его семена служат источником растительного белка и используются в пищевых и кормовых целях [1, 2]. Благодаря симбиотической азотфиксации горох способствует пополнению запасов биологического азота в почве, повышает ценность севооборота и снижает потребность последующих культур в минеральных азотных удобрениях [1, 3]. Сочетание продовольственного,

кормового и агротехнического значения определяет устойчивый интерес к культуре и необходимость повышения стабильности её урожайности.

В сухостепной зоне Северного Казахстана продукционный процесс гороха протекает при неустойчивом увлажнении и выраженной изменчивости температурного режима. В этих условиях уровень урожайности определяется не только общим количеством осадков, но и их распределением по фазам развития растений. Наиболее чувствительными являются периоды цветения, формирования бобов и налива семян: дефицит влаги в это время ограничивает образование репродуктивных органов, уменьшает число выполненных семян и снижает массу семян с растения [4]. Повышенные температуры усиливают действие засухи и ускоряют прохождение межфазных периодов, поэтому реакция генотипов зависит также от продолжительности вегетации и сроков наступления генеративных фаз.

Урожайность представляет собой интегральный признак, формирующийся в результате взаимодействия числа продуктивных узлов и бобов, числа семян на растении, массы семян с растения и массы 1000 зёрен. Соотношение между этими показателями может меняться под влиянием условий среды вследствие компенсации одних элементов структуры урожая другими. Корреляционный анализ позволяет установить направленность и тесноту таких связей, определить признаки, в наибольшей степени сопряжённые с продуктивностью, и оценить возможность их использования в селекционном отборе [5]. При этом практическую ценность имеют признаки, сохраняющие информативность в разные по влагообеспеченности годы.

Усатые и листочковые формы гороха различаются архитектоникой растений и характером формирования ассимиляционного аппарата, поэтому вклад отдельных морфологических признаков и элементов структуры урожая в продуктивность может быть неодинаковым. Для сухостепной зоны Северного Казахстана сведения о характере этих взаимосвязей при контрастных гидротермических условиях остаются недостаточными. Сравнительное изучение морфотипов в годы, различающиеся по температурному режиму и влагообеспеченности, необходимо для обоснованного отбора исходного материала, сочетающего высокую продуктивность с адаптивностью к дефициту влаги. Это определяет актуальность настоящего исследования.

Научная новизна исследования состоит в сравнительной характеристике связей урожайности с морфологическими признаками и элементами индивидуальной продуктивности у двух морфотипов гороха в условиях 2024–2025 гг. Цель исследования – установить характер этих связей у коллекционных образцов усатого и листочкового морфотипов и сопоставить их проявление в различавшиеся по влагообеспеченности годы.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились в 2024–2025 гг. в северном регионе Казахстана на опытных полях НПЦЗХ им. А.И. Бараева. Объектом исследования являлись коллекционные образцы гороха полевого (*Pisum sativum* L.). В испытании находились 37 образцов разного эколого-географического происхождения (Казахстан – 2 шт., Россия – 27 шт., США – 2 шт., Канада – 1 шт. и Венгрия – 2 шт.) , в том числе 14 образцов усатого морфологического типа (стандарт – сорт КАСИБ) и 23 образца листочкового морфотипа (стандарт – сорт Өріс).

Почвенный покров – чернозём южным карбонатным. По данным агрохимической паспортизации опытных участков Центра, содержание органического вещества в почве составляет 3,4–3,7%, подвижного фосфора – 0,10–0,15%, обменного калия – 8–14 мг/кг, нитратного азота – 4–15 мг/кг. Содержание бора составляет 0,7 мг/кг, молибдена – 0,2 мг/кг, марганца – около 20 мг/кг, цинка – 0,8 мг/кг, меди – 0,2 мг/кг. Реакция почвенной среды слабощелочная: pH водной вытяжки – 7,2–7,8. Плотность почвы находится в пределах 1,0–1,2 г/см^3, общая порозность – 50–55%, воздухоёмкость – 25–30% [6].

Предшественник – чистый пар. Перед посевом определяли лабораторную всхожесть семян по ГОСТ 12038-84 [7], массу 1000 зёрен по ГОСТ 12042-80 [8]. Посев осуществлялся селекционной сеялкой ССФК-7 при норме 100 всхожих семян на 1 м^2 и глубине заделки 3–5 см., в оптимальные сроки 20–22 мая. Площадь делянки составляла 4 м^2, повторность опыта трёхкратная.

В период вегетации проводили фенологические наблюдения за основными фазами роста и развития растений согласно методическим рекомендациям Всероссийского института

генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) [9] и Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [10].

Перед уборкой с учётных площадок отбирали 30 растений для структурного анализа. Определяли длину стебля, высоту прикрепления нижнего боба, число междоузлий и продуктивных узлов, число бобов и семян на растении, число семян в бобе, массу семян с растения и массу 1000 зёрен.

Уборку проводили селекционным комбайном Wintersteiger Classic по достижению хозяйственной спелости и влажности зерна 14-15% (III декада августа). Урожайность определяли по массе семян с учётной площади делянки и выражали в г/м^2:

$$Y = m/S \times 1000,$$

где

m – масса семян с делянки, кг;

S – фактическая учётная площадь, м^2.

Статистическую обработку проводили по *Доспехову Б.А.* [11]; в исходной обработке использованы AGROS 2.11 и пакет Snedecor в модификации *Сорокина О.Д.* Степень тесноты линейной связи по коэффициенту корреляции Пирсона оценивают по его абсолютному значению (r): r = 0,0 - линейная связь отсутствует; 0,0 ≤ r ≤ 0,30 –слабая; 0,30≤ r ≤ 0,70 – средняя; 0,70 ≤ r ≤ 1,00 – сильная; r = 1,00 – полная линейная связь.

Результаты

Гидротермические условия учитывали при сопоставлении результатов двух лет [12]. Агрометеорологические условия 2024–2025 гг. значительно различались по уровню влагообеспеченности как в целом за вегетационный период, так и по межфазным интервалам, что позволило объективно оценить продуктивность гороха посевного и особенности формирования его структуры.

В качестве основных анализируемых показателей использованы температура воздуха, количество осадков и гидротермический коэффициент *Селянинова* (ГТК), отражающий соотношение тепловых ресурсов и влагообеспеченности.

ГТК рассчитывается как

$$\frac{10\Sigma P}{\Sigma t},$$

где

ΣP – сумма осадков, мм, за период со среднесуточной температурой выше 10 °C;

Σt – сумма среднесуточных температур за тот же период.

Для интерпретации приняты следующие интервалы:

ГТК <0,30 – очень сухо;

0,30-0,49 – сухо;

0,50-0,69 – засушливо;

0,70-0,99 – недостаточное увлажнение;

1,00-1,50 – достаточное увлажнение;

> 1,50 – избыточное увлажнение [20].

В таблице 1 приведены календарные периоды; их нельзя отождествлять с межфазными интервалами всех образцов. Отнесение осадков и температур к фазам развития каждого генотипа требует сопоставления ежедневных метеонаблюдений с фактическими датами начала и окончания соответствующих фаз.

Таблица 1. Агрометеорологические условия по фазам развития гороха, 2024–2025 гг.

Фаза развития	Средняя температура, °C		Осадки, мм		ГТК	
	2024 г.	2025 г.	2024 г.	2025 г.	2024 г.	2025 г.
Посев – всходы	11,2	16,2	76,9	32,4	2,30	1,20
Фаза активного роста растений	22,6	19,5	63,2	40,0	0,92	0,70

Продолжение таблицы 1

Цветение – формирование бобов	21,7	19,4	63,3	10,2	0,93	0,17
Налив и созревание семян	17,3	17,0	106,6	104,8	1,95	1,99
Итого/среднее	18,2	18,0	310,0	187,4	1,52	1,01

В 2024 году в течение вегетационного периода отмечалась повышенная влагообеспеченность: сумма осадков за май–август составила 310,0 мм, что значительно превышало среднемноголетние значения. В 2025 году погодные условия были контрастными: в июне–июле наблюдалась засуха, в августе – переувлажнение. Наиболее неблагоприятные условия для растений гороха сложились в июле 2025 года, когда гидротермический коэффициент снизился до 0,17. Агрометеорологические условия 2024 и 2025 гг. контрастно различались по влагообеспеченности, что позволило выявить реакцию генотипов на дефицит влаги в критические фазы развития. Продолжительность вегетационного периода является важным показателем адаптивности сортов гороха и определяется температурными условиями и влагообеспеченностью [13]. В условиях повышенных температур развитие растений ускоряется, тогда как дефицит влаги в критические фазы может приводить к сокращению межфазных периодов и снижению продуктивности.

По результатам исследований 2024–2025 гг. выявлено, что коллекционные образцы гороха различались по продолжительности периодов «всходы – цветение» и «всходы – созревание» (таблица 2).

Таблица 2. Продолжительность периодов от цветения и созревания у выделенных образцов гороха

Образец	Период от всходов до, сут.					
	цветения			созревания		
	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	среднее
Усатый морфотип						
КАСИБ, стандарт	30	34	32	77	79	78
УГ 94-1084	32	35	34	76	80	78
27/01	29	34	32	75	82	79
Л-28-02	33	36	35	75	80	78
Л 32/05	32	34	33	73	80	77
Ву 24/90	34	38	36	75	79	77
Л-37/03	32	35	34	74	77	76
Акс. ус к. 8921	37	34	36	78	80	79
Obrazcov ciflik 13	33	35	34	75	78	77
Среднее, n = 9	32,4	35,0	34,0	75,3	79,4	77,7
V, %	7,1	3,8	4,4	2,0	1,8	1,3
$НСР_{05}$	0,5	1,2	1,6	2,1	1,0	1,3
Листочковый морфотип						
Өріс, стандарт	34	36	35	81	80	81
Уг 92-1352	33	33	33	73	73	73
Л-64/83	33	34	34	81	70	76
Л-47/02	33	32	33	79	71	75
Л-22090	32	32	32	73	72	73
Сахарный 2	40	35	38	83	73	78
Л-45/02	32	35	34	73	78	76

Продолжение таблицы 2

К-8233	33	34	34	78	73	76
К 7499 Орегон шуга	34	38	36	75	73	74
Аляска	34	34	34	75	72	74
Сенатор	38	37	38	80	76	78
Жегалова 112	34	33	34	75	72	74
Совинтер 1	32	33	33	74	73	74
Среднее, n = 13	34,0	34,3	34,5	76,9	73,5	75,5
V, %	7,0	5,4	5,4	4,6	3,8	3,1
$НСР_{05}$	2,4	1,6	2,2	3,2	1,1	2,3

У выделенных образцов усатого морфотипа продолжительность периода «всходы – цветение» составляла в среднем 32–36 суток, а период от всходов до полного созревания – 76–79 суток. Стандартный сорт КАСИБ характеризовался продолжительностью периода «всходы-цветение» 32 суток и вегетационного периода – 78 суток. Более ранним цветением отличались образцы 27/01 и Л-32/05, у которых данный период составлял 32–33 суток.

У образцов листочкового морфотипа период «всходы – цветение» варьировал от 32 до 38 суток, продолжительность вегетационного периода – от 73 до 81 суток. Стандартный сорт Өріс характеризовался значениями 35 и 81 сутки соответственно. Более раннеспелыми среди листочковых форм были образцы УГ 92-1352 и Л-22090, у которых вегетационный период составлял 73 суток.

Связь продолжительности вегетационного периода с урожайностью у усатых образцов составляла r = 0,52 в 2024 г. и -0,04 в 2025 г., у листочковых – -0,13 и 0,10 соответственно; при принятых объёмах выборок эти связи статистически незначимы (p> 0,05). Следовательно, общее преимущество раннеспелых генотипов по урожайности в данном опыте не установлено. Роль фенологии в адаптации зернобобовых культур показана в других исследованиях [14], однако для проверяемого материала необходимы сопоставление групп спелости и дальнейшие испытания.

Элементы структуры урожая. Анализ показал значительную изменчивость изучаемых признаков среди коллекционных образцов гороха (таблица 3).

Изменчивость признаков оценена по коэффициентам вариации в пределах представленных групп образцов. У усатого морфотипа V массы семян с растения составлял 27,6% в 2024 г. и 28,5% в 2025 г., числа семян на растении – 21,9 и 21,0%, массы 1000 зёрен – 9,8 и 11,7%. У листочкового морфотипа соответствующие значения составляли 35,7 и 21,5%; 22,1 и 20,9%; 21,9 и 12,9%. Таким образом, выраженность изменчивости зависела от признака, морфотипа и года.

У выделенных образцов усатого морфотипа число бобов на растении в среднем составляло 7–9 шт., а число семян с растения варьировало от 24 до 33 шт. Наибольшее количество семян на растении отмечено у образцов Л 46/08 и Л-37/03 (в среднем 33 и 32 шт. соответственно). Масса семян с растения у данных образцов также была повышенной и достигала 6,5–7,1 г, что превышало показатели стандарта КАСИБ (4,4 г). Масса 1000 зёрен у выделенных образцов усатого морфотипа изменялась от 176,2 до 223,6 г, при этом наиболее крупным зерном отличался образец Л-37/03 (223,6 г).

Среди выделенных образцов листочкового морфотипа число бобов на растении составляло 5–9 шт., а число семян с растения варьировало от 22 до 30 шт. Наиболее высокими значениями данного признака характеризовались образцы Л-22090 и Л 38-98, у которых число семян с растения достигало 30 шт. Высокая масса семян с растения отмечена у образцов Л-22090 (7,2 г) и Аляска (6,4 г), что свидетельствует о высоком потенциале их продуктивности.

Масса 1000 зёрен у выделенных образцов листочкового морфотипа варьировала от 160,2 до 246,8 г, при этом наиболее крупным зерном отличался образец Аляска (246,8 г), а также образец Л-22090 (238,2 г).

Число семян на растении и масса семян с растения характеризуют индивидуальную продуктивность образцов. Их значение для формирования урожайности с единицы площади необходимо оценивать отдельно, поскольку тесная взаимосвязь этих признаков между собой не означает наличия столь же тесной связи с урожайностью делянки. Показатели урожайности выделенных образцов приведены в таблице 4.

№ 3 (131)/2026 ISSN 3135-2434, 3135-2448

Таблица 3. Элементы структуры урожая выделенных образцов гороха, 2024–2025 гг.

Образец	Число с растения, шт.									Масса, г					
	бобов			семян						семян с растения			1000 зёрен		
				в бобе			с растения								
	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	средняя	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	среднее
КАСИБ, стандарт	10	7	9	3	5	4	30	19	25	5,7	3,1	4,4	187,5	164,9	176,2
УГ 94-1084	9	4	7	5	6	5	37	18	27	7,2	3,5	5,3	196,2	196,1	196,1
27/01	10	7	9	5	5	5	38	27	32	6,8	4,9	5,9	181,9	185,7	183,8
Л-28-02	6	8	7	4	5	5	20	28	24	3,1	6,3	4,7	157,0	221,1	189,1
Л 32/05	6	8	7	5	6	5	30	33	32	5,5	7,2	6,4	186,1	218,3	202,2
Л 46/08	10	6	8	5	5	5	41	24	33	7,7	5,3	6,5	205,6	221,7	213,6
Л-37/03	11	6	9	5	5	5	39	25	32	8,3	5,8	7,1	215,3	231,9	223,6
Среднее, n = 7	8,9	6,6	8,0	4,6	5,3	4,9	33,6	24,9	29,3	6,3	5,2	5,8	189,9	205,7	197,8
V, %	23,0	21,3	12,5	17,2	9,2	7,8	21,9	21,0	13,0	27,6	28,5	17,3	9,8	11,7	8,4
Листочковый морфотип															
Өріс, стандарт	9	6	7	4	7	6	33	31	32	4,0	6,1	5,1	120,7	199,7	160,2
Л-64/83	6	7	6	6	5	5	23	22	22	4,1	5,5	4,8	178,9	253,2	216,1
Л-47/02	8	4	6	5	6	5	30	20	25	7,2	4,2	5,7	236,8	213,8	225,3
Л-22090	11	8	9	6	5	5	37	23	30	9,2	5,3	7,2	244,9	231,6	238,2
Л 38-98	8	9	9	5	6	5	24	36	30	4,6	6,5	5,5	191,7	182,0	186,8
Л-45/02	8	7	7	5	6	5	29	26	28	5,0	4,9	4,9	170,4	189,1	179,8
К-8233	7	10	8	4	6	5	17	34	25	2,9	8,1	5,5	168,2	239,3	203,8
Аляска	5	6	5	6	5	6	25	27	26	5,7	7,2	6,4	226,4	267,2	246,8
Сенатор	6	4	5	7	5	6	35	22	29	5,6	4,4	5,0	159,1	199,5	179,3
ТОТ 1939	6	5	6	5	7	6	25	23	24	3,7	5,3	4,5	148,4	233,3	190,9
Среднее, n = 10	7,4	6,6	6,8	5,3	5,8	5,4	27,8	26,4	27,1	5,2	5,8	5,5	184,6	220,9	202,7
V, %	24,0	30,5	21,7	17,9	13,6	9,6	22,1	20,9	11,7	35,7	21,5	14,9	21,9	12,9	13,9

Таблица 4. Урожайность выделенных образцов гороха, 2024–2025 гг.

	Урожайность, г/м²			Отклонение от стандарта, +/-, г/м²		
	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	среднее
КАСИБ, St	178,3	336,7	257,5	0,0	0,0	0,0
Л-26/120	298,3	407,8	353,0	120,0	71,1	95,5
УГ 94-1084	191,4	387,4	289,4	13,1	50,7	31,9
Л-28-02	227,4	374,4	300,9	49,1	37,7	43,4
Ву 24/90	186,3	353,3	269,8	8,0	16,6	12,3
Л 46/08	249,1	383,3	316,2	70,8	46,6	58,7
Аксайский усатый к8921	217,1	337,8	277,4	38,8	1,1	19,9
Среднее, n = 7	221,1	368,7	294,9	-	-	-
V, %	19,1	7,3	10,9	-	-	-
$НСР_{05}$	15,1	28,3	11,9	-	-	-
Листочковый морфотип						
Өріс, стандарт	207,4	326,8	267,1	0,00	0,00	0,00
Л-64/83	221,1	456,7	338,9	13,7	129,9	71,8
Таловец 55	227,4	363,9	295,6	20,0	37,1	28,6
Л-45/02	249,1	384,4	316,8	41,7	57,7	49,7
ТОТ 1939	226,3	388,3	307,3	18,9	61,6	40,2
Walerking K8343	220,6	399,4	310,0	13,2	72,7	42,9
Среднее, n = 6	225,3	386,6	306,0	-	-	-
V, %	6,1	11,1	7,8	-	-	-
$НСР_{05}$	12,5	25,1	23,12	-	-	-

Среди образцов усатого морфотипа стандартный сорт КАСИБ сформировал среднюю урожайность 257,5 г/м². Наиболее высокой продуктивностью отличался образец Л-26/120 с урожайностью 353,0 г/м², что на 95,5 г/м² выше стандарта. Высокие значения также отмечены у образцов Л 46/08 (316,2 г/м²) и Л-28-02 (300,9 г/м²), превышение стандарта составило соответственно 58,7 и 43,4 г/м². Урожайность выше уровня стандарта также показали образцы УГ 94-1084 (289,4 г/м²), Ву 24/90 (269,8 г/м²) и Аксайский усатый к 8921 (277,4 г/м²).

Среди листочковых форм стандартный сорт Өріс сформировал среднюю урожайность 267,1 г/м². Наиболее продуктивным был образец Л-64/83 (338,9 г/м²), превышение стандарта составило 71,8 г/м². Высокой урожайностью отличались также образцы Л-45/02 (316,8 г/м²), Walerking K8343 (310,0 г/м²) и ТОТ 1939 (307,3 г/м²), с превышением стандарта на 49,7; 42,9 и 40,2 г/м² соответственно. Образец Таловец 55 также превысил стандарт, сформировав 295,6 г/м².

Несмотря на дефицит осадков в июне-июле 2025 года, урожайность всех образцов, представленных в таблице 4, была выше, чем в 2024 году. У стандартов КАСИБ и Өріс она увеличилась соответственно на 158,4 и 119,4 г/м², у образцов Л-26/120 и Л-64/83 – на 109,5 и 235,6 г/м². Средняя урожайность представленной группы усатых образцов, включая стандарт (n = 7), увеличилась с 221,1 до 368,7 г/м², листочковых (n = 6) – с 225,3 до 386,6 г/м². Эти средние характеризуют отобранные для таблицы образцы и не являются средними по всей коллекции.

Корреляционные связи урожайности, продолжительности вегетации, морфологических признаков и элементов структуры урожая анализировали отдельно по морфотипам и годам. Коэффициенты для усатого морфотипа приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции хозяйственно ценных признаков у усатого морфотипа гороха в 2024 г.

2024 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1У, г/м^2												
2 ∑t ≥ 10 °C	0,13	-										
3 КО, мм	0,14	0,99**	-									
4 ВП, сут	0,52	0,56*	0,56*	-								
5 ЧМУ, шт.	-0,36	-0,31	-0,31	-0,30	-							
6 ЧПУ, шт.	-0,40	-0,45	-0,45	-0,38	0,50	-						
7 ДСР, см	-0,26	-0,35	-0,36	-0,16	-0,26	0,37	-					
8 ВПНБ, см	0,13	-0,19	-0,19	0,34	-0,30	0,19	0,18	-				
9 ЧБР, шт.	-0,53	-0,40	-0,41	-0,40	0,47	0,83**	0,59*	0,24	-			
10 ЧСБ, шт.	0,10	-0,02	-0,02	0,39	0,06	0,12	-0,18	0,38	-0,20	-		
11 ЧСР, шт.	-0,46	-0,30	-0,31	-0,17	0,38	0,61*	0,20	0,30	0,63*	-0,01	-	
12 МСР, г	-0,42	-0,34	-0,35	-0,13	0,40	0,49	0,20	0,30	0,56*	0,04	0,96**	-
13 М1000, г	0,21	-0,33	-0,33	0,22	0,06	-0,11	0,18	0,36	-0,01	0,29	0,17	0,43

Примечание: [1]Урожайность; [2]∑t ≥ 10 °C; [3]Количество осадков, мм; [4]Вегетационный период, сут; [5]Число междоузлий, шт.; [6]Число продуктивных узлов, шт.; [7]Длина стебля растения, см; [8]Высота прикрепления нижнего боба, см; [9]Число бобов на растении, шт.; [10]Число семян в бобе, шт.; [11]Число семян с растения, шт.; [12]Масса семян с растения, г; [13]Масса 1000 зёрен, г. **Корреляция значима на уровне 0,01; *Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

У усатого морфотипа в 2024 г. связь урожайности с продолжительностью вегетации была положительной, средней по силе (r = 0,52). Отрицательные связи урожайности с числом семян на растении (r = -0,46) и массой семян с растения (r = -0,42) также не достигали уровня значимости 0,05. Для связи с числом бобов (r = -0,53).

Наиболее выраженные корреляционные связи выявлены между элементами структуры урожая. Установлена тесная положительная связь между числом продуктивных узлов и числом бобов на растении (r = 0,83; p ≤ 0,01), числом бобов и числом семян с растения (r = 0,63; p ≤ 0,05), а также между числом семян с растения и массой семян с растения (r = 0,96; p ≤ 0,01). Связь урожайности с большинством изученных признаков в 2024 г. была слабой или отрицательной.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции хозяйственно ценных признаков у усатого морфотипа гороха в 2025 г.

2025 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1У, г/м^2												
2 ∑t ≥ 10 °C	0,99	-										
3 КО, мм	0,04	0,88**	-									
4 ВП, сут	-0,04	0,95**	0,86**	-								
5 ЧМУ, шт.	0,08	0,21	0,05	0,14	-							
6 ЧПУ, шт.	0,30	0,28	0,38	0,05	0,41	-						
7 ДСР, см	0,12	0,57*	0,52	0,50	0,68**	0,54*	-					
8 ВПНБ, см	0,04	0,53	0,42	0,54*	0,23	0,07	0,63*	-				
9 ЧБР, шт.	0,27	0,27	0,14	0,01	0,44	0,77**	0,55*	0,24	-			
10 ЧСБ, шт.	-0,02	-0,20	-0,06	-0,29	0,02	0,34	0,09	0,28	0,26	-		
11 ЧСР, шт.	0,23	0,16	0,18	-0,11	0,31	0,84**	0,46	0,14	0,90**	0,35	-	
12 МСР, г	0,07	0,03	0,20	-0,17	0,34	0,76**	0,47	0,07	0,69**	0,29	0,89**	-
13 М1000, г	-0,27	-0,20	0,14	-0,04	0,02	-0,16	-0,5	-0,25	-0,54*	-0,18	-0,31	0,14

В 2025 году также сохранялась тесная взаимосвязь между агроклиматическими показателями. Корреляция между ∑t ≥ 10 °C и количеством осадков составила r = 0,88 (p ≤ 0,01), между ∑t ≥ 10 °C и продолжительностью вегетационного периода – r = 0,95 (p ≤ 0,01). Среди морфологических признаков отмечена положительная связь между числом междоузлий и длиной стебля (r = 0,68; p ≤ 0,01), а также между длиной стебля и высотой прикрепления нижнего боба (r = 0,63; p ≤ 0,05).

Наиболее тесные связи вновь выявлены между элементами структуры урожая: число продуктивных узлов коррелировало с числом бобов на растении (r = 0,77; p ≤ 0,01), число бобов – с числом семян с растения (r = 0,90; p ≤ 0,01), а число семян с растения – с массой семян с растения (r = 0,89; p ≤ 0,01).

Корреляционный анализ у образцов листочкового морфотипа показал, что формирование урожайности определяется совокупным влиянием морфологических признаков и элементов структуры урожая. В условиях 2024 года более выраженную роль играли элементы продуктивности. Урожайность имела слабые положительные связи с длиной стебля (r = 0,30), высотой прикрепления нижнего боба (r = 0,25) и числом семян с растения (r = 0,25). Отрицательная корреляция отмечена с числом бобов (r = -0,20) и числом семян в бобе (r = -0,20), что указывает на перераспределение продуктивности между элементами структуры урожая (таблицы 7 и 8).

Таблица 7. Взаимосвязь урожайности гороха листочкового морфотипа с хозяйственно-ценными признаками и её зависимость от погодных условий, 2024 г.

2024 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1У, г/м²												
2 ∑t ≥ 10 °C	0,07	-										
3 КО, мм	0,11	0,99**	-									
4 ВП, сут	-0,13	0,81**	0,78**	-								
5 ЧМУ, шт.	0,08	-0,07	-0,04	0,07	-							
6 ЧПУ, шт.	0,28	-0,07	-0,06	-0,03	0,56**	-						
7 ДСР, см	0,30	0,07	0,10	0,09	0,52*	0,10	-					
8 ВПНБ, см	0,25	0,27	0,30	0,19	0,31	-0,10	0,88**	-				
9 ЧБР, шт.	0,20	-0,33	-0,35	-0,23	0,43*	0,75**	0,05	-0,17	-			
10 ЧСБ, шт.	-0,20	-0,23	-0,23	-0,03	0,08	0,16	-0,33	-0,37	-0,03	-		
11 ЧСР, шт.	0,25	-0,14	-0,15	0,06	0,54**	0,71**	0,04	-0,13	0,66**	0,38	-	
12 МСР, г	0,10	-0,35	-0,36	-0,15	0,61**	0,69**	0,02	-0,14	0,63**	0,40	0,81**	-
13 М1000, г	-0,40	-0,23	-0,25	-0,16	0,12	0,13	-0,14	-0,17	0,05	-0,06	-0,20	0,34

У образцов листочкового морфотипа в 2024 г. выявлены положительные корреляции между числом бобов и числом семян на растении (r = 0,66, p ≤ 0,01), а также между числом семян и массой семян с растения (r = 0,81, p ≤ 0,01). Длина стебля тесно коррелировала с высотой прикрепления нижнего боба (r = 0,88, p ≤ 0,01). При этом связи урожайности с числом бобов, числом семян и массой семян с растения были значительно слабее и составляли соответственно 0,20; 0,25 и 0,10.

Таблица 8. Взаимосвязь урожайности гороха листочкового морфотипа с хозяйственно-ценными признаками и её зависимость от погодных условий, 2025 г.

2025 г.	1У, г/м²	2∑t ≥ 10 °C	3КО, мм	4ВП, сут	5ЧМУ, шт.	6ЧПУ, шт.	7ДСР, см	8ВПНБ, см	9ЧБР, шт.	10ЧСБ, шт.	11ЧСР, шт.	12МСР, г
∑t ≥ 10 °C	0,11	-										
КО, мм	0,07	0,94**	-									
ВП, сут	0,10	0,97**	0,91**	-								
ЧМУ, шт.	0,13	-0,10	-0,20	-0,12	-							

Продолжение таблицы 8

ЧПУ, шт.	-0,23	0,01	0,01	-0,05	0,80**	-						
ДСР, см	0,40	-0,04	-0,07	-0,04	0,51*	0,20	-					
ВПНБ, см	0,52*	0,09	0,08	0,05	0,24	-0,02	0,86**	-				
ЧБР, шт.	-0,10	0,01	0,02	-0,07	0,76**	0,85**	0,25	0,01	-			
ЧСБ, шт.	-0,01	0,01	-0,01	0,00	-0,27	-0,19	-0,29	-0,10	-0,12	-		
ЧСР, шт.	-0,17	0,06	0,07	0,05	0,52*	0,62**	0,20	0,07	0,73**	0,37	-	
МСР, г	-0,13	-0,01	0,01	-0,04	0,51*	0,66**	0,24	0,02	0,69**	0,09	0,81**	-
М1000, г	0,10	-0,03	-0,01	-0,05	0,03	0,10	0,01	-0,11	0,01	-0,43*	-0,23	0,37

В 2025 году характер взаимосвязей изменился, что связано с особенностями гидротермических условий. Урожайность была положительно связана с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,52$; $p \leq 0,05$) и длиной стебля ($r = 0,40$). Связи с элементами структуры урожая оставались слабыми и преимущественно отрицательными ($r = –0,17$; $r = –0,13$).

В то же время взаимосвязи между элементами структуры усилились: число бобов достоверно коррелировало с числом семян ($r = 0,73$, $p \leq 0,01$), число семян с растения – с массой семян ($r = 0,81$, $p \leq 0,01$). Отмечена отрицательная связь между числом семян в бобе и массой 1000 зёрен ($r = –0,43$, $p \leq 0,05$). Климатические показатели были тесно связаны между собой: $\sum t \geq 10$ °C коррелировала с количеством осадков ($r = 0,94$, $p \leq 0,01$) и продолжительностью вегетационного периода ($r = 0,97$, $p \leq 0,01$), однако их влияние на урожайность носило косвенный характер.

В целом, независимо от года исследований, сохранялись устойчивые связи между элементами структуры урожая (число бобов – число семян с растения; число семян с растения – масса семян с растения). Длина стебля и высота прикрепления нижнего боба выступали стабильными морфологическими показателями, связанными с продуктивностью. Масса 1000 зёрен не имела устойчивых связей с другими признаками.

Межгодовая изменчивость корреляционных связей урожайности с элементами её структуры отражает влияние гидротермических условий на реализацию продукционного потенциала и указывает на наличие компенсаторных механизмов формирования урожайности.

Обсуждение

Увеличение урожайности в 2025 г. сопровождалось неодинаковыми изменениями индивидуальной продуктивности. У КАСИБ число семян на растении снизилось с 30 до 19, масса семян с растения – с 5,7 до 3,1 г, масса 1000 зёрен – со 187,5 до 164,9 г, тогда как урожайность повысилась со 178,3 до 336,7 г/м^2. У Л-28-02 одновременно увеличились число семян на растении (с 20 до 28), масса семян с растения (с 3,1 до 6,3 г), масса 1000 зёрен (со 157,0 до 221,1 г) и урожайность (с 227,4 до 374,4 г/м^2). У листочкового образца Л-64/83 число семян на растении изменилось с 23 до 22, но масса 1000 зёрен возросла со 178,9 до 253,2 г, масса семян с растения – с 4,1 до 5,5 г, урожайность – с 221,1 до 456,7 г/м^2. Следовательно, повышение урожайности не сопровождалось единым для всех образцов изменением её элементов.

Чувствительность гороха к недостатку влаги в репродуктивный период показана в экспериментальных исследованиях *Guilioni* et al. (2003). Авторы установили, что водный дефицит и повышенная температура могут ограничивать формирование числа семян вследствие снижения интенсивности роста растений в критический период от начала цветения до начала налива семян на последних продуктивных узлах [15]. В нашем исследовании уменьшение числа семян с растения в 2025 г. отмечено, например, у КАСИБ, УГ94-1084 и Л-46/08. Вместе с тем у Л-28-02, Л 32/05 и К-8233 этот показатель увеличился. Таким образом, реакция представленных образцов была неоднородной, а выявленные межгодовые изменения нельзя рассматривать как одинаковый для всех генотипов ответ на дефицит осадков.

Урожайность с единицы площади зависит от числа сохранившихся к уборке продуктивных растений, их средней семенной продуктивности и потерь при уборке. Поэтому увеличение урожайности при снижении массы семян с растения, отмеченное у ряда образцов, требует

проверки густоты стояния, репрезентативности структурной пробы, учётной площади и сопоставимости условий учёта урожая. Эти показатели в представленных данных отсутствуют; объяснять расхождение конкретным механизмом без их анализа нельзя. Сильная корреляция числа и массы семян с растения отражает сопряжённость элементов индивидуальной продуктивности и не заменяет оценки их связи с урожайностью делянки [16, 17].

Неравномерность выпадения осадков в 2025 году допускает различия в обеспеченности влагой генотипов с неодинаковыми сроками развития. Однако августовские осадки могли использоваться для налива семян только у тех образцов, которые к этому времени не завершили соответствующую фазу. Без календарных дат цветения и созревания нельзя приписывать повышение урожайности поздним осадкам, а снижение отдельных элементов структуры – исключительно июльской засухе. Корреляционные связи также зависят от состава изучаемого материала, что необходимо учитывать при сопоставлении с другими работами [18].

Различия между усатым и листочковым морфотипами также следует оценивать с учётом условий выращивания и генотипического состава сравниваемых групп. *Аринов* и др. (2025) в испытаниях в Казахстане показали, что короткостебельные усатые генотипы имели преимущества в более влажных условиях Акмолинской области, тогда как в засушливых условиях Карагандинской области более продуктивными были высокорослые формы с обычными листьями [19]. В нашем исследовании у листочкового морфотипа в 2025 г. выявлена положительная связь урожайности с высотой прикрепления нижнего боба. Однако такая связь сама по себе не доказывает, что высота прикрепления боба обусловила повышение урожайности. Представленные данные также не позволяют отделить эффект морфотипа от других наследственных различий между образцами.

Практическое значение результатов заключается в выделении продуктивных образцов обоих морфотипов и выявлении связей между элементами индивидуальной продуктивности. Образцы Л-26/120 и Л-64/83 представляли интерес по средней урожайности за два года и превышали соответствующие стандарты в каждом году испытания. Вместе с тем двухлетняя оценка в одном пункте недостаточна для окончательной характеристики их устойчивости к засухе и стабильности урожайности, исследования необходимо продолжать.

Заключение

В 2024–2025 гг. среди представленных образцов гороха наибольшая средняя урожайность отмечена Л-26/120 усатого морфотипа – 353,0 г/м^2 и Л-64/83 листочкового морфотипа – 338,9 г/м^2, превышавшие соответствующие стандарты на 95,5 и 71,8 г/м^2. Образцы превосходили стандарты по приведённым значениям в каждом году испытания и представляют интерес для дальнейшей селекционной оценки.

Число семян на растении и масса семян с растения были сильно положительно связаны у усатого морфотипа ($r = 0,96$ и 0,89) и у листочкового ($r = 0,81$ в оба года); $p<0,05$. Их корреляции с урожайностью делянки статистически незначимы. У листочкового морфотипа в 2025 г. выявлена значимая положительная связь урожайности с высотой прикрепления нижнего боба ($r = 0,52$), которая не подтвердилась в 2024 году.

Урожайность всех образцов таблицы 4 была выше в 2025 г., хотя сумма осадков за май-август была меньше на 122,6 мм. Причины этого расхождения нельзя установить по сезонной сумме осадков и индивидуальной продуктивности без учёта густоты посева, потерь урожая и календарных сроков развития. Статистически значимой связи продолжительности вегетации с урожайностью не выявлено. Оценку Л-26/120 и Л-64/83 следует продолжить в многолетних испытаниях с одновременным учётом урожайности, элементов её структуры и состояния посева.

Вклад авторов

ИО: провела анализ и обработку полученных экспериментальных данных, интерпретировала результаты и подготовила научную публикацию. ЕТ: разработал методологию исследования, провёл анализ и обработку полученных экспериментальных данных. ДГ: проводила полевые и лабораторные исследования. БЖ: подготовил литературный обзор, обобщил результаты исследований.

Информация о финансировании

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках программы, финансируемой Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан, BR24992903 «Практическое внедрение современных молекулярно-генетических, физиолого-биохимических, биотехнологических методов и цифрового фенотипирования в селекцию экономически значимых сельскохозяйственных культур», 2024–2026 гг.

Список литературы

1 Smýkal, P., Aubert, G., Burstin, J., Coyne, C.J., Ellis, N.T.H., Flavell, A.J., Ford, R., Hýbl, M., Macas, J., Neumann, P., McPhee, K.E., Redden, R.J., Rubiales, D., Weller, J.L., Warkentin, T.D. (2012). Pea (*Pisum sativum* L.) in the genomic era. *Agronomy*, 2(2), 74–115. DOI: 10.3390/agronomy2020074.

2 Wu, D.T., Li, W.X., Li, C., Cao, H., Feng, F., Gan, R.Y., Li, H.B. (2023). A comprehensive review of pea (*Pisum sativum* L.): Chemical composition, processing, health benefits and food applications. *Foods*, 12(13), 2527. DOI: 10.3390/foods12132527.

3 Kebede, E. (2021). Contribution, utilization, and improvement of legumes in sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 694425. DOI: 10.3389/fsufs.2021.694425.

4 Dave, K., Kumar, A., Jain, M. et al. (2024). Climate change impacts on legume physiology and ecosystem dynamics: A multifaceted perspective. *Sustainability*, 16, 6026. DOI: 10.3390/su16146026.

5 Togay, N., Togay, Y., Yıldırım, B., Doğan, Y. (2008). Relationships between yield and some yield components in pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) genotypes by using correlation and path analysis. *African Journal of Biotechnology*, 7(23), 4285–4287.

6 Savin, T.V., Dolinny, Yu.Yu., Akshalov, K.A. et al. (2025). V*esenne-polevye raboty v khozyaistvakh Akmolinskoi oblasti* [*Spring field work in farms of Akmola region*]. Shortandy: Nauchno-proizvodstvennyi centr zernovogo hozyaistva imeni A.I. Baraeva, 105. [*In Russian*].

7 GOST 12038-84 - *Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti* [*Seeds of agricultural crops. Methods for determination of germination*]. Moscow: Standartinform. [*In Russian*].

8 GOST 12042-80 - S*emena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya massy 1000 semyan* [*Seeds of agricultural crops. Methods for determination of 1,000-seed weight*]. Moscow: Standartinform. [*In Russian*].

9 Vishnyakova, M.A., Seferova, I.V., Buravceva, T.V., Burlyaeva, M.O., Semyonova, E.V., Filipenko, G.I., Aleksandrova, T.G., Egorova, G.P., YAn'kov, I.I., Bulyncev, S.V., Gerasimova, T.V., Drugova, E.V. (2018). *Kollekciya mirovyh geneticheskih resursov zernovyh bobovyh VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie: metodicheskie ukazaniya (2-e izd., pererab. i dop.*) [*Collection of the world's genetic resources of grain legumes: replenishment, conservation and study: methodological guidelines (2nd ed., revised and add.)*]. Sankt-Peterburg: VIR, 143. [*In Russian*].

10 Skokbaev, S.O. (red.). (2002). *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur* [*The methodology of state variety testing of agricultural crops*]. Almaty, 378.

11 Dospekhov, B.A. (2014). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii)* (6-e izd., stereotip.) *[Methodology of field experiments (with the basics of statistical processing of research results)* (6th ed., stereotype)]. Moskva: Al'yans, 352. [*In Russian*].

12 Oshergina, I.P., Ten, E.A., Pestova, D.M. (2026). Ocenka kollekcionnyh obrazcov goroha na zasuhoustoichivost' v usloviyah Severnogo Kazahstana [Assessment of pea collection samples for drought resistance in the conditions of Northern Kazakhstan]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury,* 1(57), 27–38. DOI:10.24412/2309-348X-2026-1-27-38. [*In Russian*].

13 Korobova, N.A., Korobov, A.P., Puchkova, E.V., SHaposhnikova, YU.V. (2025). Vliyanie pogodnyh uslovii na vegetacionnyi period, urozhainost' i kachestvo zerna goroha [Influence of weather conditions on the growing season, yield and quality of pea grains]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 3, 12–22. DOI:10.28983/asj.y2025i3pp12-22. [In Russian].

14 Berger, J.D., Ali, M., Basu, P.S., Chaudhary, B.D., Chaturvedi, S.K., Deshmukh, P.S., Dharmaraj, P.S., Dwivedi, S.K., Gangadhar, G.C., Gaur, P.M., Kumar, J., Pannu, R.K., Siddique, K.H. M., Singh, D.N., Singh, D.P., Singh, S.J., Turner, N.C., Yadava, H.S., Yadav, S.S. (2006). Genotype by environment studies demonstrate the critical role of phenology in adaptation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to

high and low yielding environments of India. *Field Crops Research*, 98(2–3), 230–244. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.02.007.

15 Guilioni, L., Wéry, J., Lecoeur, J. (2003). High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Functional Plant Biology*, 30(11), 1151–1164. DOI: 10.1071/FP03105.

16 Oshergina, I.P., Ten, E.A. (2025). Analiz vzaimosvyazi klimaticheskih uslovii i produktivnosti goroha razlichnyh morfologicheskih tipov [Analysis of the relationship between climatic conditions and productivity of peas of various morphological types]. *Agrarnaya Rossiya*, 3, 33-38. DOI:10.30906/1999-5636-2025-3-33-38. [*In Russian*].

17 Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Ipsilandis, C.G. (2021). Yield components stability assessment of peas in conventional and low-input cultivation systems. *Agriculture*, 11(9), 805.

18 Parth, Kashyap, V., Singh, S.P., Dikshit, S., Dixit, P.S., Singh, N., Pandey, S.R., Singh, B.P., Singh, D.V. (2024). Estimation of correlation coefficient analysis for yield and component traits in field pea (Pisum sativum L.). *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 25(3–4), 13–16. DOI: 10.56557/pcbmb/2024/v25i3-48636.

19 Arinov, B., Khassanova, G., Zailasheva, A., Kuzbakova, M., Mussynov, K., Sereda, T., Kipshakbayeva, A., Jatayev, S., Tolenova, K., Sweetman, C., Jenkins, C.L.D., Soole, K.L., Shavrukov, Y. (2025). Genotyping of Le and Af Haplotypes in Dry Pea (*Pisum sativam* L.) with Field Trials: Short and Semi-Leafless Plants Are Not Always Better in Kazakhstan. *Plants*, 14(22), 3479. DOI: 10.3390/plants14223479.

20 Zhuikova, T.V., Meling, E.V., Popova, A.S. (2022). Metodika otsenki integral'nogo pokazatelya stepeni blagopriyatnosti pogodnykh uslovii dlya rastenii [The methodology for assessing an integral indicator of the degree of favorable weather conditions for plants]. *Samarskii nauchnyi vestnik*, 11(2), 45–51. DOI: 10.55355/snv2022112106. [*In Russian*].

Солтүстік Казақстанның құрғақ дала аймағында егістік бұршақтың (*Pisum sativum* L.) өнімділігінің қалыптасуына шаруашылыққа құнды белгілер мен ауа райы жағдайларының әсері

Ошергина И.П., Тен Е.А., Гладких Д.М., Жанзаков Б.Ж.

«А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Қазақстан, Научный кенті

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстанның құрғақ дала аймағында егістік асбұршақтың (*Pisum sativum* L.) өнімділігі вегетациялық кезеңдегі ауа райы жағдайларына, әсіресе өсімдіктер дамуының шешуші кезеңдеріндегі ылғалмен қамтамасыз етілуіне едәуір дәрежеде байланысты. Өнімділік пен өнім құрылымы элементтерінің өзара байланысын зерттеу бейімделгіш формаларды селекциялау үшін маңызды. Зерттеудің мақсаты – асбұршақ өнімділігінің шаруашылықтық құнды белгілермен байланысын анықтау және оның ауа райы жағдайларына тәуелділігін бағалау.

Материалдар мен әдістер. Танаптық зерттеулер 2024–2025 жылдары «А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС базасында жүргізілді. Асбұршақтың мұртшалы және жапырақты морфотиптеріне жататын 37 коллекциялық үлгі зерттелді. Өнім құрылымының негізгі элементтері: бір өсімдіктегі бұршаққаптар мен тұқымдар саны, бір өсімдіктегі тұқым массасы және 1000 тұқым массасы бағаланды. Өнімділік мөлдектен жиналған тұқым массасы бойынша анықталды. Ауа райы жағдайлары ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері және гидротермиялық коэффициент арқылы сипатталды. Деректерді талдау үшін корреляциялық әдіс қолданылды.

Нәтижелер. Ұсынылған үлгілердің ішінде ең жоғары орташа өнімділік мұртшалы морфотипке жататын Л-26/120 үлгісінде – 353,0 г/м^2 және жапырақты морфотипке жататын Л-64/83 үлгісінде – 338,9 г/м^2 анықталды. Бұл көрсеткіштер тиісті стандарттардан 95,5 және 71,8 г/м^2 жоғары болды. Бір өсімдіктегі тұқым саны мен тұқым массасы арасында күшті оң корреляция

анықталды: мұртшалы морфотипте 2024 жылы r = 0,96 және 2025 жылы r = 0,89, жапырақты морфотипте екі жылда да r = 0,81 (p < 0,05). Осы белгілердің өнімділікпен байланысы әлсіздеу болды: мұртшалы формаларда тиісінше 2024 жылы r = -0,46 және -0,42, 2025 жылы 0,23 және 0,07; жапырақты формаларда 2024 жылы 0,25 және 0,10, 2025 жылы -0,17 және -0,13 (p > 0,05). Жапырақты морфотипте 2025 жылы өнімділік пен төменгі бұршаққаптың бекіну биіктігі арасында оң корреляция анықталды (r = 0,52; p < 0,05).

Қорытынды. Бір өсімдіктегі тұқым саны мен тұқым массасы жеке өсімдіктің өнімділігін сипаттайды, алайда бұл белгілерді іріктеу кезінде пайдалануды мөлдек өнімділігін тікелей есепке алумен ұштастыру қажет. Л-26/120 және Л-64/83 үлгілері одан әрі сынау үшін бөлініп алынды. Екі жылдық бақылаулар ерте пісетін формалардың артықшылығын растауға немесе ауа райы факторларының өнімділікке әсерін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік бермейді.

Кілт сөздер: егістік бұршақ; өнімділік; өнім құрылымының элементі; корреляциялық байланыс; ауа райы жағдайы.

Yield formation of pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by economically valuable traits and weather conditions in the dry steppe zone of Northern Kazakhstan

Irina P. Oshergina, Evgeniy A. Ten, Darya M. Gladkikh, Bakhtiyar Zh. Zhanzakov

A.I. Baraev Scientific and Production Center for Grain Farming

Abstract

Background and Aim. Field pea productivity (Pisum sativum L.) in the dry steppe zone of Northern Kazakhstan largely depends on weather conditions during the growing season, particularly water availability at critical stages of plant development. Studying the relationships between yield and its components is important for breeding environmentally adapted forms. The objective of this study was to determine the relationships between pea yield and agronomically valuable traits and to assess the dependence of yield on weather conditions.

Materials and Methods. Field experiments were conducted in 2024–2025 at the "A.I. Barayev Scientific Production Center for Grain Farming" LLP. Thirty-seven pea accessions representing semi-leafless and leafy morphotypes were evaluated. The assessment covered the main yield components: pod and seed number per plant, seed weight per plant, and 1000-seed weight. Yield was determined from the weight of seeds harvested from each plot. Weather conditions were characterized by air temperature, precipitation, and the hydrothermal coefficient. Correlation analysis was performed to assess the relationships among the variables.

Results. Among the accessions presented, the highest mean yields were recorded for the semi-leafless accession L-26/120 (353.0 g/m^2) and the leafy accession L-64/83 (338.9 g/m^2), exceeding their respective standards by 95.5 and 71.8 g/m^2. Seed number per plant and seed weight per plant were strongly positively correlated: r = 0.96 in 2024 and 0.89 in 2025 for the semi-leafless morphotype, and r = 0.81 in both years for the leafy morphotype (p < 0.05). The correlations of these traits with yield were weaker: respectively, r = −0.46 and -0.42 in 2024 and 0.23 and 0.07 in 2025 for semi-leafless accessions; and 0.25 and 0.10 in 2024 and -0.17 and -0.13 in 2025 for leafy accessions (p > 0.05). In the leafy morphotype, yield was positively correlated with lowest pod height in 2025 (r = 0.52; p < 0.05).

Conclusion. Seed number per plant and seed weight per plant characterize individual plant productivity; however, their use in selection should be combined with direct assessment of plot yield. L-26/120 and L-64/83 were selected for further evaluation. Two years of observations do not establish an advantage of early-maturing genotypes or to quantitatively assess the effects of weather factors on yield.

Keywords: field pea; grain yield; yield components; trait correlations; weather conditions.

УДК 632.937.1.03 **Исследовательская статья**

Биологическая эффективность хищных клещей *Amblyseius montdorensis* Schicha и *Amblyseius andersoni* Chant в регулировании численности паутинного клеща и трипсов в насаждениях малины

Калдыбеккызы Г.[1], **Сисенгалиев А.Б.**[2], **Сарбасова А.М.**[2], **Копжасаров Б.К.**[2]
Бекназарова З.Б.[2], **Олейченко С.Н.**[1]

[1]НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан
[2]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений имени Ж.Жиембаева», Алматы, Казахстан

Автор-корреспондент: Калдыбеккызы Г.: kaldybekkyzy19@gmail.com
Соавторы: (1: АС) sisengalievazamat8@gmail.com; (2: АС) a_sarbasova@list.ru; (3: БК) bakyt-zr@mail.ru (4: ЗБ) zibash_bek@mail.ru; (5: СО) oleichenko@mail.ru

Получено: 13.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Калдыбеккызы Г. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Интегрированная система защиты малины от вредных организмов занимает важное место в производстве ягодной продукции, так как позволяет обеспечить эффективный контроль численности фитофагов. Одними из доминирующих видов вредителей культуры являются паутинные клещи (*Tetranychus urticae* Koch) и трипсы (*Frankliniella intonsa* Trybom.). Повреждение ягод вызывают физиологические нарушения, что приводит к угнетению роста растений и существенному снижению урожайности. Целью исследования является определение биологической эффективности применения хищных клещей *Amblyseius montdorensis* Schicha и *Amblyseius andersoni* Chant в регуляции численности паутинного клеща и трипса в насаждениях малины.

Материалы и методы. Работы были проведены в 2025 году в питомнике «Семиречье» – сорт Маричка и КХ «Түрген-Жеміс» – сорт Полька (Алматинская область, Енбекшиказахский район) на насаждениях малины. Учёт вредителей и определение плотности насекомых проводились по общепринятым методам в энтомологии.

Результаты. Полученные результаты показали, что наибольшую эффективность против трипсов продемонстрировал *Amblyseius andersoni* – 83,1%, тогда как биологическая эффективность *Amblyseius montdorensis* составила 77,9%. В отношении паутинных клещей оба вида хищных клещей показали высокую эффективность: у *Amblyseius andersoni* она достигала 88,8%, а у *Amblyseius montdorensis* – 87,8%.

Заключение. Проведенные исследования подтвердили высокую биологическую эффективность *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni* против трипсов и паутинных клещей на малине, что подтверждает перспективность их применения в интегрированной системе защиты растений.

Ключевые слова: энтомофаг; малина; хищник; паутинный клещ; трипс.

Введение

Малина (*Rubus idaeus* L.) представляет собой одну из наиболее ценных ягодных культур, обладающую высоким содержанием витаминов, органических кислот и антиоксидантов, что обуславливает её значительную пищевую и фармакологическую ценность. В последние годы в юго-восточном регионе Казахстана заметно увеличилась площадь ягодных культур, особенно малины. Выращивание ягодных культур в больших промышленных объёмах позволит наладить отечественное производство соков и замороженных ягод.

Однако, эффективность производства малины во многом ограничивается вредоносной деятельностью комплекса насекомых-вредителей, болезней и сорняков. Интенсивное

использование химических средств защиты растений не только повышает нагрузку на агроэкосистему, но и способствует развитию устойчивости у вредителей, а также негативно влияет на полезную энтомофауну и качество продукции.

В этой связи, актуальной задачей является разработка и внедрение интегрированной системы защиты малины, основанной на принципах экологически ориентированного земледелия, включающей агротехнические, биологические и прицельно применяемые химические методы. Длительное воздействие остаточных количеств пестицидов связано с риском биоаккумуляции и биомагнификации токсичных соединений, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды [1]. Поэтому возникла насущная необходимость в разработке безопасных мер защиты промышленных посадок малины от вредных организмов для получения экологически чистой продукции [2].

Клещи и трипсы относятся к числу наиболее опасных вредителей сельскохозяйственных культур, включая ягодные насаждения. Питаясь клеточным соком растений, они нарушают целостность тканей, снижают интенсивность фотосинтеза и вызывают физиологические нарушения, что приводит к угнетению роста растений и существенному снижению урожайности [3].

Повреждения растений паутинными клещами сопровождаются появлением светло-жёлтых или беловатых пятен на листьях, образованием паутины, пожелтением и повреждённым опадением листьев. Трипсы, помимо непосредственного питания, вызывают серебристость листовой поверхности, деформацию молодых побегов, цветков и плодов, а также являются переносчиками ряда опасных вирусных болезней растений [4].

Исследования последних лет свидетельствуют о высокой перспективности использования агентов биологического контроля в интегрированных системах защиты растений. Ведение биологических методов контроля является экологически безопасной альтернативой интенсивному использованию химических пестицидов, способствует снижению риска формирования резистентности у вредителей и обеспечивает длительное поддержание их численности ниже экономического порога вредоносности. В связи с этим, использование биоагентов рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития интегрированной защиты растений [5, 6].

В условиях плодово-ягодных насаждений биологические методы приобретают особую значимость. Так, работы FAO (2020) [7] подчёркивают эффективность использования энтомофагов (трихограммы, златоглазки, наездники *Aphidius* spp.) и микробиологических препаратов (*Bacillus thuringiensis, Beauveria bassiana*) в борьбе с насекомыми-вредителями малины.

Материалы и методы

Научно-исследовательская работа проводилась в лабораторных условиях ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева» (г. Алматы), в полевых условиях в питомнике «Семиречье» – сорт Маричка и в крестьянском хозяйстве КХ «Түрген-Жеміс» – сорт Полька (Алматинская область, Енбекшиказахский район) на насаждениях малины в 2025 году. Площадь опытной делянки 40 м2, каждый вариант закладывали в 4-х кратной повторности. Выпуск хищных клещей проводили в первой декаде июля, учеты численности вредителей считали до выпуска акарифагов и через 3, 7 и 14 дней после выпуска. В течение периода наблюдений определяли среднюю численность вредителей на одном растении. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа (ANOVA). Для каждого варианта опыта рассчитывали среднее арифметическое значение и стандартное отклонение. Выявленные различия между вариантами опыта были статистический значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Варианты опытов: контроль – без выпуска хищного клеща; эталон – Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га и опыт – выпуск клещей *Amblyseius montdorensis*; опыт – выпуск клещей *Amblyseius andersoni* против паутинного клеща и трипсов.

Учёт вредителей и определение плотности насекомых проводили по общепринятым методам в энтомологии. Пробы листьев малины на динамику численности клещей отбирали еженедельно, подсчёт особей производили под бинокуляром. Просматривали 30–40 листьев малины при численности до 50 особей/лист и 20–30 листьев при численности более 50 особей/

лист. При высокой численности клеща листья приобретали желтоватую с маслянистым оттенком окраску [8, 9, 10]. Для сигнализации появления и мониторинга численности трипсов использовали синие клеевые ловушки компании ТОО «Агротоп». Ловушки устанавливали на уровне верхней части растительного покрова. По мере роста растений высоту размещения корректировали. Для повышения эффективности мониторинга клеевые ловушки устанавливали до начала массового появления трипсов. Их регулярно осматривали и заменяли по мере загрязнения растительными остатками и насекомыми, а также при снижении клеящихся свойств поверхности. Для учета трипсов на каждой опытной делянке отмечали по 20 растений, расположенных в 5 местах. Их встряхивали над белой бумагой и подсчитывали количество вредителей [10].

Для борьбы с паутинным клещом и трипсами на растениях малины в качестве биологической меры борьбы с вредителями применяются выпуск хищных клещей *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni*. Хищных клещей вносили методом интродукции в естественные очаги вредителей по мере их обнаружения с помощью рассеивания. Акарифагов вносили вместе с субстратом, равномерно рассеивая его по поверхности растений. Данный способ расчитан на эффект быстрой защиты. Выпуск энтомофагов *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni* осуществляли методом интродукции из расчета 100 особей на 1 м^2 площади насаждений для борьбы с трипсами и паутинными клещами [8, 9]. Хищные клещи были получены от компании «БиоТехнология» в тубусах по 25 000 особей.

Биологическую эффективность хищных клещей *Amblyseius montdorensis, Amblyseius andersoni* определяли в соответствии с методическими указаниями по проведению регистрационных испытаний инсектицидов, акарацидов, биопрепаратов и феромонов в растениеводстве [10]. Для сравнения в качестве эталона взяли химическую систему защиты.

Биологическую эффективность определяли по снижению численности вредителей в соответствии с формулой Аббота [11].

Результаты

В 2025 году в условиях производственных насаждений малины питомника «Семиречье» и КХ «Түрген-Жеміс» проведена оценка эффективности хищных клещей *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni* против основных вредителей культуры – паутинного клеща (*Tetranychus urticae* Koch) и обыкновенного трипса (*Frankliniella intonsa* Trybom.). Исследования проводились на сортах малины Маричка и Полька.

Погодные условия в период проведения исследования в 2025 году оказали существенное влияние на развитие и распространение паутинного клеща (*Tetranychus urticae*) и трипсов (*Frankliniella intonsa*) в Енбекшиказахском районе Алматинской области. Весенний период на юго-востоке Казахстана характеризовался повышенным температурным режимом. Температура воздуха с марта по май превышала среднемноголетние показатели на 1–6 °С, что создало благоприятные условия для ранней активации зимующих стадий вредителей и ускоренного развития их популяции.

В результате проведённого мониторинга на плантации малины установлено начало заселения растений паутинным клещом и трипсом обыкновенным. Единичные особи трипсов впервые были обнаружены 16 июня. В дальнейшем отмечалось увеличение численности вредителя и к 2 июля плотность популяции достигла 2,72 особей на растение.

Первые особи паутинного клеща были выявлены 2 июля, при этом в контрольном варианте численность вредителя составила 2,06 особей на 1 лист. С учётом увеличения плотности популяций фитофагов была проведена биологическая обработка с использованием хищных клещей *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni*. Выпуск энтомофага осуществляли методом интродукции из расчета 100 особей на 1 м^2 площади насаждений (рисунок 1).

После выпуска хищных клещей проводили регулярные наблюдения за динамикой численности паутинного клеща и трипсов путем учета количества особей вредителей на растениях до и после применения биологических агентов.



Рисунок 1. Выпуск хищных клещей *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni*

Результаты проведенных исследований в КХ «Түрген-жеміс» на сорте Полька показали, что оба вида хищных клещей (*Amblyseius andersoni, Amblyseius montdorensis*) обеспечивали высокой уровень биологического контроля численности паутинных клещей и трипсов, однако *Amblyseius andersoni* продемонстрировал более высокую эффективность по сравнению с *Amblyseius montdorensis*. Биологическая эффективность *Amblyseius andersoni* против трипсов составила 83,1%, тогда как у *Amblyseius montdorensis* данный показатель был 77,9%. В отношении паутинных клещей эффективность *Amblyseius montdorensis* составила 87,8%, а *Amblyseius andersoni* – 88,8%. В эталонном варианте биологическая эффективность инсектоакарицида Вертимек 018, к.э. против трипсов составила 91,5–92,6%, против паутинного клеща – 92,0–92,7%. (таблицы 1, 2).

Таблица 1. Биологическая эффективность хищного клеща *Amblyseius montdorensis* против трипсов и клещей на малине в КХ «Түрген-жеміс», 2025 г.

Вариант	Среднее количество вредителей на 14-й день после применения энтомофага, особей	Биологическая эффективность, %
Трипсы		
Контроль	2,72 ± 0,13	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,18 ± 0,1	92,6
Выпуск клещей *Amblyseius montdorensis*	0,6 ± 0,1	77,9
Клещи		
Контроль	1,64 ± 0,17	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,12 ± 0,08	92,7
Выпуск клещей *Amblyseius montdorensis*	0,2 ± 0,07	87,8
Значение P		<0,05

Таблица 2. Биологическая эффективность хищного клеща *Amblyseius andersoni* против трипсов и клещей на малине в КХ «Түрген-жеміс», 2025 г.

Вариант	Среднее количество вредителей на 14-й день после применения энтомофага, особей	Биологическая эффективность, %
Трипсы		
Контроль	2,6 ± 0,16	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,22 ± 0,08	91,5
Выпуск клещей *Amblyseius andersoni*	0,44 ± 0,11	83,1
Клещи		
Контроль	2,5 ± 0,16	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,2 ± 0,07	92,0
Выпуск клещей *Amblyseius andersoni*	0,28 ± 0,08	88,8
Значение P		<0,05

Проведенные исследования в ТОО «Семиречье» на сорте малины Маричка показали высокую эффективность хищного клеща *Amblyseius andersoni* в снижении численности трипсов и паутинных клещей. Эффективность данного вида против трипсов была 87,8%, а против паутинного клеща 89,3%. Хищный клещ *Amblyseius montdorensis* также показал высокую эффективность против паутинных клещей – 89,9%. Однако, в отношении трипсов его эффективность была несколько ниже и составила 67,9%. В эталонном варианте эффективность применения препарата Вертимек 018, к.э. против трипсов составила 91,1–91,4%, против паутинного клеща – 90,9–94,4% (таблицы 3, 4).

Таблица 3. Биологическая эффективность хищного клеща *Amblyseius montdorensis* против трипсов и клещей на малине в ТОО «Семиречье», 2025 г.

Вариант	Среднее количество вредителей на 14-й день после применения энтомофага, особей	Биологическая эффективность, %
Трипсы		
Контроль	2,03 ± 0,13	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,18 ± 0,1	91,4
Выпуск клещей *Amblyseius montdorensis*	0,65 ± 0,1	67,9
Клещи		
Контроль	2,23 ± 0,17	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,13 ± 0,05	94,4
Выпуск клещей *Amblyseius montdorensis*	0,23 ± 0,05	89,9
Значение P		<0,05

Таблица 4. Биологическая эффективность хищного клеща *Amblyseius andersoni* против трипсов и клещей на малине в ТОО «Семиречье», 2025 г.

Вариант	Среднее количество вредителей на 14-й день после применения энтомофага, особей	Биологическая эффективность, %
Трипсы		
Контроль	3,08 ± 0,13	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,28 ± 0,1	91,1
Выпуск клещей *Amblyseius andersoni*	0,38 ± 0,1	87,8
Клещи		
Контроль	2,44 ± 0,11	-
Вертимек, к.э. (18 г/л абамектин) (эталон) – 0,6 л/га	0,22 ± 0,05	90,9
Выпуск клещей *Amblyseius andersoni*	0,26 ± 0,08	89,3
Значение P		<0,05

Обсуждение

Полученные результаты показали, что *Amblyseius andersoni* характеризовался более высокой биологической эффективностью против трипсов по сравнению с *Amblyseius montdorensis*. При использовании данного энтомофага наблюдалось существенное снижение численности популяций как паутинных клещей, так и трипсов, что свидетельствует о его высокой адаптивности к условиям выращивания культуры и значительном потенциале применения в интегрированной системе защиты растений. Выявленные различия в эффективности *Amblyseius andersoni* и *Amblyseius montdorensis* в насажденияъ малины, вероятно, связаны с особенностями их хищнической активности и способности использовать различные виды жертв. *Amblyseius andersoni* характеризовался более выраженной хищнической активностью и высокой интенсивностью поиска и потребления жертвы, что, вероятно, обусловило его более высокую эффективность против трипсов и паутинных клещей. *Amblyseius montdorensis* несмотря на более низкую эффективность против трипсов, продемонстрировал высокий уровень биологического контроля паутинных клещей. Это свидетельствует о целесобразности его использования прежде всего для регулирования численности паутинных клещей в насаждений малины. Аналогичные работы по определению биологической эффективности хищных клещей против вредителей были проведены в исследованиях *Алпысбаевой К.А., Шариповой Д.С., Найматовой Б.Ж.* и др. [9]. Аналогичность проведённых исследований заключается в том, что в обоих случаях изучалась возможность использования хищных клещей в качестве биологических агентов для регулирования численности фитофагов. Общим является также сравнительный подход к оценке эффективности энтомофагов в отношении различных видов вредителей и определение перспективности их применения в интегрированной системе защиты растений. При этом следует отметить, что в работах использовались другие культуры и виды энтомофагов.

Таким образом, оба вида хищных клещей могут применяться в интегрированой системе защиты малины с учетом их различной эффективности в отношении целевых вредителей. Выпуск хищных клещей целесообразно проводить на ранних этапах заселения растений вредителями, до формирования высокой плотности их популяции. Для регулирования численности паутинных клещей первый выпуск хищных клещей целесообразно проводить с третьей декады апреля, до массового развития вредителя. Для контроля трипсов оптимальным сроком первого выпуска является первая декада июня, что позволяет своевременно подавлять формирующуюся популяцию вредителя. Для поддержания эффективной численности

хищных клещей в насаждениях малины рекомендуется двукратный выпуск. Второй выпуск целесообразно проводить в первой декаде июля. Сроки последующих выпусков следует определять по результатам регулярного фитосанитарного мониторинга, при сохранении или повторном увеличении численности вредителей потребуется повторный выпуск хищных клещей. Эффективность применения хищных клещей обеспечивается при своевременном выпуске.

С учетом полученных результатов использование хищных клещей обеспечивает эффективное сдерживание развития вредителей, способствует сокращению применения химических средств защиты растений и является перспективным элементом экологически безопасных технологий возделывания малины. Несмотря на несколько низкие показатели по сравнению с химическим эталоном, применение энтомофагов обеспечило высокий уровень подавления численности вредителей, что свидетельствует о перспективности использования хищных клещей *Amblyseius andersoni* и *Amblyseius montdorensis* в интегрированной системе защиты малины, позволяющим снизить зависимость от химических средств защиты растений.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили высокую биологическую эффективность хищных клещей *Amblyseius montdorensis* и *Amblyseius andersoni* в контроле численности трипсов и паутинных клещей на малине. Наиболее эффективным против обеих видов вредителей оказался *Amblyseius andersoni*, что свидетельствует о перспективности его применения в интегрированной системе защиты растений. Несмотря на низкую эффективность *Amblyseius montdorensis* в отношении трипсов, данный энтомофаг показал высокую эффективность против паутинных клещей, что позволяет рекомендовать его применение для регулирования численности данной группы вредителей в насаждениях малины. Использование данных энтомофагов позволяет эффективно сдерживать развитие вредителей и снижать пестицидную нагрузку на агроценоз.

Вклад авторов

Вклад авторов ГК, АС и ЗБ: разработали концепцию и методологию исследования, осуществили анализ научной литературы, обработали и интерпретировали полученные данные, а также подготовили первоначальную версию рукописи. АС, БК и СО: приняли участие в научном редактировании, внесли существенные замечания и выполнили окончательную редакцию текста. Все авторы ознакомились и одобрили финальную версию рукописи.

Информация о финансировании

Работа подготовлена в рамках выполнения научно-технической программы BR22885887 «Усовершенствование и внедрение системы управления вредными организмами» по программно-целевому финансированию Министерства селького хозяйства РК на 2024–2026 годы.

Список литературы

1 Podedworny, G., Tartanus, M., Solecka, D., Szakie, A., Malusà, E. (2024). Assessment of applying an integrated pest management strategy to control the raspberry leaf and bud mite, Phyllocoptes gracilis (Nal.) and its effect on the raspberry leaf metabolites. *Journal of Plant Protection Research,* 64(1), 52–60. DOI: 10.24425/jppr.2024.149152.

2 Nikolaeva, Z.V., Kryukova, A.V., Kasatkina, Yu.D. (2022). Vrediteli maliny v usloviyakh Nechernozemnoy zony Rossii [Raspberry pests of in the non-black soil zone of Russia]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2(208), 17–22. [*In Russian*].

3 Daniels, A., Maharaj, G., Ram, M., Lakenarine, R. (2023). Biological Control Methods for Agricultural Mites: A Review. *Agricultural Reviews*, 44(1), 12–21. DOI: 10.18805/ag.RF-247.

4 Hamberg, L., Malmivaara-Lamsa, M., Lofstrom, I., Hantula, J. (2014). Effects of a biocontrol agent Chondrostereum purpureum on sprouting of Sorbus aucuparia and Populus tremula after four growing seasons. *BioControl*, 59, 125–137. DOI: 10.1007/s10526-013-9550-y.

5 Tudi, M., Ruan, D.H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., Phung, D.T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112. DOI:10.3390/ijerph1803111.

6 Ali, S., Muhammad, U., Asif, S., Qaiser, S., Azhar, H. (2021). Environmental and health effects of pesticide residues. *Approaches to the Biological Control of Insects*, 48, 311–336. DOI:10.1007/978-3-030-54719-6_8.

7 FAO. (2020). *Integrated pest management of small fruit crops*. Rome: FAO Publications.

8 Sergeev, G.E., Serapionov, D.A., Frolov, A.N. (2014). Iterative linearization and correlation optimization approaches in simulation of insect population dynamics. *Mathematical Modeling in Plant Protection*, 17–21.

9 Alpysbayeva, K.A., Sharipova, D.S., Nurmanov, B.B., Naimanova, B.Zh., Seitjan, A.M., Dzhubatova, E.A. (2024). Primenenie fitoseidnykh kleshchey protiv sosushchikh vrediteley teplichnykh kultur. *Vestnik Kyzylordinskogo universiteta imeni Korkyt Ata*, 4(71), 244–256. DOI: 10.52081/bkaku.2024.v71.i4.205. [*In Russian*].

10 *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu registratsionnyh ispytanii insektitsidov, akaritsidov, biopreparatov i feromonov v rastenievodstve* [*Guidelines for conducting registration tests of insecticides, acaricides, biologics and pheromones in crop production*]. (1997). Almaty-Akmola: 31. [*In Russian*]

11 Tverdyukov, A.P., Nikonov, P.V., Yuщenko, N.P. (1993). *Biologicheskii metod borby s vreditelyami i boleznyami v z zashhishhennom grunte* [*Biological methods for controlling pests and diseases in protected cultivation*]. Moskva: Kolos, 159. [*In Russian*].

Таңқұрай екпелерінде өрмекші кенелері мен трипстердің санын реттеудегі A*mblyseius montdorensis* Schicha және *Amblyseius andersoni* Chant жыртқыш кенелерінің биологиялық тиімділігін анықтау

Калдыбеккызы Г.[1], Сисенгалиев А.Б.[2], Сарбасова А.М.[2], Копжасаров Б.К.[2], Бекназарова З.Б.[2] Олейченко С.Н.[1]

[1]«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан
[2]«Ж. Жиембаев атындығы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Казахстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Жидек өндірісінде таңқұрай зиянкестерімен кешенді күрес өте маңызды, себебі фитофаг зиянкестерінің санын тиімді түрде бақылайды. Өрмекші кенелері (*Tetranychus urticae* Koch) мен трипстері (*Frankliniella intonsa* Trybom.) таңқұрайдың доминантты зиянкестердің қатарына жатады. Жидектердің зақымдануы физиологиялық бұзылыстар тудырып, өсімдіктердің өсуінің тежелуіне және өнімділіктің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Зерттеудің мақсаты – таңқұрай плантацияларындағы өрмекші кенелері мен трипстерін бақылаудағы *Amblyseius montdorensis* Schicha және *Amblyseius andersoni* Chant жыртқыш кенелерінің биологиялық тиімділігін анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу жұмысы 2025 жылы Алматы облысындағы «Семиречье» питомнигі – Маричка сорты мен «Түрген-Жеміс» ШҚ – Полка сорты (Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы) таңқұрай плантацияларында жүргізілді. Зиянкестердің санағы және жәндіктердің тығыздығын анықтау стандартты энтомологиялық әдістерді қолдану арқылы жүргізілді.

Нәтижелер. Алынған нәтижелер бойынша *Amblyseius andersoni* трипстерге қарсы ең жоғары тиімділікті көрсетті – 83,1%, ал *Amblyseius montdorensis* сәйкесінше 77,9% болды. Жыртқыш кенелердің екі түрі де өрмекші кенелеріне қарсы жоғары тиімділік көрсетті: *Amblyseius andersoni* 88,8% тиімділік көрсетті, ал *Amblyseius montdorensis* 87,8% көрсетті.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жұмыстары таңқұрайдағы трипс пен өрмекші кенелеріне қарсы *Amblyseius montdorensis* және *Amblyseius andersoni* жыртқыш кенелері жоғары биологиялық тиімділік көрсетті және бұл оларды кешенді өсімдіктерді қорғау жүйесінде қолдануда перспективті екендігін растайды.

Кілт сөздер: энтомофаг; таңқұрай; жыртқыш; өрмекші кене; трипс.

Determination of the biological efficacy of the predatory mites *Amblyseius montdorensis* Schicha and *Amblyseius andersoni* Chant in regulating spider mite and thrips populations in raspberry plantings

Gulzhan Kaldybekkyzy[1], Azamat B. Sissengaliyev[2], Aigul M. Sarbassova[2] Bakyt K. Kopzhassarov[2] Zibash B. Beknazarova[2], Sergey N. Oleichenko[1]

[1]NJSC "Kazakh National Agrarian Research University", Almaty, Kazakhstan
[2]LLP "Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine Zh. Zhiembayev", Almaty, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. An integrated pest management system for raspberry production plays a key role in berry production, as it provides effective control of phytophagous pests. Spider mites (*Tetranychus urticae* Koch) and thrips (*Frankliniella intonsa* Trybom.) are among the dominant pests. Berry damage causes physiological disturbances, leading to stunted plant growth and a significant reduction in yield. The aim of this study was to determine the biological effectiveness of the predatory mites *Amblyseius montdorensis* Schicha and *Amblyseius andersoni* Chant in controlling spider mites and thrips in raspberry plantations.

Materials and Methods. The study was conducted in 2025 at the "Semirechye" nursery (Marichka variety) and the "Turgen-Zhemis" farm (Polka variety) in Almaty Region on raspberry plantations. Pest census and insect density determinations were conducted using standard entomological methods.

Results. The results showed that *Amblyseius andersoni* demonstrated the highest biological efficacy against thrips, reaching 83.1%, while *Amblyseius montdorensis* demonstrated 77.9%. Both predatory mite species demonstrated high efficacy against spider mites: *Amblyseius andersoni* demonstrated 88.8% efficacy, while *Amblyseius montdorensis* demonstrated 87.8%.

Conclusion. The studies confirmed the high biological efficacy of *Amblyseius montdorensis* and *Amblyseius andersoni* against thrips and spider mites on raspberries, supporting their potential for use in integrated pest management systems.

Keywords: entomophage; raspberry; predator; spider mite; thrips.

УДК 633.361:631.52 **Исследовательская статья**

Дикорастущие популяции эспарцета (*Onobrychis arenaria*) – исходный материал для селекции

Коберницкая Т.М., **Парсаев Е.И.**, **Филиппова Н.И.**

ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева»
Акмолинская область, Шортандинский район, п. Научный, Казахстан

Автор-корреспондент: Коберницкая Т.М.: tanya.kobernitskya@bk.ru
Соавторы: (1: ЕП) otdel-mnogoletnih-trav@mail.ru; (2: НФ) filippova-nady@mail.ru

Получено: 13.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Коберницкая Т.М. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Приведены результаты изучения дикорастущих популяций эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria)*. Показана возможность их использования как исходного материала. В процессе создания новых сортов культуры особую ценность в условиях резко-континентального климата представляют повышенная зимостойкость и засухоустойчивость, хорошая облиственность, стабильная продуктивность, питательность корма. Целью исследований является изучение и оценка дикорастущих образцов эспарцета по урожайности и хозяйственно-ценным признакам.

Материалы и методы. Представлена характеристика погодных условий в годы проведения опытов по степени увлажнения и температурному режиму. В полевых условиях проведены фенологические наблюдения, регистрация основных фаз развития растений, оценка биологической укосной массы, выход сухого вещества и семенная продуктивность.

Результаты. Показаны результаты биохимических анализов по определению уровня содержания сырого и переваримого протеина, а также наличие клетчатки. За годы изучения из 16 дикорастущих образцов эспарцета выделены 4 высокоурожайных с уровнем продуктивности зеленой массы 537,0-564,2 г/м^2. Максимальный выход сухого вещества имели образцы: 128-2922-07, 123-2955-40, 125-2950-35, 129-2945-30, 119-2000-01 и 126-2941-26. Высокой семенной продуктивностью отличались 5 дикорастущих образцов. По комплексу показателей (высокая продуктивность зеленой массы, сухого вещества и семян) лучшими были образцы 119-2000-01, 126-2941-26 и 129-2945-30.

Заключение. Выделены образцы эспарцета, обладающие как отдельными, так и комплексными положительными признаками и свойствами. Наиболее ценные образцы эспарцета включены в селекционный процесс в качестве исходного материала.

Ключевые слова: эспарцет; дикорастущий образец; исходный материал; зелёная и сухая масса; семена; качество.

Введение

Культурные формы эспарцета происходят от дикорастущего вида. Культура эспарцета возникла в южной Франции и потом распространилась в другие европейские страны. Эспарцет в дикорастущем состоянии встречается в Германии, Италии, Швейцарии и других странах Западной Европы [1]. В странах СНГ возделывается в России, Белоруссии, Украине, Грузии, Азербайджане.

В республике посевы эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria* D.C.) распространены в Северном и Центральном Казахстане, в Восточно-Казахстанской, Актюбинской и Западно-Казахстанской областях. На юге Казахстана преобладает эспарцет виколистный (*Onobrychis viciifolia* Scop.) и закавказский (*Onobrychis antasiatica* Khin.).

Для пополнения видовых коллекций и сохранения видового разнообразия сотрудники ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева» проводят

Как цитировать: Коберницкая, Т.М., Парсаев, Е.И., Филиппова, Н.И. (2026). Дикорастущие популяции эспарцета (*Onobrychis arenaria*) – исходный материал для селекции. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 202-210. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2278

экспедиционные сборы дикорастущих образцов многолетних трав в естественной среде по областям Казахстана.

В природной среде северного региона Казахстана, включающей степную и лесостепную подзону травостой эспарцета песчаного сконцентрирован в основном на пониженных участках микрорельефа, обеспечивающих достаточное влагонакопление, в злаково-бобово-разнотравных ценозах. Образцы, собранные при обследовании естественной флоры, характеризовались высокой семенной продуктивностью, средней облиственностью, слабой осыпаемостью семян [2].

Несмотря на длительную селекционную работу с эспарцетом, научные исследования по культуре в настоящее время ведутся в странах ближнего и дальнего зарубежья. До сир пор остается актуальным вопрос зимостойкости и засухоустойчивости многолетних бобовых трав. В свою очередь, дикорастущие растения обладают устойчивостью к пониженным температурам и способностью формировать относительно высокую биомассу и семенную продуктивность в условиях засушливого климата.

Семенная продуктивность эспарцета зависит не только от сорта и технологии возделывания, но и от наличия насекомых опылителей. Наличие насекомых-опылителей (диких и домашних пчел) в период массового цветения зачастую определяет семенную продуктивность эспарцета.

В Великобритании учёные-исследователи пришли к выводу, что в последнее время снижается количество насекомых-опылителей из-за сокращения флористического разнообразия цветочных ресурсов в сельскохозяйственных угодьях и прилегающих к ним территориях. И связывают ситуацию с интенсификацией сельского хозяйства – увеличением количества используемых гербицидов, применением азотных удобрений, заменой сенокосных лугов на силосные монокультуры. Ими предложены следующие методы управления количеством энтомофауны: восстановление пастбищ, естественное возобновление или подсев семян полевых цветов и дикорастущих растений по краям полей и малопригодным землям. Все это позволит не допустить сокращения видов и количества насекомых [3]. Для улучшения существующих сортов эспарцета необходимо вовлечение в селекционный процесс дикорастущих форм, обладающих рядом ценных положительных признаков. Сбор и хранение дикорастущих популяций не только одна из составляющих метода реинтродукции растений, но и возможность пополнения исходного материала для селекционной работы. С этой целью проводят регулярные сборы дикорастущих образцов многолетних бобовых и злаковых трав. Дикорастущие формы многолетних трав, как бобовых (эспарцет, люцерна, донник) так и злаковых (житняк, кострец, ломкоколосник) находятся в видовых коллекциях, и используются в селекционном процессе благодаря высокой засухоустойчивости и зимостойкости [4, 5, 6].

Основная задача работы – комплексное изучение дикорастущих образцов эспарцета и создание исходного материала, отвечающего современным требованиям селекции, с выделением сортотипов, характерных для данной зоны.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использованы 16 дикорастущих образцов эспарцета песчанного, отобранных предварительно организованной экспедицией по сбору растительного разнообразия в естественной среде. Ботаническое обследование проведено в трех районах степной подзоны (Целиноградский, Есильский, Шортандинский) и четырех районах лесо-степной подзоны (Аккольский, Зерендинский, Буландинский, Сандыктауский) Акмолинской области. Полевые и лабораторные испытания отобранных образцов проведены в п. Научный в 2021–2024 гг. Посев семян эспарцета ранневесенний, широкорядный (междурядья 60 см) проведен в 2020 году. Дикорастущие формы высеяны на делянках площадью 3,0 м^2 в двухкратной повторности. Сравнение проводилось со стандартным сортом Песчаный улучшенный. При оценке образцов использованы утвержденные методические рекомендации [7, 8]. Отбор растительных проб для определения потенциальной продуктивности и оценки общей питательности корма проведен в фазу массового цветения изучаемых образцов. Комплексная оценка позволила выявить лучшие формы для дальнейшего использования в селекционном процессе.

Статистическая обработка данных проводилась методом дисперсионного анализа на основании методики полевого опыта *Доспехова Б.А.*, с обработкой экспериментальных данных с помощью пакета программ AGROS 2.11 [9, 10].

Лабораторные исследования кормовой массы проведены согласно ГОСТам, регламентирующих качество корма [11].

Метеорологические условия 2021-2024 годов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Условия вегетационного периода в годы испытаний

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм				
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г	средне много-летнее	2021г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	средне много-летнее
апрель	2,7	8,3	3,2	7,4	3,4	3,6	3,0	64,1	10,7	20,2
май	17,2	15,7	15,3	11,2	12,5	12,1	16,9	2,5	76,9	32,4
июнь	18,4	20,2	20,0	22,6	18,3	18,3	22,2	13,2	62,3	39,5
июль	20,4	21,1	24,2	21,7	19,9	31,9	52,9	10,6	63,3	57,0
август	19,6	17,2	19,0	17,3	17,4	37,8	25,2	12,7	106,6	39,8
Всего за вегетацию	15,7	16,5	16,3	16,0	14,3	103,7	120,0	103,1	319,8	188,9

Высокие запасы влаги в осенне-зимний период 2021, 2022 и 2024 годов способствовали дружному оживлению и весеннему отрастанию растений – 23 апреля (2021 год), 18 апреля (2022 год), 20 апреля (2024 год). В условиях 2023 года, при недостатке осенне-зимних осадков, холодном марте отрастание на посевах эспарцета началось 26 апреля.

Бутонизация образцов эспарцета (2021 г.) проходила 25–26 мая при дефиците влаги в почве. Цветение началось 5 июня. ГТК июня – 0,3. Недобор осадков составил 46,3%, в половину от среднемноголетней нормы 39,5 мм. В июле месяце осадков выпало 31,9 мм, при многолетней норме 57,0 мм. ГТК за июль составил 0,5, среднемноголетний ГТК-1,0. Условия июля способствовали дружному созреванию семян и качественной уборке образцов эспарцета.

В 2022 году бутонизация эспарцета (23–25 мая) проходила при 15,70С и ГТК мая и июня – 0,3 к средне многолетнему 0,7. Начало цветения – 30 мая–2 июня. ГТК за июль составил 0,7. Осадки выпали в третьей декаде июля, что не повлияло на начало уборки семян.

Во второй-третьей декаде апреля 2023 года выпало три месячных нормы осадков. Май характеризовался незначительными осадками и повышенным температурным режимом, фаза начала бутонизации отмечена – 28–30 мая. Цветение на питомнике началось 3–5 июня в сухую и жаркую погоду, ГТК первой декады июня - 0,1. Созревание семян – 12–14 июля.

Максимальное количество осадков за годы исследования выпало в 2024 году, за май–июнь выпало 139,2 мм осадков. За вегетационный период - 319,8 мм. Начало цветения отмечено 10–13 мая, созревание семян 20–22 июля. Температура третьей декады июля 21,9 °С и минимальное количество осадков 1,6 мм позволила вовремя начать уборку семян эспарцета.

Результаты

Начальным этапом селекционного процесса является подбор, изучение, исходного материала с определенными параметрами. Одним из наиболее перспективных методов улучшения показателей биологической и семенной продуктивности существующих сортов является способ привлечения в селекционный процесс дикорастущих форм с ярко выраженными признаками зимостойкости и засухоустойчивости [12].

Проникающий в почву на глубину более 1 м стержневой корень обеспечивает эспарцету его засухоустойчивость. Другие исследователи подтверждают, что проростки эспарцета наиболее чувствительны к дефициту влаги, как в почве, так и воздухе. Когда взрослые растения обладают высоким уровнем засухоустойчивости за счет развитой корневой системы. Предлагают новые критерии отбора на начальных этапах развития растений эспарцета. Корневая коронка эспарцета песчаного обладает способностью углубляться в почву до 4,5 см, что, в свою очередь, способствует повышению зимостойкости эспарцета [13]. При определении степени зимостойкости и засухоустойчивости в посеве была использована пятибалльная шкала оценки – от 1 до 5 баллов. Самый высокий балл соответствовал количеству сохранившихся растений.

Количество перезимовавших растений у дикорастущих форм составляло 90-97%, при этом показатель засухоустойчивости изменялся в пределах от 4 до 5 баллов.

Количество дней от начала весеннего отрастания эспарцета до массового цветения в 2021 году составляло 40–42 дня, 2022 41–43 дня, 2023 36–38 дней, 2024 – 49–51 дня. Соответственно в эти годы семена созревали за 85–87, 86–88, 76–78 и 91–93 дней.

Урожайность зеленой массы дикорастущих образцов в первый год пользования составила 400,9–470,0 г/м^2 ,при уровне стандарта 425,7 г/м^2. Достоверно превышали стандарт на 44,3-25,6 г/м^2 (или 10,4–6,0%) следующие образцы: 126-2941-26, 129-2945-30 (Зерендинский район), 119-2000-01, 128-2922-07 (Аккольский район), 124-2936-21, 125-2950-35 (Буландинский). Два образца имели превышение на 5,7–6,1 г/м^2 (1,3–1,4%), 4 незначительное превышение на 1,4-3,0 г/м^2, остальные были ниже стандарта.

Во второй год пользования (2022 г.) урожайность зеленой массы достигала 510,0–574,5 г/м^2. Лучшие образцы 126-2941-26, 129-2945-30, 119-2000-01, 128-2922-07, 125-2950-35 превышали стандарт Песчаный улучшенный на 46,5–30,0 г/м^2. Дикорастущие образцы 124-2936-21, 121-2970-55 (Целиноградский), 127-2873-141 (Атбасарский) и 123-2955-40 (Сандыктауский) на 27,4–11,3 г/м^2; на 5,2 г/м^2 – 120-2978-63 (Целиноградский), на 3,6 г/м^2 - 132-2892-14.

Наиболее неблагоприятным для роста и развития растений эспарцета был третий год пользования. Высота травостоя составила 47–55 см, при уровне стандарта Песчаный улучшенный – 50 см. Высокорослыми 53–54 см были образцы эспарцета: 126-2941-26, 128-2922-07, 129-2945-30. Урожайность зеленой массы опыта составила 280,7–400,5 г/м^2, при урожайноси стандарта 370,2 г/м2. Дикорастущие образцы превышали стандартный сорт на 5,2–30,3 г/м^2. Высокоурожайными были 119-2000-01 (+30,3 г/м^2), 123-2955-40 (+11,3 г/м^2). Образцы 125-2950-35 и 120-2978-63 превысили стандарт на 9,6 и 5,2 г/м^2 соответственно. У образцов 126-2941-26 и 129-2945-30 по сравнению с 2021, 2022 годами наблюдалось снижение урожайности зеленой массы.

Высокой влагообеспеченностью отличался 2024 год, за май-июль выпало 202,5 мм осадков, при среднемноголетней 128,9 мм. Из-за чего сроки цветения и созревания сместились в сторону увеличения. Урожайность зеленой массы составила 821,3-640,0 г/м2. Лучшие образцы 128-2922-07, 124-2963-21, 123-2955-40, 126-2941-26, 129-2945-30, 119-2000-01, 125-2950-35 превышали стандарт Песчаный улучшенный (645, г/м^2) на 55,7- 176,3 г/м^2.

За годы изучения в среднем по урожайность зеленой массы превысили стандарт Песчаный улучшенный 5 образцов: 119-2000-01 на 72,0 г/м^2, 125-2950-35 на 60,4 г/м^2, 126-2941-26 – 45,6 г/м^2, 129-2945-30 – 44,8 г/м^2 и 123-2955-40 – 30,9 г/м^2, 4 образца имели небольшое превышение – 3,8-12,0 г/м^2 (таблица 2).

Таблица 2. Продуктивность зеленой массы лучших образцов эспарцета

Образец	Урожайность зеленой массы, г/м^2				Среднее	+/- к st., г/м^2
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Песчаный улучшенный, st.	425,7	528,0	370,2	645,0	492,2	-
119-2000-01	467,3	569,0	400,5	820,0	564,2	+72,0
125-2950-35	451,3	558,0	379,8	821,3	552,6	+60,4
126-2941-26	470,0	574,5	332,2	774,5	537,8	+45,6
129-2945-30	469,2	570,4	322,7	785,7	537,0	+44,8
123-2955-40	431,4	539,3	381,5	740,3	523,1	+30,9
128-2922-07	461,9	563,7	290,7	700,7	504,2	+12,0
124-2936-21	451,6	555,4	290,5	702,0	499,8	+7,6
120 –2978-63	428,7	533,2	375,4	649,6	496,7	+4,5
127-2873-141	427,4	532,8	363,6	660,2	496,0	+3,8
среднее	448,4	552,4	350,7	729,9		
$НСР_{0.05}$	19,7	22,8	15,2	23,5		

Выход сухого вещества, важный показателей продуктивности растений. Урожайность сухого вещества по питомнику составляла – 105,0-123,1 г/м² (2021 г.), 168,5-216,7 г/м² (2022 г.), 88,0–116,7 г/м² (2023 г.) и 185,6-237,8 г/м² (2024 г.) при уровне соответствующих стандартов 113,0; 170,0; 96,2 и 187,0 г/м² (таблица 3).

Таблица 3. Урожайность сухого вещества образцов эспарцета

Сорт, образец	Урожайность сухого вещества, г/м²				Среднее	+/- к st. г/м²
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Песчаный улучшенный, st.	113,0	170,0	96,2	187,0	141,5	-
126-2941-26	123,1	210,8	103,0	232,3	167,3	+25,8
119 -2000-01	119,2	201,4	108,1	236,8	166,3	+24,8
129-2945-30	122,0	216,7	90,3	227,8	164,2	+22,7
125-2950-35	117,5	181,9	98,7	235,7	158,3	+16,8
123-2955-40	111,7	186,6	116,7	216,1	157,8	+16,3
128-2922-07	120,2	214,2	87,0	208,5	157,5	+16,0
124-2936-21	117,0	203,2	93,0	210,6	156,0	+14,5
121-2970-55	111,8	198,2	95,2	194,0	149,8	+8,3
127-2873-141	115,6	180,0	106,9	194,7	149,3	+7,8
132-2892-14	115,2	177,5	88,3	191,0	143,0	+1,5
среднее	116,9	194,6	98,5	212,2		
$НСР_{0.05}$	4,4	3,8	4,1	4,8		

Наибольший уровень урожайности в 2021–2022 годах по питомнику имели 126-2941-26, 129-2945-30, 128-2922-07 и 119-2000-01, в 2023 году 126-2941-26, 119-2000-01, 127-2873-141 и 123-2955-40, в 2024 - 126-2941-26, 119-2000-01 и 129-2945-30. В среднем за годы изучения дикорастущие образцы 126-2941-26, 119-2000-01, 129-2945-30, 125-2950-35, 123-2955-40, 128-2922-07 и 124-2936-21 превышали стандарт Песчаный улучшенный (141,5 г/м²) на 14,5-25,8 г/м².

Количество листьев на растении (облиственность) один из важных показателей кормовой ценности. Он обуславливает питательную ценность, наличие большего содержания полезных элементов и лучшую поедаемость животными по сравнению со стеблями.

Высокой облиственностью (50,7-54,7%) за годы изучения характеризовались образцы: 122-2979-64, 129-2945-30, 126-2941-26, 128-2922-07 и 120-2978-63.

Высокую семенную продуктивность (27,4-29,6 г/м2) в контрастных климатических условиях показали: 119-2000-01, 125-2950-35, 126-2941-26, 129-2945-30 и 124-2936-21 (таблица 4).

Таблица 4. Урожайность семян в питомнике изучения эспарцета песчаного

Сорт, образец	Урожайность семян, г/м²								
	2021 г.		2022 г.		2023 г.		2024 г		среднее
	г/м²	+/- к st.	г/м²	+/- к st.	г/м²	+/- к st.	г/м²	+/- к st.	
Песчаный улучшенный, st.	20,3	-	26,5	-	19,7	-	23,6		22,5
119-2000-01	27,0	+6,7	35,2	+8,7	26,7	+6,8	30,8	+ 7,2	29,6
125-2950-35	26,7	+6,4	34,6	+8,1	26,0	+6,3	30,3	+6,7	29,1
124-2936-21	26,2	+5,9	30,3	+3,8	25,8	+6,1	28,2	+4,6	27,4
126-2941-26	26,0	+5,7	34,5	+8,0	25,8	+6,1	30,2	+6,6	28,8
129-2945-30	25,5	+5,2	34,3	+7,8	25,2	+5,5	29,0	+5,4	28,3
128-2922-07	23,0	+2,7	30,9	+4,4	21,0	+1,3	27,2	+3,6	25,0
138-2896-19	22,8	+2,5	32,9	+6,4	20,8	+1,1	28,2	+4,6	25,5
120-2978-63	22,0	+1,7	28,4	+1,9	20,2	+0,5	25,7	+2,1	23,5

Продолжение таблицы 4

127-2873-10	21,8	+1,5	32,8	+6,3	20,6	+0,9	27,6	+4,0	25,1
123-2955-40	21,5	+1,2	33,4	+6,9	20,5	+0,8	27,5	+3,9	25,1
122-2979-64	21,9	+0,5	34,0	+7,5	20,9	+1,2	28,0	+4,4	25,6
121-2970-55	20,3	0	28,6	+1,9	19,9	+0,2	24,5	+0,9	22,9
137-2895-18	20,2	-0,1	25,2	-1,3	19,8	+0,1	22,5	-1,1	21,7
131-2887-14	20,0	-0,3	32,5	+6,0	19,7	0	24,6	+1,0	24,1
132-2892-15	20,0	-0,3	29,8	+3,3	19,8	+0,1	23,9	+0,3	23,2
130-2020-05	20,2	-0,1	28,0	+1,5	19,4	-0,3	23,8	+0,2	22,8
среднее	22,6		31,3		21,8		26,8		
$НСР_{0,05}$	0,15		0,22		0,19		0,21		

Самая высокая урожайность по питомнику была на втором году пользования на уровне 25,2–35,2 г/м^2. В среднем за годы изучения 5 дикорастущих образцов превышали стандарт на 4,9-7,1 г/м^2 и 5 образцов на 2,5–3,1 г/м^2, один был ниже стандарта, остальные имели незначительное превышение.

Качество корма является одним из важных критериев ценности сортов. При анализе сухого вещества корма количество сырого протеина колебалось от 16,6 до 19,0%, при этом процент содержания клетчатки находился в пределах 17,4–22,2%. По выходу сырого протеина - 19,0% лидировал образец 119-2000-01; 18,9% и 18,8% образцы 129-2945-30 и 126-2941-26; 121-2970-55 – 18,0%, 128-2922-07 – 18,2%, 122-2979-64 -18,5%, при уровне стандарта 17,7%. Низкое содержание сырой клетчатки 17,4% имел образец 122-2979-64, у стандартного сорта содержание сырой клетчатки – 19,0%. Образец 124-2936-21 характеризовался самым низким со-держанием сырого протеина – 16,7% и самым высоким сырой клетчатки – 22,2%. При этом образец 122-2979-64, с уровнем сырого протеина 18,5% имел минимальное количество сырой клетчатки – 17,4%.

Обсуждение

Растения эспарцета дикорастущих образцов в год посева развивались по озимому типу. Зимостойкость дикорастущих образцов была высокой. Количество перезимовавших растений в 2021 году составляло 97-95%, в 2022 – 97-93 %, в 2024 - 95-90%. По интенсивности отрастания больших различий между образцами не наблюдалось в 2021 и 2022 гг. в условиях 2023 года, при холодном марте и недостатке осенне-зимних осадков отрастание началось 26 апреля. Образцы собранные в Целиноградском, Аккольском и Шортандинском районах отличались дружным и интенсивным отрастанием. Одним из критериев оценки образцов является продуктивность.

В исследовании *Сапрыкина* и соавторов (2022 г.) так же, как и в наших опытах, образцы эспарцета изучались по урожайности зеленой массы, сухого вещества и семян. Одной из проблем многолетних трав является совмещение высокой урожайности зелёной массы и семян. Учеты по годам пользования выявили 6 образцов эспарцета песчаного стабильно превышающие стандарт по семенной продуктивности на 121–154%. Из них превышали стандартный сорт по урожайности зеленой массы на 120% – 2 образца и 108% – один сортообразец. Выделенные образцы включены в плановые скрещивания в питомнике поликросса [14].

В наших исследованиях в среднем за годы изучения семенная продуктивность лучших образцов составила 25,6–29,6 г/м^2, превышение над стандартом 113,7–131,5%. По урожайности зеленой массы и семян 4 образца превысили соответствующие стандарты (492,2 и 22,5 г/м^2) на 109,1–131,5%. Наиболее выровненную семенную продуктивность независимо от метеорологических условий по годам показали образцы 119-2000-01 (6,7; 8,7; 6,8 и 7,2 г/м^2), 125-2950-35 (6,4; 8,1; 6,3; 6,7 г/м^2), 126-2941-26 (5,7; 8,0; 6,1 и 6,6 г/м^2), 129-2945-30 (5,2; 7,8; 5,5 и 5,4 г/м^2).

В работе *Волошина* (2018 г.) образцы из дикорастущей флоры сравнивались с селекционными сортами эспарцета. Представлены данные по перезимовке растений, урожайности зеленой массы и семян. В годы изучения не было выявлено четкой разницы между сортами и дикоросами по урожайности зеленой массы. По урожайности семян один из дикоросов Д-1 и сорт обеспечили

наибольший сбор семян – 92,57 г/м^2. После проведения оценки местных дикорастущих форм с сортами эспарцета, созданными в других регионах России были ото-браны формы с признаками характерными для культурных сортов.

Так же заслуживает внимания биохимическая оценка дикорастущих образцов эспарцета. Образцы имели высокое содержание сырого протеина - 18,0–19,0%, содержание сырой клетчатки колебалось от 17,4 до 22,0%.

Таким образом, дикорастущие образцы эспарцета могут быть перспективными для дальнейшего изучения и использования в качестве исходного материала.

Заключение

Сбор дикорастущих форм культуры эспарцета является важным резервом повышения генетического разнообразия и источником ценных положительных признаков и свойст для последующего селекционного улучшения этой ценной кормовой культуры. Основным критерием оценки образцов является урожайность зеленой и сухой массы. Многолетнее изучение собранных природных форм выявило образцы 119-2000-01, 125-2950-35, 126-2941-26 и 129-2945-30 с высокой продуктивностью зеленой массы, по содержанию сухого вещества с прибавкой 11,3–19,2 г/м^2 выделились 6 образцов. Высокую облиственность куста имели формы 122-2979-64, 129-2945-30, 126-2941-26, 128-2922-07 и 120-2978-63. По урожайности семян отобрано 5 дикорастущих форм 119-2000-01, 125-2950-35, 124-2936-21, 126-2941-26 и 129-2945-30 превышающих показатели стандарта. Оценено качество корма всех отобранных форм эспарцета. Выделенный ценный исходный материал включен в селекционный процесс, в 2025 году заложены питомники поликросса и гибридизации.

Вклад авторов

НФ: административное руководство исследовательским проектом, сбор растительных образцов, редактирование. ЕП: сбор растительных образцов, идеи исследования, проведение исследования. ТК: проведение полевых исследований, обработка полученных данных, написание статьи. Все авторы прочитали, ознакомились и одобрили окончательную редакцию статьи.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства РК на 2024–2026 годы BR22884393 «Создание конкурентоспособных сортов и гибридов кормовых культур для различных агроклиматических зон Казахстана и разработка сортовой технологии».

Список литературы

1 Karasik, G.I., Sokolov, A.A. (1931). *Mnogoletniye kormovyye bobovyye travy: klever krasnyy, lyutserna, espartset, donnik* [*Perennial forage legumes: red clover, alfalfa, sainfoin, sweet clover*]. Gosudarstvennoye izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy i kolkhozno-kooperativnoy literatury. Moskva: Leningrad Gosudarstvennoye izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy i kolkhozno-kooperativnoy literatury, 93. [*In Russian*].

2 Esimbekova, M.A., Mukin, K.B, Dolinnyj, Yu.Yu, Ajnebekova, B.A., Espanov, A.M., Didenko, I.L., Kenebaev, A.T. (2024). Rezultaty mobilizacii geneticheskix resursov selskoxozyaistvennyh rastenii v Kazaxstane [The results of agricultural crops genetic resources mobi-lization in Kazakhstan]. *Izdenister, nátıjeler-Issledovanıa, rezýltaty*, 2-1, 316-331. DOI: 10.37884/2-1-2024/568. [*In Russian*].

3 Nichols, R.N., Wood, T.J., Holland, J.M., Goulson, D. (2022). Role of management in the longterm provision of floral resources on farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 332, 108004. DOI: 10.1016/j.agee.2022.1080047.

4 Voloshin, V.A. (2018). Podbor i otsenka geneticheskogo materiala esparceta peschanogo v kollektsionnom pitomnike [The selection and the evaluation of Onobrichis arenaria (Kit) genetic material in a collection nursery]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra*, 4, 33–38. DOI: 10.7242/1998-2097/2018.4.5. [*In Russian*].

5 Abaev, S., Kenebaev, A., Erzhanova, S., Meiyrman, G‘., Toktarbekova, S., Shegebayev, G. (2024). Selektsionno-tsennye priznaki kollektsii lyutserny [Breeding –valuable signs of the allfalfa collection]. *Izdenister, nátıjeler*, 2–1(special), 98–112. DOI: 10.37884/2-1-2024/543. [*In Russian*].

6 Derevyannikova, M.V., Chumakova, V.V., Chumakov, V.F. (2020). Perspektivnyy iskhodnyy material dlya selektsii zhitnyaka grebnevidnogo v usloviyakh Stavropol'skogo kraya [Promising parental genotypes of crested wheat grass in the stavropol region]. *Kormoproizvodstvo*, 5, 39–41. [*In Russian*].

7 VIR. (1973). *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollektsii mnogoletnikh kormovykh trav* [*Guidelines for the study of the collection of perennial forage herbs*]. Leningrad: Izdatelstovo VIR, 37. [*In Russian*].

8 VNII kormov. (1985). *Metodicheskie ukazaniya po selektsii mnogoletnikh trav* [*Methodological guidelines for the breeding of perennial grasses*]. Moskva: VNII kormov, 188. [*In Russian*].

9 Dospekhov, B.A. (1973). *Metodika polevogo opyta* [*The methodology of field experience*]. Moskva: Kolos, 336. [*In Russian*].

10 Martynov, S.P. (2000). *Paket programm statisticheskogo i biometriko-geneticheskogo analiza v rastenievodstve i selektsii "AGROS"*, versiya 2.11 [*Software package for statistical and biometric genetic analysis in crop production and breeding "AGROS"* (version 2.11)]. Tver’, 101. [*In Russian*].

11 TSINAO. (2002). *Metodicheskie ukazaniya po otsenke kachestva i pitatel'nosti kormov* [*Guidelines for assessing the quality and nutritional value of feed*]. Moskva: TSINAO, 76.[*In Russian*].

12 Chukhina I.G., Bagmet L.V., Shipilina L.YU., Talovina G.V. (2026) Sovremennyy etap ekspeditsionnoy deyatel'nosti VIR po sboru geneticheskikh resursov rasteniy. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy*, 9(2), 64–76. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-2-o. [*In Russian*].

13 Havrysh, S.L., Viniukov, O.O., Bondareva, O.B. (2022). Evaluation of sainfoin (*Onobrychis*) in the source material nursery according to new selection criteria at the initial stages of organogenesis. *Grain Crops*, 6(2). 61–68. DOI: 10.31867/2523-4544/0233.

14 Saprykin, S.V., Zolotarev, V.N., Labinskaya, R.M. (2022). Izucheniye i otsenka iskhodnogo materiala espartseta peschanogo (*Onobrychis arenaria* (Kit.) D.C.) po osnovnym khozyaystvenno-biologicheskim priznakam v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [Study and Evaluation of the Initial Material of Sand Sainfoin (*Onobrychis arenaria* (Kit.) D.C.) Based on Major Agro-nomic and Biological Traits under the Conditions of the Central Black Earth Region]. *Kormoproizvodstvo* 2, 34-39. DOI: 10.25685/krm.2022.2.2022.004. [*In Russian*].

Эспарцеттің (*Onobrychis arenaria D.C.*) жабайы популяциясы – селекция үшін бастапқы материал

Коберницкая Т.М., Парсаев Е.И., Филиппова Н.И.

«А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС
Қазақстан, Ақмола облысы, Шортанды ауданы, Научный кенті

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Құмды эспарцеттің жабайы өсетін популяцияларын (*Onobrychis arenaria)* зерттеу нәтижелері келтірілген. Оларды бастапқы материал ретінде пайдалану мүмкіндігі көрсетілген. Дақылдың селекциялық сорттарының шаруашылық-бағалы белгілерін (құрғақшылыққа төзімділігі, жапырақтылығы, өнімділігі, құнарлылығы).

Материалдар мен әдістер. Ылғалдану дәрежесі мен температуралық режим бойынша тәжірибелер жүргізу жылдарындағы ауа райы жағдайларының сипаттамасы ұсынылған. Дала жағдайында фенологиялық бақылау, өсімдіктердің дамуының негізгі фазаларын тіркеу, биологиялық шабу массасы, құрғақ зат шығымы және тұқым өнімділігі бағалау жүргізілді.

Нәтижелер. Шикі және сіңімді ақуыз деңгейі мен талшықтың бар жоғы бойынша биохимиялық талдаулардың нәтижелері көрсетілген. Зерттеу жылдарында эспарцеттің жабайы өсетін 16 үлгісінен өнімділік деңгейі 537,0-564,2 г/м^2 болатын өнімділігі жоғары 4 үлгі бөлінді. Құрғақ заттың ең көп шығымы 128-2922-07, 123-2955-40, 125-2950-35, 129-2945-30, 119-2000-01 және 126-2941-26 болды. 5 жабайы өсу үлгісі тұқым өнімділігімен ерекшеленеді. Көрсеткіштер кешені бойынша (жасыл массаның, құрғақ заттың және тұқымның жоғары өнімділігі) 119-2000-01, 126-2941-26 және 129-2945-30 үздік болды.

Қорытынды. Жеке, сондай-ақ кешенді оң белгілері мен қасиеттері бар эспарцет үлгілері ерекшеленген Эспарцеттің неғұрлым құнды үлгілері бастапқы материал ретінде селекциялық процеске тартылған. Нәтижелерді пайдалану саласы – селекция, жем-шөп өндірісі.

Кілт сөздер: эспарцет; жабайы өсетін үлгілер; бастапқы материал; жасыл масса; құрғақ масса; тұқым.

Wild populations of sainfoin (*Onobrychis arenaria*) are the source material for breeding

Tatyana M. Kobernitskaia, Yevgeny. I. Parsaev, Nadezhda I. Filippova

LLP “A.I. Baraev Scientific and Production Center for Grain Farming”
Nauchnyy Settlement, Shortandy District, Akmola Region, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. The results of the study of wild populations of sandy sainfoin (*Onobrychis arenaria)* are presented. The potential of these populations as source material for developing new varieties is demonstrated to improve traits of particular importance in extreme continental climates: increased winter hardiness and drought resistance, good foliage, stable productivity, and nutritional value.

Materials and Methods. Weather conditions during the experimental yearsin terms of moisture and temperature conditions are presented. Phenological observations, registration of the main phases of plant development, assess-ment of biological mowing mass, dry matter yield and seed productivity were carried out in the field.

Results. Laboratory analyses of crude protein and fiber levels are presented. Over the years, 4 high-yielding sainfoin samples with a green mass productivity level of 537,0-564,2 g/m^2 have been identified from 16 wild-growing samples. The maximum dry matter yield was 128-2922-07, 123-2955-40, 125-2950-35, 129-2945-30, 119-2000-01 and 126-2941-26. 5 wild-growing samples were distinguished by high seed productivity. In terms of a set of indicators (high productivity of green mass, dry matter and seeds), 119-2000-01, 126-2941-26 and 129-2945-30 were the best.

Conclusion. Samples of the sainfoin t with both individual and complex positive features and properties were identified. The most valuable samples of the sainfoin are involved in the selection process as starting material. The results can be applied in breeding, feed production, and gene pool conservation

Keywords: sainfoin; wild samples; starting material; green mass; dry mass; seeds.

ӘОЖ 577.15: [579.6] **Зерттеу мақаласы**

Бидай сабанынан құрамында ксилоолигосахаридтер (КОС) бар гидролизатты ферментативтік жолмен алу және оның лактобациллалардың өсуіне әсерін бағалау

Шамсиева Ю., Якупов Б., Тимощук С., Абдишов Д., Кирибаева А.

«Ұлттық биотехнолоия орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан

Корреспондент автор: Кирибаева А.: kiribayeva@biocenter.kz
Бірлескен авторлар: (1: ЮШ) shpinyova@biocenter.kz; (2: БЯ) bakhtiyarakupov@gmail.com
(3: СТ) savva_750@mail.ru; (4: ДА) dauletabdishov@gmail.com

Қабылданған күні: 13.08.2026 **Қабылданды:** 28.09.2026 **Жарияланды:** 09.10.2026

Авторлық құқық: Шамсиева Ю. т.б. Бұл мақала ашық қолжетімділікте жарияланып, Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясының шарттарына сәйкес таратылады (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Бидай сабаны қолжетімді, жаңартылатын лигноцеллюлозалық шикізат болып табылады және функционалды көмірсу компоненттері ретінде қызығушылық тудыратын ксилоолигосахаридтерді (КОС) өндіру үшін пайдаланылуы мүмкін. Жұмыстың мақсаты рекомбинантты *Bacillus sonorensis* ксиланазасын пайдалана отырып, құрамында КОС бар бидай сабаны гидролизатын алу және оның *Lactobacillus* штамдарының өсуіне әсерін бағалау болды.

Материалдар мен әдістер. 18,5% аммиак ерітіндісімен алдын ала өңделген бидай сабаны рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасы арқылы ферментативтік гидролизден өткізілді. Гидролиздің динамикасы ферменттің субстратқа шаққандағы 50, 100 және 200 б/г мөлшерлемесінде 24 сағат бойы зерттелді. Тотықсыздандырғыш қанттардың мөлшері DNS әдісімен анықталды, ал гидролиз өнімдерінің сапалық құрамы жұқа қабатты хроматография әдісімен бағаланды. 0,5% және 1% гидролизаттың *Lactobacillus fermentum* ATCC 14931, Lactobacillus plantarum ATCC 14917 және *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 53103 штамдарының өсуіне әсері тірі жасушалар саны және қоректік орта pH мәнінің өзгеруі бойынша бағаланды.

Нәтижелер. Тотықсыздандырғыш қанттардың ең жоғары жинақталуы ксиланазаның 200 б/г мөлшерлемесінде және 24 сағаттық гидролиз ұзақтығында байқалды. Жұқа қабатты хроматография әдісімен гидролизат құрамында негізінен ксилобиоза (X2) және ксилотриоза (X3) түрінде ұсынылған ксилоолигосахаридтер анықталды. *L. fermentum* штамында тіршілікке қабілетті жасушалар санының ең айқын артуы байқалды: 1% гидролизат қосылған кезде тіршілікке қабілетті жасушалар саны глюкозасыз ортадағы $(1,07 \pm 0,95) \times 10^5$ КТБ/мл көрсеткішімен салыстырғанда $(1,38 \pm 0,54) \times 10^7$ КТБ/мл жетті. *L. plantarum* штамында да тірі жасушалар санының артқаны байқалды, ал *L. rhamnosus* штамында бұл әсер салыстырмалы түрде әлсіз болды. Гидролизат концентрациясын 0,5%-дан 1%-ға дейін арттыру қоректік ортаның pH мәнінің төмендеуімен қатар жүрді.

Қорытынды. Алынған КОС құрамды бидай сабаны гидролизаты зерттелген *Lactobacillus* штамдарына оң әсер етті, бұл әсердің айқындылығы штамм мен гидролизат концентрациясына байланысты болды.

Кілт сөздер: бидай сабаны; ксилоолигосахаридтер; ксиланаза; гидролиз; лактобациллалар; пребиотиктер.

Кіріспе

Ксилоолигосахаридтер (бұдан әрі КОС) – ксилан гидролизі арқылы алынған ксилозаның қысқа тізбекті олигомерлері. Айқын пребиотикалық қасиеттеріне байланысты КОС әртүрлі салаларда қолдану үшін перспективалы функционалды компоненттер ретінде қарастырылады [1, 2, 3]. Ас қорыту ферменттеріне төзімділігіне байланысты КОС асқазан-ішек жолдарының

жоғарғы бөліктерінде іс жүзінде ыдырамайды және тоқ ішекке жетеді, онда оларды ішек микроорганизмдері пайдалана алады. Зерттеулер КОС ішек микробиотасының құрамына әсер етуі және пайдалы бактериялардың, атап айтқанда *Lactobacillus* және *Bifidobacterium* туыстарының өкілдерінің өсуін ынталандыруы мүмкін екенін растады [1, 2]. Сонымен қатар, олардың әсер ету тиімділігі КОС полимерленуінің құрылымы мен дәрежесіне, олардың концентрациясына және микроорганизмдердің осы қосылыстарды ашыту қабілетіне байланысты өзгеруі мүмкін [1, 2, 3].

Перспективалы бағыттардың бірі – жаңартылатын лигноцеллюлозалық шикізаттан және ауыл шаруашылығы өндірісінің әртүрлі қосалқы өнімдерінен КОС өндіру [3,4,5,6]. Ауыл шаруашылығы өндірісінің өсімдік қалдықтары гемицеллюлозаның қол жетімді көзі болып табылады және оны функционалды олигосахаридтер үшін пайдалануға болады. Атап айтқанда, бидай сабаны ксиланға бай гемицеллюлозаның қолжетімді көзі болып табылады. Мұндай шикізаттан КОС алу оны биотехнологиялық өңдеудің бір бағыты.

Ксиланазалардың әсерінен құрамында ксилан бар шикізаттың ферментативті гидролизі КОС алудың бір әдісі болып табылады. Химиялық гидролизден айырмашылығы, ферментативті процесс жұмсақ жағдайларда жүреді және полимерленуі дәрежесі әртүрлі олигосахаридтерді алуға мүмкіндік береді [3, 4, 7]. *A. Rodríguez-Sanz* және т.б. зерттеуінде бидай сабанын эндоксиланазаларды қолдану арқылы ферментативті гидролиздеу мүмкіндігі көрсетілген. Зерттеуде, процесс жағдайларының гемицеллюлозаның бөлінуіне және алынған өнімдердің құрамына әсері анықталды [8]. Ауыл шаруашылығында биомассаның басқа түрлерін пайдаланған кезде, шикізатты ферментативті гидролизбен бірге алдын ала өңдеу КОС тиімді өндірісіне ықпал ететіні де көрсетілген [9, 10].

КОС өндіру әдістерін әзірлеу кезінде маңызды қадам – алынған өнімдердің функционалдық қасиеттерін зерттеу. Лигноцеллюлоза шикізатының ферментативті гидролизаттарының құрамы шикізат түріне, алдын ала өңдеу әдісіне, қолданылатын ферменттерге және гидролиз жағдайларына байланысты өзгеруі мүмкін [1, 3]. Сондықтан, КОС құрамындағы өнімдердің құрамын анықтау және олардың пайдалы микроорганизмдерінің өсуін қолдау қабілетін зерттеу маңызды, бұл бізге оларды одан әрі пайдалануын бағалауға мүмкіндік береді.

Осылайша, құрамында КОС бар ауыл шаруашылығы шикізатының гидролизаттары функционалды олигосахаридтердің әлеуетті көзі болып табылады. Дегенмен, КОС-тің пробиотикалық микроорганизмдерге әсерін эксперименталды түрде зерттеу қажет, себебі КОС-ті қолдану мүмкіндігі бактериялардың түрі мен штамына байланысты.

Зерттеудің мақсаты бидай сабанынан *B. sonorensis* рекомбинантты ксиланазаны пайдалана отырып, КОС құрамды гидролизат алу және оның *L. fermentum* ATCC 14931, *L. plantarum* ATCC 14917 және *L. rhamnosus* ATCC 53103 штамдарының өсуіне әсерін бағалау болды.

Материалдар мен әдістер

Бидай сабанынан КОС құрамды гидролизат алу

Шикізат ретінде «А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы» (Ақмола облысы, Қазақстан) ұсынған бидай сабаны пайдаланылды. Ферменттік гидролиз алдында бидай сабаны 18,5% аммиак ерітіндісімен өңделді. Бұл лигнин мөлшерін азайтып, ферменттердің гемицеллюлозаға қол жеткізуін жақсартты [12].

Ферментативтік гидролиз *B. sonorensis* рекомбинантты ксиланазасын пайдалана отырып, 100 мМ натрий-фосфатты буферде (pH 7,0), субстрат пен буфердің 1:10 (масс./көлем) қатынасында жүргізілді [13]. Гидролиз жағдайларын оңтайландыру мақсатында ферменттің субстратқа шаққандағы 50, 100 және 200 б/г мөлшерлері зерттелді. Реакциялық қоспалар 40 °C температурада инкубацияланды, ал гидролиз өнімдерінің жинақталу динамикасы 3, 6, 9, 12 және 24 сағаттан кейін бағаланды. Кейінгі пребиотикалық белсенділікті бағалау тәжірибелерінде пайдаланылған гидролизатты алу үшін ферменттің субстратқа шаққандағы 200 б/г мөлшері және 24 сағаттық гидролиз ұзақтығы таңдалды.

Гидролиз аяқталғаннан кейін реакциялық қоспа 10 000 айн/мин жылдамдықта 10 мин бойы центрифуга арқылы бөлінді. Алынған супернатант 0,45 мкм мембрана арқылы сүзілді, лиофилизацияланды және –20 °C температурада сақталды. Тәжірибелер жүргізер алдында лиофилизацияланған гидролизат стерилді дистилденген суда қажетті концентрацияға дейін ерітіліп, 0,22 мкм мембрана арқылы сүзу жолымен стерилденді.

Ферментативті гидролиз өнімдерінің сапалық құрамы жұқа қабатты хроматография (ЖҚХ) әдісімен бағаланды. Стандарттар ретінде ксилоза (X1), ксилобиоза (X2), ксилотриоза (X3), ксилотетроза (X4) және ксилопентоза (X5) пайдаланылды [14]. Тотықсыздандырғыш қанттардың жалпы мөлшері DNS әдісімен анықталып, ксилоза эквиваленттерімен өрнектелді [15].

Зерттеуде пайдаланылған барлық реактивтер аналитикалық тазалық дәрежесіне ие болып, коммерциялық өндірушіден сатып алынды. Ксилоолигосахаридтердің коммерциялық стандарттары – ксилобиоза (X2), ксилотриоза (X3), ксилотетраоза (X4) және ксилопентаоза (X5) – Megazyme (Ирландия) компаниясынан сатып алынып, гидролиз өнімдерін анықтау үшін пайдаланылды.

Микроорганизмдер және өсіру жағдайлары

Пребиотикалық белсенділікті бағалау үшін *L. plantarum* ATCC 14917, *L. fermentum* ATCC 14931 және *L. rhamnosus* ATCC 53103 штамдары пайдаланылды. *Lactobacillus* штамдары MRS агарлы ортасына (HiMedia, Үндістан) екі рет қайта себу арқылы белсендіріліп, кейін 37 °C температурада 18–24 сағат бойы сұйық MRS ортасында өсірілді. Тәжірибелерді жүргізу үшін жаңадан дайындалған тәуліктік дақылдар пайдаланылды.

КОС құрамды гидролизаттың пребиотикалық белсенділігін бағалау

Бидай сабанының ферментативтік гидролизатының пребиотикалық белсенділігі зерттелетін *Lactobacillus* штамдарының өсуіне және қышқыл түзу белсенділігіне әсері бойынша бағаланды [16].

Лиофилизацияланған гидролизат стерилді дистилденген суда ерітіліп, глюкозасыз MRS ортасына соңғы концентрациясы 0,5% және 1% (масс./көлем) болатындай мөлшерде қосылды. Теріс бақылау ретінде глюкозасыз MRS ортасы, ал оң бақылау ретінде глюкозасыз MRS ортасына соңғы концентрациясы тиісінше 0,5% және 1% (масс./көлем) болатын глюкоза қосылған орталар пайдаланылды. Инокулюмді енгізер алдында қоректік ортаның барлық нұсқаларының бастапқы pH мәні 6,8 ± 0,2 жеткізілді.

Стерилді пробиркаларға 9,9 мл тиісті қоректік орта және 0,1 мл тәуліктік *Lactobacillus* культурасы енгізіліп, инокуляттың соңғы мөлшері 1% (көлем/көлем) құрады.Инкубация 37 °C температурада 48 сағат бойы жүргізілді.

Зерттелетін штамдардың қышқыл түзу белсенділігін бағалау үшін культуралық сұйықтықтың pH мәні цифрлық pH-метр көмегімен анықталды.

48 сағаттық өсіруден кейін культуралық суспензиялардың стерилді физиологиялық ерітіндідегі он еселік сериялық сұйылтуы жүргізілді. Тиісті сұйылтулар MRS агарлы ортасына себіліп, 37 °C температурада 24–48 сағат бойы инкубацияланды. Тіршілікке қабілетті жасушалардың саны есептеліп, КТБ/мл түрінде көрсетілді. Барлық анықтаулар үш тәуелсіз биологиялық қайталанымда жүргізілді.

Статистикалық талдау

Тәжірибелер үш тәуелсіз қайталанымда жүргізілді. Нәтижелер орташа мән ± стандартты ауытқу (Mean ± SD) түрінде ұсынылды. Ферментативтік гидролиз жағдайларын оңтайландыру кезінде алынған деректерді өңдеу және тиісті графиктерді құру R 4.5.1 нұсқалы бағдарламалық ортасында (R Core Team, 2025), RStudio 2026.07.1-147 нұсқасының интерфейсінде (Posit Software, PBC, 2026) жүргізілді.

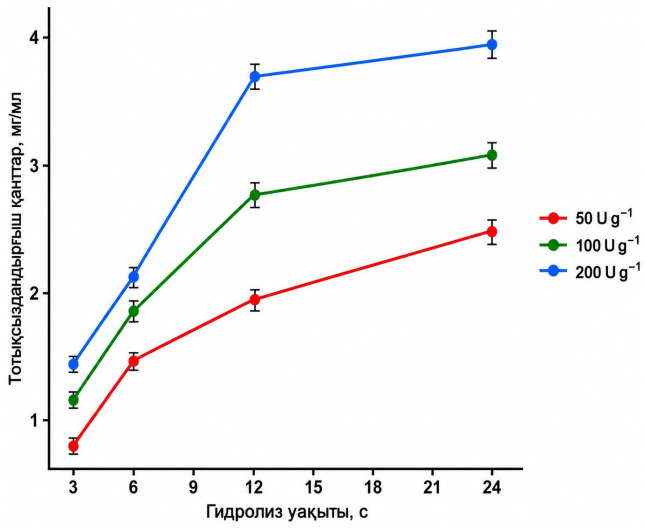
Нәтижелер

Ксиланаза мөлшері мен гидролиз уақытының тотықсыздандырғыш қанттардың жинақталуына әсері

Бірінші кезеңде алдын ала өңделген бидай сабанының рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасымен ферментативтік гидролизінің динамикасы ферменттің субстратқа шаққандағы 50, 100 және 200 б/г мөлшерлерінде зерттелді. Зерттелген барлық нұсқаларда гидролиз уақыты ұзарған сайын тотықсыздандырғыш қанттардың мөлшерінің артқаны байқалды (1-сурет).

Тотықсыздандырғыш қанттардың ең қарқынды жинақталуы гидролиздің алғашқы 12 сағатында байқалды. Фермент мөлшері 200 б/г болған жағдайында олардың мөлшері 3 сағаттан кейін шамамен 1,4 мг/мл, 12 сағаттан кейін 3,7 мг/мл дейін өсті және 24 сағаттан кейін 3,9 мг/мл жетті. 50 және 100 б/г фермент мөлшерінде 24 сағаттан кейін тотықсыздандырғыш қанттардың көрсеткіші сәйкесінше шамамен 2,5 және 3,1 мг/мл болды. Осылайша, тотықсыздандырғыш

қанттардың ең жоғарғы жинақталуы 200 б/г ксиланазаны 24 сағат бойы қолданған кезде байқалды. Бұл шарттар пребиотикалық белсенділікті бағалау тәжірибелеріне арналған гидролизатты алу үшін таңдалды.

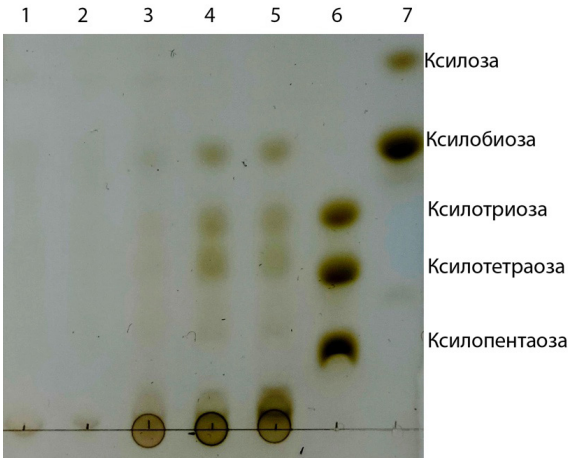


1-сурет. Әртүрлі мөлшердегі рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасын пайдалана отырып, бидай сабанын ферментативтік гидролиздеу кезінде тотықсыздандырғыш қанттардың жинақталу динамикасы. Деректер орташа мән ± SD түрінде берілген (n = 3)

Бидай сабанынан алынған КОС құрамды гидролизаттың сипаттамасы

Гидролиз өнімдерінің сапалық құрамы жұқа қабатты хроматография әдісімен бағаланды. Хроматограммада гидролиздің 24 сағат бойы жүру барысында гидролиз өнімдерінің біртіндеп жинақталғаны байқалды (2-сурет). Гидролиз өнімдерінің хроматограммадағы орналасуын X2–X5 стандарттарымен салыстыру нәтижесінде ксилоолигосахаридтердің түзілгені анықталды, олардың ішінде ксилобиоза (X2) және ксилотриоза (X3) неғұрлым айқын байқалды. Өнімдердің ең жоғары жинақталуы гидролиздің кейінгі кезеңдерінде байқалды, бұл DNS әдісімен анықталған редуцирленетін қанттар мөлшерінің артуымен сәйкес келеді.

Лиофилизациядан кейін дайындалған гидролизат ерітіндісіндегі тотықсыздандырғыш қанттардың жалпы мөлшері DNS әдісімен анықталып ксилозаға шаққандағы эквивалент мөлшерінде 49,9 мг/мл құрады. Алынған КОС құрамды гидролизат зерттелетін Lactobacillus штамдарының өсуіне әсерін бағалау бойынша жүргізілген тәжірибелерде пайдаланылды.



2-сурет. Рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасы арқылы бидай сабанын ферментативтік гидролиздеу өнімдерінің жұқа қабатты хроматографиясы, 1-5 жолақтар – сәйкесінше 3, 6, 9, 12 және 24 сағаттық гидролизден кейінгі гидролизаттар; 6-7 жолақтар ксилоолигосахаридтер стандарттары (X2-X5)

0,5% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатының Lactobacillus spp. өсуіне әсері

КОС құрамды бидай сабаны гидролизатының зерттелетін штамдардың өсуіне әсері 48 сағат бойы өсіргеннен кейінгі тіршілікке қабілетті жасушалар саны бойынша бағаланды. Инокулюмді енгізер алдында қоректік ортаның барлық нұсқаларының бастапқы pH мәні 6,8 ± 0,2 жеткізілді.

0,5% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатын қосу зерттелетін лактобациллалардың өсуіне штамға тәуелді әсер көрсетті (1-кесте). Ең айқын әсер *L. fermentum* штамында байқалды тіршілікке қабілетті жасушалар саны глюкозасыз ортадағы 1,07 × 105 КТБ/мл гидролизат болған жағдайда 3 × 106 КТБ/мл дейін артты. Ал 0,5% глюкозасы бар ортада жасушалар саны 1,1 × 107 КТБ/мл жетті.

L. plantarum үшін 0,5% гидролизат қосу да тіршілікке қабілетті жасушалар санының артуымен қатар жүрді теріс бақылаудағы 3,5 × 107 КТБ/мл көрсеткішінен 7 × 107 КТБ/мл дейін артты. Осы штамм үшін ең жоғары мән 0,5 % глюкоза қолданылған жағдайда байқалып, 1,3 × 108 КТБ/мл құрады.

Екі басқа штаммен салыстырғанда, *L. rhamnosus* үшін 0,5 % гидролизаттың тіршілікке қабілетті жасушалар санына ынталандырушы әсері байқалмады. Гидролизат болған жағдайда КТБ/мл мәні 1,2 × 108 КТБ/мл теріс бақылаудағы мәнмен (1,37 × 108 КТБ/мл) және глюкоза қосылған ортадағы мәнмен 1,5 × 108 КТБ/мл салыстырмалы болды.

48 сағат өсіргеннен кейін КОС құрамды гидролизат қосылған барлық нұсқаларда бастапқы 6,8 мәнімен салыстырғанда pH төмендегені байқалды. *L. fermentum, L. plantarum* және *L. rhamnosus* үшін pH мәндері сәйкесінше 6,16, 6,05 және 6,27 құрады. 0,5% глюкозасы бар ортада pH төмендеуі анағұрлым айқын болды: *L. fermentum* үшін 5,33, *L. plantarum* үшін 4,88 және *L. rhamnosus* үшін 4,86 дейін төмендеді.

1-кесте. 0,5% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатының *Lactobacillus* spp. өсуіне әсері

Штамм	MRS глюкозасыз (КТБ/мл)	MRS + 0,5% КОС-гидролизат (КТБ/мл)	MRS + 0,5% глюкоза (КТБ/мл)	pH pH (0,5 % КОС – гидролизат)	pH (0,5 % глюкоза)
L. fermentum	(1,07 ± 0,95) ×105	(3 ± 0,46) ×106	(1,1 ± 0,53) ×107	6,16 ± 0,02	5,33 ± 0,01
L. plantarum	(3,50 ± 1,31) ×107	(7 ± 0,05) ×107	(1,3 ± 0,2) ×108	6,05 ± 0,05	4,88 ± 0,02
L. rhamnosus	(1,37 ± 0,32) ×108	(1,2 ± 0,5) ×108	(1,5 ± 0,2) ×108	6,27 ± 0,01	4,86 ± 0,01

1% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатының Lactobacillus spp*. өсуіне әсері*

1% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатын қосу глюкозасыз ортамен салыстырғанда *L. fermentum* және *L. plantarum* штамдарының тіршілікке қабілетті жасушалар санының артуымен қатар жүрді (2-кесте). Ең айқын әсер *L. Fermentum* штамында байқалды: тіршілікке қабілетті жасушалар саны глюкозасыз ортадағы 1,07 × 105 КТБ/мл 1% гидролизат болған жағдайда 1,38 × 107 КТБ/мл дейін артты. 1% глюкоза болған жағдайда тіршілікке қабілетті жасушалар саны 2,3 × 107 КТБ/мл құрады.

L. plantarum үшін 1% КОС құрамды гидролизат қосылған кезде тіршілікке қабілетті жасушалар саны 1,43 × 108 КТБ/мл дейін жетіп, глюкозасыз ортадағы 3,5 × 107 КТБ/мл-көрсеткішімен салыстырғанда жоғары болды 1% глюкоза қолданылған жағдайда тіршілікке қабілетті жасушалар саны одан да жоғары болып, 5,07 × 108 КТБ/мл құрады.

L. rhamnosus үшін 1% гидролизат болған жағдайда тіршілікке қабілетті жасушалар саны 1,67 × 108 КТБ/мл құрады, ал глюкозасыз ортада 1,37 × 108 КТБ/мл болды 1% глюкозасы бар вариантта бұл көрсеткіш 2,2 × 108 КТБ/мл жетті. Осылайша, КОС құрамды гидролизаттың аталған штамға әсері *L. fermentum* және *L. plantarum* штамдарымен салыстырғанда төменірек болды.

48 сағат өсіргеннен кейін 1% КОС құрамды гидролизат болған жағдайда ортаның pH мәні бастапқы 6,8 мәнінен *L. fermentum* үшін 6,01 *L. plantarum* үшін 5,95 және *L. rhamnosus* үшін 6,07 дейін төмендеді. 1% глюкозасы бар ортада pH төмендеуі айтарлықтай жоғары болды соңғы мәндер сәйкесінше 4,82, 4,26 және 4,28 құрады.

2-кесте. 1% КОС құрамды бидай сабаны гидролизатының *Lactobacillus* spp. өсуіне әсері

Штамм	MRS глюкозасыз (КТБ/мл)	MRS + 0,5% КОС-гидролизат (КТБ/мл)	MRS + 0,5% глюкоза (КТБ/мл)	pH pH (0,5 % КОС – гидролизат)	pH (0,5 % глюкоза)
L. fermentum	(1,07 ± 0,95) ×105	(3 ± 0,46) ×106	(1,1 ± 0,53) ×107	6,16 ± 0,02	5,33 ± 0,01
L. plantarum	(3,50 ± 1,31) ×107	(7 ± 0,05) ×107	(1,3 ± 0,2) ×108	6,05 ± 0,05	4,88 ± 0,02
L. rhamnosus	(1,37 ± 0,32) ×108	(1,2 ± 0,5) ×108	(1,5 ± 0,2) ×108	6,27 ± 0,01	4,86 ± 0,01

КОС құрамды гидролизаттың зерттелетін *Lactobacillus* штамдарының өсуіне әсері оның концентрациясы мен микроорганизм штамына байланысты ерекшеленді. Гидролизат концентрациясының 0,5%-дан 1,0%-ға дейін артуы *L. fermentum* тіршілікке қабілетті жасушалар санының 3 × 106 – 1,38 × 107 КТБ/мл дейін және *L. plantarum* үшін 7 × 107 – 1,43 × 108 КТБ/мл дейін артуымен қатар жүрді *L. rhamnosus* үшін тіршілікке қабілетті жасушалар санының гидролизат концентрациясына айқын тәуелділігі байқалмады. Гидролизат концентрациясының 0,5%-дан 1%-ға дейін жоғарылауымен қатар барлық үш штаммда да культуралық ортаның pH мәнінің төмендеуі байқалды.

Талқылау

Рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасы арқылы алдын ала өңделген бидай сабанын ферментативтік гидролиздеу нәтижесінде КОС құрамды гидролизат алынды. Гидролиз өнімдерін ЖҚХ әдісімен талдау оның құрамында ксилобиоза (X2) және ксилотриоза (X3) бар екенін көрсетті, бұл төмен молекулалы КОС-тың түзілгенін растайды [17, 18].

Бидай сабаны гидролизатының *Lactobacillus* өсуіне әсері зерттелетін штамға байланысты болды. Ең айқын әсер *L. fermentum* ATCC 14931 және *L. plantarum* ATCC 14917 штамдарында байқалды, ал *L. rhamnosus* ATCC 53103 үшін гидролизаттың өсуге әсері төменірек болды. *Chinbat* және т.б. [19] ұқсас нәтижелер алған, олар КОС *L. fermentum* өсуін қолдайтынын ал олардың концентрациясының жоғарылауы тіршілікке қабілетті жасушалар санының артуымен қатар жүретінін көрсетті.

КОС құрамды гидролизатты қосу *L. plantarum* ATCC 14917 өсуіне де ықпал етті, бұл ретте неғұрлым айқын әсер 1,0% концентрациясында байқалды. *L. plantarum* штамының КОС қатысуында өсу қабілеті басқа авторлармен де көрсетілген. *Илиев* және т.б. [20] КОС-тің сүт қышқылды бактериялармен пайдаланылуы штамға және олигосахаридтердің полимерлену дәрежесіне байланысты екенін анықтады. *Andressa* және т.б. [21] жүгері собықтарын ферментативтік гидролиздеу арқылы алынған КОС-тің *L. plantarum* штамы тарапынан тиімді пайдаланылғанын анықтады, бұл өсімдік текті КОС-тің пробиотикалық микроорганизмдердің өсуін қолдай алатынын көрсетеді.

L. rhamnosus ATCC 53103 үшін гидролизаттың әсері төменірек болды және *L.fermentum* мен *L. plantarum* штамдарындағыдай оның концентрациясына тәуелділік байқалмады. Сүт қышқылды бактериялардың КОС-ті пайдалану қабілетіндегі айырмашылықтар олардың тасымалдау және ферменттік жүйелерінің ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін. Атап айтқанда, *Илиев* және т.б. [20] полимерлену дәрежесі әртүрлі КОС-ті пайдалануында айырмашылықтар бар екенін көрсетіп, олардың жасушаішілік ыдырауына β-ксилозидазаның қатысатынын атап өтті.

КОС құрамды гидролизат болған жағдайда культуралық ортаның pH мәнінің төмендеуі де байқалды. Гидролизат концентрациясын 0,5%-дан 1%-ға дейін арттырғанда зерттелген үш штамның барлығында pH мәні төмендеді, алайда бұл төмендеу глюкозаның сәйкес концентрациясы бар ортаға қарағанда азырақ болды. Бұл қарапайым және олигомерлі көмірсуларды пайдалану және олардың ашу өнімдерінің түзілуіндегі айырмашылықтармен байланысты болуы мүмкін.

Қорытынды

Бидай сабанын рекомбинантты *B. sonorensis* ксиланазасын қолдана отырып ферментативті гидролиздеу нәтижесінде КОС бар гидролизат алынды, ол ксилобиоза (X2) және ксилотриозаның (X3) болуымен сипатталды. Алынған гидролизат зерттелген *Lactobacillus* штамдарының өсуіне ықпал етті, әсер ету дәрежесі штамм мен гидролизат концентрациясына байланысты болды. Тіршілікке қабілетті жасушалар санының ең айқын өсуі *L. fermentum* ATCC 14931 және *L. plantarum* ATCC 14917 штамдарында байқалды, ал гидролизаттың әсері *L. rhamnosus* ATCC 53103 үшін төмен болды. Алынған нәтижелер КОС бидай сабаны гидролизатынан алынатын пребиотикалық өнім ретінде одан әрі зерттеу үшін перспективалы өнім екенін көрсетеді.

Авторлардың қосқан үлесі

ЮШ, БЯ, СТ, ДА, АК: зерттеу бойынша әдебиеттерге шолу жүргізді, эксперименттік деректерді алуға, жинауға және өңдеуге, зертханалық зерттеулер жүргізуге, алынған нәтижелерді

талдауға және қорытындылауға, сондай-ақ қолжазбаны дайындауға және рәсімдеуге қатысты. АК: зерттеуге жалпы басшылық жасады, қолжазбаның соңғы нұсқасын дайындады және редакциялады. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы нұсқасын оқып, жариялауға мақұлдады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранттық қаржыландыру аясында AP23487935 «Лигноцеллюлозды шикізаттың ферментативті гидролизі арқылы ксилоолигосахаридтерді зерттеу және алу, оларды қоректік заттар ретінде пайдалану» жобасы бойынша орындалды.

Әдебиеттер тізімі

1 Nogueira-Prieto, N.M., Ansín-Vallejo, C., Becerra-Fernández, M., González-Siso, M.I. (2025). A review of the capacity of xylooligosaccharides to modulate gut microbiota and promote health. *Food Funct.*, 16, 4654–4672. DOI:10.1039/D5FO00169B.

2 Kumar, V., Bahuguna, A., Kumar, S., Kim, M. (2025). Xylooligosaccharides mediated gut microbiome modulation: prebiotics to postbiotics. *Crit Rev Biotechnol.,* 45(5), 1098–1116. DOI:10.1080/07388551.2025.2460852.

3 Kumari, K., Nagar, S., Goyal, S., Maan, S., Chugh, V., Kumar, V., Kharor, N. (2024). Xylooligosaccharide production from lignocellulosic biomass and their health benefits as prebiotics. *Biochem Res Int.,* 2024, 6179375. DOI: 10.1155/2024/6179375.

4 Kumar, R., Næss, G., Sørensen, M. (2024). Xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass and their applications as nutraceuticals: a review on their production, purification, and characterization. *J Sci Food Agric.,* 104(13), 7765–7775. DOI: 10.1002/jsfa.13523.

5 Valladares-Diestra, K.K., de Souza Vandenberge, L.P., Vieira, S., Goyzueta-Mamani, L.D., de Mattos, P.B.G., Manzoki, M.C., Soccol, V.T., Soccol, C.R. (2023). The potential of xylooligosaccharide as prebiotics and their sustainable production from agro-industrial by-products. *Foods*, 12(14), 2681. DOI:10.3390/foods12142681.

6 Dong, C.-D., Tsai, M.-L., Nargotra, P., Kour, B., Chen, C-W., Sun, P, -P., Sharma, V. (2023). Bioprocess development for the production of xylooligosaccharide prebiotics from agro-industrial lignocellulosic waste. *Heliyen*, 9(7), e18316. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e18316.

7 Paschoa, J.L.F., Ávila, P.F., Ramalho, E.X., Silva, M.F., Bueno, D., Goldbeck, R. (2024). Production and purification of xylooligosaccharides from surgarcane bagasse and antioxidant potential assessment for functional ingredient application in the food industry. *Industrial Crops and Products*, 208, 117844. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117844.

8 Rodríguez-Sanz, A., Fuciños, C., Míguez, M., Rúa, M.L., Torrado, A.M. (2024). Direct enzymatic hydrolysis of solid wheat straw with endo-xylanases: Effect of the temperature on the hemicellulose release and the product modulation. *Int. J Biol. Macromol.*, 270, 132211. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132211.

9 Mensah, R.Q., Show, P.-L., Mussato, S.I., Sriariyanun, M., Rattanaporn, K. (2024). Two-step physico-biological production of xylooligosaccharides from sugarcane leaves. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 55, 102962. DOI: 10.1016/j.bcab.2023.102962.

10 Capetti, C.C. de M., Pelligrini, V.O.A., Espirito Santo, M.C., Cortez, A.A., Falvo, M., Curvelo, A.A. da S. et al. (2023). Enzymatic production os xylooligosaccharides from corn cobs: assessment of two different pretreatment strategies. *CarbohydrPolym.*, 299, 120174. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.120174.

11 Wang, X., Tao, Y., Yang, Q., Cheng, Y., Lu, J., Wang, H. (2023). Ammonia and sodium sulfite synergistically pretreat reed to enhance enzymatic saccharification. *Bioresour. Technol.*, 380, 129070. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.129070.

12 Zhang, H., Xu, X., Shi, Z., Zhu, L., Shi, S., Wang, X., Liu, X., Han, L. (2025). Lignocellulose deconstruction and mechanistic insights into wheat straw using extrusion-ammoniation synergistic pretreatment. *Ind Crops and Prod.*, 228, 120820. DOI: 10.1016/j.indcrop.2025.120820.

13 Kiribayeva, A., Mukanov, B., Silayev, D., Akishev, Z., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2022) Cloning, expression, and characterization of a recombinant xylanase from Bacillus sonorensis T6. *PLoS ONE*, 17, e0265647. DOI: 10.1371/journal.pone.0265647.

14 Ratnadewi, A.A.I., Rahma, M.T., Nurhayati, N., Santoso, A.B., Senjarini, K., Labes, A., Reza, M. (2022). Production os xylooligosaccharide from cassava pulp's waste by endo- β-1,4-D-xylanase and characterization of its prebiotic effect by fermentation of Lactobacillus acidophilus. *Fermentation*, 8, 488. DOI:10.3390/fermentation8100488.

15 Zarina, R., Mezule, L. (2024). Enzymatic hydrolysis of waste streams originating from wastewater treatment plants. Biotechnol. *Biofuels Bioprod.*, 17(1), 104. DOI:10.1186/s13068-024-02553-x.

16 Kumari, K., Nagar, S., Goyal, S., Maan, S., Sindhu, M., Singh, R., Kumar, V. (2023). Production, characterization and prebiotic potential of xylooligosaccharides produced from wheat bran using Enterobacter hormaechei KS1 xylanase. *Indian J Microbiol*., 63(3), 352–360. DOI:10.1007/s12088-023-01097-2.

17 Hamid, A., Zafar, A., Latif, S., Peng, L., Wang, Y., Liaqat, I., Afzal, M.S., ul-Haq, I., Aftab, M.N. (2023). Enzymatic hydrolysis of low temperature alkali pretreated wheat straw using immobilized β-xylanase nanoparticles. *RSC Advances,* 13, 1434–1445. DOI:10.1039/D2RA07231A.

18 Yin, Y.-R., Li, X.-W., Long, C.-H., Li, L., Hang, Y.-Y., Rao, M.-D., Yan, X., Liu, Q.-L., Sang, P., Li, W.-J., Yang, L.-Q. (2023). Characterization of GH10 extremely thermophilic xylanase from the metagenome of hot spring for prebiotic production. *Sci Rep.*, 13, 16053. DOI:10.1038/s41598-023-42920-6.

19 Chinbat, O., Erdenetsog, P., Tuvshintur, B., Gantumur, A., Burenjargal, M., Chimeddorj, B., Janval, M. (2024). In vitro and in vivo investigation of the biological action of xylooligosaccharides derived from industrial waste. *Food Sci Nutr.,* 12(10), 7877–7884. DOI:10.1002/fsn3.4391.

20 Iliev, I., Vasileva, T., Bivolarski, V., Momchiklova, A., Ivanova, I. (2020). Metabolic profiling of xylooligosaccharides by lactobacilli. *Polymers,* 12(10), 2387. DOI:10.3390/polym12102387.

21 Andressa, I., Nascimento, G.K.S. do, Santos, T.M. dos, Teotônio, D.O., Pacheco, A.F.C., Paiva, P.H.C., Costa Sobrinho, P.S., Rocha, L.O.F., Leite Júnior, B.R.C., Benassi, V.M., Schmiele, M. (2025). Production of xylo-oligosaccharides from corn cobs using a xylanase-rich cocktail produced by Fusarium sp. E.A1.3.1 in free and algimate-immobilized forms, and in vitro fermentation with Lacticaseibacillus rhamnosus Lyofast LRB and Lactiplantibacillus plantarum LMG P-21021L. *Biocatal Agric Biotechnol.,* 69, 103781. DOI: 10.1016/j.bcab.2025.103781.

Ферментативное получение гидролизата пшеничной соломы, содержащего ксилоолигосахариды (КОС), и оценка его влияния на рост лактобацилл

Шамсиева Ю., Якупов Б., Тимощук С., Абдишов Д., Кирибаева А.

ТОО «Национальный центр биотехнологии», Астана, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Пшеничная солома является доступным возобновляемым лигноцеллюлозным сырьем и может использоваться для получения ксилоолигосахаридов (КОС), представляющих интерес в качестве функциональных углеводных компонентов. Целью работы являлось получение КОС-содержащего гидролизата пшеничной соломы с использованием рекомбинантной ксиланазы *Bacillus sonorensis* и оценка его влияния на рост штаммов *Lactobacillus.*

Материалы и методы. Пшеничную солому, предварительно обработанную 18,5%-ым водным раствором аммиака, подвергали ферментативному гидролизу рекомбинантной ксиланазой B. sonorensis. Ферментативный гидролиз проводили при дозировках фермента 50, 100 и 200 ед/г субстрата в течение 24 ч. Содержание восстанавливающих сахаров определяли методом DNS, качественный состав продуктов гидролиза оценивали методом тонкослойной хроматографии. Влияние 0,5 и 1% гидролизата на *Lactobacillus fermentum* ATCC 14931, *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917 и *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 53103 оценивали по количеству жизнеспособных клеток и изменению pH культуральной среды.

Результаты. Наибольшее накопление восстанавливающих сахаров наблюдалось при дозировке ксиланазы 200 ед/г и продолжительности гидролиза 24 ч. Методом тонкослойной хроматографии в составе гидролизата выявлены ксилоолигосахариды, представленные преимущественно ксилобиозой (X2) и ксилотриозой (X3). Наиболее выраженное увеличение количества жизнеспособных клеток наблюдалось у *L. fermentum*: при внесении 1% гидролизата

количество жизнеспособных клеток достигало (1,38 ± 0,54) × 107 КОЕ/мл по сравнению с (1,07 ± 0,95) × 105 КОЕ/мл в среде без глюкозы. Для *L. plantarum* так же было отмечено увеличение количества жизнеспособных клеток, тогда как для *L. rhamnosus* эффект был менее выраженным. Повышение концентрации гидролизата с 0,5 до 1% сопровождалось снижением pH культуральной среды.

Заключение. Полученный КОС-содержащий гидролизат пшеничной соломы поддерживал рост исследованных штаммов *Lactobacillus*, при этом выраженность эффекта зависела от штамма и концентрации гидролизата.

Ключевые слова: пшеничная солома; ксилоолигосахариды; ксиланаза; гидролиз; лактобациллы; пребиотики.

Enzymatic production of an xylooligosaccharides (XOS)-containing wheat straw hydrolysate and evaluation of its effect on lactobacilli growth

Yuliya Shamsiyeva, Bakhtiyar Yakupov, Savva Timochshuk, Daulet Abdishov, Assel Kiribayeva

'National Center for Biotechnology' LLP, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Wheat straw is an abundant and renewable lignocellulosic feedstock that can be used for the production of xylooligosaccharides (XOS), which are of interest as functional carbohydrate ingredients. The aim of this study was to obtain an XOS-containing wheat straw hydrolysate using recombinant *Bacillus sonorensis* xylanase and to evaluate its effect on the growth of *Lactobacillus* strains.

Materials and Methods. Wheat straw was pretreated with 18.5% aqueous ammonia solution and hydrolyzed using recombinant *B. sonorensis* xylanase. Hydrolysis was investigated at enzyme loading of 50, 100, and 200 U/g substrate over 24 h. Reducing sugar content was determined using DNS method, and the qualitative composition of the hydrolysis products was assessed by thin-layer chromatography. The effects of 0.5 and 1% hydrolysate on *Lactobacillus fermentum* ATCC 14931, *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917, and *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 53103 were evaluated based on viable cell counts and changes in culture medium pH.

Results. The highest reducing sugar concentration was observed at a xylanase loading of 200 U/g after 24 h of hydrolysis. Thin-layer chromatography revealed xylooligosaccharides in the hydrolysate, predominantly xylobiose (X2) and xylotriose (3). The greatest increase in viable cell count was observed for *L. fermentum*: with 1.0% hydrolysate, the viable cell count reached (1.38 ± 0.54) × 10 CFU/mL, compared with (1.07 ± 0.95) × 105 CFU/mL in glucose-free medium. An increase in viable cell count was also observed *L. plantarum*, whereas the effect was less pronounced for *L. rhamnosus*. Increasing the hydrolysate concentration from 0.5 to 1% was accompanied by a decrease in culture medium pH.

Conclusion. The obtained XOS-containing wheat straw hydrolysate supported the growth of the tested *Lactobacillus* strains, with the magnitude of the effect depending on the strain and hydrolysate concentration.

Keywords: hydrolysis; lactobacilli; prebiotics; wheat straw; xylooligosaccharides; xylanase.

УДК 635.21:632.3 **Исследовательская статья**

Скрининг вирусной инфекции и формирование коллекции безвирусных сортов и селекционных образцов картофеля

Омарова Г.К., Бейсембина Б., Камарова Д.Н., Артемьева А.В., Лидер О.В.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Бейсембина Б.: bika.kz.2712@gmail.com
Соавторы: (1: ГО) gulnur.omarova1994@gmail.com; (2: ДК) dkamarova10@gmail.com
(3: АА) alenaart1603@mail.ru; (4: ОЛ) lider.olga175@gmail.com

Получено: 12.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Омарова Г.К. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Картофель является одной из наиболее значимых продовольственных культур, однако его урожайность и качество существенно снижаются под воздействием вирусных заболеваний. Наиболее распространённые вирусы картофеля накапливаются в клубнях, что делает их контроль затруднительным и требует разработки эффективных методов оздоровления посадочного материала. Целью работы было создание коллекции безвирусных сортов и гибридов картофеля отечественной и зарубежной селекции.

Материалы и методы. Диагностику вирусоносительства проводили методом иммуноферментного анализа в формате DAS-ELISA для выявления Х-вируса картофеля (ХВК), Y-вируса картофеля (YВК), S-вируса картофеля (SВК), М-вируса картофеля (МВК). Образцы с отрицательными результатами DAS-ELISA использовали для введения в культуру *in vitro* и последующего микроклонального размножения. Для получения асептической культуры применяли многоэтапную стерилизацию растительного материала.

Результаты. Методом иммуноферментного анализа выявлено наличие четырех основных вирусов картофеля в исследованных сортах и гибридах картофеля, а также отобраны образцы с отрицательной реакцией на исследованные вирусы. Установлена различная степень вирусной инфицированности исследуемого материала. Свободные от тестируемых вирусовобразцы сортов Олюшка, Бабаев, Есіл и Silk Rose введены в культуру *in vitro* и высажены в теплицу для последующего размножения и получения безвирусного семенного материала картофеля. С целью оздоровления сорта Red Rose от вирусной инфекции он также был введён в культуру *in vitro* для последующего получения безвирусного посадочного материала.

Заключение. Полученные данные позволили оценить вирусологический статус исследуемых генотипов картофеля и выявить свободные от изучаемых вирусов картофеля образцы, пригодные для дальнейшего использования. Отобранные образцы успешно введёны в культуру *in vitro*, что создало основу для формирования коллекции оздоровленных сортов и селекционных образцов картофеля с окрашенной мякотью, их дальнейшего микроразмножения и сохранения ценного генетического материала.

Ключевые слова: вирусы картофеля; иммуноферментный анализ (DAS-ELISA); культура *in vitro*; безвирусная коллекция.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является основным продуктом питания во многих регионах мира, благодаря высокому содержанию углеводов, белков и витаминов. Он служит доступным источником витаминов С, В1, В3, В6, Е, пантотеновой и фолиевой кислот, рибофлавина и минералов, таких как калий, магний, фосфор и железо [1].

В последние годы значительно возрос интерес потребителей и производителей к сортам картофеля с окрашенной мякотью клубней. Такие сорта отличаются не только привлекательными

Как цитировать: Омарова, Г.К., Бейсембина, Б., Камарова, Д.Н., Артемьева, А.В., Лидер, О.В. (2026). Скрининг вирусной инфекции и формирование коллекции безвирусных сортов и селекционных образцов картофеля. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 220-229. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2276

потребительскими качествами, но и высоким содержанием антоцианов, каротиноидов и других фенольных соединений, обладающих выраженной антиоксидантной активностью [2, 3, 4]. Исследования показывают, что антоцианы способны снижать уровень окислительного стресса, подавлять воспалительные процессы и оказывать профилактическое действие в отношении сердечно-сосудистых, онкологических и метаболических заболеваний [5]. Кроме того, картофель с красной и фиолетовой мякотью рассматривается как перспективный источник функциональных пищевых ингредиентов благодаря повышенному содержанию биологически активных веществ и антиоксидантов [6].

Несмотря на высокую хозяйственную ценность культуры, значительный ущерб производству картофеля наносят вирусные болезни. По данным современных исследований, вирусные инфекции являются одной из основных причин снижения урожайности и качества семенного материала картофеля. Наибольшее экономическое значение имеют ХВК, YВК, SВК, МВК. Потери урожая при вирусном заражении могут достигать 20–80% в зависимости от сорта, условий выращивания и степени инфицирования растений [7, 8].

Особенностью вирусов картофеля является их способность сохраняться и накапливаться в клубнях, используемых для вегетативного размножения. Вследствие многократного репродуцирования происходит постепенное накопление вирусной инфекции, что приводит к вырождению сортов и снижению их продуктивности [9].

В связи с возрастающим интересом к сортам картофеля с окрашенной мякотью особую актуальность приобретает создание коллекций генотипов, свободных от вирусной инфекции, которые могут служить исходным материалом для селекционных программ и производства высококачественного семенного картофеля. Создание таких коллекций способствует сохранению ценных генетических ресурсов и повышению эффективности производства функциональных продуктов питания.

Своевременная диагностика вирусных инфекций картофеля позволяет предотвращать их распространение и снижать степень поражения посадочного материала. В лабораторных условиях особое значение имеет поддержание коллекции оздоровлённых сортов и селекционных образцов для их дальнейшего изучения, сохранения и размножения. В связи с этим целью исследования являлись оценка заражённости сортов и селекционных образцов картофеля основными вирусами, отбор образцов, свободных от тестируемых вирусов, и введение их в культуру *in vitro* для формирования оздоровлённой коллекции.

Материалы и методы

Настоящие исследования проводились на базе лаборатории биотехнологии растений Института сельского и лесного хозяйства НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина».

Объектами исследования послужили 13 сортов и селекционных образцов картофеля с различной окраской мякоти клубней: Silk Rose (жёлтая мякоть, Казахстан-Китай), Есіл (светло-жёлтая, Казахстан-Россия), Киру (фиолетовая, Казахстан-Россия), Клюковка (розовая, Казахстан), Альянс (желтая, Казахстан), Бабаев (желтая, Казахстан), Тамаша (белая, Казахстан), Red Rose (красная, Казахстан-Китай), 17-212-19 (желтая мякоть, Казахстан-Китай), 17-223-10 (фиолетовая, Казахстан-Китай), Багира (фиолетовая, Казахстан-Китай), Олюшка (фиолетовая, Казахстан), Xisen 1 (фиолетовая, Китай).

Полевые исследования проводили на опытном участке ТОО «Bio Nord» в Акмолинской области Республики Казахстан. Почвенный покров опытного участка представлен тёмно-каштановыми почвами, характерными для данной природно-климатической зоны. Посадку картофеля выполняли вручную в третьей декаде мая по схеме 75 × 30 см. Опыт закладывали по схеме рандомизированных полных блоков (Randomized Complete Block Design, RCBD) с тремя повторностями. Уборку урожая осуществляли в середине сентября 2025 года. Все исследуемые генотипы выращивали в одинаковых агротехнических условиях с соблюдением единой технологии возделывания, что обеспечивало сопоставимость полученных результатов.

Для выявления вирусной инфекции растений картофеля применяли твердофазный иммуноферментный анализ в формате «сэндвич» DAS-ELISA (double antibody sandwich ELISA)

с использованием коммерческих диагностических наборов компании Loewe Biochemica GmbH (Германия) для детекции вирусов картофеля ХВК, YВК, SВК и МВК. Анализ проводили в соответствии с инструкциями производителя и общепринятой методикой [10, 11]. В наборах использовали специфические поликлональные антитела к соответствующим вирусам. Инкубацию образцов и конъюгата осуществляли при 37 °C в течение 2 ч (или при 4 °C в течение ночи в соответствии с протоколом производителя). В качестве хромогенного субстрата использовали р-нитрофенилфосфат (pNPP). Оптическую плотность измеряли при длине волны 405 нм с использованием микропланшетного фотометра StatFax 4200 (США). Обработку и статистический анализ полученных результатов выполняли с помощью программы Microsoft Excel 2016.

Введение эксплантов картофеля в культуру *in vitro*. В качестве исходного материала использовали этиолированные ростки картофеля (*Solanum tuberosum* L.). В предварительную подготовку включали промывание ростков в дистиллированной воде, обработку в мыльном растворе и последующее промывание под проточной водой в течение 10 мин [12].

Дальнейшую стерилизацию проводили в ламинарном боксе в асептических условиях. Ростки последовательно обрабатывали 70%-ным раствором этилового спирта в течение 5–7 мин, затем 20%-ным водным раствором препарата «Белизна» (гипохлорит натрия) в течение 10 мин. После стерилизации экспланты пятикратно промывали стерильной дистиллированной водой и высаживали на агаризованную питательную среду Мурасиге–Скуга (MS) [13, 14]. Выбор данного метода стерилизации обусловлен высокой эффективностью по сравнению с альтернативными лабораторными подходами [15, 16].

Результаты

В ходе исследования методом иммуноферментного анализа (ИФА) в формате «сэндвич» было протестировано 224 образца картофеля на наличие четырех основных вирусов: ХВК, YВК, SВК и МВК. Критерием положительного результата служило отношение оптической плотности исследуемого образца к оптической плотности отрицательного контроля (Ao/Ok), превышающее 2,9. Образцы, для которых значение Ao/Ok было более 2,9, считали инфицированными соответствующим вирусом. Результаты иммуноферментного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки зараженности вирусами исследуемых генотипов картофеля методом DAS-ELISA

Генотип	Количество образцов	ХВК, %	YВК, %	SВК, %	МВК, %
17-212-19	12	41,7	0	25	0
17-223-10	1	0	0	0	100
Red Rose	44	0	100	0	4,5
Silk Rose	24	37,5	4,2	4,2	0
Xisen 1	14	0	0	0	0
Альянс	5	0	0	0	100
Бабаев	4	0	0	25	0
Багира	15	0	40	0	26,7
Есіл	79	0	11,4	1,3	10,1
Киру	1	0	0	0	100
Клюковка	2	0	0	0	100
Олюшка	14	0	0	0	0
Тамаша	8	0	0	100	75

Согласно результатам, приведенным в таблице 1, наиболее распространённым вирусом оказался YВК. В объединённой выборке его положительные реакции были выявлены у сортов Red Rose, Багира и Есіл, тогда как у большинства остальных генотипов YВК не обнаруживался либо встречался единично. Сорт Red Rose, для которого положительная реакция на YВК наблюдалась

у 44 из 44 исследованных образцов (100%) был отобран для введения в культуру *in vitro* для последующего оздоровления.

Вторым по значимости оказался ХВК, однако его распространённость была существенно ниже и характеризовалась более выраженной сортовой специфичностью. Положительные образцы выявлены у генотипов Silk Rose в 9 из 24 образцов (37,5%) и 17-212-19 в 5 из 12 образцов (41,7%). В остальных исследованных генотипах ХВК либо не выявлялся, либо встречался в значительно меньшей степени.

SBK характеризовался ещё более специфичным распределением. Наиболее высокая частота его обнаружения зарегистрирована у исследуемых образцов сорта Тамаша – 8 из 8 образцов. Единичные положительные реакции также отмечены у Silk Rose и Бабаев, что указывает на существенно более ограниченное распространение S-вируса картофеля по сравнению с YBK. На частоту выявления вируса в пределах одного сорта влияет происхождение посадочного материала, условия выращивания и сопутствующий инфекционный фон.

Аналогичное распространение установлено для МВК. Наиболее высокая частота его обнаружения отмечена у сортов Тамаша (6 из 8; 75,0%), Альянс (5 из 5; 100%), Клюковка (2 из 2; 100%) и Киру (1 из 1; 100%). У Багиры PVM выявлен в 4 из 15 образцов (26,7%), у Есіл (Есиль) – в 8 из 79 (10,1%), а у Red Rose – в 2 из 44 (4,5%).

Важная особенность проведенных исследований это выявление смешанных инфекций, то есть одновременного присутствия двух или более вирусов в одном образце. Наиболее выраженная доля смешанных инфекций отмечена у сорта Тамаша – 6 из 8 образцов (75,0%), что соответствует высокой общей вирусной нагрузке и одновременному распространению SBK и МВК в отобранных образцах. Смешанные инфекции также обнаружены у сортов Red Rose, Silk Rose и Есіл, хотя с существенно меньшей частотой.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости учитывать не только наличие отдельных вирусов, но и смешанных вирусных инфекций. В этом отношении образец сорта картофеля Тамаша является показательным примером, поскольку характеризуется 100%-ной выявляемостью SBK, а также высокой частотой выявления МВК и смешанных инфекций.

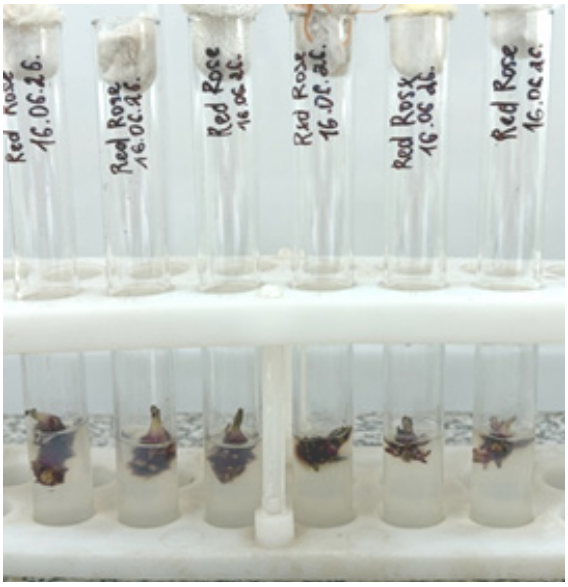
С селекционной точки зрения, полученные результаты позволяют выделить несколько групп перспективных генотипов. Сорт картофеля Олюшка представляет интерес как материал с отсутствием выявляемых инфекций по основным анализируемым вирусам. Сорт Есіл заслуживает отдельного внимания благодаря низкой частоте выявления вирусов при наиболее крупном объёме исследованной выборки. Выявленные образцы перспективных генотипов, свободные от тестируемых вирусов, были отобраны для введения в культуру *in vitro* и последующего формирования коллекции. Сорт Red Rose следует рассматривать как генотип с выраженной ассоциацией с YBK, а сорт Тамаша как материал с высокой вирусной нагрузкой и значительной частотой смешанных инфекций.

Таким образом, результаты иммуноферментного анализа позволили выявить вирусную заражённость исследуемого материала и отобрать безвирусные клубни, ростки которых были использованы на следующем этапе исследования для введения в культуру *in vitro*.

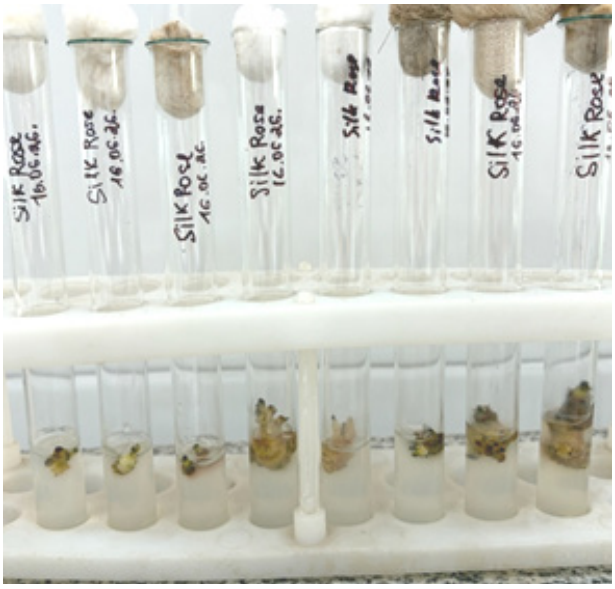
На следующем этапе исследований по результатам иммуноферментного анализа (DAS-ELISA) были отобраны клубни сортов картофеля Олюшка, Бабаев, Есіл и Silk Rose, свободные от тестируемых вирусов. Отобранные образцы использовали в качестве исходного материала для введения в культуру *in vitro* с целью получения оздоровленных растений, формирования коллекции и их последующего микроразмножения.

Этап введения образцов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в асептическую культуру является критическим звеном биотехнологического процесса получения безвирусного семенного материала. Основная сложность заключается в преодолении эндофитной и поверхностной контаминации (бактериальной и грибной природы) при сохранении растительного материала картофеля. Выбор дезинфицирующих агентов и временных экспозиций определял баланс между асептичностью культуры и уровнем некротизации (химического ожога) растительных тканей.

Из отобранных клубней были получены этиолированные ростки, которые после проведения многоступенчатой поверхностной стерилизации высаживали на агаризованную питательную среду Мурасиге-Скуга в асептических условиях. На рисунке 1 представлены образцы сортов Олюшка, Бабаев, Есіл, Red Rose и Silk Rose, успешно введенные в культуру *in vitro*.



Сорт Red Rose



Сорт Silk Rose



Сорта картофеля Есіл, Бабаев и Олюшка

Рисунок 1. Коллекция сортов картофеля *in vitro*

Таким образом, по результатам предварительного DAS-ELISA-скрининга были отобраны здоровые образцы картофеля. Сорта Есіл и Бабаев успешно введены в культуру *in vitro*, получены активно развивающиеся культуральные растения, пригодные для дальнейшего размножения. Сорт Red Rose введён в культуру in vitro в рамках мероприятий по его оздоровлению от вирусной инфекции и последующему получению безвирусного посадочного материала. Кроме того, в культуру *in vitro* успешно введены перспективные сорта картофеля Олюшка и Silk Rose, что позволило расширить формируемую коллекцию культуральных растений картофеля.

Для сохранения и размножения безвирусного исходного материала клубни картофеля, отобранные по результатам иммуноферментного анализа, были высажены в теплицу (рисунок 2).



Рисунок 2. Выращивание безвирусного картофеля в тепличных условиях

В процессе вегетации растения характеризовались нормальным ростом и развитием без визуальных признаков вирусных заболеваний. Однако, отсутствие видимых симптомов не может служить дополнительным подтверждением вирус-свободного статуса растений, поскольку вирусная инфекция картофеля нередко протекает в латентной (бессимптомной) форме, а также зависит от сортовой устойчивости к конкретным патогенам. Для подтверждения стабильного вирус-свободного статуса желательно провести повторное тестирование растений после этапа культивирования и размножения.

Полученный материал, свободный от тестируемых вирусов, может быть использован для дальнейшего размножения и формирования коллекции оздоровленных сортов картофеля. Кроме того, следует отметить, что сорта картофеля Ecil и Silk Rose в настоящий момент проходят государственное сортоиспытание в двух районах республики – Енбекшиказахском (Алматинская область) и Костанайском (Костанайская область).

Обсуждение

Полученные данные согласуются с общей тенденцией, отмечаемой для регионов возделывания картофеля на территории СНГ: доминирующее положение среди вирусных инфекций стабильно занимает Y-вирус картофеля [17]. Полученные в настоящей работе результаты подтверждают эту тенденцию: у отобранных образцов сорта Red Rose выявлено абсолютное доминирование YВК (100% образцов), тогда как у образцов сорта Тамаша зарегистрировано характерное сочетание SВК и МВК с высокой долей смешанных инфекций, что согласуется с наблюдаемой в литературе склонностью этих двух вирусов к совместному распространению.

Сходные закономерности отмечены и для условий Казахстана: в исследовании, выполненном коллективом Института биологии и биотехнологии растений на материале Алматинской области, молекулярными методами также установлено преобладание YВК, SВК и МВК с формированием смешанных инфекций [18]. Полученные в настоящей работе результаты дополняют эту картину применительно к сортам с окрашенной мякотью клубня.

Методические аспекты диагностики также согласуются с ранее опубликованными рекомендациями по оптимизации условий DAS-ELISA для тест-систем на ХВК, YВК, SВК и МВК в формате «сэндвич», где ключевыми параметрами, определяющими чувствительность метода, признаны концентрация растительного экстракта и температурный режим инкубации [19]. Использованный в настоящей работе критерий положительного результата (Ao/Ok> 2,9) соответствует общепринятым подходам к оценке данных DAS-ELISA, применяемым в отечественной и зарубежной практике семенного контроля картофеля.

Отдельного внимания заслуживает отмечаемая в литературе латентность вирусной инфекции картофеля: отсутствие внешних симптомов заболевания не гарантирует вирус-свободного статуса растения [20]. В связи с этим, визуальная оценка не может считаться достаточной

для достоверного подтверждения вирус-свободного статуса посадочного материала, что обусловливает необходимость лабораторной диагностики регенерантов и последующего контроля их вирусного статуса на этапах клонального микроразмножения [21].

Заключение

Проведённые исследования позволили оценить фитосанитарное состояние исследуемых сортов и селекционных образцов картофеля с окрашенной мякотью методом иммуноферментного анализа и выявить образцы, инфицированные основными вирусами картофеля. Установлено, что степень вирусной заражённости существенно варьировала в зависимости от сорта: наряду с полностью инфицированными образцами были выявлены клубни, свободные от тестируемых вирусов, пригодные для дальнейшего использования в биотехнологическом процессе. На основании результатов DAS-ELISA проведён отбор образцов с отрицательной реакцией на исследованные вирусы для формирования исходного материала, который был успешно введён в культуру *in vitro*. Полученные культуральные растения положили начало созданию коллекции сортов и селекционных образцов картофеля с окрашенной мякотью, свободных от исследуемых вирусов, представляющей перспективу для дальнейшего микроразмножения, сохранения ценного селекционного материала и получения высококачественного семенного картофеля. В связи с необходимостью оздоровления сорта Red Rose он также был введён в культуру *in vitro*, что создаёт предпосылки для его дальнейшего оздоровления и получения свободного от вирусов посадочного материала.

Вклад авторов

ГО, ББ, ДК, ОЛ, АА: участвовали в постановке иммуноферментного анализа в формате «сэндвич» для выявления вирусной инфекции у исследуемых сортов и гибридов картофеля с окрашенной мякотью. ББ, ДК и ОЛ: выполнили обработку и анализ полученных данных. ББ: интерпретировала результаты исследования и подготовила рукопись статьи. ББ и ГО: подготовили литературный обзор. ББ, ДК, ГО и АА: провели введение в культуру *in vitro* эксплантов картофеля сортов Бабаев, Олюшка, Red Rose и Silk Rose. ББ и ГО: выполнили окончательную редакцию рукописи.

ББ и ГО: провели окончательную редакцию и вычитку. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Настоящие исследования проводились в рамках проекта AP23485559 «Картофель с цветной мякотью для Северного Казахстана: подбор сортов и гибридов, создание биологизированной технологии защиты» на 2024–2026 гг., источник финансирования – Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках докторской диссертационной работы «Исследование влияния вирозов на антиоксидантные свойства сортов и гибридов с пигментированной мякотью клубней картофеля».

Список литературы

1 Pierik, R.L.M. (1997). *In vitro culture of higher plants.* Springer Science & Business Media: 348. DOI: 10.1007/978-94-011-5750-6.

2 Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato – A review. *Food Research International, Stability of phytochemicals during processing*, 50(2), 487–496. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.025.

3 Zhevora, S.V., Starovojtov, V.I., YAshin, A.YA., Manohina, A.A., YAshin, YA.I. (2021). Issledovaniya himicheskogo sostava i antioksidantnoi aktivnosti kartofelya [Research of the chemical composition and antioxidant activity of potatoes]. *Nauka v central'noi Rossii*, 1(49), 80–87.DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-80-87.

4 Polivanova, O.B., Gins, E.M. (2019). Antioksidantnaya aktivnost' pigmentirovannogo kartofelya (*Solanum tuberosum* L.), soderzhanie antocianov, ih biosintez i fiziologicheskaya rol' [Antioxidant

activity of potatoes (Solanum tuberosum L.) and anthocyanin content, its biosynthesis and physiological role]. *Ovoshchi Rossii*, 6, 84–90. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-6-84-90.

5 Wallace, T.C., Giusti, M.M. (2015). Anthocyanins. Advances in Nutrition, 6(5), 620–622. DOI: 10.3945/an.115.009233.

6 Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Cappellini, F., Reiner, Ž., Zorzan, D., Imran, M., Sener, B., Kilic, M., El-Shazly, M., Fahmy, N. M., Al-Sayed, E., Martorell, M., Tonelli, C., Petroni, K., Docea, A. O., Calina, D., Maroyi, A. (2020). The Therapeutic Potential of Anthocyanins: Current Approaches Based on Their Molecular Mechanism of Action. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 567172. DOI: 10.3389/fphar.2020.01300.

7 Kirgizova, I.V., Kalashnikova, E.A., Gadzhimuradova, A.M., Silaev, D.V., Turpanova, R.M., ZHangazin, S.B. (2023). Izuchenie aktivnosti antioksidantnyh fermentov u somaklonal'nyh variantov kartofelya dlya ispol'zovaniya v selekcionnom otbore na ustojchivost' k virusu RVS [Study of the activity of antioxidant enzymes in somaclonal potato variants for use in selection for resistance to the PVS virus]. Izvestiya vuzov. *Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 13(3), 442–453. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-3-442-453.

8 Dangl, J.L., Jones, J.D.G. (2001). Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*, 411(6839), 826–833. DOI: 10.1038/35081161.

9 Raza, M., Hussain, Z., Abbas, F., Ashraf, M. A., Imene, H.H., Riaz, T. (2025). Advanced strategies for detection and diagnosis of potato viruses: harnessing molecular innovations and digital tools for precision agriculture. *Hosts and Viruses*, 12, 39–46. DOI: 10.17582/journal.hv/2025/12.39.46.

10 Tabatabaei, M.S., Ahmed, M. (2022). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Methods Mol Biol*., 2508, 115–134. DOI: 10.1007/978-1-0716-2376-3_10.

11 Loewe LOEWE. (2023). *Product manual: complete kit standard DAS–ELISA.* https://loewe-info.com/wp-content/uploads/2023/10/Complete-Standard-ELISA-Rev-150121-.pdf

12 Trofimec, L.N., Boiko, V.V., Anisimov, B.V. (1985). *Metodicheskie rekomendacii po polucheniyu bezvirusnogo semennogo kartofelya* [*Methodological recommendations for obtaining virus-free seed potatoes*]. Moskva: VNIIKKH, 32.

13 Badoni, A., Chauhan, J.S. (2010). In vitro sterilization protocol for micropropagation of Solanum tuberosum cv. *"Kufri Himalini." Academia Arena*, 2(4), 24–27.

14 Koleva Gudeva, L., Mitrev, S., Trajkova, F., Ilievski, M. (2012). Micropropagation of Potato Solanum tuberosum L. *Electronic journal of Biology*, 8(3), 45–49.

15 Butenko, R.G. (1999). *Biologiya kletok vysshih rastenii in vitro i biotekhnologii na ih osnove* [*Biology of higher plant cells in vitro and biotechnologies based on them*]. M.: FBk-Press, 160, 3.

16 George, E.F., Hall, M.A., De Klerk, G.J. (2008). Plant propagation by tissue culture 3rd Edition. *The Netherland, The Back Ground Springer*, 65–175. DOI: 10.1007/978-1-4020-5005-3.

17 Kenzhebekova, R.T., Mendybaeva, A.S., Kapytina, A.I., Gricenko, D.A. (2024). Rasprostranenie smeshannyh virusnyh infekcii kartofelya v Almatinskoi oblasti Kazahstana. [Distribution of mixed viral infections of potato in the Almaty region of Kazakhstan]. *Experimental biology*, 99(2), 91–100. DOI: 10.26577/eb.2024.v99.i2.08.

18 Samarskaya, V.O., Butyrin, F.A., Suprunova, T.P., Spechenkova, N.A., Tal'yanskij, M.E., Kalinina, N.O. (2026). Rasprostranenie i geneticheskoe raznoobrazie virusov kartofelya v regionah Rossii [The distribution and genetic variability of potato viruses in Russian Regions]. *Acta Naturae,* 18(1), 91–103. DOI: 10.32607/actanaturae.27830.

19 Khassanov, V.T., Kiyan, V.S., Shvidchenko, V.K. (2011). Razrabotka immunofermentnoi test-sistemy dlya kompleksnoi diagnostiki naibolee patogennyh virusov kartofelya [Development of an enzyme immunoassay system for complex diagnostics of the most pathogenic potato viruses]. *Experimental biology*, 48(2), 266–270.

20 Gong, H., Igiraneza, C., Dusengemungu, L. (2019). Major in vitro techniques for potato virus elimination and post eradication detection methods. A review. *American journal of potato research,* 96(4), 379–389. DOI: 10.1007/s12230-019-09720-z.

21 Bettoni, J.C., Mathew, L., Pathirana, R., Wiedow, C., Hunter, D.A., McLachlan, A., Nadarajan, J. (2022). Eradication of Potato Virus S, Potato Virus A, and Potato Virus M from infected in vitro-grown potato shoots using in vitro therapies. *Frontiers in plant science*, 13, 878733. DOI: 10.3389/fpls.2022.878733.

Вирустық инфекцияларды скринингтеу және картоптың вируссыз сорттары мен селекциялық үлгілерінің жиынтығын қалыптастыру

Омарова Г.К., Бейсембина Б., Камарова Д.Н., Артемьева А.В., Лидер О.В.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Картоп ең маңызды азық-түлік дақылдарының бірі, бірақ оның өнімділігі мен сапасы вирустық аурулардың әсерінен айтарлықтай төмендейді. Картоптың ең көп таралған вирустары түйнектерде жиналады, бұл оларды бақылауды қиындатады және отырғызу материалын сауықтырудың тиімді әдістерін әзірлеуді қажет етеді. Жұмыстың мақсаты отандық және шетелдік селекциялық картоптың вируссыз сорттары мен будандарының коллекциясын құру болды.

Материалдар мен әдістер. Вирус тасымалдаушының диагностикасы картоптың Х вирусын (КХВ), картоптың Y вирусын (КУВ), картоптың S вирусын (KSB), картоптың М вирусын (КМВ) анықтау үшін DAS-ELISA форматында иммуноферменттік талдау әдісімен жүргізілді. DAS-ELISA нәтижелері теріс болған үлгілер *in vitro* культураға енгізіліп, кейіннен микроклондық көбейту үшін пайдаланылды. Асептикалық культура алу үшін өсімдік материалын көп сатылы зарарсыздандыру қолданылды.

Нәтижелері. Иммуноферменттік талдау әдісімен зерттелген картоп сорттары мен селекциялық үлгілерінде картоптың төрт негізгі вирусының болуы анықталып, зерттелген вирустарға теріс реакция көрсеткен үлгілер іріктеліп алынды. Зерттелген материалдың вирустармен зақымдану деңгейінің әртүрлі екені анықталды. Олюшка, Бабаев, Есіл және Silk Rose сорттарының вируссыз үлгілері *in vitro* культурасына енгізіліп, кейіннен көбейту және картоптың вируссыз тұқымдық материалын алу үшін жылыжайға отырғызылды. Сонымен қатар, Red Rose сорты вирустық инфекциядан сауықтыру және кейіннен вируссыз отырғызу материалын алу мақсатында *in vitro* культурасына енгізілді.

Қорытынды. Алынған деректер зерттелген картоп генотиптерінің вирусологиялық мәртебесін бағалауға және зерттелген картоп вирустарынан таза, әрі қарай пайдалануға жарамды үлгілерді анықтауға мүмкіндік берді. Іріктелген вируссыз материал in vitro культурасына сәтті енгізілді, бұл түрлі-түсті жұмсағы бар картоптың сауықтырылған сорттары мен селекциялық үлгілерінің коллекциясын қалыптастыруға, олардың одан әрі шағын көбеюіне және құнды генетикалық материалды сақтауға негіз болды.

Кілт сөздер: картоп вирустары; иммуноферменттік талдау (ИФТ); *in vitro к*ультурасы; вируссыз коллекция.

Screening for viral infection and establishment of a virus-free collection of potato varieties and breeding materials

Gulnur K. Omarova, Bibigul Beisembina, Diana N. Kamarova, Alyona V. Artemyeva, Olga V. Lider

NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Potatoes are one of the most important food crops, but their yield and quality are significantly reduced under the influence of viral diseases. The most common potato viruses accumulate in tubers, which makes their control difficult and requires the development of effective methods for improving the planting material. The purpose of the work was to create a collection of virus-free potato varieties and hybrids of domestic and foreign breeding.

Materials and Methods. The diagnosis of virus transmission was carried out using the double-antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) to detect potato X-virus (PVX), potato Y-virus (PVY), potato S-virus (PVS), potato M-virus (PVM). Samples with negative ELISA results

were used for *in vitro* culture and subsequent microclonal propagation. To obtain an aseptic culture, a multi-stage sterilization of plant material was used.

Results. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) detected the presence of four major potato viruses in the potato varieties and hybrids studied. Samples showing negative reactions to the tested viruses were also selected. Different levels of viral infection were identified in the studied plant material. Virus-free samples of Olyushka, Babayev, Esil and Silk Rose varieties were introduced into *in vitro* culture and planted in a greenhouse for subsequent reproduction and production of virus-free potato seed material. The Red Rose cultivar was also introduced into *in vitro* culture for the purpose of virus eradication and subsequent production of virus-free planting material.

Conclusion. The obtained data enabled the assessment of the virological status of the potato genotypes studied and the identification of samples free from the tested potato viruses that are suitable for further use. The selected virus-free material was successfully introduced into in vitro culture, which created the basis for the formation of a collection of improved varieties and breeding samples of potatoes with colored pulp, for their further micropropagation and the preservation of valuable genetic material.

Keywords: potato viruses; enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA); *in vitro* culture; virus-free collection.

УДК 633.854.78:631.524.86:632.4 **Исследовательская статья**

Оценка селекционного материала подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*)

Щербань С.В., Щербань Н.Ф., Абитаев Ф.К., Соционер А.С.

ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»
Восточно-Казахстанская область, Глубоковский район, с. Солнечное, Казахстан

Автор-корреспондент: Щербань С.В.: selekcia@ukr.net
Соавторы: (1: НЩ) selekcia@ukr.net; (2: ФА) ohmk7@mail.ru; (3: АА) sotsioner.a@mail.ru

Получено: 07.06.2026 **Принято:** 07.10.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Щербань С.В. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Стабильное производство подсолнечника напрямую зависит от внедрения устойчивого к патогенам селекционного материала, что позволяет снижать потери урожая. Ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая оомицетом *Plasmopara halstedii*, остается одной из опасных болезней подсолнечника. Целью исследования являлась оценка линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника с различным уровнем инбридинга для выявления образцов с высокой полевой устойчивостью к ЛМР в условиях Восточно-Казахстанской области.

Материалы и методы. В период 2021–2024 гг. проведен полевой фитопатологический скрининг селекционного материала. Естественный провокационный фон сформировался в 2023 году при сочетании высокой влажности почвы и резких суточных перепадов температуры. Для молекулярной оценки селекционного материала применяли конкурентный аллель-специфичный ПЦР-анализ (KASP) по маркерным системам Pl_{arg} и P18.

Результаты. В 2021, 2022 и 2024 гг. визуальные симптомы ЛМР отсутствовали. Массовое проявление заболевания в 2023 году позволило дифференцировать селекционный материал и провести отбраковку восприимчивых генотипов. Выделены линии с высокой полевой устойчивостью к локальной популяции *Plasmopara halstedii*; молекулярный анализ выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 у ряда изученных потомств.

Заключение. Выделенные линии-восстановители фертильности представляют практический интерес как исходный материал для дальнейшей селекции гибридов подсолнечника, устойчивых к ложной мучнистой росе и адаптированных к условиям региона.

Ключевые слова: подсолнечник; устойчивость; ложная мучнистая роса; линии-восстановители; ДНК-маркеры.

Введение

Создание и внедрение в сельскохозяйственное производство сортов и гибридов подсолнечника, устойчивых к основным болезням, является одним из ключевых элементов защиты урожая. Среди наиболее опасных заболеваний культуры особое место занимает ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая оомицетом *Plasmopara halstedii* [1, 2]. Патоген способен поражать растения на ранних стадиях развития, вызывая системную инфекцию, угнетение роста и снижение продуктивности [2].

Проблема устойчивости подсолнечника к ЛМР имеет динамический характер вследствие высокой эволюционной изменчивости *Plasmopara halstedii*. Появление новых вирулентных рас и их распространение могут приводить к преодолению ранее эффективной генетической устойчивости [3]. Изменение расовой структуры патогена, включая распространение рас 710 и 730, показано и для юга Российской Федерации [4].

Генетическая устойчивость подсолнечника к *Plasmopara halstedii* контролируется рядом Pl-генов. Исследования наследования устойчивости к различным расам патогена подтверждают

Как цитировать: Щербань, С.В., Щербань, Н.Ф., Абитаев, Ф.К., Соционер, А.С. (2026). Оценка селекционного материала подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*). *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 230-239. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2266

необходимость использования генетически разнообразных источников и сочетания нескольких механизмов устойчивости в селекционных программах [5].

Развитие ложной мучнистой росы определяется не только генотипом растения и вирулентностью патогена, но и условиями среды. Температура, влажность и состояние растений в период заражения существенно влияют на выраженность заболевания [6, 7]. Поэтому естественные эпифитотийные условия могут использоваться как дополнительный фон для дифференциации селекционного материала. Общие принципы селекции и возделывания подсолнечника также предусматривают необходимость комплексной оценки устойчивости исходного материала [8].

Фактором начала данных исследований послужило массовое проявление ложной мучнистой росы на опытном селекционном поле в 2023 году, что позволило провести скрининг высеваемого материала в естественных условиях.

Цель исследования – провести генетическую и фенологическую оценку линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника разного уровня инбридинга для выявления селекционных номеров с высокой устойчивостью к *Plasmopara halstedii* в условиях Восточно-Казахстанской области.

Материалы и методы

Данные, полученные в результате полевого мониторинга (2023 г.), определили и дальнейший ход исследований. Так, были проведены необходимые работы по дальнейшему сохранению селекционного материала, где было проведено самоопыление потомств (инцухт I1…I5), переопыление потомств с высоким уровнем инбридинга (I6), для проведения оценок на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*) с применением лабораторных исследований.

Геномную ДНК выделяли из молодых листьев подсолнечника (25–50 мг свежей ткани или проростков), растирая материал в жидком азоте с помощью шаровой мельницы. Далее использовали прогретый CTAB-буфер с добавлением 2% поливинилпирролидона (MW 40000) и 0,2–0,5% β-меркаптоэтанола для нейтрализации полифенольных соединений. Подход основан на CTAB-методе выделения растительной ДНК Doyle и Doyle [9].

Концентрацию и чистоту выделенной ДНК оценивали с помощью спектрофотометра. Для KASP-анализа использовали образцы ДНК с соотношением оптической плотности A_{260}/A_{280}=1,8-2,0 и A_{260}/A_{230}> или =2,0, стандартизированные до рабочей концентрации 5–10ng/m 1.

В 2024 году для характеристики генетического фона изучаемых образцов применяли конкурентный аллель-специфичный ПЦР-анализ (KASP). Метод основан на аллель-специфичной амплификации SNP с использованием двух аллель-специфичных прямых и одного общего обратного праймера и флуоресцентных репортёров FAM и HEX. В настоящем исследовании результаты генотипирования учитывали по маркерным системам Plarg и P18. Подходы к разработке и применению диагностических SNP-маркеров генов устойчивости подсолнечника к ложной мучнистой росе описаны *Qi* et al. [10] и *Radwan* et al. [11].

Статистическую обработку результатов полевого мониторинга проводили методами описательной статистики. Для каждого исходного материала определяли общее количество учтенных потомств и растений, абсолютное количество пораженных потомств и растений, их долю (%) от общего числа учтенных объектов, а также минимальную и максимальную долю поражения. Результаты молекулярного анализа представляли в виде абсолютного распределения образцов по категориям «устойчивый», «неизвестный», «восприимчивый» и «устойчивый/ восприимчивый». Поскольку исследование носило скрининговый характер, методы проверки статистических гипотез и уровень статистической значимости не применялись.

Результаты

В период 2021–2024 гг. (исключение 2023 г.) независимо от типа устойчивости к возбудителю ЛМР, на всех высеваемых селекционных номерах подсолнечника было отмечено полное отсутствие симптомов проявления болезни.

В мае-июне вегетационного периода 2023 года в Восточно-Казахстанской области сложились благоприятные погодные условия для проявления многих болезней на подсолнечнике, особенно ЛМР.

Полевые работы по подготовке почвы к посеву начались 2–4 мая, посев проводили 6–11 мая, всходы были получены 18–22 мая. Основные метеорологические показатели вегетационного периода 2023 года представлены в таблице 1.

Июнь месяц характеризовался высокими дневными температурами воздуха, среднемесячная температура составила 20,4 °С, что выше средних многолетних показателей на 1,5 °С. В июне месяце выпало 9,0 мм осадков, что ниже средней многолетней на 50,0 мм. Первые признаки заболевания были отмечены в конце мая и максимально проявились на протяжении всего вегетационного периода июня месяца и в период цветения. Это вызвано тем, что в этот период наблюдались резкие перепады дневных и ночных температур воздуха (10–15 °С), влажностью почвы 80–90% от полной влагоемкости и за счет зимних запасов влаги, когда снежный покров достигал 1,5 м.

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха и осадки, 2023 г

Месяц	Температура, °С			Осадки, мм		
	фактическая	средне-многолетняя	отклонение	фактическая	средне-многолетняя	отклонение
Май	+12,9	+13,7	-0,8	34,8	46,0	-11,2
Июнь	+20,4	+18,9	+1,5	9,0	59,0	-50,0
Июль	+21,3	+21,2	+0,1	12,2	64,0	-51,8
Август	+21,0	+21,2	-0,2	84,4	47,0	+37,4
Сентябрь	+11,2	+12,9	-1,7	103	32,0	+71,0

В июле среднесуточные температуры составили 21,3 °С, что на 0,1 °С выше по сравнению со средней многолетней. Во время цветения подсолнечника и во второй и третьей декадах июля среднесуточная температура воздуха была 23,4 и 22,0 °С соответственно. Однако, дневные температуры поднимались до отметки 38,8 °С. Осадков в июле месяце выпало 12,2 мм, что на 51,8 мм ниже средних многолетних показателей, что отрицательно сказалось на процессе гибридизации, цветения и завязывания семян.

Среднемесячная суточная температура сентября месяца была на уровне 11,2 °С. Осадков за сентябрь выпало 103,0 мм, что выше средних многолетних показателей на 71,0 мм.

В летний период 2023 года провели оценку селекционного материала, когда наблюдалось массовое распространение заболевания (ЛМР) на линиях-восстановителях фертильности пыльцы (Rf), для выявления исходных форм с признаками устойчивости в полевых условиях. Оценка проводилась визуально (полевой мониторинг), по типу наличия инфекции на растении, независимо от ее проявления (карликовость, хлороз листа, поражение листовой пластинки, наличие спороношения на обратной стороне листа и др.). Минимальный (min %) и максимальный (max %) проценты поражения растений для каждого поколения рассчитывались по формуле относительной доли пораженных растений в наименее и наиболее пораженных семьях (с/о потомствах):

$$min\% = \frac{(n\ min\ /\ )}{(N - \text{общ})} \times 100\%$$

$$max\% = \frac{(n\ max\ /\ )}{(N - \text{общ})} \times 100\%,$$

где n_{min} – наименьшее количество поражённых растений в отдельном потомстве;
n_{max} – наибольшее количество поражённых растений в отдельном потомстве;
N-общ – общее количество учтённых растений соответствующего исходного материала.

Результаты полевого мониторинга селекционных образцов подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка селекционных образцов подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (полевой мониторинг), 2023 г.

Исходный материал, (происхождение)	Уровень инбри-динга	Колич. потом.	с/о шт.	% пораж.	Колич. шт.	раст.	% пораж.	Колич.	пораж.	раст.	шт.
		всего	пораж		всего	пораж		min	%	max	%
F1 Горфилд	I1 -I3	7	2	28,5	89	5	5,6	2	2,3	3	3,4
F1 ВКУ 222 Б × СВ 208 Rf	I1 -I2	51	20	39,2	645	39	6,0	1	0,2	5	0,8
F1 Спринт	I2	10	5	50,0	126	15	11,9	1	0,8	5	4,0
F1 Светлана	I2	17	2	11,7	210	3	1,4	1	0,5	2	1,0
F1 G (Сингента)	I1 -I2	110	50	45,4	1637	120	7,3	1	0,1	6	0,4
F1 NK KONDI	I6	14	11	78,5	165	36	21,8	1	0,6	7	4,2
F1 TUTTI	I5	63	14	22,2	766	38	5,0	1	0,1	8	1,0
F1 Горстар	I1 -I2	10	3	30,0	121	9	7,4	2	1,7	4	3,3
F1 ВКУ 222 Б × СВ 208 Rf	I1 -I2	12	4	33,0	207	4	1,9	1	0,5	1	0,5

Как видно из таблицы 2, было проанализировано 294 потомства различного уровня инбридинга, полученных от 30 гибридов первого поколения; в таблице представлены потомства девяти гибридов. Всего учтено 3966 растений, из которых 269 были поражены (6,73%). Наименьшая доля пораженных растений отмечена у F1 Светлана (1,4%) и у одной из групп ВКУ 222 Б × СВ208 Rf (1,9%). Относительно низкая пораженность также установлена у F1 TUTTI (5,0%), F1 Горфилд (5,6%) и другой группы ВКУ 222 Б × СВ208 Rf (6,0%). Более высокая доля пораженных растений наблюдалась у F1 G (Сингента) (7,3%), F1 Горстар (7,4%) и F1 Спринт (11,9%), а максимальная – у F1 NK KONDI (21,8%). По доле пораженных потомств минимальное значение отмечено у F1 Светлана (11,7%), тогда как максимальное — у F1 NK KONDI (78,5%). Таким образом, наиболее перспективными по результатам полевого мониторинга являлись формы с минимальной долей пораженных растений и потомств, прежде всего F1 Светлана, а также отдельные группы ВКУ 222 Б × СВ208 Rf и F1 TUTTI. Различия между материалом с разным уровнем инбридинга не имели строго линейной зависимости от поколения инбридинга: как среди ранних поколений I1–I3, так и среди более поздних I5–I6 встречались формы с различной степенью поражения, что указывает на определяющее значение генотипа конкретной комбинации.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств первого года инцухта (I1) представлены в таблице 3, распределение генотипов показано на рисунке 1.

Таблица 3. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств первого года инцухта (I_1)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
F1 – G (Сингента)	6916-5	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – Горстар	6825-4	1	4	-	-	4	1	-	-
F1 – ВКУ408Б ×СВ208Rf	6859-2	3	2	-	-	-	3	2	-
F1 – ВКУ408Б ×СВ208Rf	6862-3	4	1	-	-	1	-	4	-
F1 – Hybrid P6222	7068-3	5	-	-	-	-	1	4	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	6851-1	3	1	-	1	1	1	2	1
ВКУ 408 Б ×СВ208 Rf	6858-2	4	-	1	-	2	2	1	-
ВКУ 408 Б × СВ208 Rf	6859-3	1	4	-	-	-	-	4	1

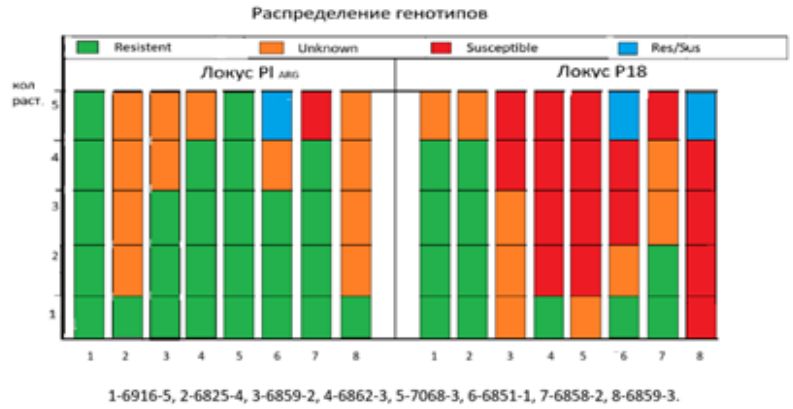


Рисунок 1. Распределение генотипов потомств первого года инцухта (I1)

По данным таблицы 3 и рисунка 1, у потомств I1 выявлена неоднородная структура генотипов, что соответствует раннему этапу инбридинга. У ряда образцов регистрировались одновременно сигналы устойчивости и восприимчивости, тогда как в исходном материале F1 G (Сингента) выявлены локусы устойчивости Plarg и P18.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I2–I3) представлены в таблице 4, распределение генотипов показано на рисунке 2.

Таблица 4. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I_2- I_3)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
ВКУ 225 Б ×СВ208 Rf	7316-1	5	-	-	-	5	-	-	-
ВКУ 225 Б ×СВ208 Rf	7324-2	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – Светлана	7291-1	3	1	-	1	5	-	-	-
F1 – Спринт	7260-1	4	1	-	-	-	2	3	-
F1 – Горстар	7268-1	2	2	-	1	4	1	-	-
F1 – Горфилд	7274-	2	3	-	-	-	2	3	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	7300-2	4	-	-	1	2	3	-	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	7341-2	3	2	-	-	1	4	-	-
F1 – G (Сингента)	7410-1	5	-	-	-	2	1	2	-
F1 – Горфилд	7277-1	5	-	-	-	4	1	-	

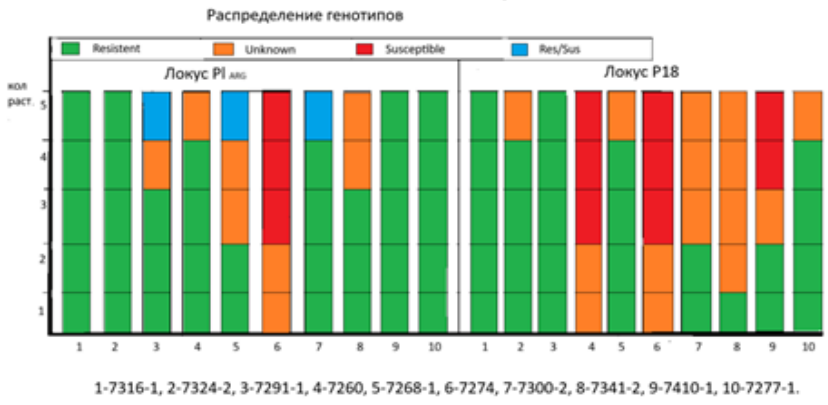


Рисунок 2. Распределение генотипов самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I_2- I_3)

Как показано в таблице 4 и на рисунке 2, в поколениях I2–I3 локусы устойчивости Plarg и P18 выявлены у отдельных исходных форм, в том числе ВКУ 222 Б × СВ208 Rf и F1 Горфилд. Для части образцов сохранялись неопределенные результаты, что указывает на продолжающееся расщепление материала.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств пятого года инцухта (I5) представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств пятого года инцухта (I_5)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
Сорт Раннеспелый	7109-1	4	1	-	-	4	1	-	-
Сорт Раннеспелый	7112-1	4	1	-	-	5	-	-	-
F1 – TUTTI	7036-2	3	2	-	-	3	2	-	-
F1 – TUTTI	7034-2	3	2	-	-	2	3	-	-

Согласно таблице 5, все четыре исследованных образца поколения I5 характеризовались наличием локусов устойчивости Plarg и P18: потомства 7109-1 и 7112-1 сорта Раннеспелый, а также 7036-2 и 7034-2, полученные из F1 TUTTI.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств шестого года инцухта (I6) представлены в таблице 6, распределение генотипов показано на рисунке 3.

Таблица 6. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств шестого года инцухта (I_6)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
F1 – LG 5542	7274-2	4	1	-	-	4	1	-	-
F1 – LG 5542	7677-1	5	-	-	-	5	-	-	-
F1 – LG 5542	7672-2	5	-	-	-	3	2	-	-
F1 – LG 5542	7678	5	-	-	-	5	-	-	-
F1 – LG 5542	7679	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – NK Kondi	7723	5	-	-	-	-	-	5	-
F1 – NK Kondi	7724-1	2	3	-	-	4	1	-	-
PR 63 A 90	7921	4	1	-	-	1	3	-	1

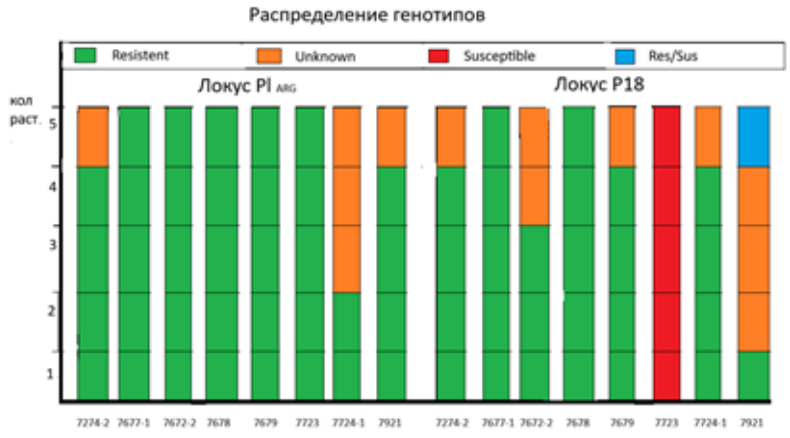


Рисунок 3. Распределение генотипов самоопыленных потомств шестого года инцухта (I_6)

По данным таблицы 6 и рисунка 3, в поколении I6 устойчивые сигналы по Plarg и P18 выявлены у нескольких образцов, происходящих от F1 LG5542. Для отдельных номеров отмечались сложные или неопределенные сигналы, требующие осторожной интерпретации и, при необходимости, дополнительной молекулярной верификации.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что проявление ложной мучнистой росы зависит от взаимодействия генотипа растения, вирулентности патогена и условий среды. В нашем исследовании массовое проявление ЛМР в 2023 году позволило дифференцировать селекционный материал, тогда как в 2021, 2022 и 2024 гг. визуальные симптомы заболевания отсутствовали. Такая изменчивость проявления болезни согласуется с данными о биологии и эпидемиологии *Plasmopara halstedi*i [2, 6, 7].

Полевой мониторинг выявил существенные различия между исходными формами: доля пораженных растений варьировала от 1,4% у F1 Светлана до 21,8% у F1 NK KONDI. Сопоставление полевой оценки с последующим молекулярным анализом показало, что у материала с низкой полевой пораженностью выявлялись устойчивые сигналы по исследованным маркерным системам. Так, у F1 Светлана при пораженности 1,4% в потомстве 7291-1 поколения I2–I3 зарегистрированы устойчивые сигналы по Plarg и P18. У F1 TUTTI, для которого доля пораженных растений в поле составила 5,0%, в потомствах 7036-2 и 7034-2 поколения I5 также выявлены устойчивые сигналы по обеим маркерным системам. В то же время у F1 NK KONDI, характеризовавшегося максимальной полевой пораженностью (21,8%), в поколении I6 отмечена неоднородность молекулярных результатов: для отдельных потомств наряду с устойчивыми сигналами регистрировались неопределенные и восприимчивые варианты по P18. Полученные данные показывают, что результаты полевого и молекулярного скрининга целесообразно рассматривать в комплексе: полевая оценка позволяет выделять фенотипически устойчивый материал, а молекулярный анализ – дополнительно характеризовать его по исследованным маркерным системам.

Молекулярный анализ выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 в ряде изученных потомств. Литературные данные показывают, что устойчивость подсолнечника к *Plasmopara halstedii* связана с комплексом Pl-генов, причем отдельные локусы могут обеспечивать устойчивость к различным наборам рас [5, 10, 11]. Поэтому сочетание полевой оценки и молекулярного скрининга является более информативным, чем использование только одного из этих подходов.

В расщепляющихся поколениях I_1–I_3 нами регулярно регистрировались неоднородные и неопределенные сигналы, тогда как в более поздних поколениях I_5–I_6 увеличивалась доля генетически выровненных форм. Это соответствует ожидаемому результату последовательного самоопыления и отбора и подтверждает целесообразность повторной молекулярной оценки материала на разных этапах инбридинга.

Особого внимания требуют сложные и неоднозначные сигналы, выявленные у отдельных образцов I_6. Современные исследования генетической устойчивости подсолнечника к *Plasmopara halstedii* показывают сложность организации участков генома, связанных с устойчивостью, и необходимость точной молекулярной верификации выявляемых локусов [10, 11, 12]. Поэтому такие сигналы целесообразно рассматривать как основание для дополнительной проверки, а не как самостоятельное доказательство наличия конкретного гена устойчивости.

Полученные результаты согласуются с общей селекционной стратегией, направленной на создание более долговременной устойчивости подсолнечника к ложной мучнистой росе за счет отбора и комбинирования эффективных источников устойчивости [12]. Выделенные линии поздних поколений инбридинга, сочетающие полевую устойчивость и целевые молекулярные маркеры, представляют практический интерес как исходный материал для дальнейшей селекции гибридов, адаптированных к условиям Восточного Казахстана.

Заключение

Фитопатологический мониторинг селекционного материала подсолнечника (2021–2024 гг.) показал эффективность использования гидротермических условий вегетационного периода

2023 года в качестве естественного провокационного фона для отбраковки восприимчивых генотипов. На фоне массового развития ложной мучнистой росы выделена группа инбредных линий-восстановителей фертильности, характеризующихся высокой полевой устойчивостью к локальной популяции *Plasmopara halstedii*.

Молекулярный скрининг выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 у ряда изученных потомств. Выделенные линии представляют практический интерес как исходный материал и потенциальные родительские компоненты для дальнейшей селекции гибридов подсолнечника, устойчивых к ложной мучнистой росе в условиях Восточного Казахстана.

Полученные результаты имеют практическое значение для отбора и дальнейшего использования самоопыленных линий подсолнечника в селекционных программах, направленных на повышение устойчивости к ложной мучнистой росе. Данные линии рекомендованы в качестве родительских компонентов и доноров устойчивости для создания конкурентоспособных гибридов подсолнечника с пролонгированной генетической защитой для Восточного Казахстана.

Вклад авторов

СЩ: методика проводимых работ в полевых условиях, закладка опытов. Написание статьи. НЩ: учёты и наблюдения, оценка селекционного материала. Редактирование статьи. АА: подготовка селекционного материала к посеву. Посев изучаемых образцов. Проведение оценочных работ в полевых условиях. ФА: организация биохимических исследований селекционного материала.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе BR 22885857 «Создание и внедрение в производство высокопродуктивных сортов и гибридов масличных, крупяных культур с целью обеспечения продовольственной безопасности Казахстана».

Список литературы

1 Pomazkov, Y.I. (1990). I*mmunitet rastenii k boleznyam i vreditelyam* [*Plant immunity to diseases and pests*]. Moskva: Izdatel'stvo Universiteta druzhby narodov (UDN), 77–80. [*In Russian]*.

2 Gascuel, Q., Martinez, Y., Boniface, M.-C., Vear, F., Pichon, M., Godiard, L. (2015). The sunflower downy mildew pathogen Plasmopara halstedii. *Molecular Plant Pathology*, 16(2), 109–122. DOI: 10.1111/mpp.12164.

3 Ahmed, S., Tourvieille de Labrouhe, D., Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen Plasmopara halstedii. *Fungal Genetics and Biology*, 49(10), 847–855. DOI: 10.1016/j.fgb.2012.06.012 .

4 Iwebor, M., Antonova, T.S., Saukova, S. (2016). Changes in the racial structure of Plasmopara halstedii (Farl.) Berl. et de Toni population in the south of the Russian Federation. *Helia*, 39(64), 113–121. DOI: 10.1515/helia-2016-0008.

5 Vear, F., Gentzbittel, L., Philippon, J., Mouzeyar, S., Mestries, E., Roeckel-Drevet, P., Tourvieille de Labrouhe, D., Nicolas, P. (1997). The genetics of resistance to five races of downy mildew (*Plasmopara halstedii*) in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetic*s, 95(4), 584–589. DOI: 10.1007/s001220050599.

6 Novotel'nova, N. S. (1966). *Lozhnaya muchnistaya rosa podsolnechnika* [*Sunflower downy mildew*]. M.-L.: Nauka, 150. [*In Russian*].

7 Lukomets, V.M., Kotlyarova, I.A., Tereshch*enko, G.A. (2015). Atlas boleznei podsolnechnika [Atlas of sunflower diseases*]. Krasnodar: FGBNU VNIIMK; Prosveshhenie-Jug, 67. [*In Russian*].

8 Nikitchin, D.I. i dr. (2002). *Podsolnechnik: Biokhimiya, selektsiya, vozdelyvanie* [*Sunflower: Biochemistry, breeding, and cultivation*]. Pologi, 494. [*In Russian*].

9 Doyle, J.J., Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11–15.

10 Qi, L.L., Talukder, Z.I., Hulke, B.S., Foley, M.E. (2017). Development and dissection of diagnostic SNP markers for the downy mildew resistance genes PlArg and Pl8 and marker-assisted gene pyramiding in sunflower (*Helianthus annuu*s L.). *Molecular Genetics and Genomics*, 292(3), 551–563. DOI: 10.1007/s00438-017-1290-8.

11 Radwan, O., Bouzidi, M.F., Vear, F., Philippon, J., Tourvieille de Labrouhe, D., Nicolas, P., Mouzeyar, S. (2003). Identification of non-TIR-NBS-LRR markers linked to the Pl5/Pl8 locus for resistance to downy mildew in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(8), 1438–1446. DOI: 10.1007/s00122-003-1196-1.

12 Pecrix, Y., Buendia, L., Penouilh-Suzette, C., Maréchaux, M., Legrand, L., Bouchez, O., Rengel, D., Gouzy, J., Cottret, L., Vear, F., Godiard, L. (2019). Sunflower resistance to multiple downy mildew pathotypes revealed by recognition of conserved effectors of the oomycete Plasmopara halstedii. *The Plant Journal*, 97(4), 730–748. DOI: 10.1111/tpj.14157.

Күнбағыс селекциялық материалын жалған ақ ұнтақ ауруына (*Plasmopara halstedii*) төзімділігін бағалау

Щербань С.В., Щербань Н.Ф., Абитаев Ф.К., Соционер А.С.

«Майлы дақылдар тәжірибелік шаруашылығы» ЖШС
Қазақстан, Шығыс Қазақстан облысы, Глубокое ауданы, Солнечное ауылы

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Күнбағыс өндірісінің тұрақтылығы патогендерге төзімді селекциялық материалды пайдалануға тікелей байланысты. *Plasmopara halstedii* оомицеті қоздыратын жалған ақ ұнтақ ауруы (ЖАҰ) күнбағыстың қауіпті ауруларының бірі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – Шығыс Қазақстан облысы жағдайында ЖАҰ-ға жоғары далалық төзімділігі бар үлгілерді анықтау үшін инбридинг деңгейі әртүрлі күнбағыс тозаңының фертильділігін қалпына келтіруші желілерді бағалау.

Материалдар мен әдістер. 2021–2024 жылдары селекциялық материалға далалық фитопатологиялық скрининг жүргізілді. 2023 жылы топырақ ылғалдылығының жоғары болуы және тәуліктік температураның күрт ауытқуы табиғи арандатушы фон қалыптастырды. Селекциялық материалды молекулалық бағалау үшін Pl_{arg} және P18 маркерлік жүйелері бойынша бәсекелес аллель-спецификалық ПТР-талдау (KASP) қолданылды.

Нәтижелер. 2021, 2022 және 2024 жылдары ЖАҰ-ның визуалды белгілері байқалмады. 2023 жылы аурудың жаппай көрінуі селекциялық материалды саралауға және сезімтал генотиптерді жарамсыздандыруға мүмкіндік берді. *Plasmopara halstedii* жергілікті популяциясына жоғары далалық төзімділігі бар желілер бөлініп, бірқатар ұрпақтарда Pl_{arg} және P18 маркерлік жүйелері бойынша төзімділік сигналдары анықталды.

Қорытынды. Бөлініп алынған фертильділікті қалпына келтіруші желілер жалған ақ ұнтақ ауруына төзімді және өңір жағдайына бейімделген күнбағыс будандарын одан әрі селекциялау үшін бастапқы материал ретінде практикалық қызығушылық тудырады.

Кілт сөздер: күнбағыс; төзімділік; жалған ақ ұнтақ ауруы; қалпына келтіруші желілер; ДНК маркерлері.

Evaluation of sunflower breeding material for resistance to downy mildew (*Plasmopara halstedii*)

Sergei V. Shcherban, Nataliya F. Shcherban, Farid K.Abitaev, Aigul S. Sotsioner

“Oil Crops Experimental Farm” LLP
Solnechnoye village, Glubokoye district, East Kazakhstan region, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Stable sunflower production depends on the use of breeding material resistant to major pathogens. Downy mildew (DM), caused by the oomycete *Plasmopara halstedii*, remains an important disease of sunflower. The aim of this study was to evaluate sunflower pollen fertility-

restorer lines with different levels of inbreeding and identify genotypes with high field resistance to DM under the conditions of East Kazakhstan.

Materials and Methods. Field phytopathological screening of breeding material was conducted during 2021–2024. In 2023, high soil moisture combined with marked diurnal temperature fluctuations created a natural provocative background. Competitive allele-specific PCR (KASP) using the Pl_{arg} and P18 marker systems was applied for molecular evaluation of the breeding material.

Results. Visual symptoms of downy mildew were absent in 2021, 2022, and 2024. The widespread disease development observed in 2023 enabled differentiation of the breeding material and culling of susceptible genotypes. Lines with high field resistance to the local *Plasmopara halstedii* population were identified, and resistant signals for the Pl_{arg} and P18 marker systems were detected in a number of progenies.

Conclusion. The selected fertility-restorer lines are of practical interest as source material for further breeding of downy mildew-resistant sunflower hybrids and adapted to the regional conditions.

Keywords: sunflower; resistance; downy mildew; restorer lines; DNA markers.

УДК 635.21:633.49 **Исследовательская статья**

Сравнительная оценка содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти с различной окраски клубней картофеля

Омарова Г.К.[1], **Каландия А.**[2], **Джафаридзе И.**[2], **Сурманидзе Н.**[2], **Карцвадзе И.**[2], **Хасанов В.Т.**[1]

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан
[2]Батумский государственный университет имени Ш. Руставели, Батуми, Грузия

Автор-корреспондент: Хасанов В.Т.: vadim_kazgatu@mail.ru
Соавторы: (1: ГО) gulnur.omarova1994@gmail.com; (2: АК) aleko.kalandia@bsu.edu.ge
(3: ИД) indira.djafaridze@gmail.com; (4: НС) nona.surmanidze@bsu.edu.ge
(5: ИК) inga.kartsivadze@bsu.edu.ge

Получено: 10.06.2026 **Принято:** 10.06.2026 **Опубликовано:** 10.06.2026

Авторские права: Омарова Г.К. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Картофель с пигментированной мякотью является ценным источником биологически активных соединений, включая антоцианы, фенольные соединения и флавоноиды, обладающие выраженной антиоксидантной активностью. Содержание данных соединений может существенно варьировать в зависимости от окраски мякоти и анатомической части клубня. Целью настоящего исследования являлся сравнительный биохимический анализ кожуры и мякоти картофеля с различной окраской клубней по содержанию антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов.

Материалы и методы. Объектами исследования служили клубни картофеля казахстанской и зарубежной селекции с различной окраской мякоти. Кожуру и мякоть анализировали отдельно. Содержание антоцианов, общего количества фенольных соединений и флавоноидов определяли спектрофотометрическими методами. Полученные данные подвергали статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты. Установлено, что кожура клубней независимо от окраски мякоти характеризовалась более высоким содержанием антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов по сравнению с мякотью. Максимальное содержание антоцианов выявлено у селекционного образца 17-223-10 и составило 233,1 ± 2,17 мг/100 г сухого вещества в кожуре. Наибольшее содержание фенольных соединений отмечено у сорта Олюшка – 21,75 ± 3,08 мг/г сухого вещества, а максимальное содержание флавоноидов зарегистрировано у сорта Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г сухого вещества) и сорта Киру (28,20 ± 0,13 мг/г сухого вещества). Высокими показателями содержания антоцианов также характеризовались сорта Xisen 8 и Red Rose. Во всех исследованных генотипах содержание биологически активных соединений в кожуре существенно превышало показатели мякоти.

Заключение. Результаты исследования показали, что кожура картофеля с пигментированной мякотью является наиболее богатым источником антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов. Наиболее перспективными по содержанию антиоксидантных соединений оказались образцы 17-223-10, Олюшка, Xisen 8 и Red Rose. Полученные данные свидетельствуют о перспективности комплексного использования как кожуры, так и мякоти цветного картофеля в пищевой промышленности, производстве функциональных продуктов питания и натуральных антиоксидантных ингредиентов.

Ключевые слова: картофель; пигментированная мякоть; антоцианы; фенольные соединения; флавоноиды; кожура.

Как цитировать: Омарова, Г.К., Каландия, А., Джафаридзе, И., Сурманидзе, Н., Карцвадзе, И. Хасанов, В.Т. (2026). Сравнительная оценка содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти с различной окраски клубней картофеля. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 240-249. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2262

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур мира [1]. Традиционно выращиваемые сорта имеют белую или желтую мякоть, однако в последние годы возрастает интерес к сортам с красной, синей и фиолетовой окраской клубней [2, 3]. Такая окраска обусловлена накоплением антоцианов – водорастворимых флавоноидных пигментов, обладающих выраженными антиоксидантными свойствами [4, 5].

Антоцианы представляют особый интерес для медицины и пищевой промышленности благодаря их высокой антиоксидантной активности. Установлено, что регулярное потребление продуктов богатых антоцианами способствует снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета второго типа, ожирения, нейродегенеративных нарушений и некоторых видов онкологических заболеваний [3, 6]. Кроме того, данные соединения обладают противовоспалительным, антибактериальным и иммуномодулирующим действием, что делает их важными компонентами функционального питания [7].

Помимо антоцианов, клубни картофеля содержат широкий спектр фенольных соединений, включая фенольные кислоты, флавоноиды и другие вторичные метаболиты. Наиболее распространенными фенольными соединениями в картофеле являются хлорогеновая, кофейная и феруловая кислоты, которые также вносят существенный вклад в антиоксидантный потенциал клубней [8]. Флавоноиды и фенольные соединения способны нейтрализовать свободные радикалы, предотвращать процессы перекисного окисления липидов и защищать клетки организма от окислительного стресса [9].

Согласно данным ряда исследований, наиболее высокие концентрации фенольных соединений и антоцианов локализуются в кожуре и прилегающих к ней тканях, тогда как содержание этих веществ в мякоти может существенно варьировать в зависимости от окраски клубня и сортовых особенностей [10, 11]. В связи с этим, кожура картофеля рассматривается как перспективный источник натуральных антиоксидантов и красителей для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

В условиях переработки картофеля образуется большое количество кожуры, которая часто рассматривается как отход. Однако, благодаря высокому содержанию биологически активных соединений кожура цветного картофеля представляет интерес как источник натуральных антиоксидантов и функциональных пищевых ингредиентов [12].

Изучение распределения антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти картофеля имеет важное значение для селекции сортов с повышенной пищевой ценностью и разработки функциональных продуктов питания.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые в условиях Костанайской области Казахстана проведено комплексное сравнительное исследование содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти казахстанских селекционных образцов и зарубежных сортов картофеля. Выявлены генотипы, характеризующиеся повышенным накоплением биологически активных соединений, а также установлены различия в их распределении между тканями клубня.

Целью исследования являлся сравнительный анализ содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти картофеля с различной окраской клубней и оценка особенностей их распределения в тканях клубня.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись 12 сортов и селекционных образцов картофеля с различной окраской мякоти: Xisen 6 (желтая мякоть, КНР), Xisen 8 (фиолетовая, КНР), Gala (желтая, Нидерланды), Colomba (жёлтая, Нидерланды), Есиль (светло-жёлтея, Казахстан-Россия), Red Rose (красная или розовая, Казахстан-Китай), Травник (розовая, Казахстан), Олюшка (розовая, Казахстан), Танюша (розовая, Казахстан), Киру (фиолетовая, Казахстан-Россия), 17-223-10 (фиолетовая, Казахстан-Китай) и Багира (фиолетовая, Россия). На рисунке 1 предоставлены сортообразцы картофеля с различной окраской кожуры и мякоти клубней.

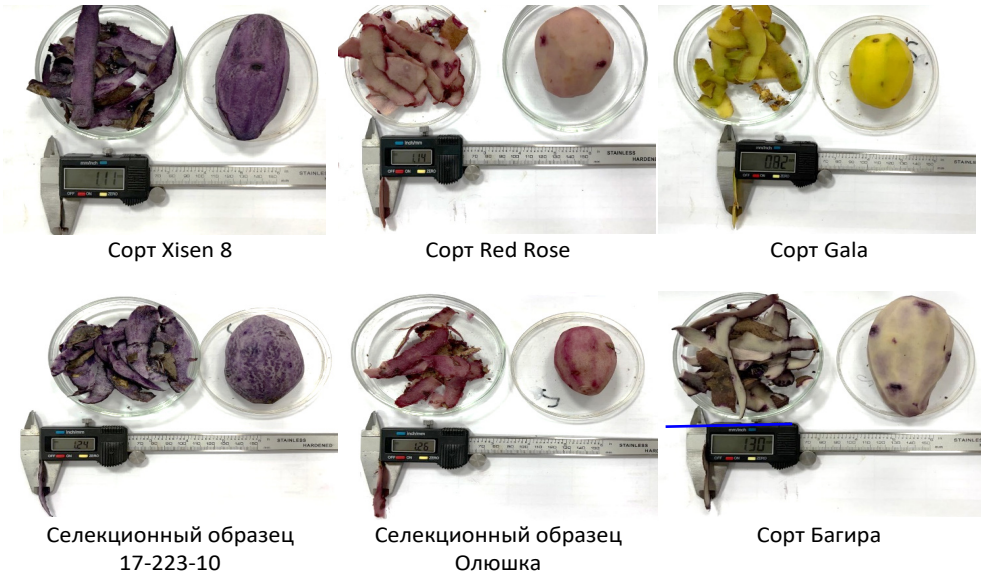


Рисунок 1. Сортообразцы картофеля с различной окраской кожуры и мякоти клубней

Полевой эксперимент был проведён в КХ «Тэрра» в Костанайская области Казахстана. Почвы представлены высокоплодородными чернозёмами, типичными для данного региона.

Посадку картофеля осуществляли вручную в третьей декаде мая по схеме 75 × 30 см. Опыт был заложен по схеме рандомизированных полных блоков (RCBD) в четырёхкратной повторности. Агротехнические мероприятия включали обработку фунгицидами, применение биологических средств защиты растений от болезней и проведение орошения в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания (ГСИ) [13].

Уборку урожая проводили в период с 19 по 21 сентября 2025 года. Для всех изучаемых генотипов были обеспечены одинаковые агротехнические условия выращивания и единый уровень воздействия факторов внешней среды.

Определение содержания антоцианов

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом. Навеску свежего растительного материала массой 2,000 ± 0,005 г экстрагировали трёхкратно подкисленным метанолом при 30–35 °C с использованием ультразвуковой обработки. Объединённые экстракты фильтровали и доводили до 50 мл. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре UV5 Excellence (Mettler-Toledo, Швейцария) при 528 нм относительно 0,1% HCl. Содержание рассчитывали в пересчёте на цианидин-3-О-глюкозид [14].

Определение содержания фенольных соединений

Содержание общих фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу. Экстракцию проводили 70% этанолом, подкисленным 0,1% HCl. К аликвоте экстракта добавляли дистиллированную воду, реактив Фолина-Чокальтеу и раствор Na_2CO_3 для создания щелочной среды. После инкубации при комнатной температуре оптическую плотность измеряли при 750 нм на спектрофотометре UV5 Excellence. Результаты выражали в пересчёте на галловую кислоту [15].

Определение содержания флавоноидов

Содержание флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом. Экстракцию проводили 70% этанолом. К аликвоте последовательно добавляли $NaNO_2$ и $AlCl_3$, затем после выдержки вводили щелочной раствор для формирования окрашенного комплекса. Оптическую плотность измеряли при 510 нм. Содержание флавоноидов рассчитывали в пересчёте на кверцетин [16].

Все эксперименты проводили в трёхкратной повторности для обеспечения воспроизводимости и надёжности полученных данных. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2021. Для всех исследуемых показателей рассчитывали средние арифметические значения (M) и стандартные отклонения (SD). Выполняли описательный статистический анализ данных, а также строили графические

материалы для визуализации результатов. Достоверность различий между исследуемыми генотипами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента и однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Различия считали статистически значимыми при уровне вероятности $p<0,05$.

Результаты

Определения общего содержания антоцианов

Результаты определения общего содержания антоцианов показали выраженные различия между исследуемыми сортообразцами картофеля. Антоцианы преимущественно накапливались в кожуре клубней, тогда как в мякоти их содержание было значительно ниже (таблица 1).

Таблица 1. Результаты определения общего содержания антоцианов

№	Образцы	Суммарные антоцианы (C-3-G), мг/100 г СВ, кожура	Суммарные антоцианы (C-3-G), мг/100 г СВ, мякоть
1	Киру	18,8 ± 0,49	4,1± 0,10
2	Xisen 8	155,5 ± 3,04	4,7 ± 0,36
3	Gala	-	-
4	Багира	20,4 ± 0,72	5,6 ± 0,31
5	Танюша	50,2 ± 1,22	2,9 ± 0,35
6	Xisen 6	-	-
7	Red Rose	150,9± 0,46	6,8 ± 0,35
8	Colomba	-	-
9	Травник	80,6 ± 0,55	4,3 ± 0,15
10	Есиль	-	-
11	17-223-10	233,1 ± 2,17	8 ± 0,06
12	Олюшка	86,8 ± 0,85	22,6 ± 0,31

Примечание: C-3-G – цианидин-3-глюкозид, СВ – сухое вещество.

Содержание антоцианов значительно варьировало в зависимости от генотипа и исследуемой ткани клубня. Во всех образцах максимальное накопление антоцианов наблюдалось в кожуре, где их содержание превышало показатели мякоти в 3,8-33,1 раза.

Наиболее высокие концентрации антоцианов в кожуре выявлены у селекционного образца 17-223-10 (233,1 ± 2,17 мг/100 г СВ), а также у сортов Xisen 8 (155,5 ± 3,04 мг/100 г СВ) и Red Rose (150,9 ± 0,46 мг/100 г СВ). Высоким содержанием антоцианов также характеризовались Олюшка (86,8 ± 0,85 мг/100 г СВ) и Травник (80,6 ± 0,55 мг/100 г СВ).

В мякоти максимальное накопление антоцианов отмечено у сорта Олюшка (22,6 ± 0,31 мг/100 г СВ), тогда как у остальных генотипов их содержание не превышало 8,0 мг/100 г СВ. Наиболее высокие значения после Олюшка зарегистрированы у 17-223-10 (8,0 ± 0,06 мг/100 г СВ) и Red Rose (6,8 ± 0,35 мг/100 г СВ). Генотипы 17-223-10, Xisen 8 и Red Rose выделялись интенсивным накоплением антоцианов в кожуре, тогда как Олюшка отличалась повышенным содержанием антоцианов как в кожуре, так и в мякоти. Полученные результаты подтверждают выраженное влияние генотипа на биосинтез антоцианов и высокую антиоксидантную ценность окрашенных форм картофеля.

Определения общего содержания фенольных соединений

Результаты анализа содержания общих фенольных соединений показали значительную вариабельность между исследуемыми сортообразцами картофеля. Во всех образцах содержание фенольных соединений в кожуре было существенно выше по сравнению с мякотью, что свидетельствует о преимущественном накоплении фенольных метаболитов в наружных тканях клубней (таблица 2).

Таблица 2. Общее содержание фенольных соединений

№	Образцы	Фенольные соединения (мг/г СВ), кожура	Фенольные соединения (мг/г СВ), мякоть
1	Киру	19,07 ± 0,16	2,1 ± 0,06
2	Xisen 8	16,68 ± 0,35	6,53 ± 0,17
3	Gala	13,05 ± 0,08	2,41 ± 0,21
4	Багира	8,49 ± 0,25	3,07 ± 0,09
5	Танюша	12,38 ± 0,19	3,59 ± 0,30
6	Xisen 6	7,2 ± 0,15	3,3 ± 0,15
7	Red Rose	11,92 ± 0,46	2,59 ± 0,25
8	Colomba	9,2 ± 0,10	2,44 ± 0,22
9	Травник	10,3 ± 0,15	4,01 ± 0,03
10	Есиль	10,02 ± 0,06	1,69 ± 0,25
11	17-223-10	16,01 ± 0,06	5,85 ± 0,34
12	Олюшка	21,75 ± 3,08	3,63 ± 0,22

Исследуемые генотипы картофеля существенно различались по уровню накопления фенольных соединений в кожуре и мякоти клубней, при этом во всех образцах их содержание было значительно выше в кожуре по сравнению с мякотью. Соотношение между содержанием фенольных соединений в кожуре и мякоти варьировало от 2,2 раза у сорта Xisen 6 до 9,1 раза у образца Киру. Высокие различия также отмечены у Есиль (5,9 раза), Gala (5,4 раза), Red Rose (4,6 раза), Олюшка (6,0 раза) и Киру (9,1 раза), что свидетельствует о преимущественной локализации фенольных соединений в покровных тканях клубня.

Среди исследованных генотипов наиболее высоким содержанием фенольных соединений в кожуре характеризовались Олюшка (21,75 ± 3,08 мг/г СВ), Киру (19,07 ± 0,16 мг/г СВ), Xisen 8 (16,68 ± 0,35 мг/г СВ) и селекционный образец 17-223-10 (16,01 ± 0,06 мг/г СВ). Наименьшие значения отмечены у Xisen 6 (7,20 ± 0,15 мг/г СВ), Багира (8,49 ± 0,25 мг/г СВ) и Colomba (9,20 ± 0,10 мг/г СВ).

В мякоти клубней лидирующие позиции занимали Xisen 8 (6,53 ± 0,17 мг/г СВ) и селекционный образец 17-223-10 (5,85 ± 0,34 мг/г СВ), содержание фенольных соединений у которых превышало показатели большинства остальных генотипов. Повышенные значения также были зарегистрированы у Травник (4,01 ± 0,03 мг/г СВ), Олюшка (3,63 ± 0,22 мг/г СВ) и Танюша (3,59 ± 0,30 мг/г СВ). Минимальное накопление фенольных соединений в мякоти наблюдалось у сорта Есиль (1,69 ± 0,25 мг/г СВ).

Особый интерес представляют генотипы Xisen 8 и 17-223-10, которые сочетали высокое содержание фенольных соединений как в кожуре, так и в мякоти. Сорт Киру выделялся максимальным контрастом между кожурой и мякотью, тогда как Xisen 6 характеризовался наиболее равномерным распределением фенольных соединений между исследуемыми тканями. Полученные данные подтверждают значительное влияние генотипа на накопление фенольных соединений и позволяют рассматривать отдельные образцы, как перспективный исходный материал для селекции картофеля с повышенным содержанием биологически активных веществ.

Определения общего содержания флавоноидов

Сравнительный анализ общего содержания флавоноидов показал, что во всех исследуемых сортообразцах картофеля содержание флавоноидов в кожуре значительно превышало их количество в мякоти. Это указывает на интенсивное накопление флавоноидных соединений в покровных тканях клубней (таблица 3).

Таблица 3. Результаты определения общего содержания флавоноидов

№	Образцы	Флавоноиды (мг/г СВ), кожура	Флавоноиды (мг/г СВ), мякоть
1	Киру	28,2 ± 0,13	2,07 ± 0,04
2	Xisen 8	24,36 ± 0,19	7,18 ± 0,09
3	Gala	19,01 ± 0,06	2,73 ± 0,37
4	Багира	12,44 ± 0,17	2,99 ± 0,25
5	Танюша	17,32 ± 0,16	2,57 ± 0,26
6	Xisen 6	9,56 ± 0,23	2,77 ± 0,14
7	Red Rose	12,61 ± 0,16	2,76 ± 0,19
8	Colomba	13,52 ± 0,26	1,69 ± 0,10
9	Травник	14,01 ± 0,01	3,34 ± 0,13
10	Есиль	16,54 ± 0,27	1,75 ± 0,13
11	17-223-10	19,21 ± 0,11	5,17 ± 0,10
12	Олюшка	28,52 ± 0,28	2,69 ± 0,10

Анализ показал наличие значительной вариабельности содержания флавоноидов среди изученных генотипов картофеля, при этом их концентрация в кожуре во всех образцах была существенно выше, чем в мякоти клубней. Превышение содержания флавоноидов в кожуре по сравнению с мякотью составляло от 3,4 раза у образца Xisen 8 до 13,6 раза у сорта Киру.

Наиболее высокое содержание флавоноидов в кожуре выявлено у образцов Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г СВ) и Киру (28,20 ± 0,13 мг/г СВ), а также у Xisen 8 (24,36 ± 0,19 мг/г СВ). Высокими значениями характеризовались также селекционный образец 17-223-10 (19,21 ± 0,11 мг/г СВ) и сорт Gala (19,01 ± 0,06 мг/г СВ). Минимальное содержание флавоноидов в кожуре отмечено у Xisen 6 (9,56 ± 0,23 мг/г СВ).

В мякоти максимальные значения зарегистрированы у Xisen 8 (7,18 ± 0,09 мг/г СВ) и селекционного образца 17-223-10 (5,17 ± 0,10 мг/г СВ), тогда как у остальных генотипов содержание флавоноидов не превышало 3,34 мг/г СВ.

Таким образом, генотипы Xisen 8 и 17-223-10 выделялись высоким накоплением флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, тогда как сорта Киру и Олюшка характеризовались преимущественным накоплением данных соединений в кожуре клубней.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают данные литературы о том, что антоцианы, фенольные соединения и флавоноиды преимущественно накапливаются в кожуре клубней картофеля, что связано с их защитной функцией в растительных тканях [3, 8]. Во всех исследованных генотипах содержание изученных соединений в кожуре значительно превышало показатели мякоти, что согласуется с результатами других авторов, рассматривающих кожуру как основное место локализации вторичных метаболитов и антиоксидантов [4, 9].

Наиболее высокое содержание антоцианов было выявлено у образцов 17-223-10, Xisen 8, Red Rose и Олюшка. Аналогичные уровни накопления антоцианов ранее отмечались у сортов картофеля с фиолетовой и красной окраской клубней. Повышенное содержание антоцианов у данных генотипов обусловлено высокой активностью генов фенилпропаноидного и флавоноидного путей биосинтеза, включая структурные гены CHS, CHI, F3H, DFR и ANS, а также регуляторные транскрипционные факторы семейства MYB-bHLH-WD40, контролирующие образование пигментов. Именно поэтому фиолетовые формы картофеля, как правило, характеризуются более интенсивным накоплением антоцианов по сравнению с сортами со светлой или жёлтой мякотью [17].

Особый интерес представляет сорт Олюшка, который отличался не только высоким содержанием антоцианов в кожуре, но и максимальным уровнем их накопления в мякоти. Вероятно, это связано с экспрессией генов биосинтеза антоцианов не только в покровных

тканях клубня, но и в паренхиме мякоти. Подобное явление ранее было описано для картофеля с интенсивно окрашенной мякотью, у которого синтез пигментов происходит во всех тканях клубня, а не ограничивается только кожурой [18].

Высокое содержание фенольных соединений в образцах Xisen 8 и 17-223-10 согласуется с литературными данными, согласно которым генотипы с интенсивной окраской клубней часто характеризуются повышенным накоплением фенольных метаболитов и более высокой антиоксидантной активностью. Для Xisen 8 повышенный уровень фенолов может быть обусловлен генетически детерминированной активностью фенилаланинаммиак-лиазы (PAL) -ключевого фермента фенилпропаноидного пути, обеспечивающего синтез широкого спектра фенольных соединений. Кроме того, накопление фенолов может усиливаться под влиянием стрессовых факторов окружающей среды, включая повышенные температуры и дефицит влаги, наблюдавшиеся в период вегетации [19].

Полученные результаты также свидетельствуют о выраженной генотипической изменчивости по содержанию флавоноидов. Генотипы Xisen 8 и 17-223-10 характеризовались повышенным накоплением флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, что указывает на высокую интенсивность вторичного метаболизма. Поскольку антоцианы являются одной из групп флавоноидов, повышение содержания этих соединений часто сопровождается общим увеличением уровня фенольных веществ и антиоксидантной активности тканей [20, 21].

В целом накопление антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов определяется сложным взаимодействием генетических факторов и условий среды. Генотипические особенности контролируют активность ферментов биосинтетических путей и экспрессию регуляторных генов, тогда как абиотические факторы способны дополнительно стимулировать синтез защитных метаболитов. Полученные данные подтверждают перспективность использования образцов Олюшка, Xisen 8, Red Rose и 17-223-10 в селекционных программах, направленных на создание сортов картофеля с повышенной антиоксидантной ценностью и улучшенными функциональными свойствами.

Заключение

В результате проведённых исследований установлено, что содержание антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов существенно зависит от генотипа картофеля и исследуемой ткани клубня. Во всех изученных образцах кожура содержала значительно больше биологически активных соединений по сравнению с мякотью. Содержание антоцианов в кожуре превышало показатели мякоти в 3,8–33,1 раза, фенольных соединений – в 2,2–9,1 раза, а флавоноидов – в 3,4–13,6 раза.

Наибольшее содержание антоцианов выявлено у селекционного образца 17-223-10 (233,1 ± 2,17 мг/100 г СВ), а также у сортов Xisen 8 и Red Rose. По содержанию фенольных соединений лидировал сорт Олюшка (21,75 ± 3,08 мг/г СВ), тогда как максимальное накопление флавоноидов отмечено у сортов Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г СВ) и Киру (28,20 ± 0,13 мг/г СВ). Генотипы Xisen 8 и 17-223-10 характеризовались высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, что свидетельствует об их высокой антиоксидантной ценности.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов в селекционных программах по созданию сортов картофеля с повышенной антиоксидантной ценностью. Установлено, что кожура клубней является концентрированным источником антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов, что открывает перспективы её рационального использования в качестве вторичного сырья. Кожура цветного картофеля может служить источником натуральных пищевых красителей, антиоксидантных экстрактов, функциональных ингредиентов и биологически активных добавок. Кроме того, пигментированные сорта картофеля представляют интерес для производства функциональных продуктов питания, обогащённых природными антиоксидантами, а также для более эффективного использования отходов переработки картофеля.

Вклад авторов

ГО, ИД, НС и ИК: проведение экспериментальных исследований, обзор и анализ научной литературы, обработка и интерпретация полученных данных, подготовка первоначального варианта рукописи. ВТ и АК: концептуализация исследования, научное руководство, критический пересмотр и редактирование текста рукописи. Все авторы прочитали, обсудили и одобрили окончательную версию рукописи.

Информация о финансировании

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта AP23485559 «Картофель с цветной мякотью для Северного Казахстана: подбор сортов и гибридов, создание биологизированной технологии защиты» (2024–2026 гг.), а также в рамках докторской диссертационной работы «Исследование влияния вирозов на антиоксидантные свойства сортов и гибридов с пигментированной мякотью клубней картофеля».

Список литературы

1 Zaheer, K., Akhtar, M.H. (2016). Potato Production, Usage, and Nutrition-A Review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(5), 711–721. DOI: 10.1080/10408398.2012.724479.

2 Hellmann, H., Goyer, A., Navarre, D.A. (2021). Antioxidants in Potatoes: A Functional View on One of the Major Food Crops Worldwide. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(9), 2446. DOI: 10.3390/molecules26092446.

3 Furrer, A.N., Chegeni, M., Ferruzzi, M.G. (2018). Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(1), 146–168. DOI:10.1080/10408398.2016.1139542.

4 Šulc, M., Kotíková, Z., Paznocht, L., Pivec, V., Hamouz, K., Lachman, J. (2017). Changes in anthocyanidin levels during the maturation of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food chemistry*, 237, 981–988. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.155.

5 Singh, B., Singh, J., Singh, J.P., Kaur, A., Singh, N. (2020). Phenolic compounds in potato (*Solanum tuberosum* L.) peel and their health-promoting activities. *Int. J. Food. Sci. Technol.*, 55, 2273–2281. DOI:10.1111/ijfs.14361.

6 Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., Banerjee, K. (2020). Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of AOAC International,* 103(1), 23–39. DOI:10.5740/jaoacint.19-0201.

7 Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E.B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A.A., Novellino, E., Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy research*, 33(9), 2221–2243. DOI:10.1002/ptr.6419.

8 Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M.F., Verardo, V. (2016). Phenolic Compounds in the Potato and Its Byproducts: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 835. DOI: 10.3390/ijms17060835.

9 Włodarczyk, K., Zienkiewicz, A., Szydłowska-Czerniak, A. (2022). Radical Scavenging Activity and Physicochemical Properties of Aquafaba-Based Mayonnaises and Their Functional Ingredients. *Foods*, 11(8), 1129. DOI:10.3390/foods11081129.

10 Navarre D., Holden, M., Pillai, S., Shakya, R. (2011). HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food Chemistry*, 127(1), 34–41.

11 Teng, Z., Jiang, X., He, F., Bai, W. (2020), Qualitative and Quantitative Methods to Evaluate Anthocyanins. *eFood*, 1, 339–346. DOI:10.2991/efood.k.200909.001.

12 De Camargo, A.C., Schwember, A.R., Parada, R., Garcia, S., Maróstica Júnior, M.R., Franchin, M., Regitano-d'Arce, M.A.B., Shahidi, F. (2018). Opinion on the Hurdles and Potential Health Benefits in Value-Added Use of Plant Food Processing By-Products as Sources of Phenolic Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3498. DOI:10.3390/ijms19113498.

13 Ministerstvo sel'skogo hozyaystva Respubliki Kazakhstan. (2011). *Metodika provedeniya sortoispytaniya sel'skohozyaistvennyh rastenii* [*Methodology for conducting variety trials of agricultural plants*]. Nur-Sultan: 06-2/254.

14 Yan, S., Li, Y., Liu, J., Si, D., Zhang, X. (2023). Guideline for extraction, qualitative, quantitative, and stability analysis of anthocyanins. *eFood*, 4(1), e59. DOI:10.1002/efd2.59.

15 Sampaio, S.L., Petropoulos, S.A., Dias, M.I., Pereira, C., Calhelha, R.C., Fernandes, Â., Leme, C.M.M., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L. (2021). Phenolic composition and cell-based biological activities of ten coloured potato peels (*Solanum tuberosum* L.). *Food chemistry*, 363, 130360. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130360.

16 Rasheed, H., Deng, B., Ahmad, D., Bao, J. (2024). Genetic Diversity and Genome-Wide Association Study of Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Properties in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *International journal of molecular sciences*, 25(23), 12795. DOI:10.3390/ijms252312795.

17 Han, L., Li, R., Jin, X., Li, Y., Chen, Q., He, C., Wang, M. (2024). Metabolomic analysis, extraction, purification and stability of the anthocyanins from colored potatoes. *Food chemistry*, 22, 101423. DOI:10.1016/j.fochx.2024.101423.

18 Li, M., Xiong, Y., Yang, X., Gao, Y., Li, K. (2024). Transcriptomic and Metabolic Analysis Reveals Genes and Pathways Associated with Flesh Pigmentation in Potato (*Solanum tuberosum*) Tubers. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(9), 10335-10350. DOI:10.3390/cimb46090615.

19 Liu, F., Chen, G., Zhang, Y. et al. (2023). A Comparative Analysis of Metabolome Reveals the Regulation of the Anthocyanin Biosynthesis Branch in Potatoes. *Potato Res*., 66, 831–850. DOI:10.1007/s11540-022-09586-5.

20 Makori, S.I., Mu, T.H., Sun, H.N. (2022). Profiling of Polyphenols, Flavonoids and Anthocyanins in Potato Peel and Flesh from Four Potato Varieties. *Potato Res*., 65, 193–208 DOI:/10.1007/s11540-021-09516-x.

21 Rodríguez-Martínez, B., Gullón, B., Yáñez, R. (2021). Identification and Recovery of Valuable Bioactive Compounds from Potato Peels: A Comprehensive Review. *Antioxidants (Basel, Switzerland),* 10(10), 1630. DOI:10.3390/antiox10101630.

Түрлі-түсті түйнекті картоп қабығы мен жұмсағындағы антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың мөлшерін салыстырмалы бағалау

Омарова Г.К.[1], Каландия А.[2], Джафаридзе И.[2], Сурманидзе Н.[2], Карцвадзе И.[2], Хасанов В.Т.[1]

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]Шота Руставели атындағы Батуми мемлекеттік университеті, Батуми, Грузия

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Түрлі-түсті түйнекті картоп биологиялық белсенді қосылыстарға ие, соның ішінде антоцианиндер, фенолдық қосылыстар және флавоноидтар сияқты биоактивті қосылыстардың құнды көзі. Бұл қосылыстардың құрамы түйнек жұмсағының түсіне және анатомиялық бөлігіне байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Зерттеудің мақсаты әртүрлі түйнек түстері бар картоптың қабығы мен жұмсағындағы антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың құрамына салыстырмалы биохимиялық талдау жүргізу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде Қазақстандық және шетелдік селекцияға жататын, түрлі-түсті түйнекті картоп пайдаланылды. Түйнектердің қабығы мен жұмсағы жеке-жеке талданды. Антоцианин, жалпы фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың мөлшері спектрофотометриялық әдістермен анықталды. Алынған нәтижелер Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен статистикалық өңдеуден өткізілді.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері бойынша, картоп түйнектерінің қабығы мәйегінің түсіне қарамастан, жұмсағымен салыстырғанда антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың едәуір жоғары мөлшерімен сипатталды. Антоциандардың ең жоғары мөлшері 17-223-10 селекциялық үлгісінде анықталып, қабығында 233,1 ± 2,17 мг/100 г құрғақ затты құрады. Фенолдық қосылыстардың ең жоғары мөлшері Олюшка сортында байқалып,

21,75 ± 3,08 мг/г құрғақ затты, ал флавоноидтардың ең жоғары мөлшері Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г құрғақ зат) және Киру (28,20 ± 0,13 мг/г құрғақ зат) селекциялық үлгілерінде тіркелді. Антоциандардың жоғары мөлшері Xisen 8 және Red Rose сорттарында да анықталды. Зерттелген барлық генотиптерде биологиялық белсенді қосылыстардың мөлшері қабықта жұмсағына қарағанда айтарлықтай жоғары болды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері пигменттелген жұмсағы бар картоп түйнектерінің қабығы антоцианин фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың ең бай көзі болып табылды. Антиоксиданттық қосылыстардың мөлшері бойынша 17-223-10 селекциялық үлгісі, сондай-ақ Олюшка, Xisen 8 және Red Rose сорттары ең перспективалы болып табылды. Алынған нәтижелер түрлі-түсті картоптың қабығы мен жұмсағын тағам өнеркәсібінде, функционалдық тағам өнімдерін өндіруде және табиғи антиоксиданттық ингредиенттер алу үшін кешенді пайдаланудың перспективалы екенін көрсетеді.

Кілт сөздер: картоп; түрлі-түсті жұмсағы; антоцианин; фенолды қосылыстар; флавоноидтар; қабығы.

Comparative Evaluation of Anthocyanin, Phenolic Compound, and Flavonoid Contents in the Peel and Flesh of Differently Colored Potato Tubers

Gulnur K. Omarova[1], Aleko Kalandia[2], Indira Djafaridze[2], Nona Surmanidze[2], Inga Kartsivadze[2]
Vadim T. Khassanov[1]

[1]NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan
[2]Shota Rustaveli Batumi State University, Batumi, Georgia

Abstract

Background and Aim. Pigmented-flesh potatoes are a valuable source of biologically active compounds, including anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids, which exhibit pronounced antioxidant activity. The content of these compounds may vary considerably depending on the flesh color and the anatomical part of the tuber. The objective of this study was to conduct a comparative biochemical analysis of the peel and flesh of potato tubers with different flesh colors in terms of their anthocyanin, phenolic compound, and flavonoid contents.

Materials and Methods. . Potato tubers of Kazakhstani and foreign cultivars with different flesh colors were used as the study material. The peel and flesh were analyzed separately. Total anthocyanin, total phenolic compound, and total flavonoid contents were determined using spectrophotometric methods. The data obtained were statistically analyzed using Microsoft Excel.

Results. TThe results demonstrated that, regardless of flesh color, the potato peel contained significantly higher levels of anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids than the flesh. The highest anthocyanin content was recorded in breeding line 17-223-10, reaching 233.1 ± 2.17 mg/100 g dry weight in the peel. The highest total phenolic content was recorded in the cultivar Olyushka(21.75 ± 3.08 mg/g dry weight), whereas the highest flavonoid contents were detected in the cultivars Olyushka (28.52 ± 0.28 mg/g dry weight) and Kiru (28.20 ± 0.13 mg/g dry weight). High anthocyanin levels were also found in the cultivars Xisen 8 and Red Rose. In all investigated genotypes, the concentrations of biologically active compounds were significantly higher in the peel than in the flesh.

Conclusion. The findings indicate that the peel of pigmented-flesh potato tubers is the richest source of anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids. The breeding line 17-223-10 and the cultivars Olyushka, Xisen 8, and Red Rose showed the greatest potential in terms of antioxidant compound content. These results highlight the potential for the integrated utilization of both the peel and flesh of colored potatoes in the food industry, particularly for the production of functional foods and natural antioxidant ingredients.

Keywords: potato; pigmented flesh; anthocyanins; phenolic compounds; flavonoids; peel.

UDC 631.147(045) **Review article**

Human capital development and technology adaptation for sustainable organic agriculture in Kazakhstan: education, research and knowledge transfer

Berdibek K. Bulashev, Gulnazym Kh. Ospankulova, Ainur A. Ibzhanova

NJSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Ainur A. Ibzhanova: ibzhanovaainur@gmail.com
Co-authors: (1: BB) berdibek_aruzhan@mail.ru; (2: GKh) bulashevag@gmail.com

Received: 21.09.2026 **Accepted:** 02.10.2026 **Published:** 09.10.2026

Copyright: Bulashev B.K. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. Sustainable organic agriculture in Kazakhstan requires qualified human capital, applied research, regionally adapted technologies, and effective knowledge transfer. Despite an established regulatory framework and considerable agricultural resources, linkages among education, research, qualification systems, advisory services, and farm-level implementation remain insufficiently developed. This study assessed the contribution of agrarian research and educational institutions to human capital development and technology adaptation and identified measures for strengthening the organic sector.

Materials and Methods. A qualitative document-based institutional analysis was conducted using analytical, comparative, logical, systems-based, and content-analysis approaches. The evidence included Kazakhstan's regulatory and institutional documents, university educational programmes, scientific and technical programmes implemented during 2012–2026, the draft Professional Standard "Organic Agriculture", international reports, and peer-reviewed research.

Results. Three interrelated institutional gaps were identified: competency and qualification, research-to-practice, and knowledge-transfer and implementation gaps. The analysis also identified the draft Professional Standard "Organic Agriculture", comprising five occupational profiles at National Qualifications Framework Levels 6–8 and linking labour functions and professional competencies with relevant fields of higher and postgraduate education. Existing educational, research, methodological, and institutional resources require stronger coordination with producer needs and farm-level implementation.

Conclusion. The findings support an integrated education – research - knowledge transfer - production framework linking professional competencies and education with applied research, risk-based regional technology adaptation, advisory and demonstration services, farm-level adoption, and producer feedback. The study is limited by its documentary evidence and purposive selection of materials and does not include representative producer surveys, labour-market analysis, or implementation-cost assessment.

Keywords: organic agriculture; human capital; adapted technologies; agrarian education; research and educational institutions; standardization.

Introduction

Organic agriculture has become an important component of the transformation of contemporary agri-food systems toward environmental sustainability, biodiversity conservation, climate resilience, and more sustainable resource use. According to The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2025, organic agriculture was reported in 188 countries in 2023, with 98.9 million ha of agricultural land under organic management, representing 2.1% of the world's agricultural land. The

How to cite: Bulashev, B.K., Ospankulova, G.Kh, Ibzhanova, A.A. (2026). Human capital develop-ment and technology adaptation for sustainable organic agriculture in Kazakhstan: education, research and knowledge transfer. *Eurasian Agrotechnical Journal*, 3(131), 250-267. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2289

global organic market also continued to expand, with retail sales exceeding EUR 136 billion in 2023 [1]. These trends demonstrate the increasing economic and institutional significance of organic agriculture, while also showing that expansion involves not only growth in certified land but the development of regulatory, knowledge, technological, certification, and market-support systems.

For Kazakhstan, organic agriculture is particularly relevant due to the country's extensive agricultural resource base and diverse agroecological conditions. Kazakhstan has more than 200 million ha of agricultural land, including more than 23 million ha of arable land, while the area reported under certified organic management has fluctuated within a substantially smaller range. *Savin* and *Morgounov* [2] emphasize that Kazakhstan's extensive land resources, relatively low-input farming systems, and diverse agroecological conditions create opportunities for organic crop production, but they also identify constraints related to certification, marketing, the availability of suitable crops and cultivars, and insufficient development and adaptation of organic production technologies. Research on organic agriculture in Kazakhstan further demonstrates that its development is influenced by interacting ecological, economic, institutional, and socio-cultural factors rather than by agricultural land availability alone [3]. Therefore, the national challenge involves not only expanding the area under organic management, but also strengthening the institutional and technological capacity needed to translate the country's agricultural resource potential into sustainable organic production. The regulatory environment has changed substantially in recent years. The Law of the Republic of Kazakhstan dated June 10, 2024, No. 89-VIII "On Production and Turnover of Organic Products" establishes the legal, economic, social, and organizational foundations for organic production and circulation and defines state responsibilities in this field [4]. Its implementation is complemented by the Rules for the Production and Turnover of Organic Products, approved by Order No. 385 of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated November 26, 2024. Together with the ongoing development and harmonization of national standards for organic products [5], these regulatory changes provide a formal institutional basis for the sector. The existence of legislation and standards does not in itself ensure that producers have access to appropriately trained specialists, locally adapted technologies, advisory support, and effective mecha-nisms for transferring research results into agricultural practice.

The existing literature on Kazakhstan and Central Asia addresses several important dimensions of organic agriculture, although these are generally examined as separate areas of analysis. Studies on human-capital development emphasize the role of agrarian education and specialist training in supporting the technological development of organic agriculture in Kazakhstan [6]. Research on Kazakhstan and other Central Asian countries has also examined the formation of organic-product markets, highlighting challenges related to international standards, market information, production organization, and pricing [7]. Other studies demonstrate that the development of organic farming in Kazakhstan is influenced by a combination of ecological, economic, and ethno-cultural factors. At the technological level, research has addressed crop diversification, tillage, plant nutrition, biological resources, and plant-protection approaches applicable to organic crop production under Kazakhstan conditions, while emphasizing the importance of adapting agricultural practices to specific production environments. Taken together, these studies provide important evidence on educational, market, institutional, and agronomic aspects of or-ganic agriculture; these dimensions have predominantly been examined separately rather than within an integrated framework linking education, research, technology adaptation, knowledge transfer, and producer-level implementation [8,9,10].

International research provides an important conceptual basis for examining these interfaces. Studies of agricultural technology adoption demonstrate that farmers' decisions are influenced by multiple factors, including access to knowledge, information, training, advisory support, institutional conditions, and the characteristics of particular technologies [11, 12]. More recent research increasingly conceptualizes organic agriculture as a knowledge-intensive innovation system in which technological development depends on interaction among farmers, research and educational institutions, advisory services, producer organizations, and other intermediaries. Systematic evidence indicates that knowledge exchange and innovation processes are particularly important in organic farming because knowledge and technologies must be adapted to heterogeneous farming and production contexts. This perspective is consistent with the Agricultural Knowledge and Innovation Systems (AKIS) approach,

which shifts attention from the isolated generation of scientific knowledge toward the relationships through which knowledge is generated, exchanged, adapted, and applied. Research on organic micro-level Agricultural Knowledge and Innovation Systems (microAKIS) further demonstrates the importance of farmer networks, producer organizations, advisory relationships, and other institutional actors in these process-es [12].

The way in which technical knowledge is acquired can also influence its practical application. Evidence from certified organic farms shows that educational and research institutions, advisory organizations, and sectoral organizations can perform different but complementary functions in knowledge acquisition, while interaction-based and codified forms of learning can reinforce one another. Taken together, these studies support a systems perspective in which research, education, advisory services, producer organizations, and farmers are analysed as interconnected components of knowledge generation and innovation rather than as independent institutional sectors. Knowledge-transfer mechanisms are also increasingly supported by digital forms of agricultural extension. Research indicates that digital extension can influence farmers' adoption of more sustainable production practices [13], while interactive digital advisory services can facilitate access to information, communication, and knowledge exchange but are also constrained by technological, organizational, and user-related barriers [14]. Alt-hough this evidence originates outside Kazakhstan and cannot be directly generalized to national condi-tions, it demonstrates the broader shift from onedirectional dissemination of recommendations toward more interactive and multi-actor approaches to agricultural knowledge transfer [13, 14].

With this international background, the Kazakhstan-specific literature reveals an important analytical gap. Existing national and regional studies address individual components of organic-sector development, including agrarian education and human-capital formation, organic-market development, eco-logical and socio-economic conditions, and agronomic technologies. However, considerably less attention has been given to how these components are institutionally connected within Kazakhstan's organic sector. In particular, the relationships between professional competencies and educational provision, between research outputs and regional technology adaptation, and between scientific knowledge, advi-sory mechanisms, and producer-level implementation remain insufficiently examined as parts of a sin-gle institutional system. Accordingly, the purpose of this study is to analyse the contribution of agrarian research and educational institutions to human-capital development and technology adaptation for sus-tainable organic agriculture in Kazakhstan and to identify institutional gaps in the linkages among pro-fessional competencies, educational provision, research outputs, regional technology adaptation, advi-sory support, and producer-oriented knowledge transfer.

The scientific novelty of the study lies in the development of an integrated conceptual institutional framework tailored to the context of Kazakhstan that connects human capital development, professional qualifications, applied research, regional technology adaptation, advisory and knowledge-transfer mechanisms, and producer feedback within a unified framework for sustainable organic agriculture. Using a systems approach, the study identifies the institutional interfaces at which coordination among these components remains insufficient. The integration of evidence on educational programmes, scientific and technical programmes, professional qualification requirements, technology adaptation, adviso-ry structures, and producer-oriented knowledge transfer provides an analytical basis for identifying three interrelated institutional gaps: the competency and qualification gap, the research-to-practice gap, and the knowledge-transfer and implementation gap. The resulting framework provides the conceptual basis for the practical recommendations proposed in the study rather than representing an empirically validated causal model.

Materials and Methods

Data Availability Statement

The study was based primarily on publicly available legislation, policy and institutional documents, educational program materials, scientific and technical program documentation, statistical sources, international reports, and published scientific literature. The analysis additionally included the draft Professional Standard "Organic Agriculture" and official documentary materials concerning its institutional status available to the authors. No original individual-level dataset was generated. Publicly

available sources are identified in the article and reference list; non-public documentary materials may be described or made available subject to applicable institutional and legal restrictions.

The study was designed as a qualitative document-based institutional analysis of organic agriculture in Kazakhstan. The evidence base comprised regulatory and policy documents of the Republic of Kazakhstan, official statistical and institutional materials, educational program documentation from Kazakhstani universities, documentation and reported outputs of scientific and technical program, the draft Professional Standard “Organic Agriculture”, international analytical reports, and peer-reviewed publications. Materials available up to 2026 were considered. Scientific and technical program implemented during 2012–2026 were included to capture both earlier regional initiatives and recent national program. Universities and educational program were selected purposely. Inclusion required documented evidence of at least one educational program, course, or teaching component explicitly related to organic agriculture, organic production, or standardization and certification of organic products. Educational provision was classified by institution, qualification level (bachelor’s, master’s, or doctoral), subject area, and implementation status. Scientific and technical program were included when they were implemented in Kazakhstan, explicitly addressed organic agriculture or its scientific and methodological support, and provided sufficient documentation on objectives, implementation period, participating institutions, and reported outputs.

The documentary evidence also included the draft Professional Standard “Organic Agriculture”. The draft was analysed with respect to occupational profiles, qualification levels, labour functions, professional tasks, required knowledge and skills, professional and personal competencies, and their relationship with the National and Sectoral Qualifications Frameworks and relevant fields of higher and postgraduate education. Because the document had not been formally approved at the time of the study, it was treated as a draft institutional instrument rather than as an existing regulatory professional standard. Official correspondence concerning its proposed further consideration was used only to describe its documented institutional status and was not treated as evidence of formal approval. Documentary evidence was analysed using analytical, comparative, logical, and systems approaches combined with qualitative content analysis. The evidence was organized into five analytical categories: regulatory framework; educational provision and human-capital development; research and technological outputs; professional qualifications and competencies; and knowledge-transfer and advisory mechanisms. Cross-category comparison was then used to assess the institutional interfaces among these components. A gap was recorded where documentary evidence demonstrated the presence of relevant institutional components but insufficient formalized linkage between them. This comparison resulted in three higher-order analytical gaps: the competency and qualification gap, referring to the interface between sec-toral competency requirements and educational provision; the research-to-practice gap, referring to the interface between research outputs and their regional adaptation and farm-level application; and the knowledge-transfer and implementation gap, referring to the interface among research and educational institutions, advisory structures, and agricultural producers. Findings were cross-checked across differ-ent types of documentary sources where possible.

The approach is limited by its reliance on available documentary evidence and purposive rather than exhaustive selection of educational provision. The supporting literature component was structured but was not designed as a systematic review. The study did not include representative surveys of producers, employers, graduates, or advisory-service users, nor did it undertake a labour-market or imple-mentation-cost analysis. Accordingly, the identified institutional gaps are interpreted as documentary-analytical findings rather than statistically established causal relationships.

Results

The document analysis identified three interconnected institutional gaps in Kazakhstan’s organic agriculture system: a competency and qualification gap; a research-to-practice gap; and a knowledge - transfer and implementation gap. Kazakhstan - specific evidence underlying these gaps was identified through the analysis of the national regulatory framework, educational provision, scientific and technical program, research infrastructure, and existing knowledge-transfer mechanisms. The analysis confirmed that Kazakhstan has established a legal basis for the development of organic agriculture. The Law of the Republic of Kazakhstan dated June 10, 2024, No. 89-VIII “On Production and Turnover

of Organic Products" identifies scientific support as one of the areas of public policy in this field. Article 9 provides that scientific support for organic production and turnover is implemented in accordance with legislation regulating the agro-industrial complex and rural territories, while subparagraph 7 of Article 6 assigns the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan responsibility for informational, or-ganizational-methodological, and advisory support to producers of organic products. The regulatory analysis therefore confirms that scientific and advisory support has a formal legal basis within the national organic-production framework. At the time of the analysis, the reviewed regulatory documents did not establish an approved sector-specific professional standard defining a unified set of competencies, labour functions, and qualification requirements for specialists in organic agriculture. Although a draft Professional Standard "Organic Agriculture" was identified and is analysed below, it had not yet completed the formal review and approval procedure. The absence of an approved and implemented sector-specific competency framework therefore constitutes the regulatory component of the competency and qualification gap identified in the study [15]. According to FiBL and IFOAM - Organics International, the 2025 edition of The World of Organic Agriculture, reporting data for 2023, recorded 191,283 ha of organic agricultural land in Kazakhstan [1]. In comparison with the country's total agricultural land resources, this represents a limited share of the available agricultural area. These figures are reported here as contextual characteristics of the sector; the present study does not test the relative contribution of land availability, certification costs, market access, input supply, or other economic factors to the current scale of organic production.

The educational analysis identified several examples of organic-agriculture content within higher education program in Kazakhstan. At S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (KAT-RU), the doctoral educational program 8D08102 "Organic Farming" includes the discipline "Scientific Foundations of Organic Farming". Since 2018, the master's program 7M07501 "Standardization, Certification and Metrology" has included the course "Standardization and Certification of Organic Product Production". At Sh. Ualikhanov Kokshetau University, the doctoral educational program 8D08102 "Agronomy: Organic Farming in the Chernozem Zone" has been implemented since the 2022-2023 academic year and includes the discipline «Modern Achievements in "Organic Farming". At S. Toraighyrov Pavlodar State University, the bachelor-level discipline "Development of Organic Agricultural Production" was identified in the reviewed materials as a planned educational component within program 6B08101 "Agronomy"; because implementation was not confirmed by the documentary evidence reviewed, it was not counted as an implemented educational offering. The mapping therefore identified the implemented organic-agriculture content at doctoral and master's levels, together with evidence of planned bachelor-level provision. The reviewed documents did not demonstrate a nationally coordinated competency framework linking these educational components across institutions and qualification levels.

Under scientific and technical program BR21882327 "Development of new technologies for organic production and processing of agricultural products", teaching and methodological complexes were developed in 2024 for the master's level disciplines "Organic farming and crop production", "Organic livestock farming", and "Processing and labelling of organic food products". The materials were prepared by researchers from KATRU in cooperation with specialists from the A.I. Baraev Scientific Production Center for Grain Farming and the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station and include syllabi, lecture materials, practical classes, independent-study materials, glossaries, and assess-ment banks. These materials provide documented evidence of a direct link between a national research program and the development of specialized educational content. The documentary evidence reviewed does not provide comparative labour-market, enrolment, graduate-employment, or learning-outcome data that would justify identifying one degree level as the empirically optimal level for specialized or-ganic-agriculture training [16, 17]. Taken together, the educational evidence supports the identification of a competency and qualification gap. Specialized educational components are present, but the reviewed evidence did not demonstrate that they are currently coordinated through an approved sector-specific professional standard or a nationally implemented competency framework. The draft Profes-sional Standard "Organic Agriculture", analysed later in this section, represents a potential mechanism for addressing this interface, but its effects on educational programmes cannot yet be assessed because the standard has not been formally approved or implemented. The analysis identified several

scientific and technical program addressing organic agriculture through technological, regulatory, methodological, educational, and infrastructural outputs. Table 1 summarizes the program reviewed, their lead institutions, principal outputs, interdisciplinary scope, international participation, funding, and implementation periods.

Table 1. Overview of Scientific and Technical Programs in the Field of Organic Production and Circulation

№	Project Title	Lead Institution	Key Outputs	Interdisciplinary Scope	Interna-tional Par-ticipation / Role of Foreign Partners	Funding Source, Administrator, Funding Scheme, and Total Amount (KZT)	Implementation Period
1	Development of a System of Organic Farming Technologies for the Steppe Zone of Kostanay Region	Kostanay Research Institute of Agriculture (KostRIA)	1. Recommended crop rotations and soil tillage methods were developed for the conditions of Northern Kazakh stan. 2. Patent for invention No. 32314, Method of Spring Wheat Cultivation in Organic Farming (2017), was obtained.	Crop produc tion; economics	Not specified	Republican budget; Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan; program-targeted funding; total amount not specified	2012-2014
2	Regulatory and methodological Support for the Development of Organic Production in the Republic of Kazakhstan in Accordance with International and Foreign Standards	S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (KATRU)	1. The Roadmap for the Development of Organic Agriculture in the Republic of Kazakhstan for 2022-2023 was developed and approved. 2. Concept papers were developed on land suitability assessment, the national registry of organic agricultural seeds, and the PGS-Qazaqstan system. 3. Four national standards of the Republic of Kazakhstan in the field of organic products were developed. 4. A SWOT analysis of the organic products market was conducted.	Ecology; standardiza tion; certification; economics; marketing	Dr. Darko Znaor, Executive Director of the Avalon Foundation (Netherlands)	Republican budget; Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan; program- targeted funding; KZT 212,372,740.53	Q3 2021- Q4 2023
3	Development of Organic Farming Technologies for Agricultural Crops with Consideration of Regional Specificity, Digitalization, and Export Orientation	Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production (Kaz RIACP)	1. A pilot farm for oil flax cultivation was established (50 ha). 2. Crop rotation schemes were introduced for Almaty and Kostanay Regions. 3. Effective green manure crops were identified. 4. Methods for producing biological products and organic fertilizers were developed.	Field crop production; fruit growing; vegetable. production; cotton growing; plant protect; microbiology and bio-technology; economics	Jan Douwe van Mansvelt (IFOAM) delivered lectures to students on inter national experience and the work of IFOAM	Republican budget; Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan; program-targeted funding KZT; 1,251,357,450	Q3 2021 - Q4 2023

Continuation of Table 1

4	Development of New Technologies for Organic Production and Processing of Agricultural Products	S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (KATRU)	1. A network agrotechnopark was established. 2. Two startup companies and two spin-off projects were launched. 3. Two specialized laboratories were opened. 4. Three organic production operators were certified: the A.I. Baraev Scientific Production Center for Grain Farming, the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station, and KATRU. Certification categories included: A - crop production, seed production, and wild plant collection; B - livestock production and raw materials of animal origin; D - food products; E - feed. 5. A certification road-map was developed and implemented.	Crop production; animal husbandry; veterinary science; food processing and food production; plant protection; microbiology and biotechnology; economics; marketing	Registration and certification of organic production in the European Union; International patent-related result reported in the program documentation	Republican budget; Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan; program-targeted funding; KZT 4,000,000,000	Q4 2023- Q4 2025
5	Scientific Support for the Technological Development of Organic Agriculture in the Republic of Kazakhstan*	Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production (KazRIACP)	1. Monitoring of legal acts and standards related to organic production and the circulation of organic products. 2. Formation and deve-lopment of the PGS-Qazaqstan system. 3. Development of statistical reporting tools for organic production and cir-culation. 4. Creation of an information and analytical database of scientific develop-ments and technologies in organic production. 5. Development of recommendations for upgrading laboratory infrastructure for pesticide residue analysis in organic products.	Ecology; standardization; certification; information technology; economics; marketing	Participation in international professional training courses and internships in Latvia, Moldova, and Belgium	Republican budget; Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan; program-targeted funding; KZT 1,350,000,000 (total program funding)	Q4 2024- Q4 2026

* The description of this scientific and technical program is limited to the project “Harmonization of Documents on Organic Production and Circulation with Applicable Requirements and the Foundations for the Formation and Functioning of the Participatory Guarantee System in Kazakhstan (PGS-Qazaqstan), and the Development of a Scientific Database on Organic Production”. The annual funding of this project amounts to KZT 55 million.

Rather than reproducing the individual outputs listed in Table 1, the programs can be differentiated according to the types of results documented. The 2012–2014 Kostanay Research Institute of Agriculture (KostRIA) project represents an early region-specific technological initiative focused on crop rotation, soil tillage, and organic crop-production practices for Northern Kazakhstan. The 2021-2023 KATRU program concentrated primarily on regulatory and methodological outputs, including the Road map, concepts related to land suitability, organic seed registration and PGS-Qazaqstan, national standards, and market analysis. The 2021–2023 Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production (KazRIACP) program combined regional crop-production technologies with field-based activities, including an oil-flax pilot farm, crop-rotation schemes, green-manure crops, and methods for biological products and organic fertilizers. The 2023–2025 KATRU program expanded the institutional and infrastructural components through the establishment of a network agrotechnopark, specialized laboratories, startup and spin-off activities, certification-related outputs, and educational materials. The program comparison therefore shows that national research activity covers several stages of the organic-sector development process - regional production technologies, regulatory and methodological support, educational materials, certification-related activities, research infrastructure, and information systems. The reviewed program documents did not consistently demonstrate a common mechanism through which research outputs are subsequently cotested with producers, regionally validated where necessary, transferred through advisory structures, and monitored after farm-level adoption. This documentary finding constitutes the research-to-practice gap identified in the study.

The institutional mapping identified several organizations and structures whose documented functions are relevant to standardization, coordination, research, demonstration, or knowledge transfer in organic agriculture. These include Technical Committee No. 100 “Organic Products”, the Project Of-fice “ORGANIC”, and the Network Agrotechnopark of Organic Production at KATRU. Technical Committee No. 100 “Organic Products” is associated with the development and review of national standards and regulatory documents in the field of organic products. The Project Office “ORGANIC”, established within the National Chamber of Entrepreneurs of Kazakhstan “Atameken”, provides a platform involving public authorities, science, civil society, and business. The Network Agrotechnopark of Organic Production at KATRU incorporates research, personnel training and retraining, technology-transfer, experimental-production, and demonstration functions.

The reviewed documents confirm the existence and relevant functions of these structures but do not provide sufficient quantitative evidence on their national coverage, number of producers reached, frequency of advisory activities, regional accessibility, or measurable farm-level outcomes. Accordingly, the present study does not classify them as a fully established national extension system. Instead, their documented functions indicate an existing institutional basis that could participate in a more coordinated knowledge-transfer mechanism. This distinction is important because the documentary evidence establishes organizational capacity and assigned functions, but does not by itself demonstrate the effective-ness or reach of producer-oriented advisory services. The absence of systematic evidence on producer participation, regional advisory coverage, demonstration activities, and feedback from farms constitutes the knowledge-transfer and implementation gap identified in the study. The analysis did not identify an approved sector-specific professional standard for organic agriculture.

The analysis identified a draft sector-specific professional standard “Organic Agriculture”, which is currently under development and has not yet been formally approved. The initiative is being undertaken by the Union of Organic Producers of Kazakhstan jointly with the Technical Committee for Standardization No. 100 “Organic Products”, with B.K. Bulashev being directly responsible for draft-ing the document. The work is being carried out on an initiative basis with financial support from CARLSBERG KAZAKHSTAN LLP. The draft was prepared taking into account the Labour Code of the Republic of Kazakhstan, the Law of the Republic of Kazakhstan “On Professional Qualifications”, the Rules for the Development and/or Updating of Professional Standards approved by Order No. 377 of the Minister of Labour and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan dated September 7, 2023, and methodological recommendations for the development of professional standards. The occupational profiles were formulated with reference to the General Classification of Economic Activities, the National Classification of Occupations, applicable qualification reference books, and standard qualification characteristics for agricultural positions. Requirements for specialized

knowledge and skills were supplemented by legislation and standardization documents governing the production and circulation of organic products. The draft contains five occupational profiles covering key areas of organic crop production, livestock production, agricultural engineering and digitalization, and organic food processing. The analysis did not identify an approved and implemented sector-specific professional standard for organic agriculture. However, the documentary evidence included a draft Professional Standard "Organic Agriculture", which was under development at the time of the study and had not yet been formally approved. Table 2 summarizes their qualification levels, principal labour functions and competencies, and links with relevant areas of higher and postgraduate education.

Table 2. Occupational profiles, qualification levels, labour functions, competencies, and educational alignment in the draft Professional Standard "Organic Agriculture"

Occupational profile	Qualification level (NQF*)	Core labour functions	Key professional competencies	Link with education and qualifications
Engineer for the Introduction of New Machinery and Technologies	6	Application of automated agricultural systems and robotic technologies;	Application of automated and digital technologies in organic production; use and interpretation of spatial data; monitoring of crop conditions; application of innovative technological solutions; compliance with organic-production and standardization requirements	Higher education in Automation and Control and related engineering and agricultural program; competencies and learning outcomes aligned with NQF Level 6
Chief Agronomist	8	Organizational and technological management of organic crop production and seed production; development and implementation of scientifically based organic farming systems	Organic farming systems; biologization of agricultural production; crop rotation; maintenance of soil fertility; use of organic fertilizers and biological plant-protection products; organization of field operations; production documentation and traceability	Higher and postgraduate education in Agronomy, organic farming, and related agricultural program; competencies aligned with NQF Level 8
Livestock Farm Manager	7	Organization of production and marketing of organic livestock products; rationalization of production processes; organization and control of organic livestock-farm operations	Management of organic livestock production; organization and optimization of production processes; compliance with organic-production requirements; quality management, traceability, documentation, and operational control	Higher/ postgraduate education in Technology of Livestock Production and related agricultural program; competencies aligned with NQF Level 7
Chief Engineer (Agriculture)	6	Organization of animal registration and identification; reproduction, housing, and feeding of animals in organic livestock production; operation of information systems for animal registration and traceability	Animal identification and record keeping; application of information systems; traceability; organization of reproduction, housing, and feeding in accordance with organic-production requirements; digital documentation	Higher education in agricultural engineering, Technology of Live-stock Production, and related program; competencies aligned with NQF Level 6

Continuation of Table 2

Process Engineer	6	Organization, operation, and management of technological processes for organic meat and dairy production; control of the quality and safety of raw materials, semi-finished products, and finished products	Organic food-processing technologies; quality and safety control; conformity with organic-production and certification requirements; traceability; application of standardization documents; production documentation	Higher education in Food Production Technology and related program; competencies aligned with NQF Level 6

* NQF - National Qualifications Framework of the Republic of Kazakhstan. For each occupational profile, the draft professional standard further specifies professional tasks, required skills and knowledge, and personal competencies. Cross-cutting competencies include knowledge of organic-production and certification requirements, application of standardization documents, traceability and record keeping, product quality and safety control, use of digital and innovative technologies, analytical thinking, independence, responsibility, teamwork, and managerial decision-making.

Source: Compiled by the authors based on the draft Professional Standard “Organic Agriculture.”

Table 2 demonstrates that the draft professional standard establishes a structured relationship between occupational profiles, labour functions, professional tasks, required knowledge and skills, competencies, and qualification levels. The five occupational profiles are assigned to NQF Levels 6-8 and cover technological, managerial, digital, agronomic, livestock-production, and food-processing functions relevant to organic agriculture. Cross-cutting requirements include knowledge of organic-production and certification requirements, application of standardization documents, traceability and record keeping, quality and safety control, digital and innovative technologies, analytical thinking, responsibility, teamwork, and managerial decision-making. The draft also provides an interface between the National Qualifications System and education by linking occupational requirements with relevant fields of higher and postgraduate education. This relationship can be represented as a sequence: labour function - professional task - knowledge and skills - competencies - qualification level - educational learning outcomes. The draft may therefore provide a common competency basis for the future revision or development of educational programmes related to organic agriculture. However, it remained a draft at the time of the study and should not be interpreted as an approved regulatory instrument. Its potential contribution to educational and qualification alignment therefore remains prospective until formal re-view, stakeholder validation, approval, and implementation. According to official correspondence available to the authors, further formal consideration of the Professional Standard “Organic Agriculture” is planned for 2027. Because this information reflects the documented status available at the time of analysis rather than formal approval, Table 2 should be interpreted as a description of the current draft rather than of an enacted professional standard.

Discussion

The Kazakhstan-specific findings indicate that the main analytical issue is the quality of institutional linkages between education, research, qualification systems, advisory structures, and producers. This pattern is consistent with international research that treats agricultural innovation as an interactive system rather than as a linear transfer of knowledge. Accordingly, the three institutional gaps identified in the Results - the competency and qualification gap, the research-to-practice gap, and the knowledge - transfer and implementation gap are discussed below in relation to international evidence and their implications for Kazakhstan.

The identified competency and qualification gap is consistent with international evidence showing that human capital contributes to the development and adoption capacity of agricultural systems. *Tomaš Simin* et al. [18], based on semi-structured interviews with 64 certified organic farmers in Serbia, demonstrated that education, foreign-language competence, ICT use, experience, and participation in

agricultural associations contribute to human-capital formation in organic agriculture. Their findings emphasize that professional capacity extends beyond formal education to include practical knowledge, skills, networks, and sector-specific experience. The Kazakhstan-specific findings add a qualification-system dimension to this discussion. The issue identified in the present study is not the complete absence of work on professional competencies, because a draft Professional Standard "Organic Agriculture" has already been developed. Rather, the current gap lies in the absence of a formally approved and implemented sector-specific framework capable of systematically connecting labour-market requirements with educational outcomes. The draft analysed in this study provides a potential basis for such a framework by specifying occupational profiles, labour functions, professional competencies, and qualification levels and linking them with relevant fields of higher and postgraduate education. The existence of a draft document should not be equated with demonstrated institutional impact. Its contribution remains prospective until stakeholder consultation, expert review, formal approval, implementation, and subsequent incorporation into relevant educational and qualification processes. The draft should therefore be interpreted as an emerging institutional response to the competency and qualification gap rather than evidence that the gap has already been resolved. This distinction is important because the effectiveness of a professional standard ultimately depends not only on its formal content but also on its use by educational institutions, employers, qualification bodies, certification organizations, and other sectoral actors. *Ukpe* [19] found that education expenditure, health expenditure, agricultural labour, and land use jointly explained 78% of variation in agricultural production in Cameroon, with these variables exerting positive and statistically significant effects. Although the economic and institutional context differs substantially from Kazakhstan and the study was not restricted to organic agriculture, it supports the broader proposition that investment in human capital can contribute to agricultural productive capacity. For organic agriculture, this issue is particularly relevant because professional competence combines agronomic knowledge with certification procedures, record keeping, traceability, environmental management, processing and labelling requirements, and the capacity to adapt production practices. In this context, the absence of a sector-specific professional standard identified in the results can be inter-preted as a coordination gap between labour-market requirements and educational outcomes rather than simply as the absence of another regulatory document. The second gap concerns the interface between research outputs and their practical application under regional production conditions. A meta-analysis of 367 regression models found that farmer education, access to extension services, credit, land tenure, farm size, and membership in producer organizations were, on average, positively associated with agricultural technology adoption. At the same time, substantial variation across technologies, geographical settings, and socio-economic contexts indicates that measures supporting technology adoption need to reflect local conditions [20]. This evidence is particularly relevant to Kazakhstan because it highlights an important distinction between technology transfer and technology adaptation. A technology developed experimentally or introduced from another production system cannot be assumed to be directly applicable to Kazakhstan's organic sector. Its practical suitability may depend on regional agroecological conditions, resource requirements, production characteristics, economic feasibility, and compliance with organic-production requirements. This is particularly important in organic agriculture, where crop rotation, soil fertility management, biological plant protection, seed and breed selection, contamination prevention, certification, processing, and marketing form an interconnected production system. Consequently, the practical value of an applied research output depends not only on its scientific validity, but also on its compatibility with the production environment in which it is expected to be implemented. International evidence supports this interpretation. Education and access to information, technical sup-port, resource availability, collaboration, and knowledge exchange among farmers have been identified as important enabling conditions for the adoption of sustainable agricultural innovations, whereas tech-nological complexity, reluctance to adopt innovations, and limited perceived control can constrain their implementation [21]. Thus, technological development cannot be considered separately from the knowledge, competencies, institutional support, and resources available to producers. The Kazakhstan-specific findings provide evidence of an emerging linkage between research and education. Under the scientific and technical program IRN BR21882327, research activities generated teaching and method-ological materials for

specialized disciplines in organic crop production, livestock production, and organic food processing and labelling. The significance of this example is not the content of the individual teaching materials, which was presented in the Results, but the fact that a scientific and technical program generated outputs that were directly incorporated into professional education. However, linking research with education represents only one stage in translating scientific outputs into practice. The subsequent stages may require regional testing where local conditions materially affect technology per-formance, demonstration activities, advisory support, and producer participation. Research on the de-velopment of organic agriculture in Switzerland has demonstrated the value of knowledge coproduction involving farmers, researchers, and extension agents rather than relying exclusively on one-directional transfer of scientific information [22]. For Kazakhstan, this approach may be relevant because agroecological and production conditions vary considerably across regions. Demonstration and cotesting sites could therefore function not only as locations for presenting completed technologies, but also as platforms for testing their regional applicability and facilitating feedback among researchers, advisers, students, and producers. The third gap concerns the institutional mechanisms through which scientific and technical knowledge reaches producers and, equally importantly, through which producer experience and implementation constraints are communicated back to research and education. This two-way relationship is essential because knowledge transfer in organic agriculture involves not simply the dissemination of recommendations, but also their interpretation and adaptation to specific production conditions.

International evidence indicates that support mechanisms for organic agriculture cannot be applied uniformly across different agricultural systems. A global systematic review based on 120 studies found that policy and support recommendations vary according to production conditions, agricultural productivity, the maturity of the organic sector, and the stage of the adoption process [23]. This finding is particularly relevant to emerging organic sectors because institutional arrangements developed in mature organic markets cannot necessarily be transferred directly without considering differences in regulatory capacity, advisory infrastructure, producer experience, market development, and regional production conditions. For Kazakhstan, the results identified existing organizations and structures with functions relevant to standardization, coordination, research, demonstration, and knowledge transfer. The documentary evidence did not demonstrate the existence of a fully coordinated national mechanism that systematically connects these functions with producer-level advisory support and feedback. The issue is therefore not simply the presence or absence of individual institutions, but the quality of the linkages among research, education, advisory structures, certification expertise, producer organizations, and farms. A more integrated knowledge-transfer mechanism would require interaction in both directions: research and educational institutions provide scientific, technological, and methodological knowledge to producers, while producers communicate practical constraints, regional needs, and implementation experience back to researchers and educators. Such feedback can help identify research priorities, im-prove the regional relevance of technologies, inform advisory activities, and update educational content. In this sense, knowledge transfer becomes a continuous learning process rather than the final stage of technology dissemination. For Kazakhstan, this means that strengthening knowledge transfer requires more than disseminating research publications or educational materials. Advisory interaction, demon-stration activities, producer organizations, certification expertise, and feedback mechanisms need to be connected so that research and training can respond to problems encountered in production. Such an approach also avoids assuming that institutional models developed in European organic sectors can be reproduced unchanged under Kazakhstan's regulatory, market, climatic, and organizational conditions [24].

Taken together, the international comparison suggests that the three Kazakhstan-specific gaps represent connected institutional interfaces rather than isolated deficiencies. The competency and qualification gap concerns the interface between sector requirements and education; the research-to-practice gap concerns the interface between scientific outputs and regionally applicable technologies; and the knowledge-transfer and implementation gap concerns the interface between research, advisory structures, and producers. The three gaps should be distinguished from the eight stages presented in Figure 1. The three gaps are analytical findings derived from the Kazakhstan-specific documentary analysis, whereas the eight stages constitute the authors' proposed institutional response pathway.

Thus, Figure 1 does not introduce an additional classification of institutional deficiencies; rather, it translates the three identified gaps into a cyclical sequence of institutional actions and feedback mechanisms. On the basis of the document analysis and international comparison, the authors therefore propose an integrated in-stitutional pathway: Professional standard - competency-based education - applied research - regional technology adaptation - demonstration and advisory services - farm-level adoption - producer feedback - further research and training. Based on the identified relationships between education, research, knowledge transfer, and farm-level implementation, the authors developed an integrated cyclical model for organic agriculture in Kazakhstan.



Figure 1. Proposed institutional education – research - knowledge transfer - production cycle for organic agriculture in Kazakhstan

Source: Developed by the authors based on the Kazakhstan-specific documentary analysis and synthesis of the international literature reviewed in this study. The eight stages represent a proposed in-stitutional response pathway to the three analytical gaps identified in the study.

The pathway is presented as a discussion-derived conceptual model rather than as an empirically validated causal model. Its purpose is to integrate the three gaps identified in the Kazakhstan analysis with mechanisms described in the international literature. Unlike a linear “research - publication - producer” model, the proposed pathway incorporates feedback from producers into research and education and places regional adaptation between technology development and farm-level implementation. Table 3 aligns each institutional gap with its observed barrier manifestations, proposed measures, and the organizations that could participate in implementation.

Table 3. Alignment of identified institutional gaps, observed barriers, proposed measures, and implementation responsibilities

Institutional gap	Observed barriers	Proposed measure	Responsible/ participating organizations
1. Competency and qualification gap	Absence of a formally approved and implemented sector-specific professional standard; uneven integration of organic-agriculture competencies across educational provision	Complete stakeholder consultation, expert review, validation, and formal approval of the existing draft Professional Standard “Organic Agriculture”; subsequently map and align relevant educational program and specialized training with the approved competencies	Ministry of Labour and Social Protection; Ministry of Agriculture; Ministry of Science and Higher Education; relevant Sectoral Council for Professional Qualifications; National Body for Professional Qualifications; universities; employers and producer organizations; certification and qualification-assessment bodies

Continuation of Table 3

2. Research-to-practice gap	Weak cooperation between research/ education institutions and agribusiness; insufficient practical orientation of some research assignments.	Apply risk-based regional validation and producer cotesting to research outputs for which agroecological, technological, regulatory, or production conditions are expected to materially affect performance.	Ministry of Science and Higher Education; Ministry of Agriculture; research institutes; universities; regional experimental stations; producer organizations.
3. Knowledge-transfer and implementation gap	Low producer awareness; insufficient systematic advisory and demonstration mechanisms; limited producer feedback.	Develop regional demonstration and advisory mechanisms and a feedback loop linking producers, researchers, educators, and certification specialists.	Ministry of Agriculture; regional administrations; universities and research institutes; Atameken / Project Office ORGANIC; Network Agrotechnopark; producer associations.

The measures in Table 3 should be interpreted as proposed institutional responses rather than as established causal solutions. Their implementation would require further assessment of institutional mandates, staffing, financing, regional capacity, and the relationship with existing advisory and certification structures. In particular, regional validation should be targeted to technologies for which local agroecological or production conditions are likely to materially affect performance, rather than imposed as a mandatory additional stage for every technology. This would reduce the risk of unnecessary costs and delays while preserving the objective of context-specific adaptation. Regional validation should therefore follow a risk-based principle and should be required only where agroecological, technologi-cal, regulatory, or production conditions are reasonably expected to affect technology performance or compliance. Requiring additional field validation for every technology irrespective of the existing evi-dence could duplicate previous testing, increase implementation costs, delay adoption, and create un-necessary administrative burdens.

The interpretation of these findings should take into account several limitations. First, the study is based primarily on document analysis, mapping of educational and research activities, and comparison with published international evidence; it does not include a representative survey of organic producers, employers, graduates, or advisory-service users. Second, the proposed role of different educational levels, including master's-level specialization, has not been tested against labour-market demand or comparative graduate outcomes. Third, the study identifies institutional gaps and proposes a conceptual pathway but does not estimate the costs, staffing requirements, or implementation effects of the proposed measures. Finally, the international evidence reviewed originates from countries and agricultural systems with different institutional, economic, and agroecological conditions; therefore, the proposed mechanisms require further validation in Kazakhstan. These limitations mean that the pathway presented in Figure 1 should be treated as a framework for institutional development and subsequent empirical testing rather than as a demonstrated causal model. In addition, because the Professional Standard "Or-ganic Agriculture" was still a draft at the time of analysis, the study evaluates its structure and potential institutional role rather than its implementation effects.

Conclusion

The study shows that Kazakhstan has established several important components required for the development of organic agriculture, including a regulatory framework, university-based educational provision, scientific and technical program, research infrastructure, and organizations with functions relevant to standardization, demonstration, and knowledge transfer. The documentary analysis identified three interconnected institutional gaps: a competency and qualification gap, a research-to-practice gap, and a knowledge-transfer and implementation gap. The central challenge is therefore not simply the absence of individual institutional components, but insufficient coordination among professional qualifications, education, research, technology adaptation, advisory mechanisms, and producers.

The analysis of the draft Professional Standard "Organic Agriculture" demonstrates that an institutional basis for addressing the competency and qualification gap is emerging. The draft contains

five occupational profiles at NQF Levels 6-8 and links labour functions and professional competencies with relevant fields of higher and postgraduate education. Because the standard has not yet been formally approved or implemented, its contribution remains prospective. The immediate priority is therefore to complete stakeholder consultation, expert review, formal validation, and approval of the existing draft and subsequently align relevant educational program with the approved competencies. For the research-to-practice gap, regional validation and producer co-testing should follow a risk-based approach and be applied where local agroecological, technological, regulatory, or production conditions are expected to materially affect technology performance. For the knowledge-transfer and implementation gap, existing universities, research institutes, experimental stations, producer organizations, certification expertise, and demonstration infrastructure should be connected through regional advisory and feedback mechanisms.

Overall, the proposed education - research - knowledge transfer - production framework should be interpreted as a conceptual institutional pathway for coordinating existing and emerging components of Kazakhstan's organic sector rather than as an empirically validated causal model. Further research involving producers, employers, graduates, certification and qualification bodies, and advisory organizations is required to assess implementation costs, labour-market relevance, institutional capacity, and the effectiveness of the proposed mechanisms under different regional conditions of Kazakhstan.

Authors' Contributions

BB: conceptualization, formulation of the research objectives, development of the research methodology, data analysis, and preparation of the manuscript. GO and AI: conducted a comprehensive literature review, contributed to manuscript preparation and study design, and performed editing and preparation of the article for publication. All authors read, reviewed, and approved the final version of the manuscript.

Acknowledgements

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, program-targeted funding for 2024–2026 under the scientific and technical program BR22885418 "Scientific Support for the Technological Development of Organ-ic Production of Agricultural Products in the Republic of Kazakhstan."

References

1 Willer, H., Trávníček, J., Schlatter, B. (2025). T*he World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2025.* Frick: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), IFOAM - Organics International. FiBL publication. https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1797-organic-world-2025.pdf

2 Savin, T., Morgounov, A. (2025). Organic crop production in Kazakhstan: Agronomic solutions and bioresources. *Resources*, 14(7), 108. DOI:10.3390/resources14070108.

3 Pashkov, S.V., Imashev, E.Z., Baubekova, G.K. et al. (2024). Ecological-economical and ethno-cultural determinants of the development of organic farming in Kazakhstan. *Sustainability*, 16(10), 4065. DOI:10.3390/su16104065.

4 Zakon Respubliki Kazahstan. (2024). *O proizvodstve i oborote organicheskoj produkcii № 89-VIII ot 10 ijunja 2024 g.* [*Law of the Republic of Kazakhstan "On Production and Turnover of Organic Products"*]. Adilet. [*In Russian*].

5 Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Respubliki Kazakhstan. (2024). *Ob utverzhdenii Pravil proizvodstva i oborota organicheskoj produkcii: Prikaz Ministra sel'skogo khozyaistva Respubliki Kazakhstan ot 26 noyabrya 2024 goda № 385, zaregistrirovan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 2 dekabrya 2024 goda № 35431* [*On Approval of the Rules for the Production and Turnover of Organic Products*]. Adilet. [*In Russian*].

6 Al'peisova, Sh.E., Bulashev, B.K., Shapenova, K.K. (2023). Qazaqstannyń organikalyq auyl sharuashylyǵyn kadrlarmen qamtamasyz etu jáne tehnologiyalyq damytuda agrarlyq bejindegi bilim [Human resource provision and technological development of organic agriculture in Kazakhstan

through agrarian education]. *Qazaq ekonomika, qarjy jáne halyqaralyq sauda universitetiniń jarshysy,* 3(52), 92–99. [*In Kazakh*].

7 Karamatov, O.O. (2021). Formirovanie i razvitie rynka organicheskoi sel'skohozyaistvennoi produkcii v Kazahstane i respublikah Central'noi Azii [Formation and development of the market for organic agricultural products in Kazakhstan and the republics of Central Asia]. *Nauka i innovacionnoe razvitie*, 2, 10–207. [*In Russian*].

8 Leonnig, E.G., Nielsen, J.Ø. (2025). An empirical analysis of organic micro-level agricultural knowledge and innovation systems (microAKIS) in three federal states in Germany. *The Journal of Agricultural Education and Extension,* 31(2), 234-258. DOI: 10.1080/1389224X.2024.2371293.

9 Sáenz, J., Aramburu, N., Alcalde-Heras, H., Buenechea-Elberdin, M. (2024). Technical knowledge acquisition modes and environmental sustainability in Spanish organic farms. *Journal of Rural Studies,* 109, 103338. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2024.103338.

10 Arangurí, M., Mera, H., Noblecilla, W., Lucini, C. (2025). Digital literacy and technology adoption in agriculture: A systematic review of factors and strategies. *AgriEngineering*, 7(9), 296. DOI:10.3390/agriengineering7090296.

11 Sapbamrer, R., Thammachai, A. (2021). A systematic review of factors influencing farmers' adoption of organic farming. *Sustainability*, 13(7), 3842. DOI:10.3390/su13073842.

12 Milardo, R. (2025). The Role of Knowledge and Innovation in Organic Farming Systems: A Systematic Literature Review. Sustainability, 17(14), 6563. DOI: 10.3390/su17146563.

13 Li, L., Han, J., Zhu, Y. (2024). Empowering sustainability: How digital agricultural extensions influence organic fertilizer choices among Chinese farmers. *Journal of Environmental Management,* 371, 123340. DOI:10.1016/j.jenvman.2024.123340.

14 Sen, L.T.H., Phuong, L.T.H., Chou, P. et al. (2025). The opportunities and barriers in developing interactive digital extension services for smallholder farmers as a pathway to sustainable agriculture: A systematic review. *Sustainability*, 17(7), 3007. DOI:10.3390/su17073007.

15 Bulashev, B.K., Ibzhanova, A.A., Muratov, A.A. (2025). Organikalyq ónimniń óndirisi men aynalymy salasyndaǵy standarttardyń ǵylymi-tehnikalyq deńgein taldau [Analysis of the scientific and technical level of standards in the field of production and circulation of organic products]. S*. Seifullin atyndaǵy QATZU Ǵylym jarshysy*, 2/1(126), 100–113. [*In Kazakh*].

16 Gong, S., Jiang, L., Yu, Z. (2025). Can digital human capital promote farmers' willingness to engage in green production? Exploring the role of online learning and social networks. *Behavioral Sciences*, 15(2), 227. DOI:10.3390/bs15020227.

17 Luo, L., Qiao, D., Tang, J. et al. (2022). Training of farmers' cooperatives, value perception and members' willingness of green production. *Agriculture*, 12(8), 1145. DOI:10.3390/agriculture12081145.

18 Tomaš Simin, M., Glavaš-Trbić, D., Milić, D., Janković, D. (2024). Human capital as a development factor of organic agriculture in the Republic of Serbia. *Economics of Agriculture*, 71(2), 485–501. DOI:10.59267/ekoPolj2402485T.

19 Ukpe, U.H. (2024). Human capital development and agricultural production in Cameroon. *Western Balkan Journal of Agricultural Economics and Rural Development*, 6(2), 169–182. DOI:10.5937/WBJAE2402169U.

20 Ruzzante, S., Labarta, R., Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the devel-oping world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, 146, 105599. DOI: 10.1016/j.worlddev.2021.105599.

21 Rizzo, G., Migliore, G., Schifani, G., Vecchio, R. (2024). Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations: A systematic literature review and research agenda. *Organic Agriculture,* 14, 57–84. DOI:10.1007/s13165-023-00440-7.

22 Aeberhard, A., Rist, S. (2009). Transdisciplinary co-production of knowledge in the development of organic agriculture in Switzerland. *Ecological Economics*, 68(4), 1171–1181. DOI:10.1016/j.ecolecon.2008.08.008.

23 Möhring, N., Muller, A., Schaub, S. (2024). Farmers' adoption of organic agriculture - a sys-tematic global literature review. *European Review of Agricultural Economics*, 51(4), 1012–1044. DOI:10.1093/erae/jbae025.

24 Erekalo, K.T., Gemtou, M., Kornelis, M., Pedersen, S.M., Christensen, T., Denver, S. (2025). Understanding the behavioral factors influencing farmers' future adoption of climate-smart agriculture: A multi-group analysis. *Journal of Cleaner Production*, 510, 145632. DOI:10.1016/j.jclepro.2025.145632.

Қазақстандағы органикалық ауыл шаруашылығын тұрақты дамыту үшін адами капиталды дамыту және технологияларды бейімдеу: білім беру, ғылым және білім трансфері

Булашев Б.К., Оспанкулова Г.Х., Ибжанова А.А.

«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Қазақстанда органикалық ауыл шаруашылығын тұрақты дамыту білікті кадрларды, қолданбалы зерттеулерді, өңірлік жағдайларға бейімделген технологияларды және білім трансферінің тиімді тетіктерін қажет етеді. Нормативтік-құқықтық базаның қалыптасқанына және ауыл шаруашылығы ресурстарының елеулі әлеуетіне қарамастан, білім беру, ғылым, біліктілік жүйесі, консультациялық қызметтер және әзірлемелерді практи-каға енгізу арасындағы институционалдық байланыстар жеткілікті деңгейде дамымаған. Зерттеудің мақсаты – аграрлық ғылыми және білім беру ұйымдарының адами капиталды дамытуға және технологияларды бейімдеуге қосатын үлесін бағалау, сондай-ақ органикалық секторды нығайтуға бағытталған шараларды айқындау.

Материалдар мен әдістер. Аналитикалық, салыстырмалы, логикалық, жүйелік тәсілдер мен контент-талдауды қолдану арқылы құжаттарға сапалық институционалдық талдау жүргізілді. Дереккөздер базасына Қазақстанның нормативтік және институционалдық құжаттары, жоғары оқу орындарының білім беру бағдарламалары, 2012–2026 жылдары іске асырылған ғылыми-техникалық бағдарламалар, «Органикалық ауыл шаруашылығы» кәсіптік стандартының жобасы, халықаралық талдамалық есептер және рецензияланатын ғылыми жа-рияланымдар енгізілді.

Нәтижелер. Өзара байланысты үш институционалдық алшақтық анықталды: құзыреттер мен біліктіліктердегі алшақтық; ғылыми зерттеулер мен практика арасындағы алшақтық; білім трансфері мен практикалық енгізудегі алшақтық. Сонымен қатар, Ұлттық біліктілік шеңберінің 6–8-деңгейлеріне жататын бес кәсіптік карточканы қамтитын және еңбек функциялары мен кәсіби құзыреттерді жоғары және жоғары оқу орнынан кейінгі білім берудің тиісті бағыттарымен байланыстыратын «Органикалық ауыл шаруашылығы» кәсіптік стандартының жобасы анықталды. Қолданыстағы білім беру, ғылыми, әдістемелік және институционалдық ресурстарды өндірушілердің қажеттіліктерімен және шаруашылықтар деңгейінде практикалық енгізумен неғұрлым тығыз үйлестіру қажет.

Қорытынды. Нәтижелер кәсіби құзыреттер мен білім беруді қолданбалы зерттеулермен, технологияларды тәуекелге бағдарланған өңірлік бейімдеумен, демонстрациялық және консультациялық қызметтермен, шаруашылықтар деңгейінде енгізумен және өндірушілермен кері байланыспен ұштастыратын «білім беру – ғылым - білім трансфері - өндіріс» интеграцияланған схемасының қажеттілігін негіздейді. Зерттеудің шектеулері құжаттық дереккөздерді пайдаланумен және материалдарды мақсатты іріктеумен байланысты; зерттеу өндірушілердің репрезентативті сауалнамасын, еңбек нарығын талдауды және ұсынылған шараларды іске асыру шығындарын бағалауды қамтымады.

Кілт сөздер: органикалық ауыл шаруашылығы; адами капитал; бейімделген технологиялар; аграрлық білім беру; ғылыми және білім беру ұйымдары; стандарттау.

Развитие человеческого капитала и адаптация технологий для устойчивого развития органического сельского хозяйства в Казахстане: образование, наука и трансфер знаний

Булашев Б.К., Оспанкулова Г.Х., Ибжанова А.А.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Устойчивое развитие органического сельского хозяйства в Казахстане требует наличия квалифицированных кадров, развития прикладных исследований, внедрения технологий, адаптированных к региональным условиям, и эффективного трансфера знаний. Несмотря на сформированную нормативно-правовую базу и значительные сельскохозяйственные ресурсы, институциональные связи между образованием, наукой, системой квалификаций, консультационными службами и практическим внедрением разработок остаются недостаточно развитыми. Цель исследования – оценить вклад аграрных научных и образовательных учреждений в развитие человеческого капитала и адаптацию технологий, а также определить меры по укреплению органического сектора.

Материалы и методы. Проведен качественный институциональный анализ документов с использованием аналитического, сравнительного, логического, системного подходов и контент-анализа. Источниковую базу составили нормативные и институциональные документы Казахстана, образовательные программы университетов, научно-технические программы, реализованные в 2012–2026 гг., проект профессионального стандарта «Органическое сельское хозяйство», международные аналитические отчеты и рецензируемые научные публикации.

Результаты. Выявлены три взаимосвязанных институциональных разрыва: в компетенциях и квалификациях; между научными исследованиями и практикой; в трансфере знаний и практическом внедрении. Также выявлен проект профессионального стандарта «Органическое сельское хозяйство», включающий пять карточек профессий 6-8-го уровней Национальной рамки квалификаций и связывающий трудовые функции и профессиональные компетенции с соответствующими направлениями высшего и послевузовского образования. Существующие образовательные, научные, методические и институциональные ресурсы требуют более тесной координации с потребностями производителей и практическим внедрением на уровне хозяйств.

Заключение. Результаты обосновывают интегрированную схему «образование – наука - трансфер знаний - производство», связывающую профессиональные компетенции и образование с прикладными исследованиями, риск-ориентированной региональной адаптацией технологий, демонстрационными и консультационными услугами, внедрением на уровне хозяйств и обратной связью с производителями. Ограничения исследования связаны с использованием документальных источников и целевым отбором материалов; исследование не включало репрезентативные опросы производителей, анализ рынка труда и оценку затрат на реализацию предлагаемых мер.

Ключевые слова: органическое сельское хозяйство; человеческий капитал; адаптированные технологии; аграрное образование; научные и образовательные учреждения; стандартизация.

UDC 632.727:551.58:004.8(574) **Research article**

Agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of harmful non-gregarious locusts in Kazakhstan based on climatic data and neural network modeling

Kurmet S. Baibussenov, Aigul M. Bekbayeva, Zhassulan Z. Amanbay, Askar A. Zhubatkanov, Arsen A. Dzhumagulov

NCSC "S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Kurmet S. Baibussenov: baibussenovks10051987@gmail.com
Co-authors: (1: AB) bekbaevaaigul@gmail.com; (2: ZhA) amanbai_zhasulan@mail.ru
(3: AZh) askar_05-94@mail.ru; (4: AD) dzhumagulov.arsen@mail.ru

Received: 28.07.2026 **Accepted:** 02.10.2026 **Published:** 09.10.2026

Copyright: Baibussenov K.S. et al. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Abstract

Background and Aim. Given the ongoing shifts in global climate, enhancing predictive models for the dispersal of non-gregarious locusts – a major threat to Kazakhstan agriculture – has become a critical priority. By leveraging advanced spatial data analytics and artificial intelligence, researchers can significantly refine phytosanitary forecasting. This research aims to conduct an agro-climatic classification of Kazakhstan and construct a predictive model for identifying high-risk locust breeding grounds, utilizing historical monitoring data, climatic variables, and deep learning architectures.

Materials and Methods. The study relies on extensive, long-term phytosanitary monitoring records from across Kazakhstan. Key agro-climatic predictors – including surface and air temperatures, precipitation levels, soil moisture, and NDVI – were derived from ERA5-Land, Open-Meteo, and satellite-based Earth observation data. The analytical framework integrates geoinformation systems with a hybrid CNN-LSTM neural network, enabling the simultaneous evaluation of both spatial and temporal dynamics of the environmental factors involved.

Results. The study successfully mapped Kazakhstan into distinct zones based on the level of phytosanitary risk (low, medium, and high) for locust outbreaks. Findings indicate that the likelihood of infestation is driven by a synergy of agro-climatic conditions, with risk levels rising as one moves from humid, mountainous regions toward semi-arid and arid landscapes. The implementation of the CNN-LSTM model significantly improved the accuracy of spatial risk assessments, allowing for a more precise identification of vulnerable agricultural areas.

Conclusion. This methodology enhances the precision of phytosanitary surveillance and provides a robust scientific foundation for predicting locust migration. These findings offer a valuable framework for building digital decision-support systems, optimizing survey logistics, and streamlining the implementation of agricultural pest control strategies throughout Kazakhstan.

Keywords: harmful non-gregarious locusts; phytosanitary risk; agro-climatic zoning; deep learning; climate data; Kazakhstan.

Introduction

Locusts, notorious for their omnivorous nature, pose a serious threat to agricultural crops. Their impact is profound, jeopardizing the sustainability of agroecosystems, threatening food security, and hindering the economic viability of agriculture. When certain locust species experience population booms, they spread their range, create new infestation hotspots, and significantly increase the risk to crops. This results in substantial crop damage and higher expenses for pest control measures [1, 2, 3]. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) identifies locusts as a major agricultural danger, particularly in dry and semi-arid areas globally [3]. Climate change presents

How to cite: Baibussenov, K.S., Bekbayeva, A.M., Amanbay, Zh.Z., Zhubatkanov, A.A. Dzhumagulov, A.A. (2026). Agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of harmful non-gregarious locusts in Kazakhstan based on climatic data and neural network modeling. *Eurasian Agrotechnical Journal*, 3(131), 268-280. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2270

another significant risk, characterized by rising air temperatures, shifting precipitation patterns, more frequent extreme weather events, and increased aridity. These factors substantially impact pest population growth and elevate the risk of outbreaks [4, 5].

In the Republic of Kazakhstan, managing non-gregarious locusts is especially critical given the nation's vast agricultural expanse and diverse natural and climatic landscapes. Steppe, semi-arid, desert, and mountainous regions exhibit marked variations in temperature, moisture levels, and growing season lengths, creating distinct environments for pest proliferation [6, 7]. Within the country, both swarming species such as the Asian migratory locust (*Locusta migratoria* L.), the Moroccan locust (*Dociostaurus maroccanus* Thunb.), and the Italian locust (*Calliptamus italicus* L.) – and non-gregarious species, including *Dociostaurus kraussi, Gomphocerus sibiricus, Chorthippus albomarginatus, Stauroderus scalaris, Pararcyptera microptera,* and *Oedaleus decorus*, are present. While non-gregarious locusts do not create swarms, they can still develop localized high-density populations that result in substantial crop damage and pasture degradation. This specific group constitutes the focus of the present research [8].

Although the national phytosanitary surveillance system operates, current methodologies primarily concentrate on documenting present population statuses and generating short-term predictions derived from field observations. Consequently, long-term climate fluctuations and the spatial diversity of natural habitats are often overlooked, thereby constraining the accuracy of extended forecasts [9, 10]. Conventional techniques relying on statistical evaluation, professional judgment, and empirical correlations between meteorological factors and pest life cycles fail to adequately capture the nonlinear behavior of populations and struggle with handling extensive spatial and temporal datasets [10, 11]. The advancement of geospatial tools and remote sensing has greatly broadened the scope for investigating phytosanitary dynamics. ERA5-Land reanalysis offers continuous spatial information regarding atmospheric temperature, soil moisture, rainfall, and additional climatic variables [12]. Data from MODIS and Sentinel satellites enable the acquisition of vegetation health metrics, such as the NDVI index, land surface temperature (LST), and other ecological indicators [13, 14]. Combining these datasets with geographic information systems facilitates the shift toward spatial modeling of phytosanitary conditions.

Advancements in machine learning and deep learning techniques for environmental modeling and biological process forecasting have been substantial. Algorithms such as Random Forest, Gradient Boosting, Support Vector Machines, and XGBoost successfully capture intricate nonlinear dynamics linking climate variables to pest dispersion [15, 16]. Meanwhile, Convolutional Neural Networks (CNNs) and Long Short-Term Memory (LSTMs) are gaining traction for analyzing spatial and temporal patterns in natural phenomena. The CNN-LSTM hybrid model enhances the extraction of spatiotemporal characteristics, thereby boosting predictive precision relative to conventional statistical approaches [17, 18]. Nevertheless, despite these digital forecasting breakthroughs, research predominantly targets locust swarms, ecological niches, or habitat suitability evaluations. Investigations concerning non-gregarious species remain scarce and typically restrict themselves to examining isolated climatic elements, lacking a holistic evaluation of phytosanitary risk spatial structures. Consequently, the field of agro-climatic zoning, which synthesizes long-term phytosanitary data, climate reanalysis, geoinformation systems, and contemporary neural networks, remains underexplored [6, 15, 18]. Amidst global climate shifts, spatial phytosanitary risk assessment holds significant practical value, enabling the identification of high-risk zones, refining surveillance efforts, and optimizing protective strategy planning.

Consequently, establishing a scientifically grounded methodology for agro-climatic zoning of phytosanitary risks associated with non-gregarious locust outbreaks – by combining extended monitoring records, climate indicators, and neural network algorithms-represents a pressing scientific priority. This strategy emphasizes not merely predicting outbreaks but also evaluating spatial phytosanitary threats to delineate zones with differing risk levels. The study aims to formulate a methodological framework for agro-climatic zoning of phytosanitary risks linked to non-gregarious locust outbreaks in Kazakhstan, utilizing integrated long-term monitoring data, climatic parameters, and neural network modeling techniques.

Materials and Methods

Study area and input data

This investigation was conducted across the Republic of Kazakhstan, a vast nation defined by diverse natural and climatic regimes as well as varied agricultural terrain. The scope encompassed 167 administrative districts that represent the primary farming areas of the country. These regions span steppe, dry-steppe, semi-desert, desert, and foothill ecological zones, each distinguished by unique patterns of temperature, rainfall, moisture availability, and growing season length; these factors collectively influence the geographic distribution of non-gregarious locust populations [19, 20].

The study relied on phytosanitary monitoring data for non-gregarious locusts gathered by the Republican Methodological Center for Phytosanitary Diagnostics and Forecasts, under the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, spanning the period from 2003 to 2024. The dataset comprised 12,115 records detailing pest abundance, survey locations, observation dates, and field assessment outcomes. Prior to analysis, the information underwent verification for completeness, logical coherence, and spatial accuracy, after which it was integrated into a unified geoinformation database [21]. The spatial distribution of the studied areas and agro-climatic zones is shown in Figure 1.



Figure 1. Study area and spatial distribution of administrative regions of Kazakhstan used in modeling

Climate data and model predictors

To describe the natural and climatic settings, we utilized ERA5-Land global climate reanalysis data, which offers spatially continuous details regarding air temperature, soil moisture, precipitation, and various other land surface attributes. Furthermore, historical meteorological records from the Open-Meteo platform were employed to validate and enhance the climatic profiles of the investigated regions [22, 23]. Climatic predictors included land surface temperature (LST), atmospheric temperature, rainfall, soil moisture, total evapotranspiration, and the normalized difference vegetation index (NDVI). These variables were selected because they possess significant predictive power for modeling the spatial distribution of phytophagous insects, a finding supported by contemporary studies [24–26]. Table 1 summarizes the key features of the input data.

Table 1. Input data used in the development of the phytosanitary risk model

Data source	Indicators	Spatial resolution	Period	Purpose
Government phytosanitary monitoring	Number of non-gregarious locusts, coordinates of surveys	167 districts	2003–2024	Target variable
ERA5-Land	Air temperature, precipitation, soil moisture, evapotranspiration	~9 km	2003–2024	Climatic predictors
MODIS	NDVI	250 m	2003–2024	Characteristics of vegetation cover
MODIS	LST	1 км	2003–2024	Land Surface temperature
Open-Meteo	Daily meteorological data	Daily data	2003–2026	Verification of climatic parameters

Table 1 demonstrates that the model was constructed using diverse data sources, merging long-term phytosanitary surveillance, climate reanalysis outputs, and remote sensing imagery. This synthesis enabled the creation of a unified spatiotemporal database, which was essential for training the CNN-LSTM architecture and executing agro-climatic zoning of phytosanitary hazards.

CNN-LSTM model architecture and training

Input representation. All three networks receive the same input: a 24-month window of monthly agro-climatic predictors preceding the target year, shaped as [24 × 19], where 19 predictors (air and land-surface temperature, precipitation, soil moisture, evapotranspiration, SPI-3/6/12, growing degree days, aridity index, NDVI and per-district anomalies). The output of each network is a single sigmoid unit giving the probability of outbreak formation.

(*19:'temperature_2m_mean', 'temperature_2m_max', 'temperature_2m_min', 'precipitation_sum', 'shortwave_radiation_sum', 'soil_moisture', 'et0_fao_evapotranspiration', 'spi3', 'spi6', 'spi12', 'gdd', 'aridity', 'dryness', 'ndvi', 'ndvi_anom', 'ndvi_d3', 'temperature_2m_mean_anom', 'precipitation_sum_anom', 'soil_moisture_anom'*)

Table 2. Models' A rchitectures

Component	CNN	LSTM	CNN-LSTM (hybrid)
Feature extraction	Conv1D (32, k=3, ReLU) → MaxPool (2) → Conv1D (64, k=3, ReLU) → GlobalAvgPool	LSTM (48, return sequences) → Dropout (0.3) → LSTM (24)	Conv1D (32, k=3, ReLU) → MaxPool (2) → Conv1D (64, k=3, ReLU) → LSTM (32)
Dense head	Dense (16, ReLU)	Dense (16, ReLU)	Dense (24, ReLU) → Dropout (0.3)
Output	Dense (1, sigmoid)	Dense (1, sigmoid)	Dense (1, sigmoid)

The CNN captures local temporal patterns; the LSTM captures longer-range temporal dependencies; the hybrid CNN-LSTM combines both — convolutional layers extract local features that the LSTM then models as a sequence (Table 2).

Training procedure. All models were trained with the Adam optimizer, binary cross-entropy loss, and a batch size of 64, for up to 100 epochs. Class weights inversely proportional to class frequency were applied to counter class imbalance. To reduce variance, three instances of each architecture were trained with different random seeds (42, 1, 7) and their predicted probabilities averaged (seed ensemble).

Data partitioning. A strict temporal (forward-chaining) split was used to emulate operational forecasting and avoid look-ahead bias: training on 2003–2020 (2 534 samples), testing on 2021–2024

(545 samples), and forecasting 2025–2030. Within the training period, 15% of samples were held out as a validation set for early stopping. An outbreak was defined as district-level numerosity ≥ the 70th percentile (≈ 1.72 individuals·m^{-2}), giving a positive-class rate of ≈ 0.38 at district level. Feature standardization (z-score) parameters were computed on the training set only and applied unchanged to the validation, test and forecast sets, preventing any information leakage from the future.

Computation of the Risk Score. The integrated phytosanitary Risk Score is the outbreak probability produced by the CNN-LSTM model, aggregated to the agro-climatic-zone level. For each district-year the model outputs a probability p of outbreak formation. The zone-level Risk Score for a given year is obtained as the probability that an outbreak occurs in at least one district of the zone,

Risk Score = $1 - \prod_i (1 - p_i)$,

where p_i is the predicted probability for district i of the zone. The Risk Score therefore ranges from 0 to 1 and represents the zone-wide likelihood of outbreak formation. Aggregation to the zone level was adopted because it markedly improves discrimination relative to the district level (zone-level ROC-AUC ≈ 0.81–0.83 vs. district-level ≈ 0.53–0.60).

Determination of the risk-category thresholds. The three categories – low (Risk Score < 0.40), medium (0.40–0.70) and high (> 0.70) – were established by grouping the eleven zones by their Risk Score using unsupervised classification (k-means, three clusters) and locating the natural breaks in the Risk Score distribution; the cut-points were then rounded to 0.40 and 0.70 for interpretability. The resulting categories were validated against independent historical outbreak statistics for 2003–2024 (Table 4), which were not used to set the thresholds: the low category corresponds to 2–4 recorded outbreaks and a mean inter-outbreak interval of 6.5–10.5 years; the medium category to 5–7 outbreaks and 3.9–5.8 years; and the high category to 8–11 outbreaks and 2.2–3.3 years. The monotonic decrease of the inter-outbreak interval and of the coefficient of variation (from 41.2% to 11.8%) across the three categories confirms that the thresholds separate genuinely distinct risk regimes rather than arbitrary cut-points.

Spatial features of agro-climatic conditions for the spread of non-gregarious locust pests

A critical phase of this research involved evaluating the spatial variability of Kazakhstan's agro-climatic parameters and their influence on the emergence of non-gregarious locust hotspots. The prevalence and density of Acrididae species are largely governed by thermal conditions, rainfall, soil hydration, and vegetative cover, all of which dictate population growth, viability, and breeding cycles [7, 12, 24]. The study relied on phytosanitary surveillance records of non-gregarious locusts collected across 167 administrative districts of Kazakhstan between 2003 and 2024, encompassing 12,115 observations in total. To define climatic variables, the analysis incorporated ERA5-Land reanalysis data, Open-Meteo meteorological records, and satellite-derived metrics for land surface temperature (LST) and the normalized difference vegetation index (NDVI) [22–26].

Utilizing extensive historical datasets has allowed researchers to mitigate the influence of anomalous weather years, thereby facilitating a more accurate evaluation of spatial variations in environmental factors that align with contemporary models for predicting insect pest distributions [27].

The 11 agro-climatic zones used in this study were newly delineated based on the analysis of contemporary climatic and agro-climatic conditions across Kazakhstan. Although several agro-climatic classifications of Kazakhstan have been reported previously, they do not provide a sufficiently comprehensive and up-to-date spatial framework for the entire country, and many of the available schemes were developed under climatic conditions that differ substantially from those observed in recent decades. Therefore, considering ongoing climate change and associated shifts in temperature and moisture regimes, a new agro-climatic zoning framework was developed for the purposes of the present study. The zoning procedure followed established methodological principles of geographical and GIS-based spatial analysis, including the integration, spatial comparison, and classification of key heat- and moisture-related climatic indicators. A detailed description of the data processing, zoning criteria, spatial delineation procedures, and validation of the resulting agro-climatic zones is beyond the scope of this article and will be presented separately in a dedicated study. In the present paper, the resulting 11-zone framework is used as a spatial basis for assessing phytosanitary risk and analyzing the distribution and dynamics of non-gregarious locust populations.

Table 3 summarizes the resulting 11 agro-climatic zones and their principal climatic characteristics.

Table 3. Agro-climatic characteristics of the zones of formation of populations of non-gregarious locusts in Kazakhstan (long-term average values for 2003–2024)

Agro-climatic zone	Average abundance, species/m^2	Average temperature, °C	Precipitation, mm/year	NDVI	LST, °C	Soil moisture, m^3/m^3
Very humid / moderately warm	2.52	8.9	485	0.63	24.8	0.34
Humidified / moderately warm	5.25	10.6	392	0.58	27.3	0.29
Humid / Hot	5.47	14.8	348	0.51	31.4	0.23
Semi-arid / moderately warm	4.78	11.9	308	0.45	30.2	0.21
Semi-arid / warm	4.31	14.6	252	0.39	33.5	0.17
Semi-arid / hot	2.00	17.3	198	0.31	36.7	0.13
Arid / warm	0.83	16.1	182	0.28	35.2	0.12
Arid / hot	7.97	18.9	128	0.22	39.6	0.08
Mountainous (East)	1.81	6.4	542	0.66	22.1	0.36
Mountainous (South)	3.33	9.5	463	0.54	26.7	0.27
Mountainous (South-East)	1.97	8.1	511	0.60	24.6	0.32

Data presented in Table 3 reveal substantial variations across Kazakhstan's agro-climatic regions regarding thermal conditions, moisture supply, and plant cover, all of which influence the mean density of non-gregarious locusts. Average yearly atmospheric temperatures rose from 6.4 to 18.9 °C, while annual rainfall dropped from 542 to 128 mm. Concurrently, land surface temperatures climbed from 22.1 to 39.6 °C, and indices for vegetation (NDVI) and soil water content fell from 0.66 to 0.22 and from 0.36 to 0.08 m^3/m^3, respectively, signaling a heightened level of regional dryness.

The highest mean locust density (7.97 species/m^2) occurred in hot, arid zones featuring peak atmospheric (18.9 °C) and surface (39.6 °C) temperatures alongside scarce rainfall (128 mm/year). This density exceeds that of very humid, moderately warm zones (2.52 species/m^2) by more than threefold and surpasses arid, warm zones (0.83 species/m^2) by nearly tenfold. Conversely, in wetter areas receiving 348–392 mm of rain with NDVI readings of 0.51–0.58, locust abundance remained elevated (5.25–5.47 species/m^2), suggesting no straightforward linear correlation between specific climate metrics and population growth.

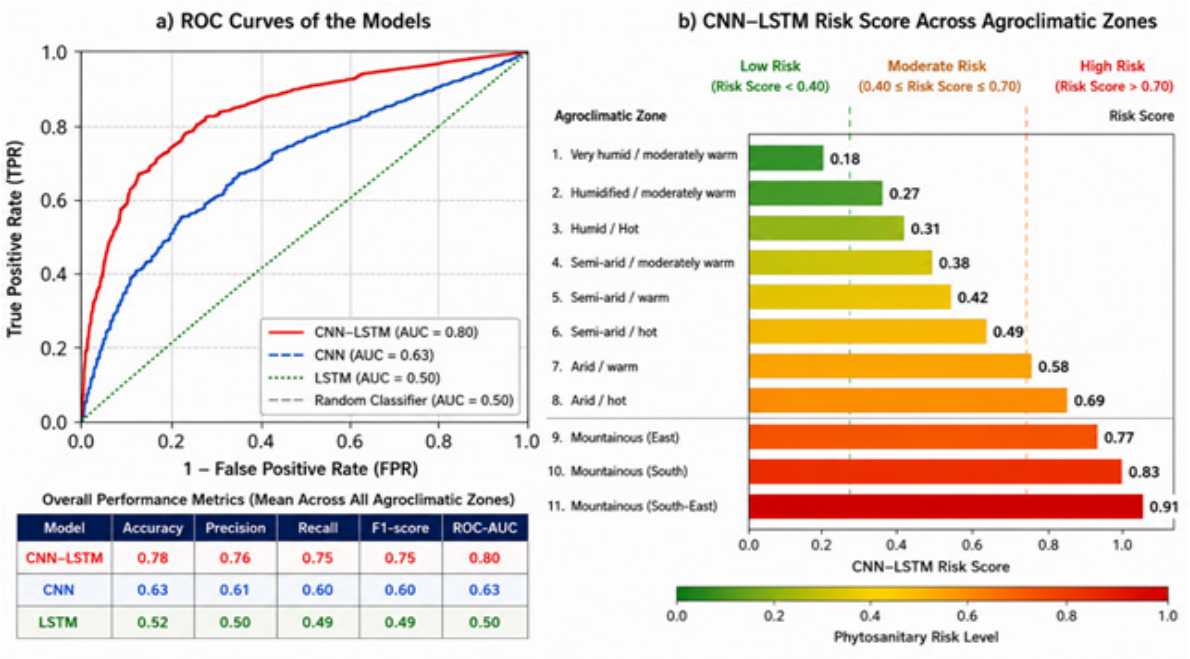
In semi-arid regions, densities ranged between 2.00 and 4.78 species/m^2. In mountainous terrains, despite ample precipitation (463–542 mm/year) and robust NDVI values (0.54–0.66), locust numbers stayed below 1.81–3.33 species /m^2, likely due to cooler atmospheric (6.4–9.5 °C) and surface (22.1–26.7 °C) temperatures.

Findings indicate that the spatial arrangement of non-gregarious locusts stems from intricate interactions among thermal regimes, moisture supply, and vegetative states. These observed trends validate the nonlinear impact of agro-climatic variables and support employing the CNN-LSTM architecture for phytosanitary risk zoning.

Results

To predict the phytosanitary risk of the formation of foci of non-gregarious locusts, the developed CNN-LSTM model was used, combining the capabilities of a convolutional neural network for extracting spatial features and a recurrent LSTM network for analyzing the temporal dynamics of agro-climatic indicators. The effectiveness of the model was evaluated by comparing it with independent CNN and LSTM architectures using standard classification metrics: Accuracy, Precision, Recall, F1-score and area under the ROC curve (ROC-AUC). The results of the comparative analysis are shown in Figure 2.

As shown in Figure 2, the CNN-LSTM model has demonstrated better results compared to the CNN and LSTM architectures. The ROC-AUC value was 0.80 versus 0.63 for CNN and 0.50 for LSTM, corresponding to the level of random classification.



Overall Performance Metrics (Mean Across All Agroclimatic Zones)

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
CNN–LSTM	0.78	0.76	0.75	0.75	0.80
CNN	0.63	0.61	0.60	0.60	0.63
LSTM	0.52	0.50	0.49	0.49	0.50

Figure 2. Comparison of the effectiveness of forecasting models and assessment of the phytosanitary risk of outbreaks of non-gregarious locusts based on the CNN-LSTM model

According to Accuracy, Precision, Recall, and F1-score metrics, the CNN-LSTM model reached 0.78, 0.76, 0.75, and 0.75, respectively, which was 15–26% higher than CNN and more than 50% higher than LSTM. This indicates the advantage of hybrid architecture in identifying the spatial and temporal patterns of the formation of foci of non-gregarious locusts.

The integrated indicator of phytosanitary Risk (Risk Score) also demonstrated pronounced spatial differentiation. The minimum values (0.18–0.38) are typical for moistened and mountainous areas with a low risk level, in semi–arid zones the indicator increases to 0.58–0.77, and the maximum values (0.83–0.91) are registered in arid regions of Kazakhstan, where the greatest phytosanitary danger is predicted.

The change in the Risk Score is fully consistent with the patterns of changes in air temperature, ground temperature, precipitation, NDVI index, and soil moisture identified in section 3.1. As climate aridity increases, the projected phytosanitary risk increases consistently, confirming the ability of the CNN-LSTM model to take into account the complex influence of agro-climatic factors on the development of populations of non-gregarious locusts.

Thus, the CNN-LSTM model provides the highest forecasting accuracy and allows for a quantitative assessment of phytosanitary risk, which is the basis for subsequent agro-climatic zoning of the territory of Kazakhstan.

Agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of non-gregarious locusts

Based on the integrated phytosanitary risk indicator (Risk Score) calculated using the CNN-LSTM model, an agro-climatic zoning of the territory of Kazakhstan was performed based on the probability of the formation of foci of non-gregarious locusts. For each agro-climatic zone, the risk category, the number of outbreaks for 2003–2024, the average inter-outbreak interval and the coefficient of variation characterizing the resistance of phytosanitary hazards are determined (Table 4).

Table 4. Quantitative assessment of the phytosanitary risk of the formation of foci of non-gregarious locusts in agro-climatic zones of Kazakhstan

Agro-climatic zone	Average Risk Score	Risk category	Number of outbreaks (2003–2024)	Average interval, year	Coefficient of variation, %
Very humid / moderately warm	0.18	Low	2	10.5	41.2
Humidified / moderately warm	0.27	Low	3	8.2	37.5
Mountainous (East)	0.31	Low	3	8.0	34.7

Continuation of Table 4

Mountainous (South-East)	0.38	Low	4	6.5	31.9
Mountainous (South)	0.42	Medium	5	5.8	29.8
Humid / hot	0.49	Medium	5	5.4	28.6
Semi-arid / moderately warm	0.58	Medium	6	4.7	24.5
Semi-arid / warm	0.69	Average	7	3.9	20.7
Semi-arid / hot	0.77	High	8	3.3	17.4
Arid / warm	0.83	High	9	2.8	14.6
Arid / hot	0.91	High	11	2.2	11.8

As follows from the data in Table 4, the agro-climatic zoning of the territory of Kazakhstan allowed us to identify three categories of phytosanitary risk of the formation of foci of non-gregarious locusts. The Risk Score values increased from 0.18 in the very humid, moderately warm zone to 0.91 in the arid hot zone, reflecting an increase in the probability of outbreaks as aridity increased.

The low-risk category (Risk Score < 0.40) includes very humid, humid, moderately warm and mountainous zones, where 2–4 outbreaks were recorded in 2003–2024, and the average inter–outbreak interval was 6.5–10.5 years. The average risk category (0.40–0.70) is characterized by 5-7 outbreaks and a reduction in the inter–flare interval to 3.9–5.8 years.

The most unfavorable situation was observed in semi–arid hot and arid high–risk zones (Risk Score 0.77–0.91), where the number of outbreaks reached 8–11, and the average inter-flare interval was reduced to 2.2–3.3 years. At the same time, the coefficient of variation decreased from 41.2% to 11.8%, which indicates greater stability and recurrence of outbreaks in arid areas.

The results obtained confirm a natural increase in phytosanitary risk during the transition from humid and mountainous areas to semi-arid and arid zones of Kazakhstan and can serve as a basis for differentiated planning of phytosanitary monitoring and protective measures.

Based on the calculated values of the integral indicator Risk Score, spatial zoning of the territory of Kazakhstan was performed, the results of which are shown in Figure 3.

The figure shows the agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of non-gregarious locusts within eleven agro-climatic zones of Kazakhstan. The zoning was performed on the basis of an integral Risk Score calculated using the CNN-LSTM model trained on phytosanitary monitoring data for 2003–2024. (12.115 observations, 167 administrative districts) using a set of agro-climatic predictors, including air temperature, ground surface temperature (LST), precipitation, soil moisture, and vegetation index NDVI.

For practical interpretation, the Risk Score values were grouped into three categories: low risk (Risk Score < 0.40), medium risk (0.40–0.70) and high risk (> 0.70), reflecting the likelihood of the formation of foci of non-gregarious locusts and allowing to differentiate territories according to the intensity of phytosanitary monitoring and protective measures.

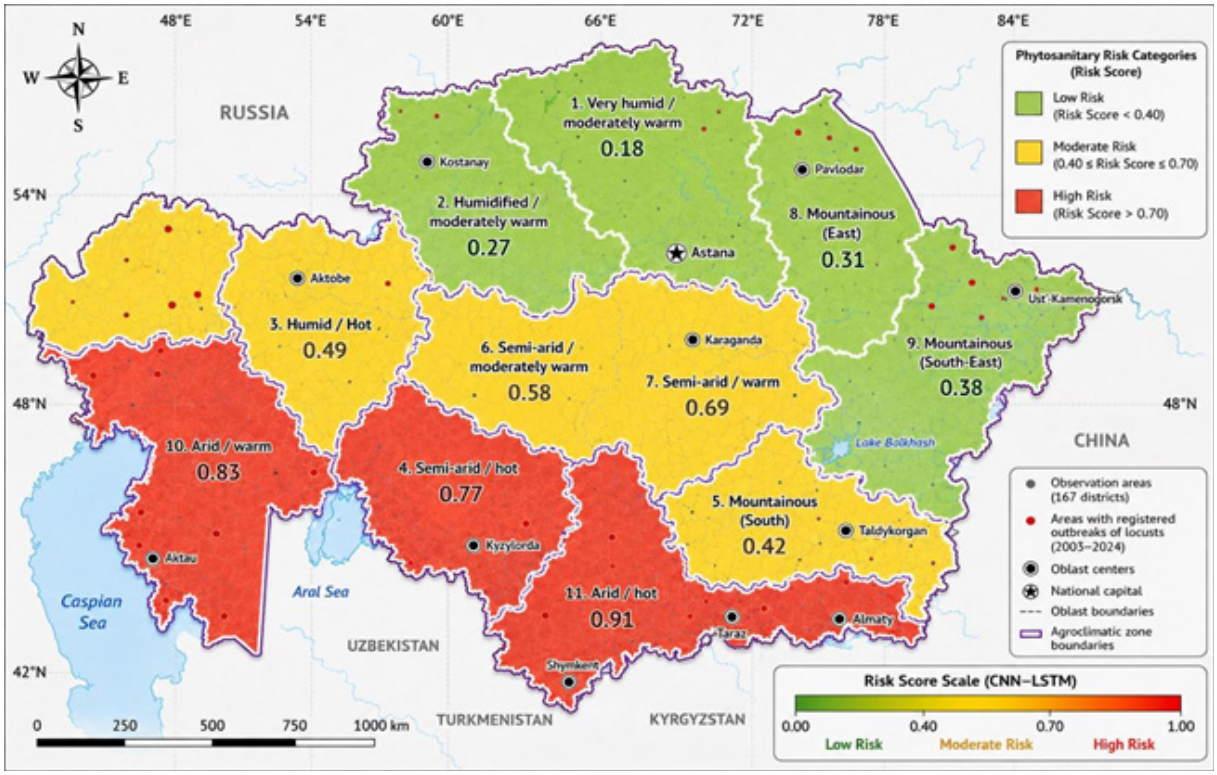


Figure 3. Agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of outbreaks of non-gregarious locusts in Kazakhstan based on the Risk Score values obtained using the CNN-LSTM model

Analysis of the map revealed a clear spatial pattern of risk distribution. The minimum Risk Score values are typical for northern humidified and mountainous areas, where climatic conditions limit the development of pest populations. The average risk was noted in semi-arid areas, and the maximum risk was in arid and warmest semi-arid zones of the south and west of Kazakhstan, which corresponds to the data of long-term phytosanitary monitoring and reflects the influence of high temperatures, insufficient moisture and vegetation cover features.

Discussion

The findings substantiate that the geographic spread of non-gregarious locust hotspots in Kazakhstan is tightly linked to the region's agro-climatic factors. This zoning reveals a natural rise in phytosanitary threats as one moves from wet, mountainous regions toward semi-arid and arid areas, aligning with previous research on how temperature, rainfall, soil humidity, and plant cover affect locust population trends [7, 12, 24, 28].

Research has demonstrated that relying on single climate metrics fails to yield precise predictive outcomes. The most significant phytosanitary threats arise from the convergence of elevated temperatures, insufficient rainfall, diminished soil moisture, and a reduction in the NDVI index. This evidence underscores the necessity of employing an integrated approach that combines climatic and remote sensing data to model pest dispersion [24, 25, 26, 27].

A major strength of this research lies in the application of a CNN-LSTM hybrid framework, which integrates the examination of spatial and temporal dynamics within agro-climatic variables. Employing such architectures is widely regarded as one of the most promising directions in environmental modeling, owing to the superior precision in forecasting intricate natural phenomena [27–33].

The findings validate the efficacy of this methodology for estimating phytosanitary threats posed by non-gregarious locusts. In contrast to the majority of existing studies that concentrate on specific species or restricted regions, this work represents the inaugural agro-climatic zoning of phytosanitary hazards across the full extent of Kazakhstan, leveraging extensive monitoring records, Earth remote sensing, and deep learning techniques. The suggested strategy broadens the scope for quantitative spatial risk evaluation and the strategic planning of phytosanitary surveillance [29, 30].

The real-world value of this research stems from the ability to utilize zoning maps for enhancing phytosanitary surveillance, pinpointing key areas for inspection, and efficiently distributing resources among plant protection agencies. Subsequent enhancements to the model will involve integrating land use patterns, crop composition, and climate change projections, thereby increasing the precision of extended-term predictions [31, 32].

Conclusion

In the course of the study, an approach to the agro-climatic zoning of the phytosanitary risk of the formation of foci of non-gregarious locusts in Kazakhstan was developed, based on the use of long-term phytosanitary monitoring data, climate information and deep learning methods. The results made it possible to identify spatial patterns of risk distribution and establish the relationship between agro-climatic conditions and the likelihood of pest outbreaks.

It is shown that the CNN-LSTM hybrid model provides effective integration of spatial and temporal data, increasing the reliability of the assessment of phytosanitary risk and agro-climatic zoning of the territory. The developed model and zoning maps can be used in the organization of phytosanitary monitoring, survey planning and management decision-making, and also serve as a scientific basis for the further development of digital geoinformation forecasting systems and decision support in the context of climate change.

Authors' Contributions

KB and AB: conceptualized and designed the study, developed the research methodology, collected and analyzed the data, and drafted the manuscript. ZhA: contributed to the interpretation of the results, reviewed the literature, and participated in manuscript preparation. ZhA and AD: conducted statistical analysis, interpreted the results, critically revised the manuscript, and supervised the research process. All authors read, reviewed, and approved the final version of the manuscript.

Acknowledgments

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2024–2026 under the scientific project AP22784639 "Development of models for phytosanitary forecasting of the population of harmful non-gregarious locusts in Kazakhstan based on machine learning algorithms and GIS technologies."

References

1 Uvarov, B.P. (1966). *Grasshoppers and Locusts: A Handbook of General Acridology.* Anatomy, Physiology, Development, Phase Polymorphism, Introduction to Taxonomy. Cambridge: Cambridge University Press, 1, 481.

2 Uvarov, B.P. (1977). *Grasshoppers and Locusts: A Handbook of General Acridology.* Behaviour, Ecology, Biogeography, Population Dynamics. London: Centre for Overseas Pest Research, 2, 613.

3 Chapman, R.F. (2013). *The Insects: Structure and Function.* 5th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 954.

4 Pfadt, R.E. (2002). *Field Guide to Common Western Grasshoppers.* 4th ed. Laramie: Wyoming Agricultural Experiment Station, University of Wyoming, 288.

5 Lockwood, J.A., Latchininsky, A.V., Sergeev, M.G. (2000). *Grasshoppers and Grassland Health: Managing Grasshopper Outbreaks without Risking Environmental Disaster.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 297.

6 Cease, A.J., Elser, J.J., Ford, C.F., Hao, S., Kang, L., Harrison, J.F. (2012). Heavy livestock grazing promotes locust outbreaks by lowering plant nitrogen content. *Science*, 335, 467–469. DOI: 10.1126/science.1214433.

7 Sword, G.A., Lecoq, M., Simpson, S.J. (2010). Phase polyphenism and preventative locust management. *Journal of Insect Physiology*, 56(8), 949–957. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2010.05.005.

8 Simpson, S.J., Sword, G. A., Lo, N. (2011). Polyphenism in insects. *Current Biology*, 21(18), R738–R749.

9 Branson, D.H. (2018). Climate change and grasshoppers: responses of Acrididae to a changing environment. *Current Opinion in Insect Science*, 29, 84–90.

10 Latchininsky, A.V. (2013). Locusts and remote sensing: a review. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7, 075099.

11 Baibussenov, K., Bekbaeva, A., Azhbenov, V., Sarbaev, A., Yatsyuk, S. (2021). Investigation of Factors Influencing the Reproduction of Non-Gregarious Locust Pests in Northern Kazakhstan to Substantiate the Forecast of Their Number and Planning of Protective Measures. *OnLine Journal of Biological Sciences*, 21(1), 144–153. DOI: 10.3844/ojbsci.2021.144.153.

12 Baibussenov K.S., Amanbay Zh.Z. (2025). Improvement of methods of phytosanitary control of locusts in the moderately humid moderately warm agro-climatic zone of Kazakhstan based on the use of geoinformation and information technologies. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Multidisciplinary*, 2/1(126), 17–28. DOI: 10.51452/kazatu.2025.2/1(126).1912.

13 Muñoz Sabater, J. (2021). ERA5-Land: A State-of-the-Art Global Reanalysis Dataset for Land Applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383.

14 Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P. *et al.* (2020). The ERA5 Global Reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.

15 Didan, K. (2021). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid.* Version 6.1. – Sioux Falls: NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

16 Wan, Z. (2014). New Refinements and Validation of the Collection 6 MODIS Land Surface Temperature/Emissivity Product. *Remote Sensing of Environment*, 140, 36–45.

17 Tucker, C.J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.

18 Pettorelli, N. (2018). *The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Oxford: Oxford University Press, 208.

19 Dorigo, W.A., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., Brocca, L. et al. (2017). ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 203, 185–215. DOI: 10.1016/j.rse.2017.07.001.

20 Gruber, A., Scanlon, T., van der Schalie, R., Wagner, W., Dorigo, W. (2019). Evolution of the ESA CCI Soil Moisture Climate Data Records and their underlying merging methodology. *Earth System Science Data*, 11(2), 717–739. DOI: 10.5194/essd-11-717-2019.

21 Alemohammad, S.H., Gentine, P., Aida, K., Asanuma, J., Bircher, S., Caldwell, T., *et al*. (2018). Estimating surface soil moisture from SMAP observations using a neural network technique. *Remote Sensing of Environment*, 204, 43–59. DOI: 10.1016/j.rse.2017.10.045.

22 Colliander, A., Reichle, R.H., McNairn, H., Moghaddam, M., Montzka, C., Notarnicola, C. *et al*. (2022). Validation of soil moisture data products from the NASA SMAP mission. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 364–392. DOI: 10.1109/JSTARS.2021.3124743.

23 Chan, S.K., Bindlish, R., O'Neill, P. E., Jackson, T.J., Chaubell, M.J., Piepmeier, J.R. *et al*. (2018). Development and assessment of the SMAP enhanced passive soil moisture product. *Remote Sensing of Environment*, 204, 931–941. DOI: 10.1016/j.rse.2017.08.025.

24 McNally, A., Shukla, S., Arsenault, K.R., Wang, S., Peters-Lidard, C.D., Verdin, J.P. (2016). Evaluating ESA CCI Soil Moisture in East Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 48, 96–109. DOI: 10.1016/j.jag.2016.01.001.

25 LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.

26 Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.

27 Juroszek, P., von Tiedemann, A. (2013). Plant pathogens, insect pests and weeds in a changing global climate: A review of approaches, challenges, research gaps, key studies and concepts. *The Journal of Agricultural Science*, 151(2), 163–188.

28 Bebber, D.P., Holmes, T., Gurr, S.J. (2014). The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, 23(12), 1398–1407.

29 Bebber, D.P. (2015). Range-expanding pests and pathogens in a warming world. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 335–356. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120207.

30 Kriticos, D.J., Sutherst, R.W., Brown, J.R., Adkins, S.W., Maywald, G.F. (2024). Modelling tools for including climate change in pest risk assessments. *EPPO Bulletin*, 54, 38–51.

31 Skelsey, P., Rossing, W.A.H., Kessel, G.J.T., Powell, J., van der Werf, W. (2010). Influence of host diversity on development of plant pest epidemics. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 239–262.

32 Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Merrill, S.C., Huey, R.B., Naylor, R.L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919.

Қазақстанда климаттық деректер мен нейрожелілік модельдеу негізінде зиянды саяқ шегірткелер өршуінің фитосанитариялық қаупін агроклиматтық аудандастыру

Байбусенов К.С., Бекбаева А.М., Аманбай Ж.З., Жұбатқанов А.Ә., Джумагулов А.А.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Саяқ шегірткелер Қазақстандағы ауыл шаруашылығы дақылдарының елеулі зиянкестерінің бірі болып табылады, олардың саны мен кеңістіктік таралуы климаттық және экологиялық факторлардың күрделі өзара әсерімен анықталады. Климаттық өзгергіштік пен аридтену үдерістерінің күшеюі жасанды интеллект және геоақпараттық талдау технологияларын пайдалана отырып, фитосанитариялық тәуекелді кеңістіктік болжаудың заманауи әдістерін әзірлеуді қажет етеді. Зерттеудің мақсаты – климаттық деректер, Жерді қашықтан зондтау материалдары және CNN-LSTM гибридті нейрожелілік моделін қолдану негізінде Қазақстан аумағын саяқ шегірткелердің өршуінің фитосанитариялық тәуекел деңгейі бойынша агроклиматтық аудандастыру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу Қазақстанның 167 әкімшілік ауданында 2003–2024 жылдары жүргізілген саяқ шегірткелердің фитосанитариялық мониторингі бойынша 12 115 бақылауды қамтитын деректер базасына негізделді. Предикторлар ретінде ERA5-Land және Open-Meteo деректерінен алынған климаттық және қашықтан зондтау көрсеткіштері, оның ішінде жер беті температурасы (LST), ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері, топырақ ылғалдылығы, эвапотранспирация және NDVI индексі пайдаланылды. Кеңістіктік талдау геоақпараттық технологияларды пайдалану арқылы жүргізілді. Фитосанитариялық тәуекелді модельдеу үшін CNN-LSTM сверточты және рекуррентті нейрондық желілердің гибридті архитектурасы қолданылды. Модельдің тиімділігі Accuracy, Precision, Recall, F1-score және ROC-крива астындағы аудан (ROC-AUC) көрсеткіштері бойынша бағаланды.

Нәтижелер. CNN-LSTM гибридті моделі жеке CNN және LSTM модельдерімен салыстырғанда ең жоғары жіктеу сапасын көрсетті: ROC-AUC мәні тиісінше 0,63 және 0,50 болған кезде CNN-LSTM үшін 0,80 құрады, ал Accuracy көрсеткіші 0,78 болды. Интегралдық Risk Score көрсеткіші негізінде Қазақстан аумағы фитосанитариялық тәуекелдің үш деңгейіне біріктірілген 11 агроклиматтық аймаққа аудандастырылды. Саяқ шегірткелер ошақтарының қалыптасу қаупінің ең жоғары деңгейі елдің оңтүстік және батыс бөліктеріндегі аридті және жартылай аридті аудандарда анықталды (Risk Score 0,77–0,91), ал тәуекелдің ең төмен мәндері солтүстік және шығыс өңірлердің ылғалды және таулы аумақтарына тән болды (Risk Score 0,18–0,38). Алынған тәуекел карталары аумақтарды фитосанитариялық қауіп деңгейі бойынша саралауға, фитосанитариялық мониторингті оңтайландыруға және тиісті қорғау іс-шараларын жоспарлауға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Климаттық деректерді, Жерді қашықтан зондтау материалдарын, геоақпараттық технологияларды және терең оқыту әдістерін біріктіру саяқ шегірткелер өршуін кеңістіктік болжаудың дәлдігін арттырады. Алынған нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында цифрлық шешім қабылдауды қолдау жүйелерін құруда, фитосанитариялық мониторингті жетілдіруде және ауыл шаруашылығы алқаптарын қорғаудың бейімделген шараларын әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: зиянды саяқ шегірткелер; фитосанитариялық тәуекел; агроклиматтық аудандастыру; терең оқыту; климаттық деректер; Қазақстан.

Агроклиматическое районирование фитосанитарного риска вспышек вредных нестадных саранчовых в Казахстане на основе климатических данных и нейросетевого моделирования

Байбусенов К.С., Бекбаева А.М., Аманбай Ж.З., Жұбатқанов А.Ә., Джумагулов А.А.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

Аннотация

Предпосылки и цель. Нестадные саранчовые являются одной из значимых групп вредителей сельскохозяйственных культур Казахстана, численность и пространственное распространение которых определяются сложным взаимодействием климатических и экологических факторов. Усиление климатической изменчивости и процессов аридизации обусловливает необходимость разработки современных методов пространственного прогнозирования фитосанитарного риска с использованием технологий искусственного интеллекта и геоинформационного анализа. Целью исследования являлось агроклиматическое районирование территории Казахстана по степени фитосанитарного риска вспышек нестадных саранчовых на основе климатических данных, материалов дистанционного зондирования Земли и применения гибридной нейросетевой модели CNN-LSTM.

Материалы и методы. Исследование основано на базе данных фитосанитарного мониторинга нестадных саранчовых, включающей 12 115 наблюдений, выполненных в 167 административных районах Казахстана за период 2003–2024 гг. В качестве предикторов использованы климатические и дистанционные показатели, полученные из ERA5-Land и Open-Meteo, включая температуру поверхности земли (LST), температуру воздуха, количество осадков, влажность почвы, эвапотранспирацию и индекс NDVI. Пространственный анализ выполнен с использованием геоинформационных технологий. Для моделирования фитосанитарного риска применена гибридная архитектура сверточной и рекуррентной нейронных сетей CNN-LSTM. Эффективность модели оценивалась по показателям Accuracy, Precision, Recall, F1-score и площади под ROC-кривой (ROC-AUC).

Результаты. Гибридная модель CNN-LSTM обеспечила наилучшее качество классификации по сравнению с отдельными моделями CNN и LSTM: ROC-AUC составил 0,80 против 0,63 и 0,50 соответственно, при Accuracy 0,78. На основе интегрального показателя Risk Score территория Казахстана была районирована с выделением 11 агроклиматических зон, сгруппированных по трем уровням фитосанитарного риска. Наиболее высокий риск формирования очагов нестадных саранчовых установлен в аридных и полуаридных районах южной и западной частей страны (Risk Score 0,77–0,91), тогда как минимальные значения риска характерны для увлажненных и горных территорий северных и восточных регионов (Risk Score 0,18–0,38). Полученные карты риска позволяют дифференцировать территории по уровню фитосанитарной опасности, оптимизировать фитосанитарный мониторинг и планировать соответствующие защитные мероприятия.

Заключение. Интеграция климатических данных, материалов дистанционного зондирования Земли, геоинформационных технологий и методов глубокого обучения обеспечивает повышение точности пространственного прогнозирования вспышек нестадных саранчовых. Полученные результаты могут использоваться при создании цифровых систем поддержки принятия решений, совершенствовании фитосанитарного мониторинга и разработке адаптивных мер защиты сельскохозяйственных угодий в условиях изменения климата.

Ключевые слова: вредные нестадные саранчовые; фитосанитарный риск; агроклиматическое районирование; глубокое обучение; климатические данные; Казахстан.

УДК 551.586:633.1 **Исследовательская статья**

Выращивание чечевицы при атмосферных осадках 250-320 мм в год: система обработки почвы, плодородие почв, урожайность

Акшалов К.А.[1], **Баймуканова О.Н.**[1], **Жұмабек Б.**[1], **Бисетаев К.С.**[2], **Байшоланов С.С.**[3] **Пилипчук А.П.**[1]

[1] ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева», Акмолинская область, Шортандинский район, пос. Научный Казахстан
[2] ТОО «Научно-производственный центр «Eurasian Farm Innovations», Костанайская область, Лисаковск, Казахстан
[3]НАО «Национальная гидрогеологическая служба «Казгидрогеология», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Акшалов К.А.: kanatakshalov@mail.ru
Соавторы: (1: ОБ) olesya.baymukanova@mail.ru; (2: БЖ) zhumabiek.84@mail.ru; (3: КБ) bissetayev.ks@gmail.com (4: СБ) saken_baisholan@mail.ru; (5: АП) anny_astana@inbox.ru

Получено: 14.07.2026 **Принято:** 02.10.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Акшалов К.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. В связи с колебаниями рыночных цен на зерновую продукцию, введение культуры чечевицы в севооборот рассматривается как метод повышения плодородия почв и финансовой состоятельности сельхозтоваропроизводителей. Почвенно-климатические условия Северного Казахстана являются ограничивающим фактором стабилизации урожайности чечевицы. Цель – повышение устойчивой продуктивности культуры чечевицы в плодосменном севообороте на основе минимизации систем обработки почвы, улучшения водно-физических свойств почвы, сохранения плодородия почвы в условиях неустойчивой погоды.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2023–2025 гг. на южных карбонатных чернозёмах Акмолинской области в многолетнем стационарном полевом опыте ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (НПЦЗХ им. А.И. Бараева), координаты 51°12N и 71°02 E, заложенных в 1979 году. Водно-физические свойства почвы изучались при выращивании чечевицы по традиционной, минимальной системе обработки почвы и при прямом посеве в плодосменном севообороте: чечевица, яровая пшеница, яровая пшеница, лен, яровая пшеница. Анализируются основные элементы плодородия почв, влияющие на продуктивность чечевицы. Исследования включали оценку системы прямого посева, минимальной сокращённой и традиционной систем обработки почвы при выращивании культуры чечевицы в плодосменном севообороте.

Результаты. Система прямого посева и сокращённая система обработки почвы повышают урожайность чечевицы на 55,6–61,2% по сравнению с традиционной системой обработки почвы. Урожайность яровой пшеницы при посеве после чечевицы составила 3,11–3,33 т/га, после парового поля 3,26–3,44 т/га. Потенциал урожайности чечевицы достигает 1,80–1,91 т с 1 га.

Заключение. Получены новые научные данные водно-физических свойств почвы, состояния плодородия почв, продуктивности чечевицы для обоснования минимизации систем обработки почвы при выращивании чечевицы в плодосменном севообороте в засушливых условиях.

Ключевые слова: чечевица; система прямого посева; минимальная система обработки почвы; традиционная система обработки почвы; плодородие почвы; урожайность.

Введение

Сельскохозяйственное производство в Казахстане ведётся в исключительно рискованных климатических условиях, с годовой суммой атмосферных осадков в основных земледельческих регионах 200–350 мм, и в период вегетации сельскохозяйственных культур около 120–140 мм [1, 2, 3].

В Казахстане в связи с нестабильностью рынка яровой пшеницы и других зерновых культур, перспективным направлением является рынок зернобобовых культур, в частности, чечевицы [4]. В агроклиматической зоне Северного Казахстана с ограниченным количеством атмосферных осадков в 250–320 мм в год, вариация уровня урожайности чечевицы в основном связана с атмосферной засухой, особенно в течение вегетационного периода, количеством и временем выпадения атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Коэффициент корреляции составляет 0,89 [2]. Предварительные исследования 2021–2023 годов показали тесную корреляцию зависимости уровня продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур от климатических параметров [1, 3]. Улучшение водного баланса в системе «почва-растение», уменьшение испарения почвенной влаги, повышение рентабельности производимой продукции являются критическими и определяющими факторами устойчивого земледелия и стабилизации производства культуры чечевицы в засушливых условиях [5, 6, 7].

Устойчивая система земледелия предусматривает сокращение механических обработок почвы (прямой посев, минимальная система обработки почвы), постоянное покрытие почв мульчей и растительными остатками, агробиоразнообразие в севообороте [8, 9, 10, 11]. Традиционная система земледелия, основанная на применении севооборотов с приоритетным производством яровой пшеницы и паровыми полями не повышает конкурентоспособность фермеров на внутреннем и внешнем рынках, приводит к деградации и истощению плодородия почв [12]. Предварительные исследования показали, что управление растительными остатками на основе минимизации систем обработки почвы и выращивание растений с различной надземной и корневой биомассой положительно влияют на гидрологические и, в целом, на водно-физические свойства почв [6, 9, 11]. Минимальная и сокращённые обработки почвы, прямой посев способствуют смягчению неблагоприятного воздействия изменения климата [11]. В наших исследованиях снижение себестоимости производимой продукции является приоритетным направлением. Система прямого посева (No-Till) уменьшает энергетические затраты, время и горючее, снижает финансовые затраты на 1 га на 20% и увеличивают чистый доход на 28% (ФАО, 2022). Почво-ресурсосберегающее земледелие требует меньше интенсивных трудовых затрат, вносит вклад в снижение эмиссии углекислого газа через низкий энергетический вклад и улучшение эффективности использования питания, положительно влияет на водно-физические свойства почв, продуктивность и, в целом, на «здоровье» почв. Исследования в Канаде показали, что сохранение мульчи и растительных остатков на поверхности почвы улучшает водно-физические свойства почвы, инфильтрацию и водный баланс на 22,5–80% по сравнению с обработкой почвы без растительных остатков [13].

Материалы и методы

Теоретические, лабораторные и полевые эксперименты. Методы решения задач – изучение и анализ мирового опыта, состояние отечественного производства чечевицы, анализ научных данных на основе полевых, лабораторных исследований. Методика и схема закладки полевых опытов согласно методики Доспехова Б.А. [14]. Почва – южный карбонатный чернозём тяжёлого механического состава. Исследования проводятся на основе сравнительной оценки различных систем обработки почвы в плодосменном севообороте. Данные исследования проводились в 2023–2025 гг. на южных карбонатных чернозёмах Акмолинской области Республики Казахстан в многолетнем стационарном полевом опыте НПЦЗХ им. А.И. Бараева (координаты 51°12N и 71°02 E), заложенных в 1979 году. Водно-физические свойства почвы изучались при выращивании чечевицы по традиционной, минимальной (сокращённой) системе обработки почвы и при прямом посеве при выращивании чечевицы в плодосменном севообороте: чечевица, яровая пшеница, яровая пшеница, лен, яровая пшеница. Посев чечевицы проводится в севообороте после яровой пшеницы. При прямом посеве чечевица высевается по высокой стерне яровой пшеницы, которая способствует накоплению снежного покрова (разработка защищена патентом) [15]. Для прямого посева использовали сеялки с анкерными рабочими органами компании «Amazone».

Сравнительное изучение систем обработки почвы в севооборотах проводится с 2006 года. Севообороты развёрнуты во времени и в пространстве и изменения водно-физических свойств почвы, элементов плодородия почвы имеют закономерный характер. Для определения

динамики водного баланса почвенные образцы отбирались до глубины 100 см через каждые 10 см в динамике – в весенний, летний и осенний периоды для определения влажности почвы [15]. Агрегатный состав, плотность почвы определялись по общепринятой методике [14]. В течение периода вегетации во все фазы развития растений отбирались растительная биомасса: надземная и подземная растительная биомасса, растительные остатки с поверхности почвы [14, 16]. Биомасса растений отбиралась по основным фазам развития с площади 1 м^2 в 3-х повторностях по диагонали каждого рабочего участка в 30 точках, высушивались в лабораторных условиях в сушильном шкафу при температуре 70 °С в течение 48 часов до достижения постоянного веса. Объёмная масса почвы определялась в весенний и осенний периоды в слое почвы 0–7,5; 7,5–15; 15–22,5 и 22,5–30 см в 3-х повторностях при всех системах обработки почвы [14]. Анализ почвенных образцов проводился в специализированной аккредитованной лаборатории. Определение общего азота в почве проводится по методике Къельдаля. Определение питательных элементов NPK проводилось на автоматическом поточном анализаторе San++ (Scalar, Netherlands) по методам согласно ГОСТам: нитратный азот ГОСТ 26488-85, подвижный фосфор по методу Мачигина ГОСТ 26205-91 [17, 18].

В качество объекта исследования был выбран сорт чечевицы Шырайлы. Срок посева 15-17 мая, норма высева 136 кг/га, междурядье – 25 см. Одновременно с посевом вносили 10 кг/га фосфорных и 30 кг/га азотных удобрений по д.в. Предшественник – яровая мягкая пшеница. Площадь делянки 360 м^2 (длина – 60 м, шрина – 6 м).

Урожайность сельскохозяйственных культур определялась методом прямого комбайнирования. Зерно сельскохозяйственных культур доводилось до требуемой влажности и 100% чистоты [14]. Одновременно с уборкой урожая отбираются образцы зерна для определения качественных показателей семян в лабораторных условиях по диагонали рабочих участков.

Результаты

Для условий Северного Казахстана в последние годы характерными становятся обильные осадки во второй половине зимнего периода и во второй половине вегетации сельскохозяйственных культур, отличающиеся от многолетних. Анализ погодных условий в годы проведения исследований показывают тесную корреляцию уровня урожайности с погодными условиями периода вегетации сельскохозяйственных культур. Уровень урожайности, например, чечевицы в 2023 засушливом году в 2,5–2,8 раза ниже, чем в благоприятном по увлажнению 2024– 2025 годах. Наши результаты показывают, что смягчить отрицательное влияние погоды позволяет система обработки почвы. В чернозёмной зоне Акмолинской области (Щучинск, Зеренды, Балкашино и т. д.). в зимний и летний периоды осадков выпадает больше по сравнению с каштановыми почвами (Акколь, Коргалжын, Жаксы, Егиндыколь и т д.). Сумма активных температур воздуха имеет обратную зависимость. В зоне южных чернозёмов в районе проведения исследований погодные условия 2023–2025 годов резко отличались от многолетних данных. Анализ погодных условий 2023–2024 годов показывает, что годовая сумма осадков за 2023–2024 годы превышала многолетние показатели на 23,0%. Количество зимних осадков существенно не отличалось от среднемноголетних показателей. Превышение осадков произошло за счёт позднелетних осадков. Количество осадков за вегетационный период на 56,5% больше или в 1,5 раза по сравнению с многолетними данными. За 2024–2025 сельскохозяйственный год количество осадков превышало многолетние показатели незначительно – всего на 5,0%, но в ответственные периоды развития растений ГТК был очень благоприятным. Например, в фазу конец колошения-налив зерна пшеницы количество осадков превышало многолетние показатели в 2,7 раза или на 163,8%. Температурный режим также был благоприятным для прохождения физиологических процессов формирования колоса, налива зерна. Исследованиями установлено, что в плодосменном севообороте наибольшие весенние запасы почвенной влаги формируются после яровой пшеницы по стерневому фону на фоне высокой стерни по системе прямого посева и при минимальной системе обработки почвы (таблица 1).

Таблица 1. Динамика содержания почвенной влаги в зависимости от систем обработки почвы и предшественников (среднее за 2023–2025 гг.)

Система обработки почвы	Предшественник/ культура*	Содержание влаги в слое почвы, мм		
		0–30	0–50	0–100
1	2	3	4	5
Плодосменный севооборот				
Традиционная	яровая пшеница/ чечевица	40,4	61,3	79,7
Минимальная	яровая пшеница чечевица	44,2	75,8	90,0
Прямой посев / No-Till	яровая пшеница/ чечевица	44,5	87,0	111,5
Прямой посев / No-Till	чечевица / яровая пшеница	41,3	74,2	98,5
$НСР_{095}$				15,4

Примечание: * – в числителе предшественник; в знаменателе посев культуры в текущем году

Как видно из таблицы 1, при прямом посеве чечевицы почвенной влаги в слое почвы 0–100 см накапливается на 21,5–31,8 мм больше по сравнению с минимальной и традиционной системами обработки почвы. При этом, промачивается весь почвенный профиль. Низкие запасы почвенной влаги при традиционной системе обработки почвы объясняются низкой высотой наземной биомассы растений.

Наибольшее количество мезоагрегатов ≥ 0,25 мм содержится при ненарушенном строении пахотного слоя почвы (таблица 2).

Таблица 2. Влияние систем обработки почвы на структурный состав верхнего 0–5 см слоя почвы (перед посевом)

Система обработки почвы	Поле севооборота	Содержание агрегатов почвы, кг/кг	
		мезоагрегатов (≥ 0,25 мм)	микроагрегатов (≤ 0,25 мм)
Традиционная	Чечевица	0,27	0,42
	Яровая пшеница	0,32	0,34
Минимальная	Чечевица	0,41	0,31
	Яровая пшеница	0,42	0,30
Прямой посев (No-Till)	Чечевица	0,57	0,31
	Яровая пшеница	0,61	0,23

Количество водопрочных агрегатов больше при системе прямого посева по сравнению с минимальной и традиционной системами обработки почвы (таблица 2).

Отсутствие механической обработки почвы при системе прямого посева не приводит к переуплотнению пахотного слоя почвы (таблица 3).

Таблица 3. Плотность пахотного слоя почвы в зависимости от систем обработки, г/см^3

Система обработки почвы	В слое почвы, см	Поле севооборота		
		После пшеницы	После чечевицы	Паровое поле
Традиционная	0–7,5	1,07	1,04	0,93
	7,5–15,0	1,12	1,10	1,01
	15,0–22,5	1,21	1,17	1,12
	22,5–30,0	1,24	1,20	1,19

Продолжение таблицы 3

Минимальная	0–7,5	1,11	1,02	0,95
	7,5–15,0	1,15	1,13	1,09
	15,0–22,5	1,20	1,23	1,17
	22,5–30,0	1,22	1,25	1,23
Прямой посев	0–7,5	1,02	1,01	0,97
	7,5–15,0	1,18	1,17	1,19
	15,0–22,5	1,22	1,23	1,21
		1,26	1,27	1,24

При системе прямого посева плотность пахотного слоя почвы несколько выше по сравнению с традиционной и минимальной системами обработки почвы, но находится в пределах оптимально-равновесной. Многолетнее использование в севообороте сельскохозяйственных культур с различной биологией развития, различной корневой и надземной биомассой позволяет поддерживать плотность почвы в пределах оптимального сложения (таблица 3).

Из литературных источников известно, что плотность почвы существенно меняется в первые годы посева по системе прямого посева [19, 20].

Как видно из таблицы 3, плотность почвы в слое почвы 0–7,5 см при традиционной системе после посева пшеницы составляла 1,07 г/см^3 и при прямом посеве плотность почвы не увеличивалась. Это показывает на положительный эффект порозности почвы, характера корневой системы предшествующих сельскохозяйственных культур, агрегатного состава, наличием растительных остатков на поверхности почвы.

Одним из преимуществ минимизации систем обработки почвы является накопление мульчи, растительных остатков в надземном и подземном слое почвы. Посевы чечевицы по количеству биомассы уступают посевам яровой пшеницы (таблица 4).

Таблица 4. Количество растительных остатков по различным агрофонам в зависимости от систем обработки почвы, г/м^2 *

Поле севооборота	Традиционная система			Прямой посев		
	На поверхности почвы	В слое почвы 0-10 см	Суммарное количество растительной биомассы	На поверхности почвы	В слое почвы 0-10 см	Суммарное количество растительной биомассы
Паровое поле	55,0	185,5	240,5	210,5	410,3	620,8
Яровая пшеница после парового поля (контроль)	475,4	490,5	965,9	931,7	310,1	1241,8
Чечевица	398,5	438,2	836,7	981,7	267,0	1248,7
Пшеница после чечевицы	481,8	563,5	1045,3	948,1	447,3	1395,4

Примечание: * – Биомасса накапливалась в течение 4-х ротаций 5-ти польного зернопарового севооборота с паровым полем и плодосменного севооборота.

При посеве чечевицы вместо парового поля количество растительной биомассы выше в плодосменном севообороте по сравнению с зернопаровым севооборотом (таблица 4). Суммарное количество растительных остатков (надземной и почвенной) после посева яровой пшеницы после парового поля составило в среднем 1241,8 г/м^2 в зернопаровом севообороте и 1248,7–1395,4 г/м^2 в плодосменном севообороте при прямом посеве (таблица 4).

При прямом посеве чечевица способствует накоплению нитратного азота. Содержание нитратного азота составила перед посевом пшеницы после чечевицы 23,1 мг/кг почвы, после зерновых культур – 13,5–14,5 и после льна - 14,2 мг/кг почвы. При традиционной системе

обработки почвы уровень содержания нитратного азота составляет 12,1; 7,5 и 4,9 мг/кг почвы соответственно. Это связано с азотфиксирующей способностью чечевицы.

Исследования показали, что при плодосменной системе земледелия на основе почво-ресурсосберегающих систем обработки почвы и посева, выращивание бобовых и масличных культур, в частности, чечевицы повышается плодородие почвы: за счёт улучшения гумусового слоя почвы увеличивается корнеобитаемый слой почвы, накапливается достаточное количество почвенной влаги и улучшаются водоудерживающая способность почвы. Содержание почвенного углерода повышается с 23,4 кг/т почвы в зернопаровом севообороте до 41,1 кг/т почвы в плодосменном севообороте. В паровом поле содержание почвенного углерода снижается до 10,1 кг/т почвы.

Результаты исследований подтверждают гипотезу эффективности минимизации систем обработки почвы и прямого посева. В полузасушливых погодных условиях уровень урожайности чечевицы при минимизации систем обработки почвы в благоприятные по увлажнению годы достигает 1,61 т с 1 га (таблица 5).

Таблица 5. Урожайность чечевицы в зависимости от систем обработки почвы, т/га в 2023–2025 гг.

Поле севооборота/ предшественник	Система обработки почвы	2023	2024	2025	Средняя урожайность, (2023–2025 гг.).	Разница по сравнению с контролем	
						т/га	%
Зернопаровой севооборот: яровая пшеница после парового поля	Традиционная (контроль)	1,16	0,78	0,98	0,97	-	
	Минимальная	1,74	1,00	1,72	1,49	0,52	53,6
	Прямой посев	1,78	0,91	1,78	1,49	0,52	53,6
Плодосменный севооборот яровая пшеница	Традиционная (контроль)	1,56	0,70	0,76	1,01	-	
	Минимальная	1,78	1,06	1,61	1,48	0,47	46,5
	Прямой посев	1,71	0,92	1,74	1,46	0,45	44,6
Плодосменный севооборот: яровая пшеница после гороха	Традиционная (контроль)	1,34	0,74	0,96	1,01	-	
	Минимальная	1,64	1,93	1,95	1,84	0,66	65,3
	Прямой посев	1,87	1,89	1,89	1,87	0,86	85,2
$НСР_{095}$		0,14	0,13	0,79	0,45	0,45	

Примечание: * – Контроль (традиционная система обработки почвы является контролем на всех полях севооборота).

Годы исследований характеризовались как засушливые, так и увлажнённые. В плодосменном севообороте наибольшая урожайность чечевицы формируется при прямом при минимизации системы обработки почвы. Продуктивность чечевицы при прямом посеве и минимальной обработке почвы существенно не различаются. Наибольшая урожайность чечевицы формируется в плодосменном севообороте с культурой гороха в севообороте и составила при минимальной системе обработки почвы и прямом посеве 1,84 и 1,87 т/га и соответственно.

Получены положительные результаты внедрения систем обработки почвы в условиях сельскохозяйственного производства на уровне фермерских хозяйств. Адаптация системы минимизации обработки почвы в условиях ТОО «Научно-производственный центр «Eurasian Farm Innovations» в Костанайской области площадь чечевицы увеличилась до 12,4% в структуре пашни. Урожайность повысилась до 1,35 т/га, снизилась себестоимость единицы продукции на 12%, повысилась рентабельность производства на 35%.

Обсуждение

Получены положительные результаты внедрения систем обработки почвы в условиях сельскохозяйственного производства на уровне фермерских хозяйств. Адаптация системы минимизации обработки почвы в условиях ТОО «Научно-производственный центр «Eurasian Farm Innovations» в Костанайской области привела к увеличению площади чечевицы до 12,4% в структуре пашни. Урожайность повысилась до 1,35 т/га, снизилась себестоимость единицы продукции, повысилась рентабельность.

В результате исследований получены новые экспериментально подтверждённые исходные данные по научному обоснованию сокращения механической обработки почвы, почво-, ресурсосберегающих систем обработки почвы в плодосменном севообороте по сравнению с традиционной системой обработки почвы. Полученные результаты подтверждают эффективность минимизации систем обработки почвы в засушливых условиях: улучшаются водный режим почв, водно-физические свойства почвы, плодородие, уменьшается вариация урожайности чечевицы. Исследования учитывали мировые практики засушливого земледелия в области систем обработки почв, плодородия почв и погодных изменений, тенденции изменения климата [19, 20, 21, 22]. Как показали исследования, преимущество систем минимизации обработки почвы в эффективном использовании почвенной влаги, влаги атмосферных осадков на создание единицы урожая чечевицы в течение вегетационного периода. При системе прямого посева накапливается больше почвенной влаги на 21,5–31,8 мм благодаря формированию высокой стерни в период уборки яровой пшеницы по сравнению с минимальной и традиционной системами обработками почвы. Это повышает водопотребление растениями, реализацию продукционного потенциала чечевицы, повышение урожайности в условиях изменяющегося климата. Полученная закономерность согласуется с результатом аналогичных исследований, проведенных в других почвенно-климатичесих условиях, где применение системы no-till способствовало сохранению более благоприятного водного режима почвы за счет сохранения растительных остатков на поверхности [23, 24]. Наличие водопрочных агрегатов более 0,25 мм при системе прямого посева способствует лучшему впитыванию атмосферных осадков, особенно весенних талых вод. Полученные результаты согласуются с данными Жапаева Р. и др. (2024), которые в условиях юго-востока Казахстана установили более высокое содержание водопрочных агрегатов при нулевой обработке почвы по сравнению с традиционной обработкой [25]. Это подтверждает положительное влияние минимизации механического воздействия на сохранение структурно-агрегатного состаяния и водно-физических свойств почвы. При традиционной системе с механической обработкой почвы образуется больше микроагрегатов, влияющих на плотность почвы, податливость эрозионным процессам, впитывание весенних талых вод и эмиссию углекислого газа. Количество водопрочных агрегатов на поверхности почвы по традиционной системе несколько меньше по сравнению с яровой пшеницей. При прямом посеве и минимальной системе обработки почвы растения чечевицы развивают хорошую надземную и подземную биомассу, которая способствует формированию водопрочных агрегатов (таблица 2).

Обзор мирового опыта показывает, что в засушливых районах Канады, США, России потери углерода почвы главным образом относят за счёт обработки почвы и механической подготовки парового поля [11, 13, 26]. Главным образом, механический пар сокращает вложения углерода в почву в виде растительной биомассы в сравнении с естественной и культурной растительностью, усиливает минерализацию органического вещества почвы. Наши исследования показали, что минимизация систем обработки почвы при выращивании чечевицы в плодосменном севообороте повышает содержание почвенного углерода на 76,0%. Минимизация систем обработки почвы улучшает проективное покрытие поверхности почвы. Количество растительной биомассы при прямом посеве выше на 54,0% в зернопаровом севообороте и на 2,7% в плодосменном севообороте. Аналогичне результаты получены в исследованиях Соловьева и др. (2026). Применение ресурсосберегающей системы обработки почвы способствовало повышению общего содержания гумуса в почвах, и увеличению содержания гуминовых и фульвокислот, а также углерода органического вещества почвы [24]. Наличие достаточного количества мульчи и растительных остатков на поверхности почвы способствует защите почв от эрозии, уменьшает испарение почвенной влаги.

При традиционной системе обработки почвы в результате минерализации органического вещества почвы образуется больше нитратного азота по сравнению с сокращённой обработкой почвы и системой прямого посева, что приводит к деградации почвенного углерода. В благоприятном по увлажнению в условиях 2024 года наблюдалась тенденция образования клубеньковых бактерий на корневых системах чечевицы. при прямом посеве и минимальной системе обработки почвы. Но это не закономерность. В засушливые годы образования клубеньковых бактерий не происходит.

В зернопаровых севооборотах с паровым полем в почву не поступают органические субстраты (нет питательной среды). В отсутствии питательной среды микроорганизмы используют почвенный гумус для утилизации в источник энергии. Земледелие при традиционной системе при ограниченной биомассе растений и высокой испаряемости ведёт к почвенной деградации. Аналогичную закономерность приводят учёные Канады [27].

Доказано положительное влияние культуры чечевицы на урожайность яровой пшеницы, высеваемой после чечевицы, особенно в благоприятные по увлажнению годы для чечевицы. Средняя урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте после парового поля составила 3,26 и 3,44 т/га при минимальной системе обработки почвы и прямом посеве соответственно. В плодосменном севообороте урожайность яровой пшеницы после культуры чечевицы составила 3,33 т/га при прямом посеве и в зернопаровом севообороте 3,44 т/га. Различия в урожайности яровой пшеницы после парового поля и чечевицы не существенны. Это фундаментальные выводы, показывающие преимущества плодосменной системы земледелия в засушливых условиях с количеством осадков 250–320 мм в год. В исследовнаиях Jian ling Fan и др. (2026). в плодосменном севообороте при системе прямого посева обеспечивается эффективное использование азота удобрений, повышается урожайность сельскохозяйственных культур и формируется высокое качество получаемой продукции [28].

Заключение

Проведённые исследования позволяют сделать ряд заключений, важных как с теоретической точки зрения, так и с точки зрения практики хозяйствования на земле. Результаты эффективности и рентабельности систем обработки почвы в плодосменных севооборотах являются дискуссионными среди учёных и практиков. Изучаемые системы отвечают современным требованиям рынка, сохранения плодородия почв и являются альтернативой влиянию изменения климата на сельскохозяйственное производство.

Сохранение стерневого покрова при минимальной системе обработки почвы и прямом посеве обеспечивают наибольшие запасы весенней почвенной влаги после яровой пшеницы перед посевом чечевицы в метровом слое почвы до 90,0–111,5 мм по сравнению с традиционной системой обработки почвы (79,7 мм). Уменьшение запасов почвенной влаги после посевов чечевицы связаны с низкой высотой наземной биомассы растений. Имеет значение промачивание метрового профиля почвы для сохранения увлажнённого почвенного профиля.

Минимизация обработки почвы обеспечивает наибольшее количество водопрочных агрегатов ≥ 0,25 мм – 0,53–0,61 кг/кг. Наличие водопрочных агрегатов более 0,25 мм способствует лучшему впитыванию атмосферных осадков, особенно весенних талых вод.

Сокращение механической обработки почвы не приводит к уплотнению пахотного слоя почвы. Это показывает на положительный эффект порозности почвы, характера корневой системы предшествующих культур, агрегатного состава, наличием растительных остатков на поверхности почвы.

Минимизация систем обработки почвы улучшает проективное покрытие поверхности почвы. Количество растительных остатков (надземной и почвенной) при прямом посеве на 34,0% больше по сравнению с традиционной системой обработки почвы. Наличие достаточного количества мульчи и растительных остатков на поверхности почвы способствует защите почв от эрозии, уменьшает испарение почвенной влаги.

В зернопаровых севооборотах происходит истощение почвенного потенциала. При паровании в почву не поступают органические субстраты (нет питательной среды). Земледелие при традиционной системе при ограниченной биомассе растений и высокой испаряемости ведёт к почвенной деградации.

Урожайность чечевицы стабилизируется на уровне 1,4–1,5 т/га. Чечевица как предшественник оказывает положительное влияние на урожайность яровой пшеницы, особенно в благоприятные по увлажнению годы.

Полученные результаты являются основой для эффективного и продуктивного использования природного и климатического потенциала, сохранения плодородия и контроля эрозии почв, повышения продуктивности агроэкосистем, повышения устойчивости производства чечевицы в связи с изменениями климата.

Результаты исследований отвечают мировым тенденциям исследований, проводимых в аналогичных по почвенно-климатическим условиям России, Канады, США.

Вклад авторов

КА: разработка гипотезы и практической части реализации научных исследований. ОБ: проведение научных исследований, анализ водных свойств почвы в зависимости от систем обработки почвы. БЖ: проведение научных исследований, анализ водно-физиченских свойств почвы в зависимости от систем обработки почвы. КБ: анализ полученных результатов научных исследований, проведение научно-производственных исследований, практическая реализация результатов научных исследжований в условиях Научно-производственного центра «Eurasian Farm Innovations», Республика Казахстан. СБ: анализ и обоснование климатических и погодных данных. ПА: проведение научных исследований, анлиз производственных данных, оформление статьи.

Информация о финансировании

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства РК научно-технической программы BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана».

Список литературы

1 Akshalov, K.A., Baisholanov, S.S., Baymukanova, O.N., Auezkhanov, D.A., Kuzhinov, M.B. (2022). Analiz agrometeorologicheskikh uslovii vegetatsionnogo perioda 2020 i 2021 godov v Severnom Kazakhstane: osobennosti i mery adaptatsii k izmeneniiu klimata [Analysis of agrometeorological conditions of thegrowing season 2020 and 2021 in Northern Kazakhstan: features and measures of adaptation to climatechange]. *Vestnik Nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina*, 3(114), 161–176.

2 Baisholanov, S.S., Pavlova, V.N., Zhakieva, A.R., Chernov, D.A., Gabbasova, M.S. (2018). Agroklimaticheskie resursy Severnogo Kazakhstana [Agroclimatic resources of the North Kazakhstan]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniia i prognozy*, 1(367), 168–184.

3 Akshalov, K., Baishelanov, S., Aueskhanov, D., Baimukanova, O. (2022). Analiz agrometeorologicheskikh uslovii vegetatsionnogo perioda i urozhainost yarovoi pshenitsy v usloviyakh Akmolinskoi oblasti Respubliki Kazakhstan [Analysis of agrometeorological conditions growing season and yield spring wheat in akmola region Republic of Kazakhstan]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*, 605, 41–57.

4 Bûro natsional'noy statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. (2024). *Sel'skoe, lesnoe i rybnoe khozyaystvo v Respublike Kazakhstan* [*Agriculture, Forestry and Fisheries in the Republic of Kazakhstan*]. Astana. https://stat.gov.kz/ru/publication/collections/?name=17199&period=&year=

5 Haselow, L., Rupp, H., Meißner, R., Akshalov, K. (2020). Forschungsarbeiten zum Bodenwasserhaushalt in der kasachischen Steppe. Research study on the soil water balance in the steppe of Kazakhstan. *WasserWirtschaft*, 110(4), 34–40. DOI:10.1007/s35147-020-0366-2.

6 Iijima, Y., Kawaragi, T., Ito, T., Akshalov, K., Tsunekawa, A., Shinoda, M. (2008). Response of plant growth to surface water balance during a summer dry period in the Kazakhstan steppe. *Hydrological Processes*, 22(16), 2974–2981.

7 Turebayeva, S., Zhapparova, A., Kekilbayeva, G., Kenzhegulova, S., Aisakulova, K., Yesseyeva, G., Bissembayev, A., Sikiric, B., Sydyk, D., Saljnikov, E. (2022). Development of Sustainable production of rainfed winter wheat with No-Till technologies in Southern Kazakhstan. *Agronomy*, 12(4), 950. DOI:10.3390/agronomy12040950.

8 FAO. (2022). *Comprehensive analysis of the disaster risk reduction system for the agricultural sector in Kazakhstan.* https://www.fao.org/3/cb8757en/cb8757en.pdf.

9 González-Sánchez, E.J., Kassam, A., Basch, G., Streit, B., Holgado-Cabrera, A., Triviño-Tarradas, P. (2016). Conservation Agriculture and its contribution to the achievement of agrienvironmental and economic challenges in Europe. *AIMS Agriculture and Food*, 1(4), 387–408. DOI:10.3934/ agrfood.2016.4.387.

10 Mueller, L., Suleimenov, M., Karimov, A., Qadir, M., Saparov, A., Balgabayev, N., Helming, K., Lischeid, G. (2014). *Land and Water Resources of Central Asia, Their Utilisation and Ecological Status.* Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia. Environmental Science. London: 3–60.

11 Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2018). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1). DOI: 10.1080/00207233.2018.1494927.

12 Suleimenov M., Akshalov K. (2007). *Climate change and Terrestrial carbon sequestration in Central Asia. In: Balkema-Proceedings and Monographs in Engineering.* Water and Earth Science. London, Lieben, New-York, Philadelphia: 267–277.

13 Maillard, É., McConkey, B.G., St. Luce, M., Angers, D.A., Fan, J. (2018). Crop rotation, tillage system, and precipitation regime effects on soil carbon stocks over 1 to 30 years in Saskatchewan, Canada. *Soil Tillage Res*., 177, 97–104. DOI:10.1016/j.still.2017.12.001.

14 Dospekhov, B.A., Vasiliev, I.P., Tulikov, A.M. (1977). *Praktikum po zemledeliiu* [*Practical training on agriculture*]. Moskva: Kolos, 367.

15 Sposob vyrashchivaniya kul'tury chechevitsy [Method of growing lentil crops]. (2024). Patent na izobretenie № 37106. Akshalov K.A., Sagimbaev M.T., Baymukanova O.N., Suleimenov M.K.; zayavitel' i patentoobladatel' TOO «Nauchno-proizvodstvennyi centr zernovogo hozyaistva im. A.I. Baraeva» zayavl. 02.10.2023; opubl. 27.12.2024.

16 Schipanski, M.E., Barbercheck, M., Douglas, M.R., Finney, D.M., Haider, K., Kaye, J.P. et al. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12–22. DOI: 10.1016/j.agsy.2013.11.004.

17 Gosudarstvennyi standart GOST 26488-85 - Pochvy. Opredelenie nitratov po metodu CINAO [Soils Determination of nitrates by CINAO method]. (1985).

18 Gosudarstvennyi standart GOST26205-91 - Pochvy. Opredelenie podvizhnyh soedinenii fosfora i kaliya po metodu Machigina v modifikacii CINAO [Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAO]. (1993). Moskva.

19 Logsdon, S.D., Cambardella, C.A. (2000), Temporal Changes in Small Depth-Incremental Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 64, 710–714. DOI: 10.2136/sssaj2000.642710x.

20 Schjønning, P., Rasmussen, K.J. (2000). Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. *Soil and Tillage Research*, 57(1–2), 69–82. DOI: 10.1016/S0167-1987(00)00149-5.

21 Kienzler, K.M., Lamers, J.P.A., McDonald, A., Mirzabaev, A., Ibragimov, N., Egamberdiev, O., Ruzibaev, E., Akramkhanov, A. (2012). Conservation agriculture in Central Asia What do we know and where do we go from here? *Fild Crops Research*, 132, 95–105. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.12.008.

22 Du, Ch., Li, L., Effah, Z. (2022). Effects of Straw Mulching and Reduced Tillage on Crop Production and Environment: A Review. *Journal Water*, 14(16), 2471. DOI: 10.3390/w14162471.

23 Turebayeva, S., Zhapparova, A., Kekilbayeva, G., Kenzhegulova, S., Aisakulova, K., Yesseyeva, G., Bissembayev, A., Sikiric, B., Sydyk, D., Saljnikov, E. (2022). Development of sustainable production of rainfed winter wheat with no-till technologies in Southern Kazakhstan. *Agronomy*, 12(4), 950. DOI: 10.3390/agronomy12040950.

24 Solovyov, O.Yu., Zaika, V.V., Savinkina, L.I. (2026). Vliyanie razlichnyh tehnologii obrabotki pochvy na balans organicheskogo veshhestva i bioenergeticheskuyu effektivnost' vozdelyvaniya kul'tur v plodosmennom sevooborote [The influence of different soil cultivation technologies on the balance of organic matter and bioenergetic efficiency of crop cultivation in crop rotation]. *Evraziiskii agrotehnicheskii zhurnal*, 2(130), 130–140. DOI: DOI:10.51452/eaj.2026.2(130).2214.

25 Kunypiyaeva, G.T,. Zhapayev, R.K., Bastaubayeva, Sh.O., Ospanbaev, Zh., Maybasov, A.S., Zhusupbekov, E.K. (2024). Strukturno-agregatnyi sostav i vodoprochnost' pochvy v zavisimosti ot sposobov obrabotki pochvy v usloviyah jugo-vostoka Kazahstana [Structural and aggregate composition and water permeability of soils depending on the methods of tillage in the south-east of Kazakhstan]. *Izdenister, nátıjeler*, 2-1, 284–294.

26 Lemke, R.L., Vanden Bygart, A.J., Campbell, C.A., Lafond, G.H., McConky, B.G., Grant, B. (2012). Long term effects of crop rotations and fertilization on soil carbon in a think Black Chernozem in southeastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Scienc*, 92(3), 449–461. DOI:10.4141/cjss2010-047.

27 Timlick, J. (2023). Best regional crop rotations are being sought in Canada. *Grainews.* https://www.grainews.ca/features/a-new-approach-provides-evidence-to-support-the-benefits-of-diversified-rotations

28 Fan, J.l., McConkey, B.G., Luce, M.St., Brandt, K. (2020). Rotational benefit of pulse crop with no-till increase over time in a semiarid climate. *European Journal of Agronomy*, 121, 1161–0301. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126155.

Жылдық атмосфералық жауын-шашын мөлшері 250-320 мм болған кезде жасымық дақылын өсіру: топырақ өңдеу жүйесі, топырақ құнарлығы, өнімділік

Акшалов К.А.[1], Баймуканова О.Н.[1], Жұмабек Б.[1], Бисетаев К.С.[2], Байшоланов С.С.[3]
Пилипчук А.П.[1]

[1]«А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС
Ақмола облысы, Шортанды ауданы, Научный кенті, Қазақстан
[2]«Eurasian Farm Innovations» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Қостанай облысы, Лисаковск қаласы, Қазақстан
[3]«Қазгидрогеология» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Астық өнімдеріне нарықтық бағаның құбылмалы болуына байланысты жасымық дақылын ауыспалы егіске енгізу топырақ құнарлылығын арттырудың және ауыл шаруашылығы товар өндірушілерінің қаржылық тұрақтылығын күшейтудің бір тәсілі ретінде қарастырылады. Солтүстік Қазақстанның топырақ-климаттық жағдайлары жасымық өнімділігін тұрақтандыруда шектеуші фактор болып табылады. Жұмыстың мақсаты – тұрақсыз ауа-райы жағдайында топырақты өңдеу жүйелерін минимизациялау, топырақтың су-физикалық қасиеттерін жақсарту және оның құнарлылығын сақтау негізінде ауыспалы егісте жасымықтың тұрақты өнімділігін арттыру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2023–2025 жылдары Ақмола облысының карбонатты оңтүстік қара топырақтарында, А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығының (Шортанды, координаттары 51°12N және 71°02 E) көп жылдық (1979 жылы негізі қаланған) стационарлық далалық тәжірибесінде жүргізілді. Топырақтың су-физикалық қасиеттері жасымық дақылын дәстүрлі, минималды өңдеу және тікелей себу жүйелері бойынша мынадай ауыспалы егісте зерттелді: жасымық, жаздық бидай, жаздық бидай, зығыр, жаздық бидай. Жасымық өнімділігіне әсер ететін топырақ құнарлылығының негізгі элементтері талданды. Зерттеулер ауыспалы егісте жасымық дақылын өсіру кезінде тікелей себу, минималды және дәстүрлі топырақ өңдеу жүйелерін бағалауды қамтыды.

Нәтижелер. Топырақты механикалық өңдеуді қысқарту мен тікелей себуге негізделген өңдеу жүйелерін минимизациялау 1 га шаққандағы қаржылық шығындарды азайтады, топырақтың тығыздығы мен ылғалдылығына теріс әсер етпейді. Егістіктің арамшөптермен ластануы артпайды. Тікелей себу және қысқартылған өңдеу жүйелері дәстүрлі өңдеу жүйесімен салыстырғанда жасымық өнімділігін 55,6–61,2% арттырады. Жасымықтан кейін егілген жаздық бидайдың өнімділігі 3,11–3,33 т/га, ал сүрі жерден кейін 3,26–3,44 т/га болды. Жасымықтың өнімділік әлеуеті 1 га 1,80–1,91 т дейін жетеді.

Қорытынды. Қуаңшылық жағдайында ауыспалы егісте жасымық өсіру үшін топырақты өңдеу жүйелерін минимизациялауды негіздеуге арналған топырақтың су-физикалық қасиеттері, оның құнарлылық жағдайы және жасымық өнімділігі бойынша жаңа ғылыми деректер алынды.

Кілт сөздер: жасымық; тікелей себу жүйесі; минималды топырақ өңдеу жүйесі; дәстүрлі топырақ өңдеу жүйесі; топырақ құнарлылығы; өнімділік.

Cultivating lentils with precipitation of 250-320 mm peryear: soil tillage system, soil fertility, productivity

Kanat A. Akshalov[1], Olesya N. Baimukanova[1], Bakytbek Zhumabek[1], Kayrat S. Bisetaev[2]
Saken S. Baisholanov[3], Anna P. Pilipchuk[1]

[1]LLP "A.I. Baraev Scientific and Production Center of Grain Farming" Nauchny settlement, Shortandy District, Akmola Region, Kazakhstan
[2]LLP "Scientific and Production Center "Eurasian Farm Innovations", Lisakovsk, Kostanay Region, Kazakhstan
[3]NJSC "National Hydrogeological Service "Kazhydrogeology", Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Given fluctuations in grain market prices, the introduction of lentils into crop rotation is considered a means of improving soil fertility and the economic sustainability of agricultural producers. The soil and climatic conditions of Northern Kazakhstan are a limiting factor for stabilizing lentil yields. The objective is to increase the sustainable productivity of lentils in a crop-rotation system by minimizing tillage systems, improving soil water-physical properties, and preserving soil fertility under unstable weather conditions.

Materials and Methods. The studies were conducted in 2023–2025 on southern carbonate chernozems of the Akmolinskaya oblast in a long-term stationary field experiment of the A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming (Shortandy; coordinates 51°12'N, 71°02'E), established in 1979. Soil water-physical properties were studied during lentil cultivation under conventional, minimum and no-till systems within a soil- cover crop rotation: lentils, spring wheat, spring wheat, flax, spring wheat. The main soil fertility parameters affecting lentil productivity were analyzed. The research included evaluation of no-till, minimum (reduced), and conventional tillage systems for lentil cultivation in a soil-cover crop rotation.

Results. Minimization of tillage systems based on reduced mechanical soil tillage and no-till decreases financial costs per hectare without negatively affecting soil density and moisture. Weed infestation did not increase. No-till and reduced tillage systems increase lentil yield by 55.6–61.2% compared to conventional tillage. The yield of spring wheat sown after lentils was 3.11–3.33 t/ha, compared to 3.26–3.44 t/ha after fallow. The yield potential of lentils reaches 1.80–1.91 t/ha.

Conclusion. New scientific data on soil water-physical properties, soil fertility status, and lentil productivity were obtained to substantiate the minimization of tillage systems for lentil cultivation in a soil-cover crop rotation under arid conditions.

Keywords: lentils; direct seeding system; minimum tillage system; traditional tillage system; soil fertility; yield.

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Еуразиялық агротехникалық журналы

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН НҰСҚАУЛЫҚ

ЖАЛПЫ ЕРЕЖЕЛЕР

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналы рецензияланған түпнұсқа мақалалар мен тақырыптық шолуларды келесі бағыттар бойынша жариялайды:

- Ауыл шаруашылығы ғылымдары;
- Биология ғылымдары;
- Техника ғылымдары;
- Гуманитария ғылымдары;
- Экономика ғылымдары.

Журнал Ғылыми қызметтің нәтижелерін жариялау үшін ұсынылатын басылымдар тізбесіне ауыл шаруашылығы ғылымдары бойынша екінші деңгейлі ғылыми басылым болып енгізілген.

Басылым тілі – қазақ, орыс, ағылшын тілі.

Мақалаларды жариялау ақылы негізде жүзеге асырылады. Төлем бірінші (корреспондент) автордың жұмыс орны бойынша есептеледі.

Қолжазбаны тапсыру Open Journal System онлайн платформасы арқылы жүзеге асырылады.

Қолжазбаны жібермес бұрын http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register сілтемесі арқылы автор ретінде тіркеліп, қолжазбаны жүктеп салу қажет.

Авторды тіркеуге арналған бейне-нұсқаулық қосымшада берілген https://www.youtube.com/watch?v=UeZlKY4bozg.

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналы екі рет беймәлім (жасырын) рецензияны пайдаланады, яғни рецензия беруші мен автордың жеке басы барлық рецензиялау процесінің кезеңдері аяқталғанға дейін әшкерленбейтін болады. Рецензенттерге жіберер алдында қолжазбалар журнал талаптарына сәйкестігін тексеру үшін редакцияның алдын ала тексеруінен өтеді.

Қолжазбалар плагиатқа қарсы Антиплагиат лицензиялық жүйесінде тексеріледі және мәтіннің 70%-дан кем емес түпнұсқалығымен қабылданады. Әрі қарай зерттеудің жаңалығы, зерттеу нәтижелерінің жаңғыртылатындығы, нәтижелердің түпнұсқалығы, қолжазбаның құрылымы мен форматына сәйкестігі, қорытындылардың маңыздылығы сияқты критерийлер тексеріледі.

Көрсетілген критерийлерге сәйкес келмейтін қолжазбалар бұл кезеңде қараусыз қабылданбайды.

АВТОРЛАРДЫҢ ЖАУАПКЕРШІЛІГІ

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналына қолжазбаны ұсыну арқылы автор(лар) қолжазбаның түпнұсқа жұмыс екеніне және оның бұрын жарияланбағанына немесе қазіргі уақытта басқа журналдарда жариялау қарастырылмағанына кепілдік береді. Сондай-ақ авторлар басқалардың идеялары мен сөздерінің тиісті атрибуция және/немесе тиісті дәйексөз арқылы дұрыс мойындалуын қамтамасыз етеді. Нәтижелерді бұрмалауға және қолжазбаны қабылдамауға немесе жарияланған мақаланы қайтарып алуға әкелетін қасақана дәйексіз мәлімдемелерге жол берілмейді.

Авторлардың аты-жөні қолжазбада мақалаға қосқан үлестерінің ретімен көрсетілуі керек. Тек қолжазбаны зерттеуге және дайындауға елеулі үлес қосқан тұлғалар авторлар қатарына қосылуы керек. Мақаланың соңындағы «Алғыс» бөлімінде жұмысты аяқтауға көмектескендерге, сондай-ақ зерттеуді қаржыландырған ұйымдарға алғыс айтылады.

Тиісті автор барлық бірлескен авторлардың мақаланың соңғы нұсқасын оқып, мақұлдағанын және оны жариялауға келісімін беруі керек. Қолжазбаның барлық авторлары жіберілген ақпарат үшін жауапты. Журнал алдын ала қабылданғаннан кейін авторлық өзгерістер енгізуге жол бермейді.

РЕЦЕНЗЕНТТЕРДІҢ ЖАУАПКЕРШІЛІГІ

Рецензенттер келесі сілтеме арқылы журналдың веб-сайтында рецензент ретінде тіркелуі керек:

http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register.

Рецензия екі апта ішінде тапсырылуы керек. Қолжазбада сипатталған идеялар мен гипотезалар құпия сақталуы керек және жеке мақсаттарда пайдаланылмауы қажет.

Жұмыстың нәтижелерін басқа әріптестермен талқылауға немесе ғылыми семинарларды өткізуде, дәрістер оқығанда немесе ғылыми конференцияларда баяндамалар жасағанда пайдалануға болмайды.

Рецензенттер өз пікірлерін анық білдіріп, өз пікірлерін түсіндіре отырып, негіздеп, қолжазбаны бағалауда мүмкіндігінше әділетті болуы талап етіледі. Рецензенттің жұмысты жақсарту бойынша ұсыныстары мен кеңестері, егер ол жариялаудан бас тарту туралы шешім қабылдаса да құпталады.

Рецензенттер жұмыстың жаңалығына және/немесе өзіндік ерекшелігіне, қолжазба мен жарияланған басқа мақалалардың ұқсастығының жоқтығына, қарастырылып отырған тақырыпқа (мәселеге) қатысты мақалаларды келтірген автор(лар)дың толықтығы мен дұрыстығына назар аударғаны абзал.

ЭТИКАЛЫҚ БЕКІТУ

Жануарларды пайдалану арқылы іске асырылатын эксперименттер Халықаралық жануарлар этикасы комитеті немесе институционалдық этика комитеті белгілеген қағидаттарға сәйкес және жергілікті заңдар мен ережелерге сәйкес жүргізілуі керек.

Жануарларды пайдаланатын зерттеулер жергілікті этика комитетінің рұқсатын алып, оған «Материалдар мен әдістер» бөлімінде сілтеме жасалуы керек («Мал шаруашылығы» бағыты бойынша берілетін мақалалардың қолжазбалары үшін).

ҚАБЫЛДАНАТЫН ҚОЛЖАЗБА ТҮРЛЕРІ

- Түпнұсқа мақалалар.
- Шолу мақалалары.

Түпнұсқа және шолу мақалаларының көлемі, аннотация мен пайдаланылған әдебиеттер тізімін қоспағанда, бос орынсыз тиісінше 11 000 және 20 000 таңбадан кем болмауы керек. Қолжазбада шығармаға қатысы жоқ мәтін, иллюстрациялар немесе кестелер болмауы керек.

ҚОЛЖАЗБА ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ФОРМАТЫ

Қолжазбаның құрылымы мен пішімін білу үшін http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register сайтындағы соңғы мақалалар мен қолжазба үлгілерін қараңыз (қолжазба үлгісін жүктеп алыңыз https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/libraryFiles/downloadPublic/54)

- Мәтінді келесі жиектер өлшемдерін сақтай отырып басып шығару керек: жоғарғы және төменгі – 2 см, сол және оң – 2 см. Туралау – ені бойынша (автоматты дефиспен). ӘОЖ парақтың жоғарғы сол жақ бұрышында көрсетілген.
- Қолжазба Times New Roman 12 шрифтпен, бір жарым аралық интервалмен, MS Word 2010 бағдарламасында терілуі керек.
- Бүкіл мәтін бойынша жолдар нөмірленуі керек.
- Тақырып сипаттамалы және тым ұзақ болмауы керек.

Авторлардың толық аты-жөні мен ORCID, ұйымның атауы және электрондық поштасы көрсетілген титулдық парақ бөлек беріледі **(қолжазбаның титулдық үлгісін жүктеп алыңыз)** https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/libraryFiles/downloadPublic/51

Аннотацияның құрылымы келесідей болуы керек: «Негізі және мақсаты», «Материалдар мен әдістер», «Нәтиже» және «Қорытынды»; Аннотацияның көлемі 300 сөзден аспауы керек.

- **Кілт сөздер:** нүктелі үтірмен және жекеше түрде беріледі (4-6 сөз және сөз тіркесі). Аннотация мен кілт сөздер мақаланың соңында екі тілде келтіріледі.
- **Кіріспе қазіргі** әдебиеттерге шолу негізінде тақырыптың немесе мәселенің өзектілігін қысқаша сипаттау, жұмыстың жаңалығын көрсете отырып, мақсаттың маңыздылығын негіздеу.

- **Материалдар мен әдістер** ұсынылған әдістер қайталанатын болуы керек; әдістемелік ерекшеліктеріне бармай-ақ әдістерге қысқаша сипаттама беру; стандартты әдістер дереккөздерге сілтеме қажет; жаңа әдісті пайдаланған кезде толық сипаттама қажет.
- **Нәтижелер және талқылау** кестелер, графиктер және/немесе суреттер арқылы алынған нәтижелердің талдауы; алынған мәліметтердің статистикалық өңдеуі; жұмыстың ең маңызды нәтижелерінің қысқаша сипаттамасы және алынған мәліметтерді басқа зерттеулердің нәтижелерімен салыстыруы; үлгілерді және/немесе қайшылықтарды анықтауы бойынша ақпарат беріледі.
- **Қорытынды** зерттелетін тақырып (мәселе) бойынша қорытынды(лар)ды сипаттау және одан әрі зерттеуді анықтау.
- **Автордың үлестері, алғыстары** қолжазбаға ол жариялауға қабылданғаннан кейін қосылады. Авторлық үлестер: әр автордың қосқан үлесі туралы қысқаша мәлімет береді.

Қаржыландыру туралы ақпарат: жұмыстың қаржыландырылғаны туралы ақпарат беріледі.

- **Әдебиеттер тізімі:** түпнұсқа және шолу мақалаларында соңғы 10 жылда жарияланған дереккөздер сәйкесінше кемінде 40% және 50% болуы керек. Әдебиеттер тізімінде **ғылыми баяндамаларға, диссертацияларға және конференция материалдарының жинақтарына сілтемелер болмауы керек.**
- Мәтіндегі сілтемелер төртбұрышты жақшада [1], [1,2,3] берілуі керек. Анықтамалық нөмір 1 санынан басталып, кіріспе бөлімінен жалғасуы керек. Әдебиеттер тізімі APA (https://www.bibme.org/citation-guide/APA/book/) бойынша DOI (бар болса) көрсете отырып дайындалуы керек.

Библиография APA бойынша бірінші тізімде түпнұсқадағы түрінде, екінші тізімде сілтеме http://translit-online.ru/ бойынша транслитерацияланған түрінде сипатталады. Транслитерация ақпарат көзі қазақ немесе орыс тілдерінде жазылған кезінде жасалады, ағылшын тілінде жазылған жағдайда транслитерация өзгеріссіз қалады.

Мысалы,

APA бойынша библиографияны рәсімдеу:

1 Степанов, АС, Асеева, ТА, Дубровин, КН. (2020). Влияние климатических характеристик и значений вегетационного индекса NDVI на урожайность сои (на примере районов Приморского края). *Аграрный вестник Урала*, 1 (192), 10-19.

APA бойынша библиографияны транслитерациялау:

1 Stepanov, AS, Aseeva, TA, Dubrovin, KN. (2020). Vlijanie klimaticheskih harakteristik i znachenij vegetacionnogo indeksa NDVI na urozhajnost' soi (na primere rajonov Primorskogo kraja). *Agrarnyj vestnik Urala* [*In Russ*], 1 (192), 10-19.

ҚЫСҚАРТУЛАР ЖӘНЕ ТЕРМИНДЕР

Қысқартулар қандай да бір терминді алғаш қолданған кезде оның толық атауы көрсетілуі ал жақшаның ішінде аббревиатурасы келтіріледі.

Микроорганизмдер, өсімдіктер және зоологиялық атаулар курсивпен жазылуы қажет.

ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕРІ, СИМВОЛДАР, КЕСТЕЛЕР, ИЛЛЮСТРАЦИЯЛАР ЖӘНЕ ФОРМУЛАЛАР

Өлшем бірліктері SI жүйесіне сәйкес көрсетілуі керек. ×, μ, η немесе ν сияқты белгілер пайдаланылса, оларды Word бағдарламасының Times New Roman тіліндегі таңбалар мәзірі арқылы қосу керек.

Таңбалар (°) немесе (×) сияқты таңбалар таңбалар мәзірінде қолданылуы керек және үстіңгі әріптермен көрсетілмеуі керек: «o» немесе «x». Сандар мен өлшем бірліктері (мысалы, 3 кг) және сандар мен математикалық таңбалар (+, –, ×, =, <,>) арасында бос орындар енгізілуі керек, бірақ сандар мен пайыздық таңбалардың (мысалы, 45%) арасына емес.

Кестені бірінші ескерту мәтінінен кейін бірден орналастыру керек. Қолжазбадағы барлық кестелерде олардың нөмірлерін көрсететін сілтемелер болуы керек (мысалы, 1-кесте; 2-кесте және т.б.). Кестенің тақырыбы оның мазмұнын көрсетуі, дәл және қысқа болуы керек. Атын кестенің үстінде, шегініссіз қою керек (мысалы, 1-кесте – *E. granulosus protoscolex* жұқтырған жануарлардың гематологиялық көрсеткіштері). Кестенің аты соңында нүктесіз беріледі. Егер

кесте атауы екі немесе одан да көп жолды алып жатса, онда оны бір жол аралығымен жазу керек. Мәтін мен суреттің алдында және кейін 1 интервал қалады.

Иллюстрациялар (сызбалар, диаграммалар, диаграммалар, фотосуреттер және т.б.) бірінші айтылған кезде мәтіннен кейін бірден орналастырылуы керек. Қолжазбадағы барлық иллюстрацияларға сілтеме болуы керек. Сілтеме жасау кезінде сіз «фигура» сөзін және оның нөмірін жазуыңыз керек, мысалы: «2-суретке сәйкес» және т.б. Фигуралардың тақырыбы суреттің ортасына туралау арқылы тікелей суреттің астына жазылуы керек. Мәтін мен суреттің алдында және кейін 1 интервал қалады.

Формулалар. Қарапайым жолды және бір жолды формулаларды арнайы редакторларды қолданбай таңбалармен теру керек (Symbol, GreekMathSymbols, Math-PS, Math A Mathematica BTT шрифттерінің арнайы таңбаларын пайдалануға рұқсат етіледі). Күрделі және көп жолды формулалар толығымен Microsoft Equation 2.0, 3.0 формула редакторында терілуі керек. Формуланың бір бөлігін таңбалармен, ал бөлігін формула редакторында теруге рұқсат етілмейді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Әрбір мақалада библиографиялық сілтемелер болуы керек. Келтірілген мақала жарияланған журналдың атауы қысқартылған атау ретінде тиісті журналдың мұқабасынан, сондай-ақ сілтеме арқылы көрсетілуі керек: www.journalseek.net немесе басқа расталған тізімнен. Журналдың тақырыбы курсивпен жазылуы керек.

ҚОЛЖАЗБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ БАРЫСЫН БАҚЫЛАУ

Корреспондент автор ұсынған қолжазбаның қаралу барысын өз есептік жазбасынан бақылай алады. Сонымен қатар, ол жүйемен жасалған электрондық поштаны алады (Сәйкестігі бар мәтіндік құжатты тексеру нәтижелері туралы анықтама; редакцияның және/немесе рецензенттердің түсініктемелері бар хат; қолжазбаны қабылдау және/немесе қабылдамау туралы журнал редакциясының хаты және т. б.).

ҚОЛЖАЗБАНЫ РЕЦЕНЗИЯЛАУ, МӘТІНДІ ДЕРЕКТЕУ ЖӘНЕ МАҚАЛАЛАРДЫ ЖАРИЯЛАУ

Қолжазба рецензиясы. Сарапшылар *Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық* журналы сайтына пікірлерін жібергеннен кейін автор электрондық хат алады. Редактор рецензенттердің пікірлерін тексереді және оларды тиісті авторға қосымша түсініктемелері бар немесе онсыз жібереді. Тиісті автор 4 апта ішінде редакторлардың және/немесе рецензенттердің пікірлері негізінде өңделген қолжазбаны ұсынуы керек. Тиісті авторға көбірек уақыт қажет болса, ол редактордың рұқсатын алуы керек. Егер автор рецензенттің ескертулерімен келіспесе, ол әрбір пікірге негіздеме хат береді. Әрбір қолжазба бойынша соңғы шешімді бас редактор қабылдайды.

Мәтінді түзету. Автор(лар) қолжазбаның мазмұнына өздері жауапты. Мәтінді түзетуді бақылау авторлармен де, редакторлармен де өңдеудің әр кезеңінен кейін жасалып отыру керек. Редактор мен рецензенттердің барлық түсініктемелері/сұрақтары, сондай-ақ корреспондент автордың түзетулері мен жауаптары Word бағдарламасындағы рецензиялау функциясын қолдана отырып, қолжазбаның бір мәтінінде жасалу керек.

Басылым. *Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық* журналының онлайн және қағаз нұсқасында жарияланған мақалаларға DOI нөмірі (сандық нысан идентификаторы) беріледі.

Жарияланымды төлеу туралы ақпарат

Төлем редакция мақаланы басылымға қабылдағаннан кейін жасалады. «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің ғылым жаршысы» журналында мақалаларды орналастырғаны үшін төлем мөлшері 2022 жылдың № 53-Н бұйрығымен бекітілген:

Пәнаралық сериясында:

1. «Ауыл шаруашылығы ғылымдары» бөлімінде:

- С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті қызметкерлерімен білім алушылары үшін – 4 000 (төрт мың) теңге/1бет;
- Басқа тарап/ұйымдары үшін – 8 000 (сегіз мың) теңге/1бет;
- Шетелдік авторлардың жеке мақаласы – тегін.

2. «Биология ғылымдары», «Техника ғылымдары», «Гуманитария ғылымдары» және «Экономика ғылымдары» бөлімдері баспасына мақала жариялауға:

- С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті қызметкерлерімен білім алушылары үшін – 1 000 (бір мың) теңге/1бет;
- Басқа тарап/ұйымдары үшін – 2 000 (екі мың) теңге/1бет;
- Шетелдік авторлардың жеке мақаласы – тегін.

Төлем «Мақаланы жариялау үшін» деген белгімен Халық банкінің кассаларында жүргізіледі. Мақаланы жариялауға оң қорытынды алған авторлар келесі мәліметтер бойынша ақы төлеуі керек.

«С.Сейфуллин ат. ҚАТЗУ» КеАҚ-ның «Қазақстан Халық Банкі» АҚ-дағы реквизиттері:

БИН 070740004377
ИИК KZ 446010111000037373 KZT БИК HSBKKZKX
Код 16
КНП: 890
Банк: АРФАО No 119900 «Қазақстан Халық Банкі»
Байланыс телефоны: 8 (7172) 31-02-45;
Электрондық пошта: vestnik_katu@kazatu.kz
Мекен-жайы: 010011, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62
Сондай-ақ Kaspi. kz мобильді қосымшасы арқылы (университеттер мен колледждер).

ҚОЛЖАЗБА ҮЛГІСІ

ӘОЖ .....

Журналға ұсынылған қолжазбаның атауы
(Қолжазбаның атауы бірінші әріпті қоспағанда, кіші әріппен жазылуы керек)

Түйін (300 сөзден артық емес)
Алғышарттар мен мақсат.....
Материалдар мен әдістер.....
Нәтижелер.....
Қорытынды.....
Кілт сөздер:.....(4-6 сөз)

Кіріспе.....

Материалдар мен әдістер.....

Нәтижелер .....

Талқылау.....

Қорытынды.....

Авторлардың қосқан үлесі.....

Қаржыландыру туралы ақпарат.....

Әдебиеттер тізімі

1 Думова, В.В., Мищенко, А.В., Никешина, Т.Б. (2008). Противовирусные антитела в молозиве и молоке коров. *Российский Ветеринарный журнал*, 49, 40-42.

References

1 Dumova, V.V., Mishchenko, A.V., Nikeshina, T.B. (2008). Protivovirusnye antitela v molozive i moloke korov [Antiviral antibodies in colostrum and cow's milk]. *Rossijskij Veterinarnyj zhurnal* [Russian Veterinary Journal], 49, 40-42.

Название рукописи, представленной в журнал
Фамилия И.О.

Аннотация
Ключевые слова: .....(4-6 слов)

Title of the manuscript submitted to the Journal
First name P.(if any) Family

Abstract
Key words: .....(4-6 words)

ҚОЛЖАЗБАНЫҢ ТИТУЛДЫҚ ҮЛГІСІ

ӘОЖ 631. 46: [631.862:636.2]

Микроағзалардың культуралды сүзіндісінің бидай дәнінің өнгіштігі мен дамуына әсері

Науанова А. П.,[1] Шуменова Н.Ж.,[2] Алгожина А.Ш.,[1] Макенова М.М.,[2] Темирханов А.Ж.,[3] Сармурзина З.С.[3]

[1]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті
[2]БИО-KATU
[3]Республикалық микроағзалар коллекциясы, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Науанова А.П.: nauanova@mail.ru
Бірлескен авторлар: (1:НШ) nazym.shumenova@mail.ru; (2: ММ) m.makenova89@mail.ru (3:АА) asya.kz@mail.ru; (4:АТ) aszhte@gmail.com; (5: ЗС) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCID:
1інші Автор: https://orcid.org/0000-0003-4597-2697
2нші Автор: https://orcid.org/0000-0003-5931-7539
3інші Автор: https://orcid.org/ 0000-0002-9276-1975
4інші Автор: https://orcid.org/ 0000-0002-9375-4594
5інші Автор: https://orcid.org 0000-0002-8423-4937
6ншы Автор: https://orcid.org 0000-0003-5595-4824

****

Ескерту: «Авторлардың үлесін» белгілеу үшін авторлардың аты-жөнінің қысқартуларын қолдану керек, мысалы:

Авторлардың қосқан үлесі: АН, НШ және АА зерттеудің тұжырымдамасын жасады және жобалады, жан-жақты әдебиеттерді іздестірді, жиналған деректерді талдап, қолжазбаның жобасын жасады. ММ, АТ және ЗС: қолжазбаның соңғы редакциясын және коррекциясын орындады. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап, бекітті.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зертеулер BR18574066 «Биотехнология, экология, ауыл шаруашылығы саласындағы биоқауіпсіздік үшін биотехнологиялық маңызы бар өнеркәсіптік микроорганизмдер биобанкін құру» ғылыми-техникалық бағдарламасының 2022-2024 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде қаржылық қолдаумен орындалды.

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

УДК 631. 46: [631.862:636.2]

Влияние культуральной вытяжки из микроорганизмов на всхожесть и развитие пшеницы

Науанова А.П.,[1] Шуменова Н.Ж.,[2] Алгожина А.Ш.,[1] Макенова М.М.,[2] Темирханов А.Ж.[3], Сармурзина З.С.[3]

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина
[2]БИО-KATU
[3]Республиканская коллекция микроорганизмов, Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Науанова А.П.: nauanova@mail.ru
Соавторы: (1:НШ) nazym.shumenova@mail.ru; (2: ММ) m.makenova89@mail.ru
(3:АА) asya.kz@mail.ru; (4:АТ) aszhte@gmail.com; (5: ЗС) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCID:
1ый Автор: https://orcid.org/0000-0003-4597-2697
2ой Автор: https://orcid.org/0000-0003-5931-7539
3ий Автор: https://orcid.org/ 0000-0002-9276-1975
4ый Автор: https://orcid.org/ 0000-0002-9375-4594
5ый Автор: https://orcid.org 0000-0002-8423-4937
6ой Автор: https://orcid.org 0000-0003-5595-4824

****

Примечание: для обозначения **«Вклада авторов»** следует использовать сокращения имен авторов, например:

Вклад авторов

АН, НШ и АА: концептуализировали и оформили исследование, провели всесторонний поиск литературы, проанализировали собранные данные и подготовили рукопись. ММ, АТ и ЗС: провели окончательную редакцию и вычитку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках программно-целевого финансирования на 2022-2024 годы научно-технической программы BR18574066 «Создание биобанка промышленных микроорганизмов биотехнологического значения для биобезопасности в области биотехнологии, экологии, сельского хозяйства».

SAMPLE TITLE PAGE

UDC 631.46: [631.862:636.2]

Influence of cultural extract from microorganisms on germination and development of wheat

Ainash P. Nauanova[1], Nazymgul Zh. Shumenova[2], Meruert M. Makenova[2], Asiya Sh. Algozhina[1], Aslan Zh. Temirkhanov[3], Zinigul S. Sarmurzina[3]

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University
[2]БИО-KATU,
[3]Republican collection of microorganisms, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Ainash P. Nauanova, nauanova@mail.ru
Co-authors: (1: NSh) nazym.shumenova@mail.ru; (2: MM) m.makenova89@mail.ru
(3:AA) asya.kz@mail.ru; (4:AT) aszhte@gmail.com; (5: ZS) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCIDs:
1st Author: https://orcid.org/0000-0003-4597-2697
2nd Author: https://orcid.org/0000-0003-5931-7539
3rd Author: https://orcid.org/ 0000-0002-9276-1975
4th Author: https://orcid.org/ 0000-0002-9765-008X
5th Author: https:// orcid.org 0000-0002-8423-4937
6th Author: https://orcid.org 0000-0003-5595-4824

****

Note: Abbreviations of author names should be used for **"Authors' Contributions"**, e.g.:

Authors' Contributions

AP, NSh and AA: Conceptualized and designed the study, conducted a comprehensive literature search, analyzed the gathered data and drafted the manuscript. MM, AT and ZS: Conducted the final revision and proofreading of the manuscript. All authors have read, reviewed, and approved the final manuscript.

Information on funding

The work was carried out with financial support within the framework of program-targeted financing for 2022-2024 of the scientific and technical program BR18574066 "Creation of a biobank of industrial microorganisms of biotechnological importance for biosafety in the field of biotechnology, ecology, agriculture".

Еуразиялық агротехникалық журнал
Eurasian Agrotechnical Journal
Евразийский агротехнический журнал

Сәкен Сейфуллин атындағы
Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

№ 3 (131) 2026

Қазақстан Республикасы Мәдениет және ақпарат министрлігімен тіркелген
Мерзімді басылымды тіркеу туралы куәлік
№ KZ80VPY00141955 16 ақпан 2026 ж.
(Алғашқы тіркеу күні мен нөмірі 2002 жылғы 18 ақпандағы № 2692-Ж)

Редакторы: *Кокумбекова Н.К., Жумабекова М.М.*
Компьютерде беттеген: *Романенко С.С.*

Басуға қол қойылды 09.10.2026; Пішімі 60 x 84$^{1}/_{8}$;
Times New Roman гарнитурасы; Шартты б.т. 18,88
Есептік б.т. 19,56; Таралымы 50; Тапсырыс № 26085

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу
университетінің баспасында басылды,
010011, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62
Анықтама телефондары: + 7 (7172) 31-02-45