

УДК 631.82:631.816.355:633.521

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПРЕПАРАТОМ КОНТРОЛФИТ-Si НА РАЗНЫХ ФОНАХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ¹

© 2023 г. А. М. Конова¹, А. Ю. Гаврилова^{1,*}, Н. Е. Самсонова²¹Федеральный научный центр лубяных культур

Комсомольский проспект, 17/56, Тверь 170041, Россия

²Смоленская государственная сельскохозяйственная академия

ул. Большая Советская, 10/2, Смоленск 214000, Россия

*E-mail: augavrilova@gmail.com

Поступила в редакцию 06.07.2023 г.

После доработки 12.08.2023 г.

Принята к публикации 15.09.2023 г.

Изучили отзывчивость льна-долгунца на минеральные удобрения и некорневую подкормку водным раствором препарата Контролфит-Si на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Показано, что реакция льна-долгунца на минеральные удобрения зависела от гидротермических условий внешней среды, доз и соотношения питательных элементов. Избыточная влажность и засушливые условия отрицательно сказались на продуктивности посевов. Некорневая подкормка растений препаратом Контролфит-Si нивелировала негативное влияние неблагоприятных погодных условий, повысила отзывчивость растений на минеральные удобрения, способствовала более полному использованию питательных элементов из удобрений. В среднем за 3 года на фонах полного минерального удобрения подкормка на 25–30% повысила урожайность льносоломой с лучшим эффектом на фоне N48P48K48 (4.03 т/га). На урожайности льносемян подкормка положительно не отразилась. На формирование 1 т урожая льносоломой с соответствующим количеством семян вне зависимости от условий питания растений потребовалось 13.8 кг N, 5.9 кг P₂O₅ и 10.7 кг K₂O.

Ключевые слова: лен-долгунец, минеральные удобрения, некорневая подкормка, препарат Контролфит-Si, урожайность, вынос питательных элементов.

DOI: 10.31857/S0002188123120074, **EDN:** SJSCL

ВВЕДЕНИЕ

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) является одной из важнейших технических культур России и имеет практически неограниченный рынок сбыта. Имея слаборазвитую корневую систему и короткий период активного поглощения питательных элементов (бутонизация–цветение), лен предъявляет высокие требования к пищевому режиму почвы. Поэтому вопросы совершенствования технологии его выращивания в части формирования оптимальных условий питания являются актуальными.

Основные районы возделывания льна-долгунца расположены в зоне дерново-подзолистых почв, характеризующихся повышенной кислотностью и невысоким естественным плодородием.

Частой причиной снижения урожайности являются засухи, частота проявления которых в последние десятилетия растет, или избыток осадков, особенно опасный после цветения льна. В этих условиях актуален поиск путей снижения негативного воздействия на растения внешних факторов и стабилизации продукционного процесса. Одним из них является использование минеральных удобрений.

На формирование 1 т льноволокна с учетом побочной продукции требуется 70–80 кг N, 25–30 кг – P₂O₅ и 90–104 кг – K₂O. Соотношение питательных элементов в минеральных удобрениях зависит от плодородия почвы. По данным Кошелевой [1], высокая продуктивность фотосинтеза отмечена при удобрении льна с соотношением удобрений N : P : K = 1 : 2 : 3, по другим сведениям лучшим оказалось соотношение N : P : K = 1 : 1.5 : 2 [2], комплексное удобрение с выравненным соотношением (1 : 1 : 1) было менее эффектив-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ “Федеральный научный центр лубяных культур” (тема № FGSS-2019-0011).

ным, чем смесь удобрений с соотношением 1 : 2 : 4 [3].

Из питательных элементов наибольшее влияние на повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды оказывает калий. Он способствует образованию более плотных лубяных пучков, уменьшает длину междоузлий, у клеток склеренхимы и паренхимы образуются утолщенные стенки с более высоким содержанием лигнина. Это повышает устойчивость растений к полеганию, поражению болезнями и вредителями. Калий защищает растения от негативного воздействия перепадов температур и дефицита влаги.

Фосфор в растениях принимает участие в фотосинтезе, дыхании, в целом — в энергетическом обмене. Он усиливает способность клеток удерживать влагу, повышая устойчивость растений к засухе и низким температурам, усиливает рост корней и способствует созданию цветочных почек.

Что касается азота, то его избыток снижает механическую прочность тканей, вызывает полегание растений, способствует повреждению растений вредителями и болезнями, ухудшает качество продукции.

В настоящее время все большее внимание уделяют исследованиям, посвященным использованию соединений кремния при выращивании сельскохозяйственных культур. Показано, что Si разносторонне влияет на физиолого-биохимические процессы в растениях, обеспечивает защиту от стрессов абиотической (радиации, нарушения минерального питания, засухи, засоления, загрязнения тяжелыми металлами, высоких и низких температур и др.) и биотической природы (бактериальных и грибковых заболеваний, поражения вредителями) и способствует продукционному процессу в целом [4–9]. В случае нехватки Si растения чаще проявляют нарушения роста и развития.

Кремний-опосредованные механизмы защиты растений при неблагоприятных условиях роста включают повышение водоудерживающей способности растительных тканей, изменение структуры и снижение недостатка воды в клетках [12], усиление активности антиоксидантных ферментов [10] и синтеза эндогенных фитогормонов [11]. Кремний способствует фотосинтезу [13–15], оказывает положительное влияние на синтез углеводов, белков, хлорофилла [6, 16], улучшает усвоение и обмен азота и фосфора в тканях растений [17].

По запасам в почве Si занимает 2-е (после кислорода) место, однако содержание его подвижных форм не превышает 1–3% общих запасов или 150–200 мг/кг почвы [18], что сопоставимо с содержанием подвижного фосфора и калия. Отчуждение Si из пахотного слоя за счет выноса урожаями (30–700 кг/га по данным ФАО, по другим данным — 50–200 кг/га [19]) и выщелачивания в мировой океан (до 300 тыс. т в год [20]) при практическом отсутствии промышленных кремневых удобрений приводит к формированию его отрицательного баланса (до 6–20 кг/га) [21]. Это может являться ограничивающим фактором формирования высоких урожаев, особенно при неблагоприятных условиях внешней среды.

Поступление Si в растения может осуществляться не только через корень, но и через лист. О высокой эффективности листового питания растений накоплено немало фактов. Например, обработка растений риса водным раствором силиката натрия привела к повышению продуктивности метелок, массы 1000 зерен, урожайности зерна и содержания в нем крахмала [22], повысила устойчивость к засухе чувствительных к ней сортов пшеницы [23], значительно снизила распространение мучнистой росы [24]. Использование этого приема привело к повышению содержания питательных веществ в плодах яблони [25], росту урожайности и качества плодов финиковой пальмы [26], к снижению поражения растений бобов белой плесенью [27], повышению устойчивости растений винограда к холоду [28]. Приведены сведения о защитном от болезней действии листовой обработки растворами силикатов калия и натрия растений огурца, кабачка, тыквы, винограда, земляники, риса, сои, пшеницы, стручкового перца; о положительном влиянии на урожайность и качество плодов манго, финиковой пальмы, винограда, репчатого лука [29]. По данным [30], некорневая подкормка растений льна растворами силикатов натрия и магния улучшила их питательный статус по сравнению с контрольными растениями и увеличила выход соломы и масла.

В России для использования в листовом питании растений Si изучают препараты Силактив, Силиплант, Келик-К-Si, Квантум-аквасил, Контролфит-Si [31–33]. Отмечено их положительное влияние на фотосинтез, активность антиоксидантных ферментов, устойчивость растений к засухе, урожайность и качество продукции. Однако сведения не всегда однозначны, что может быть связано с видовыми и сортовыми особенностями культур и различиями внешних условий. Очень мало сведений о результативности листовой под-

кормки Si посевов льна-долгунца и о связи ее с уровнем минерального питания растений.

Цель работы — установить действие минеральных удобрений и некорневой подкормки растений льна-долгунца препаратом контролфит-Si на величину урожая, содержание и вынос основных питательных элементов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт с новым сортом льна-долгунца Феникс проведен на базе обособленного подразделения Смоленский НИИСХ ФНЦ ЛК в 2019–2021 гг. Сорт выведен в Федеральном научном центре лубяных культур, в 2018 г. включен в государственный реестр Центрального и Северо-Западного регионов РФ. Является позднеспелым, высокопродуктивным, устойчивым к полеганию, не склоненным к осыпанию семян. В слабой степени поражается грибными болезнями.

Двухфакторный эксперимент (фактор *A* — минеральные удобрения, фактор *B* — некорневая подкормка) проводили в трехкратной повторности. Размещение делянок рендомизированное. Площадь делянки — 32 м². Предшественником льна была горчица после подъема залежи. В опыте вносили АФК (16 : 16 : 16), N_{aa} (34.5%), P_{сд} (42%) и K_x (56%). Водный раствор препарата Контролфит-Si применяли в качестве подкормки растений в фазе “елочки” на всех фонах минерального питания в дозе 1.1 л/га с расходом рабочего раствора из расчета 300 л/га. Схема опыта приведена в таблицах.

Контролфит-Si — раствор, содержащий 17% водорастворимого Si и 7% K₂O, pH 11.0–11.5. Страна-производитель — Испания. С использованной дозой препарата на растения попало 220 г Si/га и 90 г K₂O/га.

Почва, на которой проводили опыт, была определена как дерново-подзолистая среднесуглинистая, слабокислая (pH_{KCl} 5/4) с низким содержанием углерода (по Тюрину) (C — 2/0%), повышенным содержанием (по Кирсанову) — подвижных форм P (142 мг/кг), средним — K (98 мг/кг) и средним уровнем дефицита доступного растениям Si (337 мг/кг) [34].

Норма высева семян льна — 60 кг/га. Способ посева — узкорядный. Учет урожая проведен сплошным методом. Для оценки достоверности различий полученные результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа при помощи программы STRAZ.

После разложения растительных проб методом мокрого озоления по Гинзбург образцы ана-

лизировали на содержание фосфора по методу Мерфи—Райли, калия — методом пламенной фотометрии и азота — по методу Чмелевой—Тютерева [35].

Лен-долгунец — культура умеренного климата, любит рассеянный свет, облачность. Он лучше удается в местах с умеренно теплой, скорее прохладной погодой. Это влаголюбивое растение, особенно в период от всходов до фазы бутонизации. При температуре воздуха >22°C в сочетании с дефицитом осадков рост растений угнетен, усиливается ветвление стеблей и ухудшается качество волокна, а в условиях засухи резко снижается высота растений, усиленно развивается ксилема, снижается качество и выход волокна. Избыточное количество осадков, особенно после цветения, когда лен мало расходует воды, способствует полеганию растений, повреждению болезнями, ведет к снижению величины и качества урожая волокна и семян.

Агрометеорологические условия вегетационных периодов 2019–2021 гг. существенно различались (табл. 1).

Сумма активных температур за май–сентябрь в 2019 г. была на 6.5% меньше среднееголетних показателей, особенно прохладно было в июле и августе (на 1.5–2.0°C ниже климатической нормы). Недобор осадков составил 22%, однако характер их распределения по месяцам в целом соответствовал норме.

Весенне-летний период 2020 г. при близком к среднееголетнему температурному режиму оказался избыточно влажным: сумма осадков на 23% превысила норму, гидротермический коэффициент (ГТК) в июне соответствовал избыточному увлажнению, в июле — зоне дренажа.

В 2021 г. июнь и июль (наиболее ответственный за водопотребление период развития льна) оказались критически засушливыми месяцами (почти 2-кратный недобор осадков), при этом среднемесячная температура воздуха была на 2.5–3.7°C выше климатической нормы. В июле величина ГТК составила 0.78, что свидетельствовало о засухе, отрицательно повлиявшей на формирование плодов и семян. Таким образом, по сочетанию температурного режима воздуха и влагообеспеченности растений, более благоприятным для развития льна-долгунца оказался 2019 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение NPK, а также метеорологические условия значительно повлияли на урожайность соломы и семян льна-долгунца (табл. 2). В усло-

Таблица 1. Агрометеорологические условия вегетационных периодов 2019–2021 гг.

Месяц	Температура воздуха, °С				Сумма осадков, мм			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средне-многолетняя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средне-многолетняя
Май	14.0	10.2	12.1	13.1	80	118	90	95
Июнь	19.0	18.5	19.1	16.6	62	93	69	99
Июль	15.3	16.7	21.1	17.4	62	130	42	107
Август	15.5	16.6	17.2	17.0	93	90	139	69
Сентябрь	11.3	13.3	9.1	12.3	34	82	112	56
Показатель					2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
ГТК по Селянинову (июнь/июль)					1.08/1.30	1.62/2.51	1.09/0.78	1.26/1.53
Количество дней с осадками >1 мм (июнь + июль)					38	40	25	34
Σ t° июнь/июль					570/474	573/518	633/533	592/508

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом Контролфит-Si на урожайность соломы и семян льна-долгунца, т/га

Вариант	Без подкормки				С подкормкой			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Солома								
N0P0K0	3.28	1.37	1.00	1.88	3.28	1.37	1.43	2.02
N48P0K0	3.05	2.00	1.10	2.05	3.14	1.98	1.44	2.18
N0P48K0	3.36	2.60	0.98	2.31	3.38	2.39	1.51	2.43
N0P0K48	3.00	2.00	0.90	1.97	3.40*	2.48*	1.59	2.49
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	5.91	2.74	0.98	3.21	6.88*	3.02*	2.18	4.03
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	3.64	2.51	0.90	2.35	4.22*	2.72*	2.02	2.99
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	3.76	2.65	0.90	2.43	4.56*	2.88*	2.07	3.17
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	3.96	3.25	0.88	2.70	4.21*	3.36	2.18	3.25
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	3.97	3.29	0.98	2.75	4.68*	3.48*	2.24	3.47
HCP ₀₅								
Фактор А – удобрения					0.46	0.18	0.25	
Фактор Б – подкормка					0.15	0.12	0.25	
Семена								
N0P0K0	0.46	0.30	0.30	0.35	0.46	0.30	0.23	0.33
N48P0K0	0.69	0.44	0.33	0.48	0.60	0.42	0.28	0.43
N0P48K0	0.53	0.42	0.36	0.44	0.56	0.40	0.26	0.41
N0P0K48	0.54	0.45	0.49	0.49	0.57	0.47	0.28	0.44
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	0.67	0.65	0.62	0.64	0.71	0.68	0.33	0.57
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	0.51	0.44	0.32	0.42	0.54	0.45	0.26	0.42
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	0.61	0.48	0.41	0.50	0.65	0.50	0.32	0.49
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	0.48	0.51	0.40	0.46	0.52	0.52	0.34	0.46
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	0.58	0.49	0.37	0.48	0.64	0.53	0.43	0.53
HCP ₀₅								
Фактор А – удобрения					0.06	0.09	0.08	
Фактор Б – подкормка					0.02	0.03	0.02	

виях благоприятного по погодным условиям 2019 г. урожайность соломы была в 1.2–2.4 раза больше, чем в избыточно влажном и более жарком 2020 г. и в 2.8 раза больше, чем в 2021 г., ха-

рактеризовавшимся существенным недобором осадков и высокой температурой воздуха в июне–июле. Во все годы самой высокой она была при внесении полного минерального удобрения с

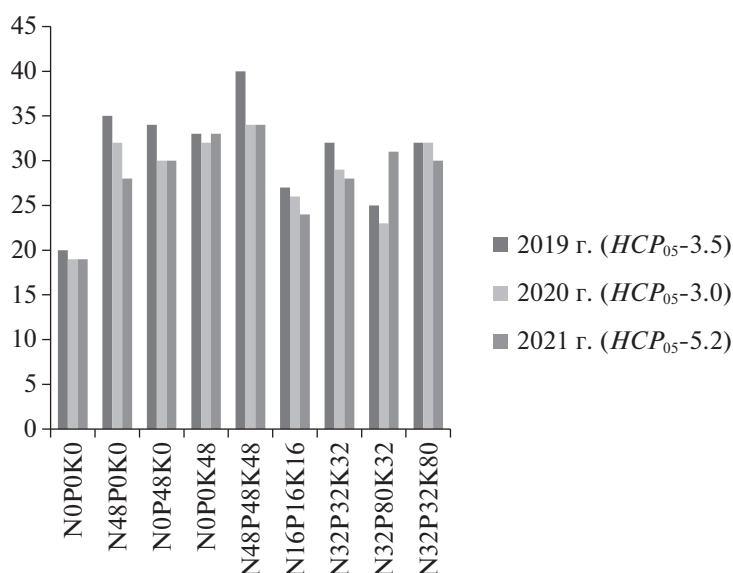


Рис. 1. Влияние погодных условий на число коробочек льна на разных фонах минерального питания, шт./10 растений. По оси ординат — число коробочек с 10 растений (шт.), по оси абсцисс — варианты опыта. То же на рис. 2.

суммарной дозой 144 кг д.в./га: N48P48K48 (1 : 1 : 1), N32P80K32 (1 : 1.5 : 1) и N32P32K80 (1 : 1 : 1.5).

Положительное влияние на урожайность льносоломой оказала листовая подкормка растений препаратом Контролфит-Si. Особенно заметным оно было в жарком и засушливом 2021 г.: по сравнению с соответствующими вариантами без подкормки она выросла в 1.3–2.4 раза, причем это влияние проявилось во всех вариантах. Это согласовалось с известными в литературе сведениями о защитной роли кремния при действии неблагоприятных абиотических факторов.

Высокий эффект от подкормки был и в благоприятном по погодным условиям 2019 г.: прибавка урожая соломы достигла 6–21%, при этом эффект отсутствовал в контроле и в вариантах с внесением одного азота или фосфора. В этих же вариантах подкормка не проявилась и в избыточно влажном 2020 г., в остальных вариантах минерального питания она составила 6–24%, кроме варианта N32P80K32, где эффект отсутствовал.

В среднем за 3 года на фоне сбалансированного питания растений, а также в варианте N0P0K48 подкормка обеспечила рост урожайности льносоломой на 20–30%. При внесении только азотного или фосфорного удобрения, а также в варианте без удобрений эффект подкормки был очень слабым.

Урожайность семян льна-долгунца в среднем за 3 года при внесении удобрений повысилась на 20–82% по отношению к контролю без удобрений (табл. 2) с максимальным эффектом в вари-

анте N48P48K48. Зависимость выхода семян от погодных условий была такой же как и льносоломой: больший эффект от удобрений получен в 2019 г., самый низкий (более чем в 3 раза) — в 2021 г. с засушливыми условиями в период завязывания плодов и семян. Несмотря на различия погодных условий, во все годы урожайность семян была больше при внесении N48P48K48.

Действие некорневой подкормки растений на формирование урожайности семян льна-долгунца существенно зависело от погодных условий. В 2019 г. с более благоприятными для роста и развития льна-долгунца погодными условиями на всех минеральных фонах, кроме N48P0K0 и контроля, подкормка способствовала достоверному росту урожайности семян. В избыточно влажном 2020 г. она оказалась не эффективной, в 2021 г. с засушливым и жарким июнем и июлем урожайность льносемян от подкормки достоверно снизилась. В этом году на фоне подкормки было сформировано в 1.7–3.0 раза меньше коробочек, чем в соответствующих вариантах без нее (рис. 1, 2), и гораздо меньше, чем в 2019 и 2020 гг. В условиях низкой завязываемости плодов снижалась их акцепторная емкость, и питательные вещества использовались на увеличение массы соломы. В 2021 г. подкормка привела к получению в 1.2–1.8 раза более легковесных семян (табл. 3). В результате в среднем за 3 года некорневая подкормка не изменила или даже снизила их урожайность.

Таким образом, использование кремнийсодержащего препарата Контролфит-Si для листо-

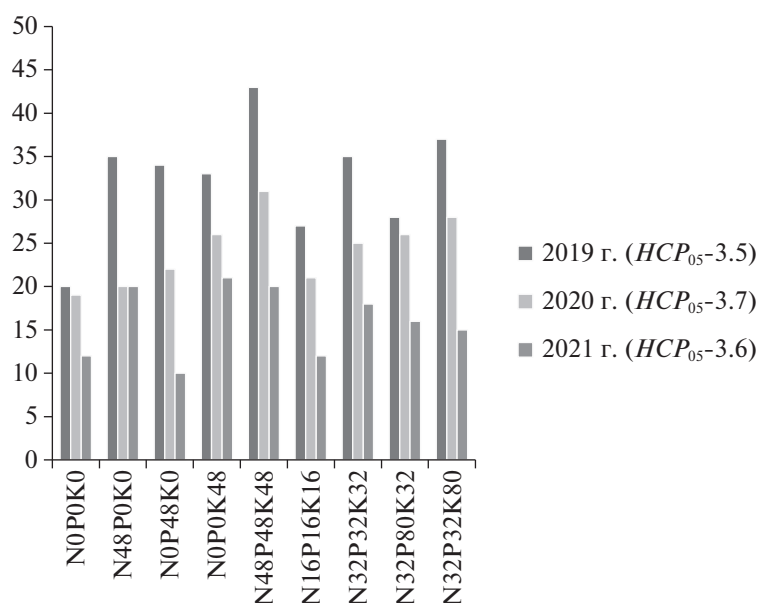


Рис. 2. Совместное влияние минеральных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом Контролфит-Si на формирование коробочек льна в разные по погодным условиям годы, шт./10 растений.

вой подкормки растений льна-долгунца на всех фонах сбалансированного минерального питания позволило получить более высокую урожайность льносоломой и повысить устойчивость рас-

тений к неблагоприятным факторам среды выращивания.

Коэффициент отзывчивости льна-долгунца на удобрение и подкормку, определенное как отно-

Таблица 3. Изменение массы 1000 семян льна-долгунца в зависимости от условий минерального питания, г

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за 2019–2021 гг.
Без подкормки				
N0P0K0	5.3	4.3	4.2	4.6
N48P0K0	5.5	4.8	4.4	4.9
N0P48K0	5.4	4.7	4.5	4.8
N0P0K48	5.4	4.7	4.6	4.9
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	5.6	5.2	5.0	5.2
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	5.4	4.7	4.6	4.9
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	5.5	5.0	4.8	5.1
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	5.2	5.1	4.9	5.0
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	5.5	5.2	4.9	5.2
С подкормкой				
N0P0K0	5.3	4.3	3.1	4.2
N48P0K0	5.4	4.7	3.7	4.6
N0P48K0	5.5	4.5	3.6	4.5
N0P0K48	5.4	4.8	3.8	4.7
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	5.7	5.4	4.2	5.1
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	5.4	4.6	3.3	4.4
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	5.6	5.0	3.5	4.7
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	5.3	5.1	4.1	4.8
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	5.6	5.2	3.9	4.9
HCP ₀₅				
Фактор А – удобрения	0.3	0.3	0.6	0.2
Фактор Б – подкормка	0.1	0.1	0.2	0.1

Таблица 4. Коэффициент отзывчивости льна-долгунца на минеральные удобрения и некорневую подкормку препаратом Контролфит-Si

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за 2019–2021 гг.
Удобрения				
N48P0K0	1.00	1.46	1.10	1.18
N0P48K0	1.04	1.80	1.03	1.28
N0P0K48	0.95	1.47	1.07	1.14
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	1.76	2.03	1.23	1.79
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	1.11	1.77	1.94	1.29
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	1.17	1.87	1.00	1.36
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	1.19	2.25	0.98	1.47
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	1.22	2.26	1.04	1.50
Удобрения + подкормка				
N48P0K0	1.00	1.44	1.32	1.17
N0P48K0	1.05	1.67	1.36	1.27
N0P0K48	1.06	1.77	1.44	1.31
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	2.03	2.21	1.93	2.06
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	1.27	1.90	1.75	1.57
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	1.39	2.02	1.84	1.64
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	1.26	2.32	1.94	1.66
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	1.42	2.40	2.05	1.79

шение полезной биомассы растений (солома + семена) удобренных вариантов к контролю зависел от суммарной дозы, соотношения элементов в удобрении и погодных условий (табл. 4). Наибольший коэффициент отмечен в 2020 г., характеризовавшемся избытком осадков, хотя общая урожайность полезной биомассы была больше в 2019 г. В условиях 2021 г. с засухой и высокими температурами воздуха в июне и июле наблюдали слабую реакцию растений на внесение минеральных удобрений, а в сочетании с некорневой подкормкой — существенно больше.

Некорневая подкормка во все годы опыта способствовала росту отзывчивости растений на минеральные удобрения, особенно при совместном внесении азота, фосфора и калия. При росте дозы эффект усиливался и достиг максимума в варианте N48P48K48. При использовании такой же суммарной дозы питательных элементов, но при других соотношениях (1 : 2.5 : 1 и 1 : 1 : 2.5) в среднем за 3 года отмечен более низкий коэффициент отзывчивости льна-долгунца на подкормку и удобрение.

Относительное содержание питательных элементов в соломе и семенах льна практически не зависело от условий минерального питания, некорневой подкормки и погодных условий, что указывало на преимущественно генетически обу-

словленный контроль химического состава тканей растений. Можно лишь отметить рост содержания азота в семенах льна при применении минеральных удобрений (табл. 5). Содержание азота, фосфора и калия в сухой массе семян в среднем было равно 4.40, 1.02 и 0.80% соответственно, соломы — 0.62, 0.43 и 0.94% соответственно.

Потребность растений в элементах питания тесно коррелировало с их выносом урожаем, который определялся, в первую очередь, величиной урожая, а также содержанием элементов в растительных тканях. В среднем за 3 года опыта наибольший вынос питательных элементов урожаем льна-долгунца (семена + солома) был в варианте N48P48K48 как без подкормки, так и с подкормкой: в 1.9–2.2 раза больше, чем в контроле.

Показано, что для формирования 1 т урожая соломы льна-долгунца сорта Феникс с соответствующим количеством семян в среднем необходимо: N — 13.8, P₂O₅ — 5.9 и K₂O — 10.7 кг. Эти данные могут быть использованы в сортовой агротехнике при расчете доз минеральных удобрений на запланированный урожай.

Некорневая подкормка растений препаратом Контролфит-Si способствовала более полному использованию питательных элементов из удобрений (**КИУ**) (табл. 6).

Таблица 5. Содержание азота, фосфора и калия в урожае льна-долгунца (среднее за 2019–2021 гг.)

Вариант	Содержание, % в сухом веществе						Вынос, кг/га		
	семена			солома			семена + солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без подкормки									
N0P0K0	4.00	0.97	0.75	0.58	0.36	0.88	24.9	10.2	19.1
N48P0K0	4.28	0.98	0.69	0.62	0.38	0.88	33.2	12.5	21.3
N0P48K0	4.33	0.95	0.80	0.59	0.39	0.89	32.7	13.2	24.1
N0P0K48	4.47	0.99	0.68	0.59	0.40	0.90	33.5	12.8	21.0
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	4.40	0.98	0.68	0.62	0.42	0.98	49.5	19.8	35.9
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	4.36	0.96	0.72	0.59	0.39	0.92	32.2	13.2	24.6
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	4.38	1.00	0.83	0.62	0.42	0.93	37.0	15.2	26.8
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	4.40	1.08	0.84	0.64	0.42	0.92	37.5	16.3	28.7
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	4.42	1.04	0.89	0.64	0.43	0.94	38.8	16.8	30.2
Вынос 1 т соломы с соответствующим количеством семян							14.7	6.0	10.7
С подкормкой Контролфит-Si									
N0P0K0	4.02	0.98	0.76	0.59	0.37	0.90	25.2	10.7	20.7
N48P0K0	4.30	0.99	0.71	0.62	0.39	0.90	32.0	12.8	22.7
N0P48K0	4.34	0.96	0.82	0.60	0.40	0.90	32.4	13.6	25.3
N0P0K48	4.48	0.99	0.70	0.60	0.41	0.93	34.6	14.6	26.3
N48P48K48 (1 : 1 : 1)	4.42	0.99	0.71	0.64	0.44	1.00	51.1	23.3	44.4
N16P16K16 (1 : 1 : 1)	4.38	0.97	0.74	0.59	0.40	0.93	35.5	16.1	30.9
N32P32K32 (1 : 1 : 1)	4.40	1.02	0.85	0.64	0.45	0.94	42.0	19.3	34.0
N32P80K32 (1 : 2.5 : 1)	4.42	1.11	0.86	0.65	0.44	0.93	41.4	19.4	34.2
N32P32K80 (1 : 1 : 2.5)	4.44	1.08	0.90	0.66	0.45	0.96	46.4	19.6	38.1
Вынос 1 т соломы с соответствующим количеством семян							13.1	5.7	10.6
Средний вынос 1 т соломы с соответствующим количеством семян							13.8	5.9	10.7

При внесении полного минерального удобрения КИУ азота повысился на 3.4–23.8, фосфора – на 3.9–18, калия – на 9.8–39.3%, причем наибольший эффект отмечен при самой низкой дозе минеральных удобрений (N16P16K16), с ростом

Таблица 6. Усвоение льном-долгунцом азота, фосфора и калия из удобрений (среднее за 2019–2021 гг.), %

Вариант	Без подкормки			С подкормкой		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N48P0K0	17.3	—	—	14.8	—	—
N0P48K0	—	6.3	—	—	7.5	—
N0P0K48	—	—	4.0	—	—	15.0
N48P48K48	51.2	20.0	35.0	54.6	27.3	52.7
N16P16K16	45.6	18.8	34.4	66.2	36.9	73.7
N32P32K32	37.8	15.6	24.1	53.4	28.4	46.5
N32P80K32	39.4	7.6	30.0	51.6	11.5	47.2
N32P32K80	43.4	20.6	13.9	67.2	29.4	23.7

дозы КИУ снижался. Это может быть основанием для использования умеренных доз минеральных удобрений при сочетании их с некорневой подкормкой кремнийсодержащим препаратом. По совокупности изученных показателей (урожайность, коэффициент отзывчивости на удобрения и подкормку, содержание и вынос питательных элементов урожаем, коэффициенты использования NPK из удобрений) в условиях эксперимента лучшим был вариант N48P48K48 + подкормка.

Таким образом, использование препарата Контролфит-Si для некорневой подкормки растений льна-долгунца целесообразно и легко вписывается в технологию его возделывания.

ВЫВОДЫ

1. Реакция льна-долгунца на минеральные удобрения зависела от гидротермических условий внешней среды, доз и соотношения питательных элементов в удобрении. Избыточная влажность и

засушливые условия отрицательно сказались на продуктивности посевов. Доза минеральных удобрений, соответствующая N48P48K48, имела преимущество: в среднем за 3 года урожайность льносоломой составила 3.2, льносемян — 0.64 т/га.

2. Некорневая подкормка растений препаратом Контролфит-Si нивелировала негативное влияние неблагоприятных погодных условий, повысила отзывчивость растений на минеральные удобрения, способствовала более полному использованию из них питательных элементов. В среднем за 3 года на фонах полного минерального удобрения подкормка на 25–30% повысила урожайность льносоломой с лучшим эффектом на фоне N48P48K48 (4.03 т/га). На урожайности льносемян она положительно не отразилась.

3. На формирование 1 т урожая льносоломой с соответствующим количеством семян вне зависимости от условий минерального питания в среднем было израсходовано: азота — 13.8, фосфора — 5.9 и калия — 10.7 кг. Эти данные могут быть использованы в сортовой агротехнике при расчете доз минеральных удобрений на запланированный урожай льна-долгунца сорта Феникс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошелева Л.Л. Физиология питания и продуктивность льна-долгунца. Минск: Наука и техника, 1980. 37 с.
2. Налиухин А.Н. Эффективность применения азотного удобрения под лен-долгунец в зависимости от фона минерального питания на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Агрохим. вестн. 2012. № 1. С. 5–7.
3. Сорокина О.Ю. Анализ изменения оптимальных доз минеральных удобрений под лен-долгунец // Агрохим. вестн. 2014. № 3. С. 16–19.
4. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86–96. <https://doi.org/10.1134/S0002188119010071>
5. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние соединений кремния на процесс прорастания семян гороха и защиту проростков от окислительных повреждений // Вестн. аграрн. науки. 2020. № 2. С. 21–28. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.21>
6. Самсонова Н.Е., Шупинская И.А., Антонова Н.А. Влияние корневого и foliarного питания растений минеральными удобрениями и соединениями кремния на показатели фотосинтетической деятельности и урожайность яровой пшеницы // Агрохимия. 2017. № 2. С. 11–18.
7. Lux Alexander, Kohanová Jana, Švec Miroslav. Effect of silicon on drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L., cv. *Venturero*) // 7-th Inter. Conf. in Silicon in Agricult. Proced. Abstract. 2017. P. 70.
8. Shi X., Zhang C., Wang H. and Zhang F. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings // Plant and Soil. 2005. V. 272. № 1–2. P. 53–60.
9. Vaculík Marek, Vaculíková Miroslava, Tandy Susan, Luxová Miroslava, Schulín Rainer Silicon-induced alleviation of antimonate (SbV) toxicity in maize // 7-th Inter. Conf. in Silicon in Agricult. Proced. Abstract. 2017. P. 61.
10. Самсонова Н.Е., Капустина М.В., Зайцева З.Ф. Влияние соединений кремния и минеральных удобрений на урожайность яровых зерновых культур и содержание в них антиоксидантных ферментов // Агрохимия. 2013. № 10. С. 66–74.
11. Сластя И.В., Ложникова В.Н., Кондратьева В.В., Ниловская Н.Т. Действие стресса и соединений кремния на содержание эндогенных фитогормонов и рост ярового ячменя // Агрохимия. 2013. № 8. С. 38–48.
12. Самсонова Н.Е., Зайцева З.Ф., Капустина М.В., Антонова Н.А. Влияние соединений кремния и сложного NPK-удобрения на водный режим листьев и урожайность яровой пшеницы // Агрохимия. 2014. № 9. С. 58–66.
13. Agarie S., Agata W., Kubota F., Kaufman P.B. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants // Japan J. Crop Sci. 1992. V. 61. P. 200–206.
14. Kwon T.O., Lee S.B., Lee J.H., Park K.H. The influence of low temperature at the boot stage on yield and nutrient uptake of rice with application of soil improves // Res. Rep. Rural Develop. Admin. Plant Environ. Microl. & Farm Prod. Util. Korea Rep. 1989. V. 31. № 1. P. 14–23.
15. Sacala E. Role of silicon in plant resistance to water stress // J. Elemental. 2009. № 4. P. 619–630.
16. Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Бочарникова Е.А. Урожайность кукурузы и содержание хлорофилла в растениях при внесении в почву кремниевых удобрений // Агрохимия. 2013. № 5. С. 25–30.
17. Самсонова Н.Е., Лякина О.А., Новикова Н.Е. Влияние фосфатов пониженной растворимости и кремния на продуктивность и химический состав сельскохозяйственных культур // Вестн. ОрелГАУ. 2010. № 3. С. 12–16.
18. Аммосова Я.М., Балабко П.Н., Матыченков В.В. Кремнезем в системе почва–растение // Агрохимия. 1990. № 10. С. 103–108.
19. Casey W.H., Kinrade S.D., Knight C.T.G., Rains D.W., Epstein E. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. // Plant Cell Environ. 2004. V. 27. P. 51–54.
20. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 262 с.
21. Голованов Д.Л. Кремний — незаменимый микроэлемент питания природных и культурных злаков / Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 247–250.
22. Ahmad A., Afzal M., Ahmad A.U.H., Tahir M. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) // Cercetări Agronomice în Moldova. 2013. V. 46. № 3 (155). P. 21–28.
23. Maghsoudi K., Emam Y., Ashraf M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed

- wheat cultivars differing in drought tolerance // Turk. J. Bot. 2015. V. 39. P. 625–634.
24. Guével M.H., Menzies J.G., and Bélanger R.R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants // Europ. J. Plant Pathol. 2007. V. 119. № 4. P. 429–436.
 25. Javaid K. and Misgar F.A. Effect of foliar application of orthosilicic acid on leaf and fruit nutrient content of apple cv. “Red Delicious” // Adv. Res. J. Multidisciplin. Discover. 2017. V. 20. Ch. 7. P. 30–32.
 26. Moamen M. Al-Wasfy. Response of sakkoti date palms to foliar application of royal jelly, silicon and vitamins B // J. Amer. 2013. V. 9 (5). P. 315–321.
 27. Paula Jr T.J., Vieira R.F., Teixeira H., Carneiro J.E.S., Lima R.C., Lehner M.S. and Santos J. Foliar application of calcium chloride and calcium silicate decreases white mold intensity on dry beans // Tropic. Plant Pathol. 2009. V. 34 № 3. P. 171–174.
 28. Ghader Habibi. Effects of soil- and foliar-applied silicon on the resistance of grapevine plants to freezing stress // Acta Biol. Szegedien. 2015. V. 59. № 2. P. 109–117.
 29. Henk-Maarten Laane. The Effects of foliar sprays with different silicon // Plants. 2018. V. 7. № 45. P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/plants7020045> pp 1–22
 30. Shedi S.I., Bakri B.A., Nofal O.A. The reaction of the nutrient content of flax (*Linum usitatissimum* L.) to foliar application of two different sources of silicon fertilizers // Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci. 2016. № 7 (6). P. 393–398.
 31. Дорожкина Л.А., Караваев В.А., Гунар Л.Э., Поддымкина Л.М. Циркон и силиплант – антистрессовые и рострегулирующие препараты // Плодородие. 2016. № 2 (89). С. 13–15.
 32. Паращенко В.Н., Кремзин Н.М., Чижиков В.Н., Туманьян Н.Г., Швыдкая Л.А. Эффективность некорневой подкормки риса комплексным удобрением, содержащим кремний (келик калий–кремний) // Рисоводство. 2012. № 21. С. 24–28.
 33. Чижиков В.Н., Паращенко В.Н., Швыдкая Л.А. Эффективность некорневой подкормки посевов риса удобрением Контролфит кремний // Actual Sci. 2016. № 10. С. 59–60.
 34. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния // Агрохимия. 2007. № 7. С. 22–27.
 35. Куркаев В.Т. Ускоренное определение азота, фосфора и калия в растениях из одной навески // Почвоведение. 1959. № 9. С. 114–117.

Effectiveness of Foliar Top Dressing of Flax with the Drug Controlfit-Si on Different Backgrounds of Mineral Nutrition in the Conditions of the Central Non-Chernozem

A. M. Konova^a, A. Y. Gavrilova^{a, #}, and N. E. Samsonova^b

^aFederal Research Center for Bast Fiber Crops
Komsomolsky pr. 17/56, Tver 170041, Russia

^bSmolensk State Agricultural Academy
Bolshaya Sovetskaya ul. 10/2, Smolensk 214000, Russia

[#]E-mail: augavrilova@gmail.com

The responsiveness of flax to mineral fertilizers and foliar top dressing with an aqueous solution of the drug Controlfit-Si on sod-podzolic medium loamy soil was studied. It is shown that the reaction of flax to mineral fertilizers depended on the hydrothermal environmental conditions, doses and the ratio of nutrients. Excessive humidity and arid conditions negatively affected the productivity of crops. Foliar top dressing of plants with the drug Controlfit-Si leveled the negative impact of adverse weather conditions, increased the responsiveness of plants to mineral fertilizers, contributed to a more complete use of nutrients from fertilizers. On average, for 3 years on the backgrounds of full mineral fertilizer, top dressing increased the yield of flax straw by 25–30% with the best effect against the background of N48P48K48 (4.03 t/ha). Top dressing did not have a positive effect on the yield of flax seeds. It took 13.8 kg N, 5.9 kg P₂O₅ and 10.7 kg K₂O to form 1 ton of flax crop with the appropriate amount of seeds, regardless of plant nutrition conditions.

Keywords: flax, mineral fertilizers, foliar top dressing, controlfit-Si, yield, removal of nutrients.