

Как цитировать: Тен Е.А., Ошергина И.П., Пестова Д.М., Хасанова Г.Ж. (2026). Комплексная оценка исходного материала чечевицы (*Lens culinaris medik.*) крупносеменной группы по признакам экологической пластичности, стабильности и устойчивости к стрессовым факторам в условиях Северного Казахстана. *Евразийский агротехнический журнал*, 2(130), 252-266. DOI: [https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2\(130\).2242](https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2(130).2242)

УДК 633.351:631.524.85

Исследовательская статья

Комплексная оценка исходного материала чечевицы (*Lens culinaris medik.*) крупносеменной группы по признакам экологической пластичности, стабильности и устойчивости к стрессовым факторам в условиях Северного Казахстана

Тен Е.А.¹ , Ошергина И.П.¹ , Пестова Д.М.¹ , Хасанова Г.Ж.² 

¹Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева
Акмолинская область, п. Научный, Казахстан

²Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Тен Е.А.: jekon_t87.07@mail.ru

Соавторы: (1: ОИ): egoriha76@mail.ru , (2: ПД): Peestov_a@mail.ru

(3: ХГ): g.hasanova@kazatu.edu.kz

Получено: 20.05.2026 **Принято:** 30.06.2026 **Опубликовано:** 30.06.2026

Авторские права: Тен Е.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 условиях усиливающейся климатической нестабильности сухостепной зоны Северного Казахстана возрастает необходимость селекции чечевицы, сочетающей высокую продуктивность с адаптивностью к контрастным гидротермическим условиям. Целью исследования являлась комплексная оценка коллекционных образцов крупносеменной чечевицы по урожайности, экологической пластичности, стабильности и устойчивости к абиотическим стрессам с целью выявления перспективных источников хозяйственно ценных признаков для селекции сортов, адаптированных к условиям Северного Казахстана.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2021–2025 гг. и включали комплексную оценку 38 коллекционных образцов крупносеменной чечевицы, изученных в условиях южно-карбонатных чернозёмов Северного Казахстана при резкой межгодовой изменчивости погодных условий. Оценка адаптивных параметров проводили с использованием регрессионного анализа по методике Eberhart–Russell и расчёта стрессовых индексов (STI, TOL). Статистическая обработка данных выполнена общепринятыми методами.

Результаты. Установлено, что все отобранные образцы превосходят стандарт Шырайлы по селекционному индексу на 24,3–60,3%. Выделены высокопластичные формы интенсивного типа (К-2721, К-2706) и стабильные образцы (Centinela, К-2717, Е-140), характеризующиеся устойчивой реализацией урожайного потенциала в контрастных условиях увлажнения. Анализ коэффициентов детерминации показал, что число семян с растения является ключевым предиктором урожайности, объясняя 33,64% её вариации.

Закключение. Полученные результаты обосновывают возможность целенаправленного отбора адаптивных генотипов чечевицы для селекционных программ, ориентированных на создание сортов с высокой потенциальной продуктивностью и устойчивостью к абиотическим стрессам в условиях Северного Казахстана.

Ключевые слова: чечевица; адаптивность; пластичность; стабильность; стрессоустойчивость; урожайность.

Введение

Чечевица (*Lens culinaris Medik.*) является значимой культурой в системах устойчивого земледелия, что обусловлено высоким содержанием белка с благоприятным аминокислотным составом, способностью к биологической фиксации азота и положительным влиянием на агроэкологические показатели в севооборотах [1]. В современных агропромышленных системах, особенно в регионах с дефицитом влаги и выраженной климатической изменчивостью, агрономическая и экономическая значимость чечевицы возрастает [2, 3].

Абиотические стрессы выступают основным лимитирующим фактором продуктивности и урожайности зернобобовых культур [4, 5]. Под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды нарушаются процессы роста и развития растений на физиологическом, биохимическом и молекулярном уровнях. Чечевица также подвержена негативному влиянию широкого спектра абиотических стресс-факторов, включая засуху [6], переувлажнение [7], высокотемпературный стресс [8, 9], низкие температуры [10], засоление [11, 12, 13], щелочность [14], наличие тяжелых металлов в почве [15, 16], дефицит [17] и токсичность элементов минерального питания [18]. В северных регионах с резко континентальным климатом культура сталкивается с комплексом стрессоров: нерегулярным и недостаточным выпадением осадков, заморозками, экстремальными температурами, что создаёт дополнительные ограничения для стабильности и продуктивности посевов [19, 20]. В этих условиях возрастает важность изучения селекционного материала по признакам экологической пластичности, стрессоустойчивости и стабильности, поскольку эффективность селекционных программ и производственная надёжность сортов напрямую зависят от их адаптации к варьирующим условиям среды [21, 22].

Концепции экологической пластичности и стабильности являются фундаментальными для селекции, ориентированной на изменчивые агроклиматические условия. Анализ взаимодействия «генотип × среда» ($G \times E$) составляет основу для идентификации образцов, сочетающих высокую продуктивность с широкой адаптивностью или специфической адаптацией к целевым условиям [23, 24]. Для характеристики адаптивного потенциала генотипов широко применяются методы анализа взаимодействия «генотип × среда», позволяющие выявлять образцы с высокой продуктивностью и устойчивой реализацией урожайного потенциала в различных условиях выращивания. К числу наиболее распространённых относятся метод аддитивных главных эффектов и мультипликативного взаимодействия (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction, AMMI), графический анализ взаимодействия «генотип × среда» (Genotype and Genotype × Environment Interaction Biplot, GGE biplot), индекс отбора по урожайности (Kang's Yield–Stability Index, KSYI), а также ряд параметров и индексов стабильности [25, 26].

Для условий Северного Казахстана особую актуальность приобретает выявление генотипов, способных сохранять высокую продуктивность в контрастных погодных условиях. Региональные исследования подтверждают наличие перспективных образцов чечевицы, однако их комплексная характеристика по параметрам экологической пластичности, стабильности и стрессоустойчивости остаётся недостаточной. Это обуславливает необходимость проведения многолетних полевых исследований, направленных на выделение источников адаптивности для селекционных программ [27, 28]. Перспективным направлением повышения эффективности такого отбора является интеграция данных по морфофизиологическим признакам, ассоциированным с устойчивостью растений к абиотическим стрессовым факторам (прежде всего засухе и высоким температурам), что позволяет более обоснованно выделять исходный материал для селекции [30].

Несмотря на значительное количество исследований по экологической пластичности чечевицы, большинство из них выполнено в условиях Средиземноморья, Южной Азии и Ближнего Востока. Для резко континентального климата Северного Казахстана сведения о комплексной оценке крупносеменной чечевицы по параметрам пластичности, стабильности и стрессоустойчивости остаются ограниченными.

В связи с этим выявление генотипов, сочетающих высокую продуктивность с адаптивностью к контрастным гидротермическим условиям, является актуальной задачей современной селекции.

Таким образом, целью настоящего исследования являлось выявление коллекционных образцов крупносеменной чечевицы, сочетающих высокую продуктивность, экологическую пластичность, стабильность и устойчивость к абиотическим стрессам, для использования в селекции сортов, адаптированных к условиям Северного Казахстана.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились на опытных делянках ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева» (НПЦЗХ им. А.И. Бараева) в 2021–2025 гг. Селекционные посевы расположены в точке с координатами 51°40'38" с. ш., 71°00'58" в. д.; абсолютная высота – 357 м над уровнем моря [31]. В качестве испытуемого материала взяты коллекционные образцы чечевицы крупносеменной группы в количестве 38 образцов. За сорт стандарт принят местный крупносеменной сорт, районированный в Акмолинской области – Шырайлы.

Преобладающим типом почв в регионе изучения является южно-карбонатный чернозём. Согласно агрохимической паспортизации опытных участков Центра, содержание органического вещества варьирует в пределах 3,4–3,7%, подвижного фосфора – 0,1–0,15%, обменного калия – 8–14 мг/кг, нитратного азота – 4–15 мг/кг. Концентрации микроэлементов составляют: бор – 0,7 мг/кг, молибден – 0,2 мг/кг, марганец – около 20 мг/кг, цинк – 0,8 мг/кг, медь – 0,2 мг/кг. Реакция почвенной среды (рН водной вытяжки) колеблется в пределах 7,2–7,8. Плотность почвы составляет 1,0–1,2 г/см³ при порозности 50–55% и воздухоёмкости 25–30% [32].

Закладка опытов осуществлялась в годы испытаний в конце второй, начале третьей декады мая, специализированной сеялкой секционно-фракционной конусной точного высева с семью сошниками (ССФК-7). Глубина заделки семян составляла $4,0 \pm 0,5$ см, при норме высева 200 шт./м². Поскольку все образцы высевались при одинаковой норме высева (200 семян/м²) и выращивались в одинаковых агротехнических условиях, влияние густоты стояния растений как отдельного фактора в настоящем исследовании не анализировали.

Фенологические наблюдения за развитием растений и учёт основных фаз роста проводились согласно методическим рекомендациям ВИР [33], нормативам Госкомиссии РК [34], а также руководству Международного центра сельскохозяйственных исследований в сухих районах (ICARDA).

Уборку проводили после достижения семенами полной физиологической зрелости при влажности зерна 14,5–15,0 %, соответствующей требованиям безопасной уборки и последующего хранения селекционным комбайном Wintersteiger Classic Plus.

Статистическая обработка выполнялась методом однофакторного дисперсионного анализа, а также с применением интегральной оценки по Доспехову Б.А. [35]. Дополнительно использовались программные средства Microsoft Excel и программного пакета IBM Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics, версия 23.0). Расчёт показателей экологической пластичности и стабильности чечевицы осуществлялся в соответствии с методикой *S.A. Eberhart* и *W.A. Russel* [36].

Расчёт интегральных показателей проводили по следующим формулам:

Индекс засухоустойчивости (STI) рассчитан по формуле (1):

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p^2), \quad (1)$$

где: Y_p – урожайность исследуемого образца в благоприятных (без стрессовых воздействий) условиях, г/м²; Y_s – урожайность исследуемого образца в стрессовых (засушливых) условиях, г/м²; $\bar{Y}_p$ – средняя урожайность всех изученных образцов в благоприятных условиях, г/м².

Толерантность к засухе (TOL) рассчитан по формуле (2):

$$TOL = Y_p - Y_s, \quad (2)$$

где: Y_p – урожайность исследуемого образца в благоприятных условиях, г/м²; Y_s – урожайность исследуемого образца в стрессовых условиях, г/м².

Индекс урожайности при стрессе (K1SYI) рассчитан по формуле (3):

$$K1SYI = Y_s \div \bar{Y}_s, \quad (3)$$

где: Y_s – урожайность исследуемого образца в условиях засухи; $\bar{Y}_s$ – средняя урожайность всех образцов в засухе.

Индекс урожайности без стресса (K2SYI) рассчитан по формуле (4):

$$K2SYI = Y_{ns} \div \bar{Y}_{ns}, \quad (4)$$

где: Y_{ns} - урожайность сортообразца в нормальных условиях; $\bar{Y}_{ns}$ - средняя урожайность всех исследуемых образцов в благоприятных условиях (без стресса), г/м²

Селекционный индекс (SI) рассчитан по формуле (5):

$$SI = W1 \times Yield + W2 \times 1/\sigma d^2 + W3 \times bi + W4 \times Mass\ 1000 + W5 \times Seeds_per_plant + W6 \times Root\ Proxy, \quad (5)$$

где: Yield – урожайность образца, г/м²; Z – стандартизированное значение признака (Z-преобразование); W1–W6 - весовые коэффициенты отдельных признаков; $1/\sigma d^2$ – показатель стабильности; bi – коэффициент экологической пластичности; Mass 1000 – масса 1000 зёрен, г; Seeds per plant – число семян с одного растения, шт.; Root Proxy – показатель развития растения (масса сухого растения), используемый как косвенная характеристика биомассы.

Результаты

В условиях значительной межгодовой изменчивости гидротермических параметров особое значение приобретают показатели экологической пластичности, стабильности урожайности и устойчивости к абиотическим стрессам.

Анализ среднемесячных температур и осадков за 2021-2025 гг. выявил выраженную межгодовую контрастность условий вегетации (рисунок 1).

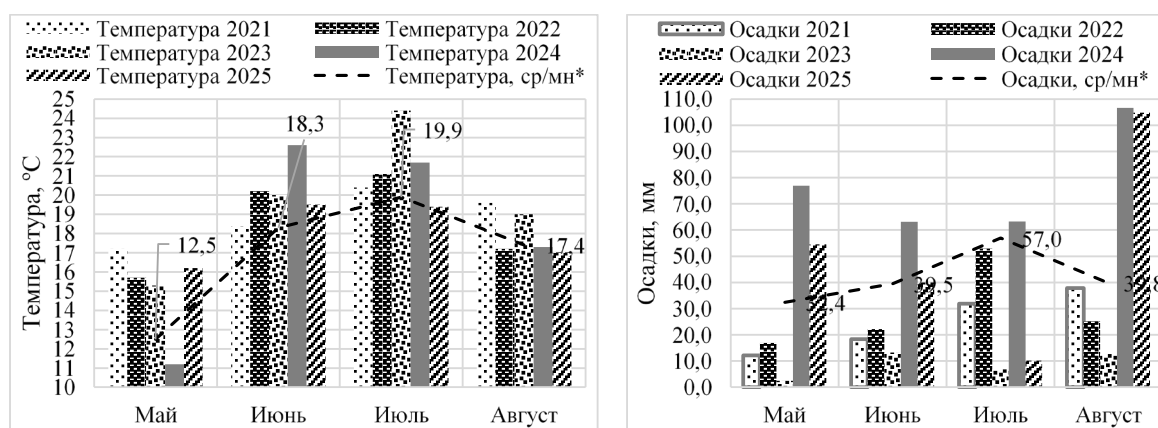


Рисунок 1 – Динамика среднемесячной температуры воздуха (°C) и количества осадков (мм) за вегетационный период 2021-2025 гг.

(по данным НПЦЗХ им. А.И. Бараева, *ср/мн – среднее многолетнее значение)

Гидротермические условия вегетационных периодов 2021–2025 гг. характеризовались высокой межгодовой контрастностью и формировали широкий диапазон факторов среды для оценки изучаемых параметров. Среднемесячная температура воздуха в отдельные месяцы вегетационного периода изменялась от 11,2 °C (май 2024 г.) до 24,4 °C (июль 2023 г.), тогда как количество осадков варьировало от 2,5 мм (май 2023 г.) до 106,6 мм (август 2024 г.).

В 2021 год вегетация проходила при умеренном тепловом обеспечении и локальном дефиците влаги: температура составляла 17,2–20,4 °C, количество осадков от 12,1 до 37,8 мм. Недостаток влаги в мае частично компенсировался последующим увлажнением, при осадках ниже среднемноголетних значений (32,4–57,0 мм).

2022 год был засушливым и стрессовым: температуры превышали среднемноголетнюю норму, а суммарные осадки в июне и августе составляли 22,2–52,9 мм, что на 30-60% ниже нормы, а в августе осадки снижались до 25,2 мм. Эти условия формировали устойчивый водный

дефицит, значимый для выявления образцов с повышенной устойчивостью и стабильностью (STI, TOL) при длительной засухе.

В 2023 году зафиксирован температурный максимум при выраженном дефиците влаги в начальный период вегетации. Температуры варьировали от 15,3 °C в мае до 24,4 °C в июле, при крайне низких осадках: 2,5 мм в мае, 13,2 мм в июне и 6,8 мм в июле. Сформировавшиеся условия характеризовали вегетационный период как острозасушливый и позволили оценить реакцию генотипов на дефицит влаги в течение большей части вегетации.

2024 год отличался благоприятным сочетанием тепла и влаги: температура изменялась от 11,2 °C в мае до 22,6 °C в июне, осадки в июле и августе составляли 57 и 106,6 мм, что в 3–4 раза превышало показатели засушливых лет. Избыточное увлажнение в период созревания способствовало возобновлению роста растений и формированию новых генеративных органов на поздно образовавшихся побегах, что осложняло созревание и снижало технологические качества урожая.

В 2025 году гидротермические условия были близки к среднемноголетним и оценивались как умеренно влажные и термически сбалансированные. Среднемесячная температура составляла 16,2–19,4 °C, количество осадков – от 54,6 мм в мае до 63,3 мм в июле, что обеспечивало оптимальную влагообеспеченность и благоприятные условия для роста, развития растений и формирования урожая.

Вегетационные периоды 2021–2025 гг. характеризовались высокой контрастностью гидротермических условий, что отразилось на величине изучаемых показателей.

На рисунке 2 приведены данные по продолжительности вегетационного периода коллекционных образцов чечевицы за 2021–2025 гг. Вегетационный период разделён на: всходы – цветение и всходы – созревание, что позволяет сравнивать образцы по скорости прохождения отдельных этапов онтогенеза по годам.

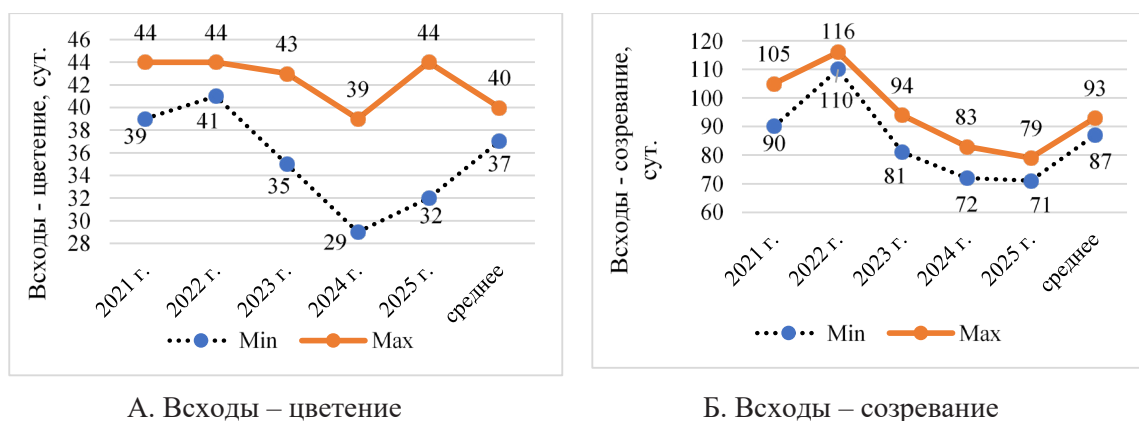


Рисунок 2 – Продолжительность периодов всходы – цветение и всходы – созревание у коллекционных образцов крупносеменной чечевицы

Продолжительность периода всходы – цветение в среднем по коллекции чечевицы составляла 37–41 сут. Наиболее короткие значения отмечены у образцов Пензенская 14-581 (37 сут.), Чернушерсса Золушка (37 сут.), Красноградская 19 (38 сут.) и Шырайлы (стандарт) – 38 сут. У позднеспелых образцов данный показатель достигал 40 сут. и более (Веховская 1, Джанша, Centinela).

Период всходы – созревание характеризовался большей изменчивостью. Средние значения по образцам находились в диапазоне 87–93 сут., минимальные – 71–72 сут. (Siluma Inta – 72 сут. в 2024 г.; Нива 95–72 сут. в 2025 г.; Пензенская 14 – 581–87 сут.). Максимальная продолжительность периода составляла 115–116 сут. у образцов K-1084, 89ZPR-8, LC 460053 и у стандарта в отдельные годы.

Для наглядной оценки экологической пластичности и стабильности морфологических признаков у перспективных образцов чечевицы представлены графики многолетней динамики высоты растений и высоты прикрепления нижнего боба (рисунок 3).

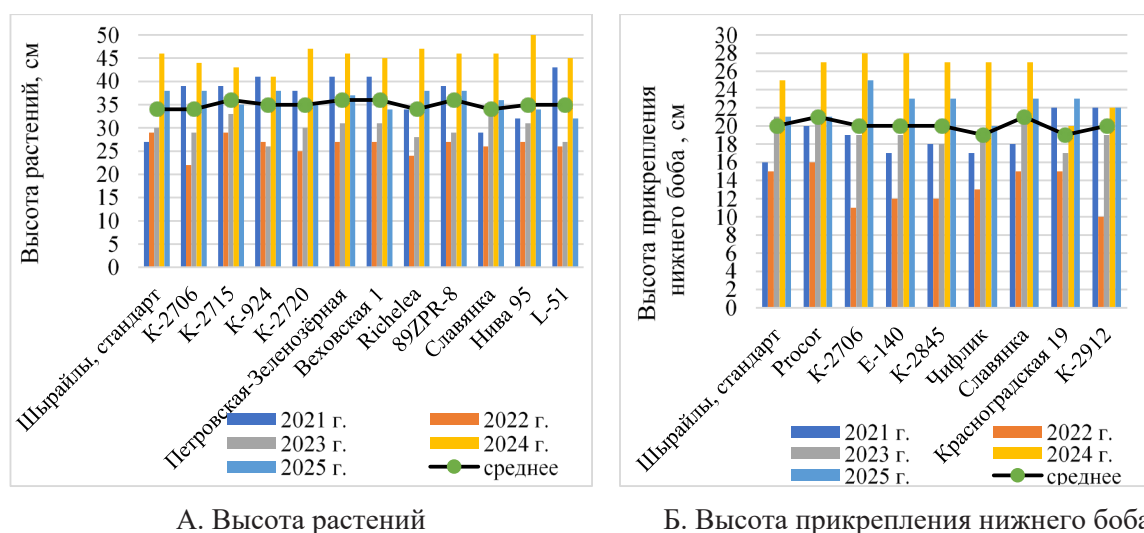


Рисунок 3 – Динамика высоты растений и высоты прикрепления нижнего боба у выделенных коллекционных образцов чечевицы крупносеменной группы

Высота растений в среднем по коллекции составила 29–36 см при выраженной межгодовой вариации (19–52 см), обусловленной различиями погодных условий. Наиболее стабильные и высокие значения (35–36 см) отмечены у образцов K-2715, Петровская-Зеленозёрная, Веховская 1, 89ZPR-8, Нива 95, L-51, K-924 и K-2720, а также Пензенская 14–581 и Grinland. Стандарт Шырайлы (34 см) занимает среднее положение и уступает ряду выделенных образцов.

Высота прикрепления нижнего боба в среднем варьировала от 16 до 21 см (от 4 до 28 см по годам). Наиболее высокие и устойчивые значения (20–21 см), установлены у Procor, Славянка, Шырайлы, K-2706, E-140, Нива 95, K-2912 и K-2845, а также Красноградская 19.

По совокупности изученных признаков образцы K-2715, Петровская-Зеленозёрная, Нива 95, Procor, Славянка, 89ZPR-8, K-2912, K-924 и E-140 характеризовались наиболее высокими значениями высоты растений и высоты прикрепления нижнего боба.

Как показано на рисунке 4, анализ элементов структуры урожая за 2021–2025 гг. выявил значительную вариабельность признаков среди изучаемых образцов.

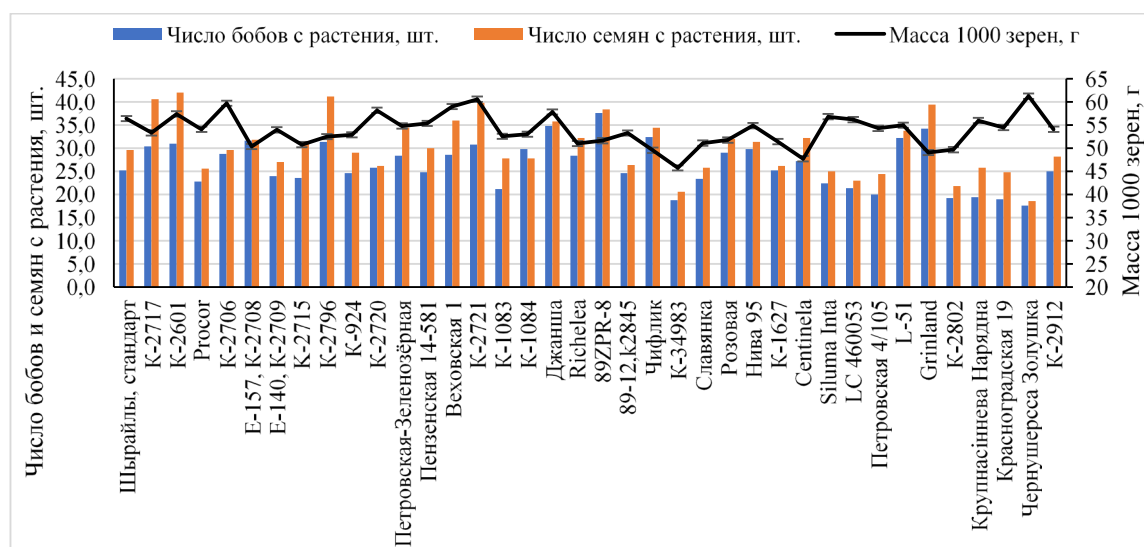


Рисунок 4 – Сравнительная характеристика элементов продуктивности исследуемых коллекционных образцов (среднее за 2021-2025 гг.)

Сорт Шырайлы (стандарт) характеризуется умеренными показателями – число семян составляет 30 шт. с растения, при массе 1000 зёрен – 56 г. В группе выделившихся образцов по числу семян с растения (свыше 35–40 шт.) выделяются образцы К-2717, К-2601, К-2796, Веховская 1, 89ZPR-8, L-51 и Grinland, что превышает стандарт на 16,7 – 33,0 % и свидетельствует о высокой потенциальной семенной продуктивности. Высокое число семян с растения у образцов Джанша, Чифлик и Нива 95 (до 35 шт.). Согласно данным исследования, масса 1000 зёрен достигает высоких значений (более 60 г) у крупносеменных образцов К-2721 и Чернушерсса Золушка, а также вплотную приближается к этому порогу образцы К-2706, К-1084 и К-2802. Стабильное сочетание крупности зерна (55–58 г) и оптимального количества бобов демонстрируют образцы К-2720, Centinela, Siluma Inta, LC 460053 и К-1627. Минимальные показатели массы 1000 зёрен (46–48 г) отмечены у К-34983 и Славянка.

На основе анализа данных, приведенных в таблице 1, была проведена комплексная оценка параметров адаптивности и стрессоустойчивости у выделенных образцов в сравнении со стандартом.

Таблица 1 – Оценка параметров экологической пластичности, стабильности и стрессоустойчивости выделенных коллекционных образцов по урожайности

Название образца / сорта	Урожайность, г/м ²					bi	σd ²	STI	TOL	K1SYI	K2SYI	SI
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.							
Шырайлы, стандарт	92,5	85,6	50,6	210,1	176,6	0,94	374,5	3,9	159,5	1,9	4,0	100,0
К-2717	118,0	118,8	130,3	257,1	248,3	0,99	552,1	12,4	126,8	4,9	4,9	141,7
К-2601	94,2	99,4	142,9	260,3	219,4	0,96	1336,7	13,7	117,4	5,4	5,0	132,6
Procor	98,2	83,1	86,9	286,0	215,0	1,28	721,9	9,2	199,1	3,3	5,5	124,9
К-2706	80,5	118,8	66,9	277,1	251,7	1,33	1686,5	6,8	210,2	2,5	5,3	129,2
Е-140	92,3	136,9	162,9	228,6	238,3	0,70	1940,9	13,7	65,7	6,2	4,4	139,6
К-2796	142,0	50,6	102,9	285,7	188,3	1,21	1332,5	10,8	182,8	3,9	5,5	125,0
Пензенская 14-581	104,0	123,3	65,7	230,3	241,7	1,05	1155,3	5,6	164,6	2,5	4,4	124,3
К-2721	204,0	29,4	65,1	277,1	222,2	1,40	2607,4	6,7	212,0	2,5	5,3	129,7
Centinela	120,5	321,3	108,6	228,0	208,3	0,10	9997,9	9,1	119,4	4,1	4,4	160,3
НСП05	24,2	35,1	16,8	6,5	9,8	-	-	-	-	-	-	-
Ij	-21,43	-65,94	-59,12	82,74	63,74	-	-	-	-	-	-	-
V, %	30,25	53,74	43,31	22,35	22,97	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: пластичность (bi), стабильность (σd²), селекционный индекс (SI), индекс засухоустойчивости (STI), толерантность к засухе (TOL), индекс урожайности при стрессе (K1SYI), индекс урожайности без стресса (K2SYI), индекс среды (Ij).

Динамика индекса среды (Ij) подтверждает существенную вариабельность погодных условий в период 2021–2025 гг. Так, наиболее благоприятным для формирования урожая стал 2024 г. (Ij = 82,74), тогда как 2022 г. характеризовался минимальным значением индекса среды (Ij = -65,94). Для образца Centinela значения показателей составили: SI = 160,3; bi = 0,10; σd² = 9997,9. Параллельно с этим, образец К-2717 выделяется как наиболее сбалансированный генотип интенсивного типа (bi = 0,99), демонстрирующий при средней урожайности значительно выше стандарта лучшую стабильность среди выделенных образцов (σd² = 552,1) и высокий индекс засухоустойчивости (STI = 12,4).

Аналогично высокие показатели стрессоустойчивости (STI = 13,7) зафиксированы у Е-140 и К-2601, при этом Е-140 проявляет себя как менее пластичный образец (bi = 0,70) с минимальным уровнем толерантности к стрессу (TOL = 65,7). В то же время К-2601 с пластичностью (bi) 0,96 эффективнее реализует потенциал в благоприятные периоды, достигая урожайности 260,3 г/м² в 2024 году.

Образцы К-2721 и К-2706 характеризовались коэффициентом пластичности bi = 1,40 и 1,33 соответственно.

Дополнительно стоит отметить образцы Просог и К-2796, которые за счет высокой отзывчивости на внешние условия ($b_i = 1,28$ и $1,21$ соответственно) существенно превзошли стандарт Шырайлы по селекционному индексу (SI), достигнув значений в 124,9–125,0. Образец Просог показал один из лучших результатов в опыте – 286,0 г/м². Образец Пензенская 14-581, сочетает в себе умеренную пластичность ($b_i = 1,05$) со стабильным превышением показателей стандарта практически во все годы испытаний при среднем селекционном индексе (SI) = 124,3.

Все выделенные образцы превышали сорт Шырайлы по селекционному индексу на 24,3–60,3 %.

С целью установления закономерностей формирования продуктивности нами изучена система корреляционных связей между основными показателями (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между хозяйственно-ценными признаками и урожайностью чечевицы (по Пирсону)

Признаки	Всходы-цветение	Цветение-созревание	Урожайность	Масса сухого растения	Число ветвей	Высота растения	ВПНБ ¹	Число бобов с растения	Число семян с растения	Масса семян с растения	Масса 1000 зерен
Всходы-цветение	1,00										
Цветение-созревание	0,25	1,00									
Урожайность	0,05	-0,26	1,00								
Масса сухого растения	0,00	-0,04	0,46**	1,00							
Число ветвей	-0,23	-0,04	0,22	0,31	1,00						
Высота растения	0,16	-0,27	0,21	0,35*	0,28	1,00					
ВПНБ	0,30	0,11	-0,10	-0,29	-0,19	0,09	1,00				
Число бобов с растения	0,26	-0,29	0,39*	0,43**	0,04	0,41*	-0,11	1,00			
Число семян с растения	0,14	-0,33*	0,58**	0,66**	0,17	0,40*	-0,31	0,85**	1,00		
Масса семян с растения	0,24	-0,32*	0,45**	0,63**	0,12	0,43**	-0,21	0,79**	0,81**	1,00	
Масса 1000 зерен	-0,11	-0,13	-0,02	0,27	-0,07	0,09	-0,04	0,01	0,05	0,39*	1,00

Примечание: * - Корреляция значима на уровне 0,05.

** - Корреляция значима на уровне 0,01.

¹ВПНБ – высота прикрепления нижнего боба.

Представленная корреляционная матрица отражает степень сопряженности ключевых биометрических и хозяйственно-ценных признаков культуры, выявляя статистически значимые зависимости между параметрами продуктивности и морфофизиологическими характеристиками.

Между урожайностью и числом семян с растения установлена средняя положительная связь ($r = 0,58$ при $p < 0,01$), а также массой сухого растения ($r = 0,46$) и массой семян с растения ($r = 0,45$). Структурные элементы урожая демонстрируют высокую взаимную корреляцию – число бобов тесно сопряжено с числом семян с растения ($r = 0,85$) и их массой ($r = 0,79$).

Высота растения проявляет умеренную положительную связь с массой семян с растения ($r = 0,43$) и числом бобов с растения ($r = 0,41$). Отрицательная корреляция установлена между продолжительностью периода цветение – созревание и числом семян ($r = -0,33$), а также массой семян с растения ($r = -0,32$). Параметр массы 1000 зёрен имеет среднюю связь только с массой семян с растения ($r = 0,39$).

При планировании селекционной стратегии важно учитывать не только наличие корреляции, но и реальный вклад каждого компонента в формирование урожая. В связи с этим, в таблице 3 представлены данные, характеризующие анализ коэффициентов детерминации, который позволяет количественно оценить степень влияния каждого изученного параметра на урожайность.

Таблица 3 – Оценка вклада морфологических и хозяйственно-ценных признаков в вариабельность урожайности на основе коэффициентов детерминации (R^2)

Признак	Корреляция (r)	Детерминация (R^2), %	Уровень значимости
Число семян с растения	0,58	33,64	$p < 0,01$
Масса сухого растения	0,46	21,16	$p < 0,01$
Масса семян с растения	0,45	20,25	$p < 0,01$
Число бобов с растения	0,39	15,21	$p < 0,05$
Продолжительность периода «цветение - созревание»	-0,26	6,76	-
Число ветвей	0,22	4,84	-
Высота растения	0,21	4,41	-
Высота прикрепления нижнего боба	-0,10	1,00	-
Продолжительность периода «всходы – цветение»	0,05	0,25	-
Масса 1000 зёрен	-0,02	0,04	-

Наибольший коэффициент детерминации установлен по признаку число семян с растения – 33,64% ($p < 0,01$), так же вес сухого растения – 21,16% и масса семян с растения – 20,25%.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии условий среды на реализацию продукционного потенциала крупносеменной чечевицы. Контрастность гидротермических условий в годы исследований позволила выявить существенные различия между генотипами по характеру реакции на изменение факторов среды. Аналогичная закономерность отмечена и в других исследованиях, где урожайность чечевицы определяется не только генетическими особенностями образцов, но и выраженностью взаимодействия «генотип × среда» [21, 23, 24].

Следует отметить, что густота стояния растений способна оказывать влияние на формирование отдельных элементов продуктивности, однако в настоящем исследовании данный фактор был максимально унифицирован за счёт одинаковой нормы высева и одинаковых условий выращивания.

Оценка экологической пластичности показала, что изученные образцы существенно различаются по типу адаптивной реакции. Образцы К-2721 и К-2706 характеризовались коэффициентом регрессии выше единицы, что свидетельствует об их высокой отзывчивости на улучшение условий выращивания и позволяет рассматривать их как генотипы интенсивного типа. Напротив, К-2717 и Е-140 отличались более стабильной реализацией урожайности в годы с различным уровнем увлажнения, что определяет их селекционную ценность как источников адаптивности. Выявленные различия позволяют использовать отдельные генотипы в селекционных программах в зависимости от поставленных задач: образцы с высоким числом семян – как источники продуктивности, а крупносеменные формы – для улучшения товарных качеств новых сортов.

Особый интерес представляет образец *Centinela*, сформировавший максимальное значение селекционного индекса. Несмотря на выраженную межгодовую изменчивость урожайности, он стабильно превосходил стандарт по совокупности изученных показателей, что свидетельствует о высоком потенциале его использования при создании сортов интенсивного типа.

Полученные данные по корреляционным связям согласуются с результатами других исследований, в которых основными компонентами урожайности чечевицы являются число бобов и число семян с растения. В наших условиях наиболее тесная связь с урожайностью установлена для числа семян с растения ($r = 0,58$), что подтверждается результатами анализа коэффициентов детерминации. Вклад данного признака в формирование урожайности составил

33,64 %, тогда как влияние массы 1000 зёрен оказалось минимальным. Отрицательная связь между продолжительностью периода «цветение – созревание» и семенной продуктивностью указывает на преимущества более скороспелых генотипов в условиях дефицита влаги, когда сокращение периода налива семян позволяет избежать воздействия высоких температур в конце вегетации. Это связано с тем, что увеличение продолжительности периода налива семян в условиях сухостепной зоны сопровождается более длительным воздействием высоких температур и дефицита влаги, что ограничивает накопление сухого вещества в семенах.

В целом, результаты исследования подтверждают перспективность комплексного подхода, объединяющего оценку урожайности, экологической пластичности, стабильности и стрессоустойчивости. Такой подход позволяет более обоснованно выделять источники хозяйственно ценных признаков и повышает эффективность отбора исходного материала для селекции адаптивных сортов чечевицы.

Заключение

Анализ данных за 2021-2025 гг., охватывающих контрастные по увлажнению годы, подтвердил возможность сочетания высокой потенциальной урожайности чечевицы с устойчивостью к абиотическим стрессам в условиях резко континентального климата Северного Казахстана. Установлено, что ключевым фактором формирования урожайности является количество семян с растения, определяющее 33,64% её вариации, тогда как вклад массы 1000 зёрен носит минимальный характер. Оценка адаптивности по коэффициентам регрессии и стрессовым индексам позволила выделить стабильные и высокопластичные образцы, представляющие наибольшую селекционную ценность. Сформированная группа перспективных генотипов может быть эффективно использована при создании сортов чечевицы, ориентированных на устойчивое производство и реализацию урожайного потенциала в условиях климатической нестабильности.

Вклад авторов

ТЕ, ОИ, ПД: организовали и провели полевые исследования в 2021-2025 гг., обеспечили закладку опытов, фенологические наблюдения и сбор первичных данных по урожайности и элементам структуры урожая.

ТЕ, ОИ: выполнили статистическую обработку экспериментальных данных, расчёт показателей экологической пластичности и стабильности (b_i , σ_d^2), стрессовых индексов (STI, TOL, K1SYI, K2SYI) и селекционного индекса (SI), провели интерпретацию результатов.

ТЕ, ОИ, ХГ: подготовили литературный обзор, обобщили результаты исследований, выполнили анализ взаимосвязей (корреляции и детерминации) и совместно подготовили рукопись статьи.

Все авторы прочитали, рассмотрели и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе 267, BR22885414 «Создание и внедрение в производство высокопродуктивных сортов зернобобовых культур на основе методов современной биологии, разработка их сортовой технологии и первичного семеноводства».

Список литературы

- 1 Aghababaei, F., McClements, D.J., Pignitter, M., Hadidi, M. (2024). A comprehensive review of processing, functionality, and potential applications of lentil proteins in the food industry. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 333, 103280. DOI: 10.1016/j.cis.2024.103280.
- 2 Vlachostergios, D.N., Noulas, C., Kargiotidou, A., Baxevanos, D., Tigka, E., Pankou, C., Kostoula, S., Beslemes, D., Irakli, M., Tziouvalekas, M. (2021). Identification of the optimum environments for the high and stable yield of lentil genotypes: a multi-location study. *Sustainability*, 13(15), 8247. DOI: 10.3390/su13158247.

- 3 Тен, Е.А., Ошергина, И.П., Казыдуб, Н.Г. (2025). Реакция коллекционных образцов мелкосемянной чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) на абиотические стрессовые факторы. *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 2(58), 19–33.
- 4 Jan, N., Rather, A. M.-U.-D., John, R., Chaturvedi, P., Ghatak, A., Weckwerth, W., Zargar, S.M., Mir, R.A., Khan, M.A., Mir, R.R. (2022). Proteomics for abiotic stresses in legumes: present status and future directions. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 42, 1–20. DOI: 10.1080/07388551.2021.2025033.
- 5 Kaur, B., Sandhu, K.S., Kamal, R., Kaur, K., Singh, J., Röder, M.S., Muqaddasi, Q. H. (2021). Omics for the improvement of abiotic, biotic, and agronomic traits in major cereal crops. *Plants*, 10, 1989. DOI: 10.3390/plants10101989.
- 6 Idrissi, O., Udupa, S.M., Houasli, C., De Keyser, E., Van Damme, P., De Riek, J. (2015). Genetic diversity analysis of Moroccan lentil landraces using SSR and AFLP markers. *Plant Breed.*, 134, 322–332. DOI: 10.1111/pbr.12261.
- 7 Lake, L., Izzat, N., Kong, T., Sadras, V.O. (2021). High-throughput phenotyping of plant growth rate to screen for waterlogging tolerance in lentil. *J. Agron. Crop Sci.*, 207, 995–1005. DOI: 10.1111/jac.12522.
- 8 Choukri, H., Hejjaoui, K., El-Baouchi, A., El Haddad, N., Smouni, A., Maalouf, F., Thavarajah, D., Kumar, S. (2020). Heat and drought stress impact on phenology, grain yield, and nutritional quality of lentil. *Front. Nutr.*, 7, 596307. DOI: 10.3389/fnut.2020.596307.
- 9 El Haddad, N., Rajendran, K., Smouni, A., Es-Safi, N.E., Benbrahim, N., Mentag, R., Nayyar, H., Maalouf, F., Kumar, S. (2020). Screening the FIGS set of lentil germplasm for tolerance to terminal heat and drought–heat stress. *Agronomy*, 10, 1036. DOI: 10.3390/agronomy10071036.
- 10 Ghimire, N H., Mandal, H.N. (2019). Genetic variability, correlation and heritability of cold tolerance lentil genotypes. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 6, 1–10. DOI: 10.22192/ijarbs.
- 11 Fardus, J., Hossain, M.S., Fujita, M. (2021). Modulation of antioxidant defense by L-glutamic acid enhances salt tolerance in lentil. *Biomolecules*, 11, 587. DOI: 10.3390/biom11040587.
- 12 Singh, D., Singh, C.K., Tomar, R.S.S., Sharma, S., Karwa, S., Pal, M., Singh, V., Sanwal, S.K., Sharma, P.C. (2020). Genetics and molecular mapping for salinity stress tolerance in lentil. *Crop Sci.*, 60, 1254–1266. DOI: 10.1002/csc2.20030.
- 13 Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M., Hassan, F.A. (2021). Sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil. *Molecules*, 26, 2576. DOI: 10.3390/molecules26092576.
- 14 Singh, D., Singh, C.K., Taunk, J., Gaikwad, K., Singh, V., Sanwal, S.K., Karwa, S., Sharma, P.C., Yadav, R.K. (2022). Genome-wide RNA sequencing for alkalinity stress tolerance in lentil. *BMC Plant Biol.*, 22, 99. DOI: 10.1186/s12870-022-03489-w.
- 15 Bansal, R., Priya, S., Dikshit, H.K., Jacob, S.R., Rao, M., Bana, R.S., Kumari, J., Tripathi, K., Kumar, A., Kumar, S. (2021). Growth and antioxidant responses in iron-biofortified lentil under cadmium stress. *Toxics*, 9, 182. DOI: 10.3390/toxics9080182.
- 16 Hossain, M.S., Abdelrahman, M., Tran, C.D., Nguyen, K.H., Chu, H.D., Watanabe, Y., Fujita, M., Tran, L.-S.P. (2022). Acetate enhances cadmium stress tolerance in lentil seedlings. *Environ. Pollut.*, 308, 119687. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119687.
- 17 Srivastava, S.P., Bhandari, T.M.S., Yadav, C.R., Joshi, M., Erskine, W. (2000). Boron deficiency in lentil: yield loss and distribution. *Plant Soil*, 219, 147–151. DOI: 10.1023/A:1004708700075.
- 18 Rodda, M.S., Sudheesh, S., Javid, M., Noy, D., Gnanasambandam, A., Slater, A.T., Rosewarne, G.M., Kaur, S. (2018). Breeding for boron tolerance in lentil. *Plant Breed.*, 137, 492–501.
- 19 Zeroual, A., Baidani, A., Idrissi, O. (2023). Drought stress in lentil and management approaches. *Horticulturae*, 9(1), 1. DOI: 10.3390/horticulturae9010001.
- 20 Noor, M.M.A., Tahjib-Ul-Arif, M., Alim, S.M.A., Islam, M.M., Hasan, M.T., Babar, M.A., Hossain, M.A., Jewel, Z.A., Murata, Y., Mostofa, M.G. (2024). Lentil adaptation to drought stress. *Front. Plant Sci.*, 15, 1403922. DOI: 10.3389/fpls.2024.1403922.
- 21 Sabaghnia, N., Karimizadeh, R., Mohammadi, M. (2012). Genotype × environment interaction and stability in lentil. *Žemdirbystė–Agriculture*, 99(3), 305–312.
- 22 Foti, C., Khah, E., Pavli, O. (2019). Response of lentil genotypes to PEG-induced drought stress. *Plant*, 6(4), 75–83. DOI: 10.11648/j.plant.20180604.12.

- 23 Baggar, A., Safi, A., Gaboun, F., Taghouti, M., Benbrahim, N. (2023). Stable lentil genotypes under genotype $\times$ environment interaction. *Plant Sci. Today*, 10(1), 57–66. DOI: 10.14719/pst.1814.
- 24 Pezeshkpour, P., et al. (2025). Evaluation of stability of lentil genotypes under multi-environment trials. *Legume Sci.*, 7(1), e70021. DOI: 10.1002/leg3.70021.
- 25 Aski, M.S., Mishra, G.P., Tokkas, J.P. et al. (2023). Strategies for identifying stable lentil cultivars. *Front. Plant Sci.*, 14, 1102879. DOI: 10.3389/fpls.2023.1102879.
- 26 Balech, R., Maalouf, F., Patil, S.B., Rajendran, K., Abou Khater, L., Rubiales, D., Kumar, S. (2023). Stability of herbicide-tolerant lentil accessions. *Plants*, 12(4), 854. DOI: 10.3390/plants12040854.
- 27 Кузбакова, М.М., Хасанова, Г.Ж., Джатаев, С.А., Ошергина, И.П., Тен, Е.А. (2022). Изучение коллекционных сортообразцов чечевицы в Северном Казахстане. *Вестник КазАТУ им. С.Сейфуллина*, 1(112), 11–18. DOI: 10.51452/kazatu.2022.1(112).847.
- 28 Marakaeva, T., Zaitsev, S., Leovkina, A., Bashinskaya, O., Babushkin, D. (2023). Phenotyping of lentil breeding lines in the Omsk oblast. E3S Web Conf., 431, 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101014.
- 29 Aktar-Uz-Zaman, M. et al. (2022). Selection of lentil genotypes for drought tolerance. *J. Agric. Sci.*, 12(11), 1719.
- 30 Байшоланов, С.С., Клещенко, А.Д., Мусатаева, Г.Б., Жакиева, А.Р., Акшалов, К.А., Чернов, Д.А. (2017). *Агроклиматические ресурсы Акмолинской области*. Астана: Институт географии, 133.
- 31 Ошергина, И. П., Тен Е. А. Абиотические факторы северного региона Казахстана и устойчивость продуктивности гороха посевного с разным морфотипом листа, *Владимирский земледелец* (2023), (104), 56–61. DOI: 10.24412/2225-2584-2023-2-104-56-61.
- 32 Савин, Т.В., Долинный, Ю.Ю., Акшалов, К.А. и др. (2025). *Весенне-полевые работы в хозяйствах Акмолинской области*. Шортанды: НППЦЗХ им. А.И. Бараева, 105.
- 33 Вишнякова, М.А. и др. (2018). *Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых*. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР, 143.
- 34 Скокбаев, С.О. (ред.) (2002). *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. Алматы, 378.
- 35 Доспехов, Б.А. (2012). *Методика полевого опыта*. Москва: Агропромиздат, 352.
- 36 Eberhart, S.A., Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6(1), 36–40.

References

- 1 Aghababaei, F., McClements, D.J., Pignitter, M., Hadidi, M. (2024). A comprehensive review of processing, functionality, and potential applications of lentil proteins in the food industry. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 333, 103280. DOI: 10.1016/j.cis.2024.103280.
- 2 Vlachostergios, D.N., Noulas, C., Kargiotidou, A., Baxevanos, D., Tigka, E., Pankou, C., Kostoula, S., Beslemes, D., Irakli, M., Tziouvalekas, M. (2021). Identification of the optimum environments for the high and stable yield of lentil genotypes: a multi-location study. *Sustainability*, 13(15), 8247. DOI: 10.3390/su13158247.
- 3 Ten, E.A., Oshergina, I.P., Kazydub, N.G. (2025). Reakciya kollekcionnyh obrazcov melkosemyannoj chechevicy (*Lens culinaris* Medik.) na abioticheskie stressovye faktory. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2(58), 19–33.
- 4 Jan, N., Rather, A.M.-U.-D., John, R., Chaturvedi, P., Ghatak, A., Weckwerth, W., Zargar, S.M., Mir, R.A., Khan, M.A., Mir, R.R. (2022). Proteomics for abiotic stresses in legumes: present status and future directions. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 42, 1–20. DOI: 10.1080/07388551.2021.2025033.
- 5 Kaur, B., Sandhu, K.S., Kamal, R., Kaur, K., Singh, J., Röder, M.S., Muqaddasi, Q. H. (2021). Omics for the improvement of abiotic, biotic, and agronomic traits in major cereal crops. *Plants*, 10, 1989. DOI: 10.3390/plants10101989.
- 6 Idrissi, O., Udupa, S.M., Houasli, C., De Keyser, E., Van Damme, P., De Riek, J. (2015). Genetic diversity analysis of Moroccan lentil landraces using SSR and AFLP markers. *Plant Breed.*, 134, 322–332. DOI: 10.1111/pbr.12261.

- 7 Lake, L., Izzat, N., Kong, T., Sadras, V.O. (2021). High-throughput phenotyping of plant growth rate to screen for waterlogging tolerance in lentil. *J. Agron. Crop Sci.*, 207, 995–1005. DOI: 10.1111/jac.12522.
- 8 Choukri, H., Hejjaoui, K., El-Baouchi, A., El Haddad, N., Smouni, A., Maalouf, F., Thavarajah, D., Kumar, S. (2020). Heat and drought stress impact on phenology, grain yield, and nutritional quality of lentil. *Front. Nutr.*, 7, 596307. DOI: 10.3389/fnut.2020.596307.
- 9 El Haddad, N., Rajendran, K., Smouni, A., Es-Safi, N.E., Benbrahim, N., Mentag, R., Nayyar, H., Maalouf, F., Kumar, S. (2020). Screening the FIGS set of lentil germplasm for tolerance to terminal heat and drought–heat stress. *Agronomy*, 10, 1036. DOI: 10.3390/agronomy10071036.
- 10 Ghimire, N.H., Mandal, H.N. (2019). Genetic variability, correlation and heritability of cold tolerance lentil genotypes. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 6, 1–10. DOI: 10.22192/ijarbs.
- 11 Fardus, J., Hossain, M.S., Fujita, M. (2021). Modulation of antioxidant defense by L-glutamic acid enhances salt tolerance in lentil. *Biomolecules*, 11, 587. DOI: 10.3390/biom11040587.
- 12 Singh, D., Singh, C.K., Tomar, R.S.S., Sharma, S., Karwa, S., Pal, M., Singh, V., Sanwal, S.K., Sharma, P. C. (2020). Genetics and molecular mapping for salinity stress tolerance in lentil. *Crop Sci.*, 60, 1254–1266. DOI: 10.1002/csc2.20030.
- 13 Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M., Hassan, F.A. (2021). Sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil. *Molecules*, 26, 2576. DOI: 10.3390/molecules26092576.
- 14 Singh, D., Singh, C.K., Taunk, J., Gaikwad, K., Singh, V., Sanwal, S.K., Karwa, S., Sharma, P.C., Yadav, R.K. (2022). Genome-wide RNA sequencing for alkalinity stress tolerance in lentil. *BMC Plant Biol.*, 22, 99. DOI: 10.1186/s12870-022-03489-w.
- 15 Bansal, R., Priya, S., Dikshit, H.K., Jacob, S.R., Rao, M., Bana, R.S., Kumari, J., Tripathi, K., Kumar, A., Kumar, S. (2021). Growth and antioxidant responses in iron-biofortified lentil under cadmium stress. *Toxics*, 9, 182. DOI: 10.3390/toxics9080182.
- 16 Hossain, M.S., Abdelrahman, M., Tran, C.D., Nguyen, K.H., Chu, H.D., Watanabe, Y., Fujita, M., Tran, L.-S.P. (2022). Acetate enhances cadmium stress tolerance in lentil seedlings. *Environ. Pollut.*, 308, 119687. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119687.
- 17 Srivastava, S.P., Bhandari, T.M.S., Yadav, C.R., Joshi, M., Erskine, W. (2000). Boron deficiency in lentil: yield loss and distribution. *Plant Soil*, 219, 147–151. DOI: 10.1023/A:1004708700075.
- 18 Rodda, M.S., Sudheesh, S., Javid, M., Noy, D., Gnanasambandam, A., Slater, A.T., Rosewarne, G.M., Kaur, S. (2018). Breeding for boron tolerance in lentil. *Plant Breed.*, 137, 492–501.
- 19 Zeroual, A., Baidani, A., Idrissi, O. (2023). Drought stress in lentil and management approaches. *Horticulturae*, 9(1), 1. DOI: 10.3390/horticulturae9010001.
- 20 Noor, M.M.A., Tahjib-Ul-Arif, M., Alim, S.M.A., Islam, M.M., Hasan, M.T., Babar, M.A., Hossain, M.A., Jewel, Z.A., Murata, Y., Mostofa, M.G. (2024). Lentil adaptation to drought stress. *Front. Plant Sci.*, 15, 1403922. DOI: 10.3389/fpls.2024.1403922.
- 21 Sabaghnia, N., Karimizadeh, R., Mohammadi, M. (2012). Genotype $\times$ environment interaction and stability in lentil. *Žemdirbystė–Agriculture*, 99(3), 305–312.
- 22 Foti, C., Khah, E., Pavli, O. (2019). Response of lentil genotypes to PEG-induced drought stress. *Plant*, 6(4), 75–83. DOI: 10.11648/j.plant.20180604.12.
- 23 Baggar, A., Safi, A., Gaboun, F., Taghouti, M., Benbrahim, N. (2023). Stable lentil genotypes under genotype $\times$ environment interaction. *Plant Sci. Today*, 10(1), 57–66. DOI: 10.14719/pst.1814.
- 24 Pezeshkpour, P., et al. (2025). Evaluation of stability of lentil genotypes under multi-environment trials. *Legume Sci.*, 7(1), e70021. DOI: 10.1002/leg3.70021.
- 25 Aski, M.S., Mishra, G.P., Tokkas, J.P. et al. (2023). Strategies for identifying stable lentil cultivars. *Front. Plant Sci.*, 14, 1102879. DOI: 10.3389/fpls.2023.1102879.
- 26 Balech, R., Maalouf, F., Patil, S.B., Rajendran, K., Abou Khater, L., Rubiales, D., Kumar, S. (2023). Stability of herbicide-tolerant lentil accessions. *Plants*, 12(4), 854. DOI: 10.3390/plants12040854.
- 27 Kuzbakova, M.M., Hasanova, G.ZH., Dzhatayev, S.A., Oshergina, I.P., Ten, E.A. (2022). Izuchenie kollekcionnyh sortobrazcov chechevicy v Severnom Kazahstane. *Vestnik KazATU im. S. Seifullina*, 1(112), 11–18. DOI: 10.51452/kazatu.2022.1(112).847.

- 28 Marakaeva, T., Zaitsev, S., Leovkina, A., Bashinskaya, O., Babushkin, D. (2023). Phenotyping of lentil breeding lines in the Omsk oblast. E3S Web Conf., 431, 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101014.
- 29 Aktar-Uz-Zaman, M., et al. (2022). Selection of lentil genotypes for drought tolerance. *J. Agric. Sci.*, 12(11), 1719.
- 30 Bajsholanov, S.S., Kleshchenko, A.D., Musataeva, G.B., ZHakieva, A.R., Akshalov, K.A., Chernov, D.A. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Akmolinskoi oblasti*. Astana: Institut geografii, 133.
- 31 Oshergina, I.P., Ten, E.A. (2023). Abioticheskie faktory severnogo regiona Kazakhstana i ustoychivost' produktivnosti gorokha posevnogo s raznym morfotipom lista. *Vladimirskii zemledelets*, (104), 56–61. <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2023-2-104-56-61>.
- 32 Savin, T.V., Dolinnyi, YU.YU., Akshalov, K.A., i dr. (2025). *Vesenne-polevye raboty v hozyaistvah Akmolinskoi oblasti*. SHortandy: NPCZKH im. A. I. Baraeva, 105.
- 33 Vishnyakova, M.A., i dr. (2018). *Kollekciya mirovyh geneticheskikh resursov zernovyh bobovyh*. 2-e izd. Sankt-Peterburg: VIR, 143.
- 34 Skokbaev, S.O. (red.) (2002). *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur*. Almaty, 378.
- 35 Dospekhov, B.A. (2012). *Metodika polevogo opyta*. Moskva: Agropromizdat, 352.
- 36 Eberhart, S.A., Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6(1), 36–40.

Солтүстік Қазақстан жағдайында ірі тұқымды жасымықтың (*Lens culinaris Medik. L.*) бастапқы материалын экологиялық пластикалылығы, тұрақтылығы және стресс факторларына төзімділігі бойынша кешенді бағалау

Тен Е.А., Ошергина И.П., Пестова Д.М., Хасанова Г.Ж.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстанның құрғақ дала аймағында климаттық жағдайлардың тұрақсыздығының күшеюі өнімділігі жоғары әрі контрастты гидротермиялық жағдайларға бейімделген жасымық сорттарын селекциялаудың өзектілігін арттырады. Зерттеудің мақсаты ірі тұқымды жасымықтың (*Lens culinaris Medik. L.*) коллекциялық үлгілерін өнімділік, экологиялық пластикалылық, тұрақтылық және стресс факторларына төзімділік белгілері бойынша кешенді бағалау арқылы селекциялық бастапқы материалды іріктеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2021-2025 жылдары Солтүстік Қазақстанның оңтүстік-карбонатты қара топырақтары жағдайында жүргізіліп, ауа райы факторларының жылдар бойынша айқын құбылмалылығымен сипатталды. Зерттеу нысаны ретінде ірі тұқымды жасымықтың 38 коллекциялық үлгісі пайдаланылды. Бейімделу параметрлерін бағалау Eberhart–Russell әдістемесі бойынша регрессиялық талдау және стресс индекстерін (STI, TOL) есептеу арқылы жүзеге асырылды. Деректерге статистикалық өңдеу жалпы қабылданған әдістермен жүргізілді.

Нәтижелер. Барлық іріктелген үлгілер селекциялық индекс бойынша Шырайлы стандартынан 24,3-60,3% артық болды. Интенсивті типтегі жоғары пластикалы үлгілер (K-2721, K-2706) және тұрақты үлгілер (Centinela, K-2717, E-140) анықталды, олар ылғалдану жағдайлары контрастты жылдары да өнім әлеуетін тұрақты іске асыруымен ерекшеленді. Детерминация коэффициенттерінің талдауы өсімдіктегі тұқым саны өнімділіктің негізгі предикторы екенін көрсетті, ол өнім вариациясының 33,64% түсіндіреді.

Қорытынды. Алынған нәтижелер Солтүстік Қазақстан жағдайында абиотикалық стресс факторларына төзімді және жоғары өнімділік әлеуетіне ие жасымық сорттарын шығару үшін бейімделген генотиптерді мақсатты түрде іріктеудің мүмкіндігін дәлелдейді.

Кілт сөздер: жасымық; бейімделгіштік; пластикалылық; тұрақтылық; стресс төзімділік; өнімділік.

Comprehensive evaluation of large-seeded lentil (*Lens culinaris Medik. L.*) germplasm for ecological plasticity, stability, and stress tolerance under the conditions of Northern Kazakhstan

Ten E.A., Oshergina I.P., Pestova D.M., Khasanova G.Zh.

Abstract

Background and Aim. Increasing climate instability in the dry-steppe zone of Northern Kazakhstan necessitates the development of lentil cultivars that combine high productivity with adaptability to contrasting hydrothermal conditions. This study aimed to conduct a comprehensive evaluation of large-seeded lentil (*Lens culinaris Medik. L.*) germplasm based on yield performance, ecological plasticity, stability, and stress tolerance in order to identify valuable breeding material.

Materials and Methods. The study was conducted from 2021 to 2025 and included a comprehensive assessment of 38 large-seeded lentil accessions grown on southern carbonate chernozem soils of Northern Kazakhstan under pronounced interannual variability of weather conditions. Adaptive parameters were evaluated using regression analysis according to the Eberhart–Russell methodology and by calculating stress indices (STI, TOL). Statistical data processing was performed using standard methods.

Results. All selected accessions exceeded the standard cultivar Shyraily by 24.3-60.3% in terms of the selection index. Highly plastic intensive-type accessions (K-2721, K-2706) and stable genotypes (Centinela, K-2717, E-140) were identified; these demonstrated stable realization of yield potential under contrasting moisture conditions. Analysis of the coefficients of determination revealed that the number of seeds per plant is the key predictor of yield, accounting for 33.64% of yield variation.

Conclusion. The obtained results substantiate the feasibility of targeted selection of adaptive lentil genotypes for breeding programs aimed at developing cultivars with high yield potential and resistance to abiotic stresses under the conditions of Northern Kazakhstan.

Keywords: lentil; adaptability; plasticity; stability; stress tolerance; yield.