

УДК 631.5/633.521/631.82

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130

И. Н. Романова

М. И. Перепичай ✉

Н. В. Птицына

Ю. В. Козлов

К. В. Мартынова

Смоленская государственная
сельскохозяйственная академия,
Смоленск, Россия

✉ bibikova.m@yandex.ru

Поступила в редакцию: 16.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Романова И.Н., Перепичай М.И.,
Птицына Н.В., Козлов Ю.В.,
Мартынова К.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130

Irina N. Romanova

Marina I. Perepichai ✉

Natalia V. Ptitsyna

Yuri V. Kozlov

Ksenia V. Martynova

Smolensk State Agricultural Academy,
Smolensk, Russia

✉ bibikova.m@yandex.ru

Received by the editorial office: 16.10.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Romanova I.N., Perepichai M.I.,
Ptitsyna N.V., Kozlov Yu.V., Martynova K.V.

Формирование урожайности и элементов ее структуры у сорта льна-долгунца Феникс в зависимости от минерального питания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Современное состояние экономики в значительной мере определяет развитие сельского хозяйства, в том числе растениеводства, эффективность которого во многом зависит от правильного подбора и соотношения культур и сортов. Возрождение льняного производства и текстильной промышленности в Смоленской области — это не просто локальная задача, а стратегически важный шаг для всей России. Однако, несмотря на позитивные сдвиги, есть и проблемные моменты. Несовершенство технологий, применяемых при выращивании, уборке и первичной обработке льна, привело к снижению качества льноволокна. Если раньше сельхозтоваропроизводители получали трепаное льноволокно 14-го номера, то сейчас величина этого показателя снизилась до 9–10. Основными факторами, способствующими повышению эффективности льноводства, служат внедрение новых сортов льна-долгунца, налаживание системы семеноводства, разработка современных технологических приемов возделывания, изучение отзывчивости новых и перспективных сортов на сроки посева, нормы высева, удобрения и др.

Методы. Объектами исследований были 10 видов минеральных удобрений, рекомендуемых компанией «ФосАгро», на сорте льна-долгунца Феникс.

Результаты. Применение комплексных минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца сорта Феникс на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями позволило увеличить урожайность льносоломой с 4,93 до 6,96–9,49 т/га, льносемян — с 0,20 до 0,23–0,34 т/га. Наибольшую биологическую эффективность среди предложенных систем применения удобрений показали варианты с предпосевным внесением $N_{32}P_{109}K_{112}$ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») в сочетании с проведением подкормки N_{20} (аммиачная селитра + Zn-Mo-микроудобрения) и предпосевным внесением $N_{45}P_{105}K_{105}$ (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) в сочетании с проведением подкормки N_{15} (аммиачная селитра). Остальные варианты применения удобрений по урожайности льносоломой и льносемян существенно уступали наилучшему из предложенных.

Ключевые слова: лен-долгунец, сорт, минеральные удобрения, льносолома, льносемена, урожайность

Для цитирования: Романова И.Н., Перепичай М.И., Птицына Н.В., Козлов Ю.В., Мартынова К.В. Формирование урожайности и элементов ее структуры у сорта льна-долгунца Феникс в зависимости от минерального питания. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 123–130. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130>

The formation of productivity and elements of its structure in the flax variety-dolgunts Phoenix, depending on the mineral nutrition

ABSTRACT

Relevance. The current state of the economy largely determines the development of agriculture, including crop production, the effectiveness of which largely depends on the correct selection and ratio of crops and varieties. The revival of linen production and the textile industry in the Smolensk region is not just a local task, but a strategically important step for the whole of Russia.

However, despite the positive developments, there are also problematic issues. The imperfection of technologies used in the cultivation, harvesting and primary processing of flax has led to a decrease in the quality of flax fiber. Previously, agricultural producers received number 14 flaxen fiber, but now the value of this indicator has decreased to 9–10. The main factors contributing to increasing the efficiency of flax production are the introduction of new varieties of flax, the establishment of a seed production system, the development of modern technological methods of cultivation, the study of the responsiveness of new and promising varieties to sowing dates, seeding rates, fertilizers, etc.

Methods. The objects of the research were 10 types of mineral fertilizers recommended by “PhosAgro” on the flax-flax Phoenix variety.

Results. The use of complex mineral fertilizers in the cultivation of flax of the Phoenix variety on sod-podzolic soil with agrochemical parameters typical of the Smolensk region made it possible to increase the yield of flax from 4.93 to 6.96–9.49 t/ha, flax seeds — from 0.20 to 0.23–0.34 t/ha. The greatest biological efficiency among the proposed fertilizer application systems was shown by options with pre-sowing application of $N_{32}P_{109}K_{112}$ (TCU with sulfur and boron + “Ammophos” + “Kalimag”) in combination with fertilizing N_{20} (ammonium nitrate + Zn-Mo micro fertilizers) and pre-sowing application of $N_{45}P_{105}K_{105}$ (TCU with boron + PK fertilizer with sulfur and calcium) in combination with top dressing N_{15} (ammonium nitrate). The other options for applying fertilizers in terms of yields of flax and flax seeds were significantly inferior to the best of the proposed ones.

Key words: flax-dolgunets, variety, mineral fertilizers, flax, flax seeds, yield

For citation: Romanova I.N., Perepichai M.I., Ptitsyna N.V., Kozlov Yu.V., Martynova K.V. The formation of productivity and elements of its structure in the flax variety-dolgunts Phoenix, depending on the mineral nutrition. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 123–130 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130>

Введение/Introduction

Современное состояние экономики в значительной мере определяет развитие сельского хозяйства, в том числе растениеводства, эффективность которого во многом зависит от правильного подбора и соотношения культур и сортов [1–3].

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) с давних времен выступает важнейшей культурой разностороннего использования. Несмотря на это, за последние 30 лет площади посева под культурой в стране снизились с 300 до 47 тыс. га [3–5]. Повышение эффективности льноводства состоит не только в увеличении посевных площадей, но и в повышении урожайности и качества льнопродукции (льносолома, льнотреста, льноволокно) [7, 8].

Возрождение льняного производства и текстильной промышленности в Смоленской области — это не просто локальная задача, а стратегически важный шаг для всей России. Имея собственную сырьевую базу, регион может стать локомотивом для кратного увеличения производства натуральных, синтетических и искусственных волокон в масштабах страны. Это в свою очередь позволит обеспечить отечественный промышленный комплекс необходимым объемом волокнистой льнопродукции, снижая зависимость от импорта и укрепляя экономическую безопасность страны. Развитие льняной отрасли в Смоленской области — это инвестиции в будущее российской текстильной промышленности и экономики в целом [9–13].

Однако, несмотря на позитивные сдвиги, есть и проблемные моменты. Несоввершенство технологий, применяемых при выращивании, уборке и первичной обработке льна, привело к снижению качества льноволокна. Если раньше сельхозпроизводители получали трепаное льноволокно 14-го номера, то сейчас величина этого показателя снизилась до 9–10 [14, 15]. Такое снижение качества серьезно осложняет конкуренцию с мировыми производителями. Чтобы успешно конкурировать на международном рынке, необходимы адаптивные, энерго- и ресурсосберегающие технологии возделывания льна-долгунца на волокно и семена [15–18].

Многочисленные исследования подтверждают, что лен-долгунец — культура довольно требовательная к почве и климату и именно Смоленская область, благодаря своим особым природным условиям, идеально подходит для его выращивания. Это еще раз подтверждает, что в регионе уже есть прочный фундамент, на котором можно успешно развивать льноводство, возрождая традиции и создавая новые возможности для экономики [18–21].

Основными факторами, способствующими повышению эффективности льноводства, служат внедрение новых сортов льна-долгунца, налаживание системы семеноводства, разработка современных технологических приемов возделывания, изучение отзывчивости новых и перспективных

сортов на сроки посева, нормы высева, удобрения [19–23]. Понимание этого позволяет оптимизировать агротехнику и получать максимальную отдачу от новых разработок [14–16].

Цель исследований — изучить влияние различных видов и форм минеральных удобрений на рост и развитие, формирование элементов структуры урожая и урожайность льнопродукции нового сорта льна-долгунца смоленской селекции Феникс.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевой опыт проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА» (Россия) в 2021–2023 гг. Размещение делянок — рендомизированное, повторность опыта — четырехкратная. Общая площадь делянок составляла 50 м², учетная — 40 м².

Схема опыта включала 10 систем применения минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями.

В первом (контрольном) варианте удобрения не применяли. В остальных вариантах использовали различные сочетания широко распространенных и новых (комплексных) форм минеральных удобрений, обеспечивающих внесение NPK в соотношении 1:2:2 из расчета: азота — 50–60 кг/га, фосфора — 100–115 кг/га, калия — 100–115 кг.

2) N₂₈P₁₀₈K₁₁₄ (твердое комплексное удобрение (ТКУ) с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₄ (аммиачная селитра).

3) N₃₆P₁₁₂K₁₁₄ (PK-удобрение с серой и кальцием + «Диаммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N₁₅ (аммиачная селитра).

4) N₄₅P₁₀₅K₁₀₅ (ТКУ с бором + PK-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N₁₅ (аммиачная селитра).

5) N₃₁P₁₁₄K₁₁₅ (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра).

6) N₃₃P₁₁₁K₁₁₄ (жидкое комплексное удобрение (ЖКУ) + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

7) N₂₄P₁₀₄K₁₁₄ («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₃₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

8) N₂₈P₁₀₅K₁₁₄ (PK-удобрение с серой и кальцием + «Сульфоаммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₅ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

9) N₃₀P₁₀₀K₁₀₀ (PK-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N₂₂ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

10) N₃₂P₁₀₉K₁₁₂ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

Использованные комплексные минеральные удобрения имели следующие характеристики:

ТКУ с серой и кальцием — NPK(S) 5:15:30(5) + 7CaO; ТКУ с бором — NPK(B) 15:15:15; ТКУ с бором и кальцием — NPK(Ca)(B) 5:15:30(7)(0,3); ТКУ с серой и бором — NPK(S)(B) 8:20:30(2)(0,3); РК-удобрение с серой и кальцием — РК(S)(Ca) 20:20(5)(20); ЖКУ — жидкое комплексное азотно-фосфорное удобрение с содержанием NP 11:37.

Аммофос — азотно-фосфорное удобрение с содержанием NP 12:52. «Диаммонийфосфат» и «Сульфаммофос» — азотно-фосфорные удобрения с содержанием серы NP(S) 18:46(2,5) и 14:40(7) соответственно. «Калимаг» — калийно-магниевое удобрение, содержащее 38% калия.

Подкормку аммиачной селитрой и Zn-Мо-микроудобрениями проводили в фазу «елочка». Цинк вносили из расчета 0,15 кг/га, молибден — 0,3 кг/га. Остальные минеральные удобрения применяли путем их основного внесения до посева в дозах согласно схеме опыта.

Объект исследований — растения льна-долгунца сорта Феникс.

Сорт льна-долгунца Феникс с 2018 года включен в Государственный реестр¹ по Центральному региону РФ. Позднеспелый (период вегетации — 85–86 дней), высокопродуктивный, устойчив к полеганию, не склонен к осыпанию семян. Сорт высокорослый, высота растений — 87 см. Грибными болезнями сорт поражается в слабой степени.

Погодные условия в годы исследований отличались от среднесуточных как по выпадению осадков, так и по температурному режиму. Крайне неблагоприятные условия складывались в 2021 г. (табл. 1).

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая среднекультуренная со следующими агрохимическими показателями плодородия: реакция среды — слабокислая ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,6$ ед.), содержание гумуса — 1,9%, подвижного фосфора — 160 мг/кг, подвижного калия — 140 мг/кг абсолютно сухой почвы. Мощность пахотного слоя — 20–25 см.

Определение pH солевой вытяжки из почвы проведено по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85)², содержания органического вещества — фотометрическим методом (ГОСТ 26213-2021)³, подвижных соединений фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011)⁴.

Предшественником льна-долгунца в каждый год проведения исследований выступала озимая рожь, под которую вносили минеральные удобрения (азофоску) из расчета $N_{75}P_{75}K_{75}$.

Таблица 1. Метеорологические условия за период исследований

Table 1. Meteorological conditions during the research period

Год	Показатель	Месяц					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2021	Средняя месячная t (°C)	16,3	12,4	18,9	21,6	18,4	10,5
	Осадки за месяц, мм	42	66	51	32	23	79
2022	Средняя месячная t (°C)	16,9	12,7	20,4	20,9	17,4	9,6
	Осадки за месяц, мм	46	68	54	40	15	98
2023	Средняя месячная t (°C)	15,4	11,8	17,5	19,8	16,0	7,5
	Осадки за месяц, мм	50	63	48	44	31	121
Климатическая норма	Средняя месячная t (°C)	6,7	12,6	16,2	17,6	18,1	11,4
	Осадки за месяц, мм	86	68	78	89	73	58

Норма высева — 20 млн всхожих семян на 1 га. Посев проводили сеялкой AMAZONE D9-3000 Super (ширина захвата 3 м) (Amazone, Франция) с междурядьями 12 см на глубину 2,0–2,5 см. Удобрения вносили согласно схеме опыта разбрасывателем минеральных удобрений РУМ 5.

Против сорняков проводили обработку посевов льна-долгунца гербицидами «Агритокс, ВК» (НУФАРМ ГмБХ & Ко КГ, Австрия) (опрыскивание посевов в фазе «елочка»: расход препарата 1,0 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га) и «Пантера, КЭ» (ЮПЛ Холдингс Кооператив Ю.А., Россия) (опрыскивание в фазе 2–4 листьев сорняков независимо от фазы развития культуры: расход препарата 0,75 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га).

От льяной блохи обрабатывали инсектицидом «Гладиатор, КЭ» (ООО «АГРОХИМ-XXI», Россия) (опрыскивание всходов: расход препарата 0,15 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га), от болезней — фунгицидом «Абига-Пик, ВС» (ООО «Сельхозхимия», Россия) (опрыскивание по всходам в фазе «елочка»: расход препарата 2,5 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га)⁵.

Учеты и наблюдения за растениями проведены согласно методике Госсортокмиссии РФ⁶. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием MS Excel (США)⁷.

¹ Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию.

— URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/len-dolgunets/> (дата обращения: 20.06.2025).

² ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

³ ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁴ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁵ Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2025.

— URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (дата обращения: 15.08.2025).

⁶ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 3. Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд / Под общ. ред. М.А. Федина. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. 1983; 192.

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Количество растений льна-долгунца перед уборкой в зависимости от форм и способов применения минеральных удобрений колебалось от 1232 до 1607 шт./м² (табл. 2), что связано с различной выживаемостью растений в период их интенсивного роста (фаза «елочка — бутонизация»), которая в целом по опыту была невысокой из-за повышенных температур в этот период (+2,2–4,0 °С к климатической норме). Густота стояния перед уборкой, как и ожидалось, была наименьшей в контрольном варианте, что связано с недостаточным обеспечением растений незаменимыми элементами минерального питания в период активного роста и развития растений.

В целом по опыту применение минеральных удобрений повысило рассматриваемый показатель на 20,1–30,4%. При этом различия между испытываемыми системами применения удобрений по величине НСР оказались несущественными. Исключение составили варианты с внесением ЖКУ или «Аммофоса» совместно с «Калимагом» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки, что, по-видимому, было связано с отсутствием серы в составе применяемых в этих вариантах удобрений.

Высота растений льна-долгунца — это важный показатель, который напрямую влияет на ценность льна. Чем выше лен, тем больше длинного волокна можно получить из его стебля, а это в свою очередь определяет, сколько продукции можно собрать с единицы площади. Высота растений льна-долгунца (особенно его техническая длина) характеризует будущую урожайность льно-соломы (содержание волокна, выход волокна и др.) и льносемян.

В настоящих исследованиях общая высота растений в зависимости от форм и способов применения удобрений изменялась от 68 до 91 см. Большинство систем удобрения улучшили рассматриваемый показатель: прибавка к контролю составила от 20,6 до 33,8%. Исключение, как и в предыдущем случае, составили варианты с внесением ЖКУ или «Аммофоса» совместно с «Калимагом» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки, а также вариант с совместным внесением ТКУ с серой и кальцием, «Аммофоса», «Калимага» и проведением

азотной подкормки, в котором растения вместе с удобрениями не получили бора, цинка и молибдена. Остальные варианты применения удобрений, превзойдя контроль, не показали существенного различия между собой по рассматриваемому показателю.

Техническая длина стебля отражает накопление и формирование волокна по всей длине стебля. Величина этого показателя изменялась от 54 см в контроле до 56–70 см в вариантах с применением удобрений. При этом достоверной прибавки по величине технической длины стебля не дал только вариант с совместным внесением ЖКУ, «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки. Вариант с внесением «Аммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки в этом случае не уступал другим системам применения удобрений, что может быть связано с несколько большей дозой азота (N₃₀), внесенной при проведении подкормки растений в фазу «елочка».

Устойчивость растений льна-долгунца к полеганию — важный фактор, определяющий урожайность, особенно в условиях изменчивой погоды. Высота растений играет здесь ключевую роль [16–18]. В настоящих исследованиях сорт Феникс показал высокую устойчивость к полеганию, получив оценки в диапазоне 4,8–5,0 баллов (по 5-балльной шкале). Изучаемые системы применения удобрений не оказали заметного негативного влияния на рассматриваемый показатель.

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений на морфологические показатели и элементы структуры урожая льна-долгунца сорта Феникс (2021–2023 гг.)

Table 2. The effect of mineral fertilizers on the morphological parameters and structural elements of the harvest of flax of the Phoenix variety (2021–2023)

№	Вариант	Высота растений, см	Техническая длина, см	Количество растений перед уборкой, шт./м ²	Число коробочек на 1 растение, шт.	Число семян в коробочке, шт.	Число семян на 1 растение, шт.
1	Контроль (без удобрений)	68	54	1232	3,4	6,2	21
2	N28P108K114 (ТКУ с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N24	78	68	1480	4,2	6,5	27
3	N36P112K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Диаммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N15	84	68	1500	4,5	6,1	27
4	N45P105K105 (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N15	83	64	1493	5,1	6,7	34
5	N31P114K115 (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20	87	67	1496	4,4	6,4	28
6	N33P111K114 (ЖКУ + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	69	56	1328	4,4	5,0	22
7	N24P104K114 («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N30 + Zn + Mo	79	65	1390	5,2	5,7	29
8	N28P105K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Сульфаммофос» + «Калимаг») + подкормка N25 + Zn + Mo	85	69	1506	5,0	7,2	36
9	N30P100K100 (РК-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N22 + Zn + Mo	91	70	1596	4,2	5,6	24
10	N32P109K112 (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	82	68	1607	6,0	5,5	34
НСР ₀₅		12,8	8,4	183	0,7	0,8	4,5

Применение минеральных удобрений в большинстве вариантов повлияло на число семян, получаемых с одного растения, которое изменялось от 21 шт. в контрольном варианте до 22–36 шт. в вариантах с применением удобрений и зависело от числа коробочек на растении, с одной стороны, и числа семян в коробочке — с другой. Семенная продуктивность отдельно взятого растения льна-долгунца при прочих равных условиях в известной мере находится в обратной зависимости от густоты стояния посева, поэтому применение минеральных удобрений может оказывать на рассматриваемый показатель как прямое позитивное действие — через обеспечение физиологических потребностей растений необходимыми питательными элементами в период закладки генеративных органов и цветения, так и опосредованное действие, которое связано с изменением показателя выживаемости и, следовательно, густоты стояния всего посева перед уборкой.

Наибольшее количество семян с одного растения было получено в вариантах с совместным внесением ТКУ с бором, серой и кальцием и проведением азотной подкормки (4-й вариант), с совместным внесением фосфорно-калийного удобрения с серой и кальцием, «Сульфоаммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки (8-й вариант) и с совместным внесением ТКУ с серой и бором, «Аммофосом», «Калимагом» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки (10-й вариант).

Во всех рассматриваемых вариантах вместе с применяемыми удобрениями растения получали достаточное количество серы и микроэлементов: бора (как в 4-м варианте), цинка и молибдена (как в 8-м варианте) или всех перечисленных микроэлементов вместе (как в 10-м варианте). Такие условия минерального питания позволили растениям льна сформировать от 5,0 до 6,0 коробочек на одном растении с количеством семян от 5,5 до 7,2 в одной коробочке, обеспечив прибавку получаемых с одного растения семян на 61,9–71,4% по отношению к контролю или на 17,2–63,6% — по отношению к остальным вариантам применения удобрений.

В целом применение минеральных удобрений оказало позитивное влияние на морфологические показатели и элементы структуры урожая льна-долгунца сорта Феникс. Исключение составил показатель числа семян в коробочке, оказавшийся наиболее консервативным и при использовании большинства изучаемых систем удобрения существенно не отличавшийся от контроля.

Применение минеральных удобрений повысило урожайность льносоломки и льносемян (табл. 3).

Таблица 3. Влияние минеральных удобрений на урожайность соломы и семян льна-долгунца сорта Феникс (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 3. The effect of mineral fertilizers on the yield of straw and flax seeds of the Phoenix variety (average for 2021–2023)

№	Вариант	Масса семян с растения, г	Масса одной соломины, г	Урожайность льносоломки, т/га	Урожайность льносемян, т/га
1	Контроль (без удобрений)	0,16	0,40	4,93	0,20
2	N28P108K114 (ТКУ с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N24	0,18	0,53	7,81	0,27
3	N36P112K114 (ПК-удобрение с серой и кальцием + «Диаммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N15	0,17	0,51	7,64	0,26
4	N45P105K105 (ТКУ с бором + ПК-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N15	0,22	0,62	9,25	0,33
5	N31P114K115 (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20	0,19	0,54	8,06	0,28
6	N33P111K114 (ЖКУ + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	0,17	0,52	6,96	0,23
7	N24P104K114 («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N30 + Zn + Mo	0,18	0,52	7,18	0,25
8	N28P105K114 (ПК-удобрение с серой и кальцием + «Сульфоаммофос» + «Калимаг») + подкормка N25 + Zn + Mo	0,21	0,59	9,02	0,32
9	N30P100K100 (ПК-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N22 + Zn + Mo	0,19	0,57	9,08	0,30
10	N32P109K112 (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	0,21	0,59	9,49	0,34
НСР ₀₅		0,02	0,07	0,30	0,02

В вариантах с использованием только серосодержащих удобрений (без микроэлементов — 2-й и 3-й варианты), а также при проведении цинко-молибденовой подкормки при внесении комплексных удобрений, не содержащих серы (6-й и 7-й варианты), прибавка урожая льносоломки по отношению к контролю составила 55,0–58,4% и 41,2–45,6% соответственно.

Существенное преимущество перед другими системами применения удобрений по рассматриваемому показателю имели варианты с использованием борсодержащих комплексных удобрений (4-й и 5-й варианты), прибавка урожая льносоломки в которых составила 63,5–86,7% по отношению к контролю или 18,4–21,1% по отношению к аналогичным вариантам без применения борсодержащих минеральных удобрений.

Проведение цинко-молибденовой подкормки обеспечило наибольшую прибавку урожайности льносоломки на фоне внесения твердых комплексных серосодержащих удобрений (8-й и 9-й варианты), а также на фоне внесения ТКУ с содержанием серы и бора (10-й вариант). Прибавка по отношению к вариантам, в которых подкормку проводили на фоне внесения комплексных удобрений, не содержащих серу, составила 25,6–30,5% в первом случае и 32,2–36,4% — во втором.

Аналогичным было влияние минеральных удобрений на урожайность льносемян. Наименьшей

была прибавка урожая, полученная при проведении цинко-молибденовой подкормки на фоне комплексных удобрений, не содержащих серы (6-й и 7-й варианты). Она составила 15,0–25,0%.

Не самую высокую эффективность показали серосодержащие удобрения без микроэлементов (2-й и 3-й варианты). Прибавка урожайности льносемян при их применении составила 30,0–35,0% по отношению к контролю.

Применение борсодержащих комплексных удобрений без проведения цинко-молибденовой подкормки (4-й и 5-й варианты) позволило увеличить урожайность льносемян на 40,0–65,0%. Высокая урожайность льносемян была получена и при проведении цинко-молибденовой подкормки на фоне внесения твердых комплексных серосодержащих удобрений (8-й и 9-й варианты), а также на фоне внесения ТКУ с содержанием серы и бора (10-й вариант). Прибавка урожая по отношению к контролю в этих вариантах составила 50,0–60,0% и 70,0% соответственно.

Таким образом, наибольшая урожайность льносолемы и льносемян была получена в варианте с совместным использованием ТКУ с серой и бором, «Аммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки в фазу «елочка». Практически не уступал ему вариант с совместным использованием ТКУ с бором, серой и кальцием и проведением азотной подкормки в ту же фазу развития растений. Особенностью обоих вариантов, отличавшей их от всех прочих изучаемых систем применения удобрений, было одновременное присутствие в их составе серы и бора. Все остальные варианты применения удобрений существенно уступали наилучшему варианту как

по урожайности льносолемы, так и по урожайности льносемян.

Выводы/Conclusions

Применение комплексных минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца сорта Феникс на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями позволило увеличить урожайность льносолемы с 4,93 до 6,96–9,49 т/га, льносемян — с 0,20 до 0,23–0,34 т/га.

Введение в состав удобрений кальция (ТКУ с содержанием кальция) и магния («Калимаг») не привело к позитивным сдвигам в процессе формирования элементов структуры урожая и в количестве получаемой продукции. По-видимому, это связано с конкурентными отношениями, которые возникают между ионами калия, кальция и магния при поступлении в растение; лен же, как известно, предъявляет повышенные требования к калийному питанию в период формирования урожая.

Наибольшую биологическую эффективность среди предложенных систем применения удобрений показали варианты с предпосевным внесением $N_{32}P_{109}K_{112}$ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») в сочетании с проведением подкормки N_{20} (аммиачная селитра + Zn-Мо-микроудобрения) и предпосевным внесением $N_{45}P_{105}K_{105}$ (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) в сочетании с проведением подкормки N_{15} (аммиачная селитра).

Остальные варианты применения удобрений по урожайности льносолемы и льносемян существенно уступали наилучшему из предложенных.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (регистрационный № 125031703743-6). <https://gisnauka.ru/global-search>

FUNDING

The research was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (registration No. 125031703743-6). <https://gisnauka.ru/global-search>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградова Т.А., Кудряшов Т.А., Козьякова Н.Н. Изучение состава сортов льна-долгунца по признакам, определяющим выбор эффективной технологии переработки льнотресты. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023; (3): 5–17. <https://www.doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-5-17>
2. Пестрикова Ю.В. Особенности питания и система удобрения льна-долгунца. *Почвы и их эффективное использование. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора, академика РАН И.Г. Юлушева*. Киров: Вятский государственный агротехнологический университет. 2024; 154–157. <https://www.elibrary.ru/bxrchy>
3. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Применение ростостимулирующих препаратов на новом сорте льна-долгунца Феникс. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023; (1): 46–53. <https://elibrary.ru/zxiyfi>
4. Abo-Marzoka E.A., El-Borhamy Amal M.A. Response of Flax Plant to Foliar Spray by Urea and Some of Micronutrients Mixture under Different Nitrogen Levels. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2018; 63(4): 251–261.

REFERENCES

1. Vinogradova T.A., Kudryashov T.A., Kozyakova N.N. Studying the composition of linen flax variety on the signs determining the choice of an effective flax straw processing technology. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; (3): 5–17 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-5-17>
2. Pestrikova Yu.V. Nutrition features and fertilization system of flax. *Soils and their effective use. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences I.G. Yulushev*. Kirov: Vyatka State Agrotechnological University. 2024; 154–157 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bxrchy>
3. Gavrilova A.Yu., Konova A.M. Application of growth stimulators on Phoenix — a new variety of fibre flax. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (1): 46–53 (in Russian). <https://elibrary.ru/zxiyfi>
4. Abo-Marzoka E.A., El-Borhamy Amal M.A. Response of Flax Plant to Foliar Spray by Urea and Some of Micronutrients Mixture under Different Nitrogen Levels. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2018; 63(4): 251–261.

5. Овчаренко Я.Э. Льняной подкомплекс — основные тенденции и перспективы развития. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2018; 53: 231–234. <https://www.doi.org/10.24411/2078-1318-2018-14231>
6. Глушаков С.Н. О мыклости и сбежистости льна-долгунца. *Льняные культуры: производство и переработка. Материалы Международной научно-практической конференции*. Тверь: Идея. 2024; 139–142. <https://elibrary.ru/mfkvww>
7. Ильина В.И. Урожайность льна-долгунца среднеспелых сортов в зависимости от элементов агротехнологии возделывания. *Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал*. 2023; 3(2): 11–17. <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2023.39.82.002>
8. Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н., Ильина В.И. Эффективность жидкого хелатного удобрения форрис на посевах льна-долгунца в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. *Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал*. 2022; 2(3): 22–27. <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2022.56.30.003>
9. Сорокина О.Ю. Управление продуктивностью льна-долгунца путем оптимизации минерального питания. *Агрехимия*. 2024; (8): 42–49. <https://www.doi.org/10.31857/S0002188124080067>
10. Кузьменко Н.Н., Сухопалова Т.П., Ильина В.И. Влияние агротехнологических элементов возделывания на продукционный процесс льна-долгунца. *Пермский аграрный вестник*. 2019; (1): 48–54. <https://elibrary.ru/iicogd>
11. Abou-Zied K.A., Sanaa S., Hassan K.H.E., Nawar A.I. Effect of Seeding Rates and Weed Control Treatments on Productivity and Weed Suppression in Flax Cultivar Sakha. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2015; 60(3): 221–228.
12. Гореева В.Н., Корепанова Е.В. Оценка продуктивности сортов льна-долгунца псковской и смоленской селекции. *Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ*. Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет. 2023; 1: 21–26. <https://elibrary.ru/efouei>
13. Bakry A.B., Nofal O., Zeidan M., Hozayn M. Potassium and Zinc in Relation to Improve Flax Varieties Yield and Yield Components as Grown under Sandy Soil Conditions. *Agricultural Sciences*. 2015; 6(1): 152–158. <https://www.doi.org/10.4236/as.2015.61013>
14. Сорокина О.Ю. Оценка ассортимента удобрений и способов их внесения под новый сорт льна-долгунца Универсал. *Аграрная наука*. 2021; (6): 55–59. <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
15. Andruszczak S., Gawlik-Dziki U., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Różyło K., Pałys E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. *Plant, Soil and Environment*. 2015; 61(6): 247–252. <https://www.doi.org/10.17221/120/2015-PSE>
16. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Урожайность льна-долгунца и качество волокна в зависимости от возрастающих доз минеральных удобрений. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; (2): 52–59. <https://www.doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-52-59>
17. Зотова В.С., Пролетова Н.В., Конова А.М. Влияние провокационных условий повышенного кислотного фона почвы на морфологические признаки растений льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.). *Аграрная наука*. 2024; (7): 119–124. <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>
18. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S. Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties. *Journal of Plant Production*. 2020; 11(12): 1501–1505.
19. Яковлева С.В., Васильев А.С. Влияние биопрепаратов и фона минерального питания на продуктивность льна-долгунца в условиях Тверской области. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (4): 16–23. <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-16-23>
20. Korepanova E.V., Fatykhov I.Sh., Goreeva V.N., Islamova Ch.M. Assessment of fiber flax varieties according to the parameters of ecological plasticity in the conditions of the Ural region of the non-chernozem zone of Russia *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012081. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012081>
21. Haag K. *et al.* Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017; 98: 1–9. <https://www.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.028>
5. Ovcharenko Ya.E. Flax subcomplex — the main trends and prospects of development. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018; 53: 231–234 (in Russian). <https://www.doi.org/10.24411/2078-1318-2018-14231>
6. Glushakov S.N. About the meanness and fluidity of long-lived flax. *Best crops: production and processing. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Tver: Ideya. 2024; 139–142 (in Russian). <https://elibrary.ru/mfkvww>
7. Ilyina V.I. Yield of fiber flax of medium-ripe varieties depending on the elements of agrotechnology of cultivation. *Technical crops. Scientific agricultural journal*. 2023; 3(2): 11–17 (in Russian). <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2023.39.82.002>
8. Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N., Ilyina V.I. The effectiveness of liquid chelated fertilizer Forris on flax crops in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone. *Technical crops. Scientific agricultural journal*. 2022; 2(3): 22–27 (in Russian). <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2022.56.30.003>
9. Sorokina O.Yu. Managing the productivity of flax by optimizing nutrition. *Agricultural Chemistry*. 2024; (8): 42–49 (in Russian). <https://www.doi.org/10.31857/S0002188124080067>
10. Kuzmenko N.N., Sukhopalova T.P., Ilyina V.I. Influence of agrotechnological elements of cultivation on fibre flax productivity. *Perm Agrarian journal*. 2019; (1): 48–54 (in Russian). <https://elibrary.ru/iicogd>
11. Abou-Zied K.A., Sanaa S., Hassan K.H.E., Nawar A.I. Effect of Seeding Rates and Weed Control Treatments on Productivity and Weed Suppression in Flax Cultivar Sakha. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2015; 60(3): 221–228.
12. Goreeva V.N., Korepanova E.V. Evaluation of the productivity of flax varieties of long flax from Pskov and Smolensk breeding. *Innovative solutions to strategic tasks of the agro-industrial complex. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Udmurt State Agrarian University*. Izhevsk: Udmurt State Agrarian University. 2023; 1: 21–26 (in Russian). <https://elibrary.ru/efouei>
13. Bakry A.B., Nofal O., Zeidan M., Hozayn M. Potassium and Zinc in Relation to Improve Flax Varieties Yield and Yield Components as Grown under Sandy Soil Conditions. *Agricultural Sciences*. 2015; 6(1): 152–158. <https://www.doi.org/10.4236/as.2015.61013>
14. Sorokina O.Yu. Evaluation of the range of fertilizers and methods of their application for a new variety of fiber flax Universal. *Agrarian science*. 2021; (6): 55–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
15. Andruszczak S., Gawlik-Dziki U., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Różyło K., Pałys E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. *Plant, Soil and Environment*. 2015; 61(6): 247–252. <https://www.doi.org/10.17221/120/2015-PSE>
16. Gavrilova A.Yu., Konova A.M. Fibre flax yield and quality depending on increased doses of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022; (2): 52–59 (in Russian). <https://www.doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-52-59>
13. Zotova V.S., Proletova N.V., Konova A.M. The influence of provocative conditions of increased acidity of the soil on the morphological characteristics of fiber flax plants (*Linum usitatissimum* L.). *Agrarian science*. 2024; (7): 119–124 (in Russian). <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>
18. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S. Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties. *Journal of Plant Production*. 2020; 11(12): 1501–1505.
19. Yakovleva S.V., Vasilyev A.S. The influence of biological preparations and mineral nutrition background on flax productivity in the conditions of Tver territory. *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (4): 16–23 (in Russian). <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-16-23>
20. Korepanova E.V., Fatykhov I.Sh., Goreeva V.N., Islamova Ch.M. Assessment of fiber flax varieties according to the parameters of ecological plasticity in the conditions of the Ural region of the non-chernozem zone of Russia *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012081. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012081>
21. Haag K. *et al.* Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017; 98: 1–9. <https://www.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.028>

22. Dmitriev A.A. *et al.* Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency. *BMC Plant Biology*. 2019; 19(S1): 54.
<https://www.doi.org/10.1186/s12870-019-1641-1>

23. Andrassy M., Surina R., Butorac J. Influence of agroecological conditions on the properties of flax fibres in Croatia. *5th International Textile, Clothing and Design Conference*. 2010; 32–37.

ОБ АВТОРАХ

Ираида Николаевна Романова

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 iraidarom@yandex.ru

Марина Игоревна Перепичай

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 bibikova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9381-2195>

Наталья Васильевна Птицына

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 pnatalya214019@gmail.com

Юрий Владимирович Козлов

кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 kozlov.sm@internet.ru

Ксения Викторовна Мартынова

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 hariton_93@mail.ru

Смоленская государственная сельскохозяйственная академия,
 ул. Большая Советская, 10/2, Смоленск, 214000, Россия

22. Dmitriev A.A. *et al.* Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency. *BMC Plant Biology*. 2019; 19(S1): 54.
<https://www.doi.org/10.1186/s12870-019-1641-1>

23. Andrassy M., Surina R., Butorac J. Influence of agroecological conditions on the properties of flax fibres in Croatia. *5th International Textile, Clothing and Design Conference*. 2010; 32–37.

ABOUT THE AUTHORS

Iraida Nikolaevna Romanova

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 iraidarom@yandex.ru

Marina Igorevna Perepichai

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 bibikova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9381-2195>

Natalia Vasilyevna Ptitsyna

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 pnatalya214019@gmail.com

Yuri Vladimirovich Kozlov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 kozlov.sm@internet.ru

Ksenia Viktorovna Martynova

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 hariton_93@mail.ru

Smolensk State Agricultural Academy,
 10/2 Bolshaya Sovetskaya Str., Smolensk, 214000, Russia