

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. - № 3 (127). - Р.4-13. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/10.51452/kazatu.2025.3(127).1939

УДК 631.5:633.521(574.2) (045)

Исследовательская статья

Математическое обоснование влияния агротехнических приёмов на урожайность масличного льна в условиях Северного Казахстана

Тезекбаева А.Е. , Шестакова Н.А. 

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина
Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Тезекбаева А.Е.: ainash_25.08@mail.ru

Соавтор: (1: НИИ) ninakul23@mail.ru

Получено: 15.04.2025 Принято: 26.09.2025 Опубликовано: 30.09.2025

Аннотация

Предпосылки и цель. В условиях Северного Казахстана эффективность возделывания масличного льна во многом зависит от агротехнологических факторов, таких как система минерального питания, сроки посева и другие. Математическое обоснование, отражающее влияние этих факторов на урожайность, позволит оптимизировать технологию возделывания культуры и повысить продуктивность агроценоза в конкретных агроклиматических условиях. Целью исследования является математический и статистический анализ, описывающий зависимость урожайности масличного льна от ключевых агротехнологических параметров.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция» (далее - СК СХОС) в 2023-2024 гг. Эксперимент включал различные варианты минерального питания и два варианта сроков посева. В качестве метода обработки данных применялся дисперсионный анализ (ANOVA) и многомерная регрессионная модель. Построение тепловой карты корреляции позволит наиболее точно указать, какие элементы структуры вносят наибольший вклад в формирование конечного урожая.

Результаты. Оптимальный уровень питания в сочетании с ранним посевом обеспечил наибольшую урожайность до 16,2 ц/га. Математический анализ позволил с высокой точностью показать зависимость урожайности от условий выращивания, коэффициент детерминации $R^2=0,692$ показал, что модель объясняет около 69% изменчивости урожайности от применения удобрений. Наибольшую связь с урожайностью имеют масса семян с 1 м² ($r=0,76$) и масса 1000 семян ($r=0,72$).

Закключение. Математическое обоснование опытов может быть использовано для выявления связей влияния конкретных агротехнических приёмов на урожайность при возделывании масличного льна в Северном Казахстане. Полученные результаты способствуют повышению эффективности возделывания культуры и позволяют рекомендовать фермерам наиболее продуктивные стратегии ведения хозяйства.

Ключевые слова: лен масличный; срок посева; минеральные удобрения; математическое моделирование; статистическая обработка.

Введение

Лен масличный (*Linum usitatissimum* L.) является одной из перспективных культур для сельского хозяйства Северного Казахстана благодаря своей устойчивости к засушливым условиям

и высокой ценности масла [1]. В промышленном направлении применение масличного льна разнообразно, например, в производстве напольного покрытия, красок, мыловарении, чернил для принтеров и др. По этой причине промышленное использование льняного масла потенциально привело к его дорожанию [2]. Несмотря на то, что лён приспосабливается к неблагоприятным условиям окружающей среды и низкой потребности в азоте, что позволяет ему расширять посевные площади в различных агроэкологических условиях, урожайность данной культуры в среднем невысокая [3]. Оптимизация приемов агротехники позволяет повысить урожайность и улучшить качественные показатели продукции. Традиционные методы оценки эффективности агротехнологий часто основаны на эмпирических данных и полевых экспериментах, однако без математического и статистического анализа это лишь набор информации. Математическая обработка полученных многопараметрических данных позволяет научно-обосновать значимость тех или иных приемов, что делает процесс принятия решений более эффективным.

В данном исследовании рассматривается влияние агротехнических приемов на урожайность масличного льна с использованием математического анализа. Применение корреляционно-регрессионного и многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) позволило выявить значимость отдельных агротехнологических факторов и определить их оптимальные комбинации.

Цель исследования при помощи математических расчетов оценить влияние сроков посева и удобрений на урожайность масличного льна в условиях Северного Казахстана. Задачи исследования включали проведение анализа влияния сроков посева, удобрений на урожайность масличного льна, построение тепловой карты корреляции зависимости урожайности от элементов структуры урожая, а также выявление комбинаций оптимальных агротехнических приемов для получения высокой продуктивности льна масличного в условиях степной зоны Северного Казахстана.

Материалы и методы

Исследование проводилось в условиях Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции (СК СХОС), находящейся в Аккайынском районе Северо-Казахстанской области в 2023-2024 годах. Объект исследования – лён масличный, сорт Кустанайский янтарь. Исследование включало два основных фактора: сроки посева (начало и конец оптимальных для льна масличного) и система удобрений: контроль (без удобрений), P_{90} (аммофос, P_2O_5 52% и N 12%), $P_{90}+NPKS$, $P_{90}+NPKS$ +карбамид. Дополнительно учитывались метеорологические условия (температура воздуха, осадки) в течение вегетационного периода за два года. Полевой эксперимент закладывался в трехкратной повторности по методике *Б.А. Доспехова* (1965) [4]. Учетные площади делянок составляли 40 м². Аммофос вносился с осени под основную обработку почвы, все мероприятия проводились согласно зональной агротехнике. Посев осуществлялся с помощью сеялки СС-11 Альфа с нормой высева 6 млн всхожих семян на га. Учеты и наблюдения проводились по фазам всходов, елочка, бутонизация, цветение и созревание.

Методы математического анализа включали корреляционно-регрессионный анализ, многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Статистическая обработка данных проводилась в программах MS Excel и Statistica. Визуализация данных выполнялась с помощью корреляционных графиков и тепловых карт.

Результаты и обсуждение

СК СХОС расположена в степной зоне Северо-Казахстанской области. Климат зоны резко континентальный, засушливый, среднеобеспеченный теплом. Среднегодовое количество осадков 240-330 мм.

Почва опытного участка – обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый чернозем с нейтральной и слабощелочной реакцией, pH водной вытяжки 7,8-8,1. Содержание гумуса 4,5-5,0%, нитратного азота (определение дисульфифеноловым методом по Грандваль-Ляжу) в слое почвы 0-40 см 16,6 мг/кг почвы, подвижного фосфора по методу *Б.П. Мачигина* в слое 0-20 см 10,0 мг/кг почвы, калия по методу *Б.П. Мачигина* 630 мг/кг почвы.

Метеоусловия 2023 года характеризовались как засушливые, с приходом поздних осадков в августе. В летний период выпало всего 37,4% от среднегодовой нормы (56,0мм) 66,8%, тогда как температурный режим был выше нормы на 1,6 °С. Условия увлажнения 2024 года имели

некоторые особенности по сравнению с предыдущим. Май выдался влажным и прохладным. Сумма атмосферных осадков достигала 62,2 мм, что при многолетней норме 28,0 мм составляет 222% нормы. В то же время, температура воздуха - 10,7 °С, ниже нормы на 2,0 °С. Значительное количество осадков в течение зимы и начала весеннего периода привело к содержанию влаги в почве, к моменту посева на уровне высокого и хорошего увлажнения. Несмотря на хорошую влагообеспеченность посевные работы по области из-за частых осадков вышли за рамки оптимальных рекомендованных сроков на 5-7 дней. В июне, июле и августе также отмечено превышение многолетней нормы выпадения атмосферных осадков соответственно на: 6,4 мм, 42,1 мм, 23,8 мм, за лето +72,3 мм или в процентном выражении 115%, 159%, 148% (таблица 1).

Таблица 1 – Осадки за вегетационный период, мм (м/п Шагалалы), 2023-2024 гг.

Месяцы		По декадам			За месяц
		I	II	III	
Май	2023 г	3,3	17,7	1,3	22,3
	2024 г.	20,2	30,9	11,1	62,2
	ср. мног.	8,0	8,0	12,0	28,0
Июнь	2023 г	1,4	15,8	23,9	41,1
	2024 г.	31,5	16,7	2,2	50,4
	ср. мног.	13,0	11,0	20,0	44,0
Июль	2023 г	0	11,9	10,8	22,7
	2024 г.	45,4	36,5	31,2	113,1
	ср. мног.	20,0	25,0	26,0	71,0
Август	2023 г	1,9	1,5	55,9	59,3
	2024 г.	26,2	14,9	32,7	73,8
	ср.мног.	19,0	14,0	17,0	50,0
За лето	2023 г	147,3			
	2024 г.	237,3			
	ср. мног.	193,0			

Данные температурного режима свидетельствуют о заметной вариабельности между годами. В 2023 году средняя температура мая составила 14,1 °С, что выше среднемноголетнего значения на 1,4 °С, а в июне – 19,1 °С, также превышая норму на 0,6 °С. Особенно жарким оказался июль (24,1 °С против нормы 20 °С), что вкупе с дефицитом влаги усиливало засушливые условия. Температурный фон в 2024 году в июне был 21,1 °С, что выше нормы на 2,6 °С, в июле – 20,0 °С, в августе – 17,2 °С на уровне нормы (таблица 2).

Таблица 2 – Температура воздуха за вегетационный период, °С (м/п Шагалалы), 2023-2024 гг.

Месяцы		По декадам			За месяц
		I	II	III	
Май	2023 г.	12,0	11,0	19,1	14,1
	2024 г.	8,8	13,8	9,6	10,7
	ср.мног.	10,5	13,0	14,6	12,7
Июнь	2023 г.	25,4	16,6	15,2	19,1
	2024 г.	19,0	22,6	21,7	21,1
	ср.мног.	16,6	19,0	20,0	18,5
Июль	2023 г.	25,3	25,0	22,1	24,1
	2024 г.	18,9	22,0	19,3	20,0
	ср.мног.	20,3	20,2	19,5	20,0

Продолжение таблицы 2

Август	2023 г.	22,5	17,4	15,5	18,4
	2024 г.	19,4	17,2	15,3	17,2
	ср.много.	18,3	17,8	15,5	17,2
Сумма активных температур	2023 г.	2529			
	2024 г.	2117,9			
	ср.много.	2184			

Исследования *М.Н. Носевич* и *И.З. Айисомеде* установили, что оптимальными метеорологическими условиями для льна масличного являются, когда гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетацию находится на уровне 1,1-1,3 при сумме активных температур от 1600 до 1963 °С [5]. Также известно, что этот показатель имеет наибольшее влияние на урожай, высоту растений, число коробочек и сбор масла растений льна [6, 7]. Анализируя данные по ГТК в условиях СК СХОС видно, что 2023 год выдался остро засушливым, когда как в 2024 году гидротермический коэффициент за вегетационный период был на уровне 1,3-1,5, что весьма нехарактерно для условий области (рисунок 1).

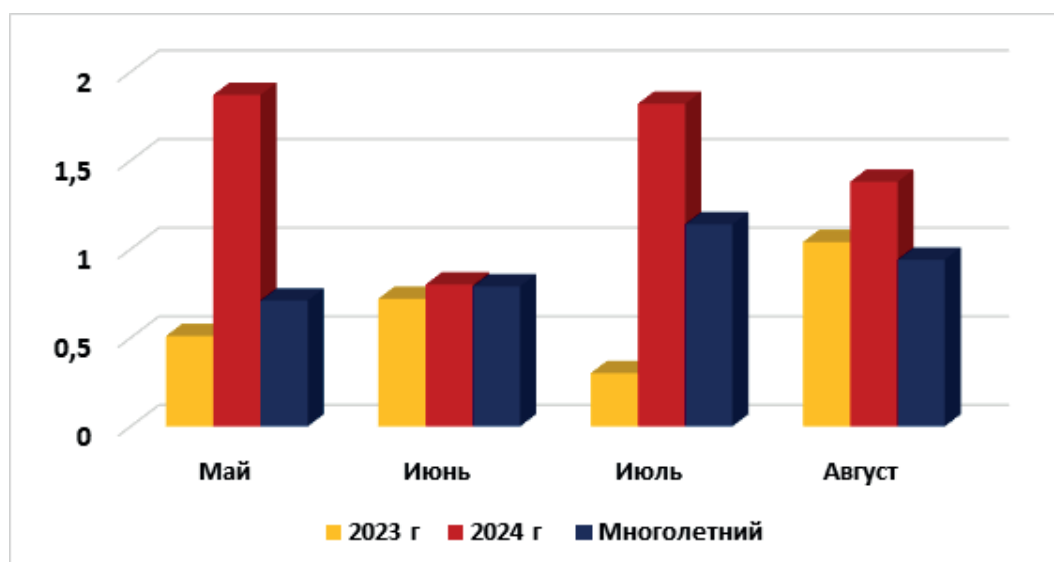


Рисунок 1 – Гидротермический коэффициент

Регрессионный анализ зависимости урожайности льна масличного от осадков и температурного режима показал, что увеличение осадков на 1 мм повышает урожайность в среднем на 0,054 ц/га, а повышение температуры на 1 °С увеличивает урожайность на 0,0043 ц/га. Коэффициент детерминации $R^2=0,546$, который показывает, что 54,6% изменений в урожайности зависит от погодных условий.

По данным *П.Ю. Латарцева*, при применении аммиачной селитры лен масличный обеспечивал получение более высокой прибавки урожая -2-2,2 ц/га, или прирост в 20,5-25,3% по сравнению с контролем при густоте 293-400 шт./м² и количестве коробочек в пределах 5,9-12,3 шт. [8]. Применение сульфата аммония приводило к увеличению числа коробочек и составляло 9,95-10,35 шт., против 19,5-19,6 шт., что обусловлено прежде всего влиянием серы на завязываемость цветков растений льна [9]. Так в нашем исследовании, согласно средним данным за 2023-2024 года, применение NPKS и NPKS + карбамид также увеличило количество коробочек, число семян и массу семян с растения. Вариант NPKS + карбамид даёт более высокие показатели по сравнению с контролем. Масса 1000 семян выше на фоне Р90, что может свидетельствовать о лучшей выполненности семян (таблица 3).

Таблица 3 – Элементы структуры урожая льна масличного в зависимости от сроков посева и элементов питания, среднее за 2023-2024 гг.

Фон	Срок посева	Вид удобрения	Высота растений, см	В расчете на 1 растение			Масса семян с 1 м ² , г	Масса 1000 семян, г
				число коробочек, шт.	число семян, шт.	масса семян, г		
без удобрений	10.05	контроль	39,6	8,1	37,3	0,35	106,6	5,8
		NPKS	41,9	14,7	73,5	0,43	168,9	5,9
		NPKS+карбамид	42,4	14,4	86,1	0,39	154,4	6,1
	20.05	контроль	38,7	9,3	55,1	0,29	95,4	4,8
		NPKS	40,8	11,9	71,9	0,37	154,3	5,2
		NPKS+карбамид	41,4	10,3	58,1	0,36	154,1	5,6
Р ₉₀	10.05	контроль	37,8	11,6	59,3	0,49	159,7	5,8
		NPKS	43,3	12,3	63,4	0,57	229,7	5,9
		NPKS+ карбамид	44,7	11,6	68,0	0,60	247,2	6,5
	20.05	контроль	40,4	10,4	53,0	0,44	138,2	5,8
		NPKS	42,5	14,2	71,2	0,55	195,3	6,0
		NPKS+карбамид	43,1	13,3	78,2	0,57	206,9	6,1

Результаты регрессионного анализа показали, что коэффициент детерминации $R^2=0,692$, который объясняет что, около 69% изменчивости урожайности зависит от применения удобрений. Согласно средним данным за 2023-2024 гг., наибольший вклад в урожайность вносили такие показатели как число коробочек и число семян с коробочки. Высота растений показала тенденцию к положительному влиянию, но без высокой значимости ($p=0,217$). Для графического представления коэффициентов корреляции между переменными в виде матрицы была использована тепловая карта корреляции, где значения показаны с помощью цветовой шкалы, теплые тона указывают на сильную положительную корреляцию, а холодные на отрицательную, нейтральный цвет – на отсутствие корреляции. Корреляционная матрица показала, что наибольшую связь с урожайностью имеют масса семян с 1 м² ($r=0,76$) и масса 1000 семян ($r=0,72$) (рисунок 2).

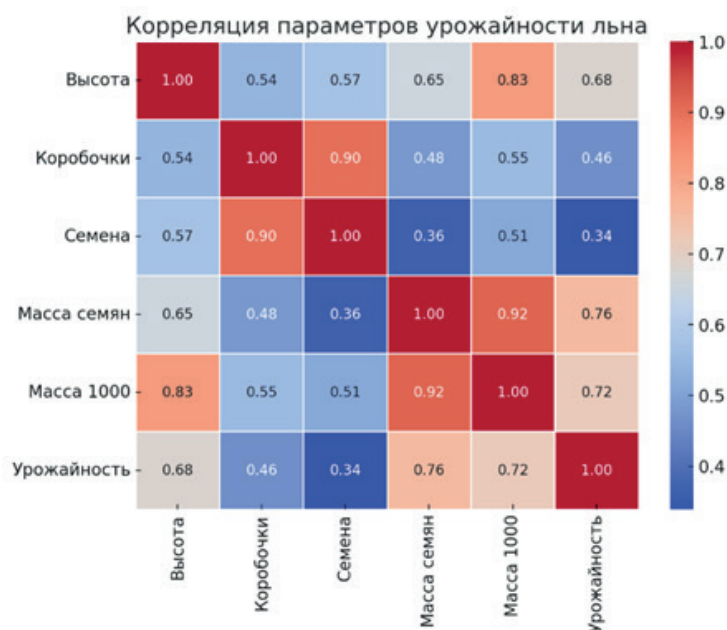


Рисунок 2 – Корреляционная матрица зависимости элементов структуры урожая и урожайности льна масличного Кустанайский янтарь

Согласно полученным данным за 2023-2024 года максимальная урожайность 16,2 ц/га была получена на фоне P_{90} при раннем оптимальном сроке посева (10 мая), минимальная урожайность 9,3 ц/га получена на фоне без удобрений при позднем сроке посева (20 мая). Самая высокая масличность 41,2% получена на втором сроке посева на контрольном варианте с применением аммофоса, самая низкая масличность 35,1% при применении NPKS. Внесение NPKS и карбамида снизило масличность по сравнению с контрольными вариантами, однако это компенсируется большим выходом масла с 1 га. Максимальный выход масла 6,3 ц/га был получен на фоне P_{90} при первом сроке посева на варианте с применением NPKS+карбамид. Оптимальный баланс между урожайностью и масличностью даёт фон P_{90} (рисунок 3).

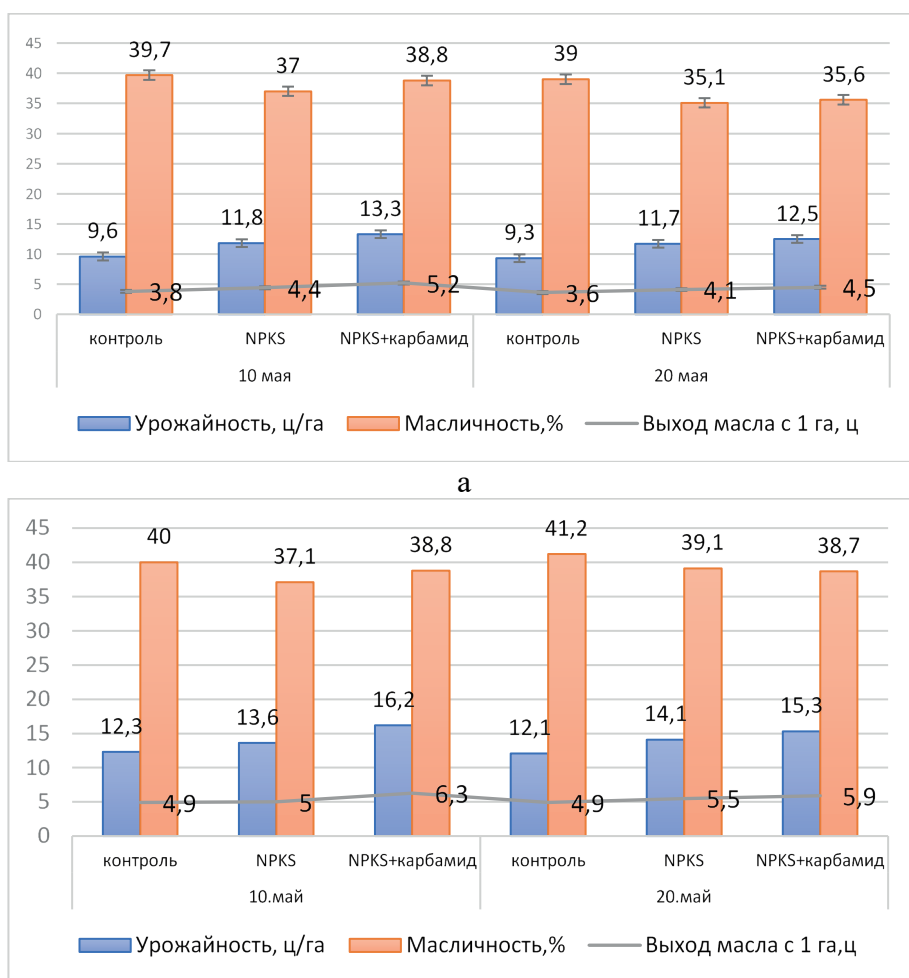


Рисунок 3 – Урожайность, масличность и выход масла льна масличного
Кустанайский янтарь, средние данные за 2023-2024 гг.
(а – фон без удобрений, б – фон P_{90})

Оценить влияние трёх независимых факторов на урожайность льна масличного позволил дисперсионный анализ, который поможет оптимизировать агротехнику, выявив наиболее эффективные комбинации факторов. Для оценки использовались показатели критерия Фишера (F-значение) и p – значение (P-value). Критерий Фишера отношение дисперсии, обусловленное действием фактора к дисперсии случайной ошибки. Высокое значение F набл. указывает на то, что различия между группами значительно превышают случайные колебания, что говорит о статистической значимости влияния фактора, если F набл. > F крит. – фактор статистически значим (или смотрят на p-value (обычно 0,05), если $p < \alpha$ – значимо. Дисперсионный анализ трехфакторного полевого опыта показал, что наибольшее влияние на урожайность льна оказывал фактор «удобрение» ($F = 94,81$; $p = 0,01$), за ним следовали «фон» ($F = 170,76$; $p = 0,01$) и «срок

посева» ($F = 21,67$; $p = 0,04$). Взаимодействие между факторами не достигло статистической значимости, однако наблюдалась тенденция при сочетании фона и срока посева ($p = 0,12$) (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты трёхфакторного дисперсионного анализа влияния агротехнических приемов на урожайность льна масличного

Факторы (А, Б, В)	Сумма квадратов (Sum Sq)	F набл.	p-значение (P-value)
Фон (P_0 / P_{90}) (А)	9821,24	70,76	0,01
Срок посева (Б)	1246,44	21,67	0,04
Удобрение (В)	10905,96	94,81	0,01
Взаимодействие (АБВ)	409,50	7,12	0,12
Взаимодействие Фон $\times$ Удобрения (АВ)	368,61	3,20	0,24
Взаимодействие Срок $\times$ Удобрения (БВ)	33,22	0,29	0,78

Таким образом, посев льна масличного в оптимальные сроки совместно с применением удобрений имеют большое значение в технологии возделывания льна. Однако, эффективность действия данных приемов обусловлены влиянием генотипа и условий среды. Есть сведения, что урожайность семян льна масличного в большей степени зависит от метеорологических условий вегетационного периода и фонов минеральных удобрений и в меньшей степени определялась сортовыми особенностями [10].

Некоторые исследования также подчеркивают, что применение минеральных удобрений, особенно азотных, способствует незначительному снижению содержания сырого жира в семенах льна, что может быть связано с избыточным азотным питанием, нарушением баланса элементов питания и изменениями в метаболических процессах [11, 12]. В нашем исследовании применение минеральных удобрений оказало значительное влияние на продуктивность льна масличного. В условиях Северного Казахстана, увеличение дозы удобрений приводит к улучшению роста растения и повышению урожайности, однако, в то же время, этот прием требует тщательного подхода для оптимизации доз удобрений, чтобы минимизировать негативное воздействие на качество семян и масличность, сохраняя при этом высокие показатели урожайности.

Заключение

Исследования, проведенные в 2023-2024 гг. в условиях Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции, показали, что применение минеральных удобрений совместно с оптимальными сроками посева оказывают значительное влияние на продуктивность масличного льна. Максимальная урожайность достигнута при внесении NPKS+карбамида на фоне P_{90} при раннем сроке посева (10.05)-16,2 ц/га. Поздний посев приводил к снижению урожайности во всех вариантах. Также следует отметить, что применение удобрений снижало масличность, но увеличивало абсолютный выход масла с 1 га. Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между урожайностью, масличностью и применяемыми агротехническими приёмами. Регрессионный анализ позволил установить статистически значимые зависимости, подтверждающие влияние удобрений и сроков посева на продуктивность льна.

Таким образом, оптимальной стратегией для максимального выхода масла с 1 га является применение минерального питания (NPKS+карбамид) на фоне P_{90} с ранним сроком посева. Однако, следует учитывать, что при использовании в агротехнике внесение удобрений для получения большей урожайности культур, главным условием остается достаточное увлажнение, в свою очередь, использование методов математического расчета позволяет более точно анализировать полученные данные и принимать обоснованные агротехнические решения.

Вклад авторов

АТ: Концептуализация и оформление исследования, всесторонний поиск литературы, анализ и обработка данных, подготовка рукописи. НШ: окончательная редакция и вычитка рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Список литературы

- 1 Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Angelini, L.G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20), 3729. DOI:10.3390/molecules24203729.
- 2 Warkhade, GS, Babu, AV. (2019). Combustion characteristics of linseed (*Linum usitatissimum*) methyl ester fuelled biodiesel blends in variable compression ratio diesel engine. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 17(1), 38-51. DOI:10.1080/14484846.2018.1525170.
- 3 Mirzaie, A., Mohammadi, K., Parvini, S., Khoramivafa, M., Saeidi, M. (2020). Yield quantity and quality of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by sowing date. *Industrial Crops and Products*, 158, 112947. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112947.
- 4 Доспехов, БА. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат. 416.
- 5 Носевич, МА, Айсоотоде, ЙЗ. (2016). Семенная продуктивность различных сортов льна масличного в зависимости от площади питания. *Известия Санкт-Петербургского аграрного университета*, 45, 40-44.
- 6 Колотов, АП. (2021). Реакция льна масличного на условия внешней среды Среднего Урала. *Достижения науки и технологии АПК*, 35(6), 20-24.
- 7 Косых, ЛА, Казарина, АВ. (2020). Влияние агрометеорологических условий Среднего Поволжья на формирование продуктивности льна масличного. *Вестник КрасГАУ*, 11, 45-54.
- 8 Латарцев, ПЮ. (2022). Сравнительная оценка действия разных видов и доз минеральных удобрений на элементы структуры, урожайность и качество семян льна масличного. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 9(215), 5-11.
- 9 Гребенникова, ТВ, Аканова, НИ, Визирская, ММ. (2023). Эффективность серосодержащих удобрений в сочетании с КАС-32 в формировании продуктивности различных сельскохозяйственных культур. *Плодородие*, 2(131), 37-43.
- 10 Першаков, АЮ, Белкина, РИ, Рамазанова, ВС. (2020). Элементы технологии возделывания льна масличного в Северном Зауралье. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. ВР Филиппова*, 2, 29-35.
- 11 Першаков, АЮ, Белкина, РИ, Сулейменова, АК. (2021). Отзывчивость сортов льна масличного на возрастающие нормы минеральных удобрений. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 6 (171), 11-17.
- 12 Тимохин, АЮ, Бойко, ВС, Михайлов, ВВ. (2024). Отзывчивость льна масличного на различный уровень минерального питания в лесостепи Западной Сибири. *Аграрная наука*, 1(8), 168-172.

References

- 1 Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Angelini, L.G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20), 3729. DOI:10.3390/molecules24203729.
- 2 Warkhade, GS, Babu, AV. (2019). Combustion characteristics of linseed (*Linum usitatissimum*) methyl ester fuelled biodiesel blends in variable compression ratio diesel engine. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 17(1), 38-51. DOI:10.1080/14484846.2018.1525170.
- 3 Mirzaie, A., Mohammadi, K., Parvini, S., Khoramivafa, M., Saeidi, M. (2020). Yield quantity and quality of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by sowing date. *Industrial Crops and Products*, 158, 112947. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112947.

4 Dosphekov, BA. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)*. M.: Agropromizdat.

5 Nosevich, MA, Ayisootode, YZ. (2016). Semennaya produktivnost' razlichnykh sortov l'na maslichnogo v zavisimosti ot ploshchadi pitaniya. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo agrarnogo universiteta*, 45, 40-44.

6 Kolotov, AP. (2021). Reaktsiya l'na maslichnogo na usloviya vneshney sredy Srednego Urala. *Dostizheniya nauki i tekhnologii APK*, 35(6), 20-24.

7 Kosykh, LA, Kazarina, AV. (2020). Vliyanie agrometeorologicheskikh usloviy Srednego Povolzh'ya na formirovanie produktivnosti l'na maslichnogo. *Vestnik KrasGAU*, 11, 45-54.

8 Latarcev, PY. (2022). Sravnitel'naya otsenka deystviya raznykh vidov i doz mineral'nykh udobreniy na elementy struktury, urozhaynost' i kachestvo semyan l'na maslichnogo. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 9(215), 5-11.

9 Grebennikova, TV, Akanova, NI, Vizirskaya, MM. (2023). Effektivnost' serosoderzhashchikh udobreniy v sochetanii s KAS-32 v formirovanii produktivnosti razlichnykh sel'skokho-zyaystvennykh kultur. *Plodorodie*, 2(131), 37-43.

10 Pershakov, AYU, Belkina, RI, Ramazanova, VS. (2020). Elementy tekhnologii vozde-lyvaniya l'na maslichnogo v Severnom Zaural'e. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokho-zyaystvennoy akademii im. VR Filippova*, 2, 29-35.

11 Pershakov, AYU, Belkina, RI, Suleimenova, AK. (2021). Otklichivost' sortov l'na maslichnogo na vozrastayushchie normy mineral'nykh udobreniy. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 6(171), 11-17.

12 Timokhin, AYU, Boyko, VS, Mikhaylov, VV. (2024). Otklichivost' l'na maslichnogo na razlichnyy uroven' mineral'nogo pitaniya v lesostepi Zapadnoy Sibiri. *Agrarnaya nauka*, 1(8), 168-172.

Солтүстік Қазақстан жағдайында майлы зығырдың өнімділігіне агротехникалық әдістердің әсерін математикалық негіздемесі

Тезекбаева А.Е., Шестакова Н.А.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстан жағдайында майлы зығыр өсірудің тиімділігі көбінесе агротехнологиялық факторларға, атап айтқанда минералды қоректендіру жүйесі, себу мерзімі және басқа факторларға байланысты. Осы факторлардың өнімділікке әсерін көрсететін математикалық талдау құрастыру өсіру технологияларын оңтайландыруға және нақты агроклиматтық жағдайларда агроценоздың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты – майлы зығыр өнімділігінің негізгі агротехнологиялық параметрлерге тәуелділігін сипаттайтын математикалық және статистикалық талдау жасау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу «Солтүстік Қазақстан ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС 2023-2024 жылдары жүргізілді. Эксперимент минералды тыңайтқыштардың әртүрлі нұсқаларын және егу мерзімдерінің екі нұсқасын қамтыды. Деректерді өңдеу әдісі ретінде дисперсиялық талдау (ANOVA) және регрессиялық модель қолданылды. Корреляцияның жылу карталарын құру өнімділікке әсер ететін ең маңызды факторларды анықтауға мүмкіндік берді.

Нәтиже. Математикалық модель өсу жағдайларына байланысты өнімділікті жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік берді, анықтау коэффициенті $R^2=0.692$ модель тыңайтқыштарды қолданудан алынған өнімділіктің шамамен 69% өзгергіштігін түсіндіретінін көрсетті. Өнімділікпен ең үлкен байланыс 1 м² тұқым массасы ($r=0,76$) және 1000 тұқым массасы ($r=0,72$) анықталды.

Қорытынды. Солтүстік Қазақстанда майлы зығыр өсіру кезінде агротехнологиялық әдістерді оңтайландыру үшін математикалық талдау қолдануға болады. Алынған нәтижелер егін өсірудің тиімділігін арттыруға ықпал етеді және фермерлерге шаруашылық жүргізудің ең өнімді стратегияларын ұсынуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: майлы зығыр; себу мерзімі; минералды тыңайтқыштар; математикалық модельдеу; статистикалық өңдеу.

Mathematical justification of the influence of agrotechnical practices on oilseed flax yield under the conditions of Northern Kazakhstan

Ainash Tezekbayeva, Nina Shestakova

Abstract

Background and Aim. In Northern Kazakhstan, the productivity of oilseed flax is significantly influenced by agronomic factors, including mineral nutrition and sowing date. A mathematical model quantifying the impact of these factors on crop yield can optimize agronomic practices and enhance agroecosystem productivity under specific agroclimatic conditions. This study aimed to develop a mathematical and statistical model describing the relationship between oilseed flax yield and key agronomic parameters.

Materials and Methods. The study was conducted at the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station in 2023-2024. The experiment included various mineral nutrition regimes and two sowing dates. Analysis of variance (ANOVA) and multivariate regression modeling were used for data processing. Correlation heatmaps were generated to identify the most influential factors affecting yield.

Results. The highest yield (up to 16.2 c/ha) was achieved with optimal mineral nutrition combined with early sowing. The developed mathematical model accurately predicted yield based on growing conditions. The coefficient of determination ($R^2=0,692$) indicated that the model explains approximately 69% of the yield variability associated with fertilizer application. Seed mass per square meter (m^2) ($r=0,76$) and thousand seed weight ($r=0,72$) contributed most significantly to yield..

Conclusion. Mathematical modeling can effectively optimize agronomic practices for oilseed flax cultivation in Northern Kazakhstan. These findings contribute to improved crop production efficiency and provide a basis for recommending optimal farming strategies for growers.

Keywords: oilseed flax; sowing date; mineral fertilizer; mathematical modeling; statistical analysis.