

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья

УДК 631.816: 633.521: 631.445.24: 631.811

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>



Влияние разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) при возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве

Юлия Евгеньевна Гусева, Галина Алексеевна Смолина, Алексей Максимович Пронин

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Евгеньевна Гусева; uguseva@rgau-msha.ru

Аннотация. Лен-долгунец – важная техническая культура, которая очень требовательна к минеральному режиму и сильно реагирует на недостаток питательных веществ в почве. Корневая система льна-долгунца характеризуется неглубоким расположением, низкой поглощательной способностью. Основную массу элементов минерального питания культура потребляет за достаточно короткий промежуток времени. В связи с этим целью наших исследований было установление в условиях вегетационного опыта влияния разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом сорта Цезарь. В результате проведенных исследований определено, что внесение азотных удобрений вне зависимости от формы, в которой находится элемент минерального питания, повышает: урожайность льна-долгунца – на 10,33-13,43 г/сосуд; содержание сухого вещества в технической культуре – на 2,40-7,43%; вынос растениями макроэлементов, азота – на 139,2-230,3 мг/сосуд, фосфора – на 34,8-66,4 мг/сосуд, калия – на 132,9-235,5 мг/сосуд по сравнению с контролем. Добавление бора к аммонийной и нитратной формам азота увеличивает урожай культуры на 5,05 и 7,94%, а также вынос растениями льна-долгунца азота на 10,9 и 16,9%, фосфора – на 16,4 и 22,1% по сравнению с вариантами без внесения микроэлемента. Применение сернокислого аммония и мочевины повышает содержание в растениях технической культуры азота на 15,47 и 16,27% по сравнению с контролем. Совместное внесение азотнокислого натрия и борной кислоты увеличивает вынос льном-долгунцом калия, когда прибавка от применения микроэлемента составляет 14,1%.

Ключевые слова: лен-долгунец, азот, фосфор, калий, бор, влияние азота на урожай льна-долгунца, влияние бора на урожай льна-долгунца, влияние азота и вынос макроэлементов льном-долгунцом, влияние бора и вынос макроэлементов льном-долгунцом, дерново-подзолистые почвы

Благодарности. Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования. Гусева Ю.Е., Смолина Г.А., Пронин А.М. Влияние разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) при возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 85-95. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>

© Гусева Ю.Е., Смолина Г.А., Пронин А.М., 2023

SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>



Effect of Different Forms of Nitrogen and Boron on the Yield and Removal of Macroelements by Fiber Flax (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) when Cultivated on Sod-Podzol Medium Loamy Soil

Yuliya E. Guseva, Galina A. Smolina, Aleksey M. Pronin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Yuliya E. Guseva, uguseva@rgau-msha.ru

Abstract. Fiber flax is the most important industrial crop, which is very demanding on the mineral regime and reacts strongly to nutrient deficiencies in the soil. The root system of fiber flax is characterized by a shallow location and low absorption capacity. The crop consumes most of the mineral nutrients in a relatively short period of time. In this context, the purpose of our

research was, to determine the effect of different forms of nitrogen and boron on the yield and macroelement removal by fiber flax of the Caesar variety in the conditions of vegetation experiment. As a result of the studies, it was found that the application of nitrogen fertilizers, regardless of the form in which the element of mineral nutrition is located, increases the yield of fiber flax by 10.33-13.43 g/vessel, the dry matter content in the industrial crop – by 2.40-7.43%. The increased removal of macroelements by the plants was as follows: nitrogen – by 139.2-230.3 mg/vessel, phosphorus – by 34.8-66.4 mg/vessel and potassium – by 132.9-235.5 mg/vessel compared to the control. The addition of boron to the ammonium and nitrate forms of nitrogen increases the crop yield by 5.05 and 7.94%, nitrogen removal by 10.9 and 16.9% and phosphorus removal by 16.4 and 22.1% compared to options without adding microelements. The use of ammonium sulphate and urea increases the nitrogen content in industrial crops by 15.47 and 16.27% compared to the control. The combined application of sodium nitrate and boric acid increases the removal of potassium by fiber flax, where the increase due to the use of the microelement is 14.1%.

Keywords: fibre flax, nitrogen, phosphorus, potassium, boron, effect of nitrogen on fibre flax yield, effect of boron on fibre flax yield, effect of nitrogen and macronutrient removal by fibre flax, effect of boron and macronutrient removal by fibre flax, sod-podzol soils

Acknowledgement. The work was carried out at the expense of the University Development Programme within the framework of the Priority-2030 Strategic Academic Leadership Programme.

For citation. Guseva Yu.E., Smolina G.A., Pronin A.M. Effect of Different Forms of Nitrogen and Boron on the Yield and Removal of Macroelements by Fiber Flax (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) when Cultivated on Sod-Podzol Medium Loamy Soil. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:85-95. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95> (In Rus.)

© Guseva Yu.E., Smolina G.A., Pronin A.M., 2023

Введение

Главный фактор, определяющий урожай и качество растениеводческой продукции, – оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур [1]. Одной из важнейших технических культур в России является лен, который возделывают для производства волокна и получения семян. Льняное волокно по праву признано одним из лучших текстильных волокон. Лен-долгунец многими учеными признается стратегической культурой, которая может заменить хлопок, который в России не возделывается [2]. Лен выращивают в районах влажного и умеренного климата. По размеру площадей льна-долгунца в нашей стране выделяются Удмуртская Республика, Омская, Смоленская области, Алтайский край и Нижегородская область, на долю которых в 2022 г. приходилось 67,1% посевных площадей технической культуры. Всего же, по данным Росстата, в 2022 г. в России посевные площади льна-долгунца в хозяйствах всех категорий составляли 35,3 тыс. га [3]. Стоит отметить, что по отношению даже к 2021 г. посевы сельскохозяйственной культуры уменьшились на 11,1%, или на 4,4 тыс. га.

Потребность в льноволокне с каждым годом возрастает, но объемы урожая и качество льнопродукции оставляют желать лучшего. Для решения данной проблемы необходимо повышать качество агрохимических приемов, направленных на создание оптимальных условий для роста и развития сельскохозяйственной культуры, получение высокого урожая льна-долгунца и волокна надлежащего качества. В связи с этим **целью исследований было** установление влияния разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом сорта Цезарь.

Методика исследований

Вегетационный опыт был проведен на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Агрохимические показатели дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы были следующими: содержание гумуса – 2,65%, pH_{KCl} – 5,8; гидролитическая кислотность – 1,83 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 17,2 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 90%; содержание подвижного фосфора – 224 мг/кг почвы, обменного калия – 123 мг/кг почвы. Содержание органического вещества в почве определяли по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-2021), величину pH солевой вытяжки определяли по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), величину гидролитической кислотности – по методу Каппена (ГОСТ 26212-2021), сумму поглощенных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-2020), содержание подвижных форм фосфора и обменного калия – по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011) [4].

Для закладки опыта были использованы сосуды Митчерлиха размером 20×20 см, вмещающие 5 кг почвы. Схема опыта состояла из 7 вариантов, повторность – 6-кратная. Доза азота с вносимыми удобрениями составляла 50 мг N/кг почвы, бора – 1,67 мг В/кг почвы. Норму азотных и борных удобрений устанавливали согласно рекомендациям [4, 7]. Аммонийную форму азота вносили в виде сульфата аммония, нитратную – в виде натриевой селитры, амидную – в виде мочевины. Источником бора служила борная кислота.

Объектом исследований служил лен-долгунец сорта Цезарь. Сорт селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Россия, г. Торжок) был включен в Госреестр по Северо-Западному региону в 2017 г. Сорт устойчив к полеганию, осыпанию. Отличается хорошим качеством волокна, обладает высокими прядильными свойствами.

В каждый сосуд высевали по 0,5 г семян льна-долгунца. Уборку растительного материала проводили в фазу зеленой спелости. Растения срезали, высушивали, измельчали, готовый материал использовали для дальнейших исследований. Содержание элементов минерального питания в растительных образцах определяли после мокрого озоления: азота – микрометодом Къельдаля, фосфора – по методу Труога-Мейера колориметрически, калия – на пламенном фотометре [4]. Математическую обработку результатов производили с помощью дисперсионного анализа [4].

Результаты и их обсуждение

Проведенный вегетационный опыт на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве показал, что внесение разных форм азотных удобрений и добавление к ним бора влияют на урожайность льна-долгунца сорта Цезарь (табл. 1).

Таблица 1

Влияние разных форм азота и бора на урожайность льна-долгунца сорта Цезарь

№	Вариант	Урожайность, г/сосуд	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			г/сосуд	%	г/сосуд	%
1	Контроль	9,40	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	21,73	12,33	131,21	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	22,83	13,43	142,91	1,10	5,06
4	NaNO ₃	19,73	10,33	109,93	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	21,30	11,90	126,60	1,57	7,94
6	CO(NH ₂) ₂	21,80	12,40	131,91	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	22,33	12,93	137,59	0,53	2,45
НСР ₀₅		1,03				

Table 1

Effect of different forms of nitrogen and boron on the yield of fiber flax of the variety Caesar

№	Option	Productivity, g/vessel	Increased control		Increase from boron	
			g/vessel	%	g/vessel	%
1	Control	9.40	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	21.73	12.33	131.21	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	22.83	13.43	142.91	1.10	5.06
4	NaNO ₃	19.73	10.33	109.93	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	21.30	11.90	126.60	1.57	7.94
6	CO(NH ₂) ₂	21.80	12.40	131.91	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	22.33	12.93	137.59	0.53	2.45
NSR ₀₅		1.03				

Применение азотных удобрений положительно сказалось на росте и развитии технической культуры. Во всех удобренных вариантах фиксировали достоверную прибавку урожая, причем добавление бора к азоту статистически значимо повысило урожайность льна-долгунца при внесении сульфата аммония и натриевой селитры, когда прибавка от микроэлемента составляла 1,10 и 1,57 г/сосуд соответственно.

Содержание сухого вещества в технической культуре также повышалось при применении удобрений (табл. 2). И азот, и внесенный бор обеспечили достоверный рост данного показателя, превышая контрольные значения на 9,51-29,44%. Однако стоит отметить, что добавление бора статистически значимо увеличило содержание сухого вещества в растениях льна-долгунца только при применении сульфата аммония, когда прибавка составила 2,38%, превышая контроль на 7,86%. В остальных вариантах достоверное изменение показателя достигнуто не было.

Содержание азота в растениях льна-долгунца сорта Цезарь зависело от применения разных форм азотных удобрений и бора (табл. 3). Достоверное увеличение содержания макроэлемента в сельскохозяйственной культуре было отмечено при внесении сульфата аммония и мочевины, прибавка к контролю составляла 15,47 и 16,27% соответственно. Применение натриевой селитры на содержание органогенного элемента питания влияния не оказало, однако добавление к нитрату натрия борной кислоты статистически значимо повысило данный показатель, была зафиксирована прибавка к контролю – 12,8%. Следует отметить, что добавление борного удобрения статистически значимо не увеличило содержание азота в растениях льна-долгунца.

Таблица 2

**Влияние разных форм азота и бора на содержание сухого вещества
в растениях льна-долгунца сорта Цезарь**

№	Вариант	Содержание сухого вещества, %	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			% (абс)	% (отн)	% (абс)	% (отн)
1	Контроль	25,24	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	30,28	5,05	20,00	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	32,67	7,43	29,44	2,38	7,86
4	NaNO ₃	27,63	2,40	9,51	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	28,82	3,58	14,19	1,18	4,28
6	CO(NH ₂) ₂	29,23	3,99	15,81	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	30,63	5,40	21,38	1,40	4,81
HCP ₀₅		1,83				

Table 2

Effect of different forms of nitrogen and boron on the dry matter content in fiber flax of the Caesar variety

№	Option	Content of dry matter, %	Increased control		Increase from boron	
			% (abs)	% (rel)	% (abs)	% (rel)
1	Control	25.24	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	30.28	5.05	20.00	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	32.67	7.43	29.44	2.38	7.86
4	NaNO ₃	27.63	2.40	9.51	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	28.82	3.58	14.19	1.18	4.28
6	CO(NH ₂) ₂	29.23	3.99	15.81	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	30.63	5.40	21.38	1.40	4.81
HCP ₀₅		1.83				

Содержание фосфора в технической культуре при применении азотных удобрений и бора снижалось (табл. 3). Количество зольного элемента питания при внесении аммонийной, нитратной и амидных форм азота составляло 0,47-0,48%, что ниже контроля на 23,28-24,87%. Добавление бора к азотным удобрениям немного повысило содержание макроэлемента в сельскохозяйственной культуре, но все же достигнуть контрольные значения не удалось. Содержание фосфора при применении микроэлемента составляло 0,49-0,55% – на 12,70-22,22% ниже данного показателя в варианте без применения удобрений. При добавлении к сульфату аммония, а также к натриевой селитре бора достоверно повышалось содержание фосфора в растениях, прибавка от микроэлемента составляла 16,20 и 7,69% соответственно.

Таблица 3

**Влияние разных форм азота и бора на содержание макроэлементов
в растениях льна-долгунца сорта Цезарь**

№	Вариант	Содержа- ние, %	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			% (абс)	% (отн)	% (абс)	% (отн)
N						
1	Контроль	1,25	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,44	0,19	15,47	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,52	0,27	21,87	0,08	5,54
4	NaNO ₃	1,3	0,05	4,27	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1,41	0,16	12,8	0,11	8,18
6	CO(NH ₂) ₂	1,45	0,2	16,27	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1,49	0,24	19,47	0,04	2,75
НСР ₀₅		0,13				
P ₂ O ₅						
1	Контроль	0,63	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,47	–0,16	–24,87	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,55	–0,08	–12,7	0,08	16,2
4	NaNO ₃	0,48	–0,15	–24,34	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	0,51	–0,12	–18,52	0,04	7,69
6	CO(NH ₂) ₂	0,48	–0,15	–23,28	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	0,49	–0,14	–22,22	0,01	1,38
НСР ₀₅		0,04				
K ₂ O						
1	Контроль	1,77	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,79	0,02	0,94	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,76	–0,01	–0,56	–0,03	–1,49
4	NaNO ₃	1,52	–0,25	–14,31	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1,6	–0,17	–9,42	0,09	5,71
6	CO(NH ₂) ₂	1,72	–0,05	–2,64	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1,71	–0,06	–3,39	–0,01	–0,77
НСР ₀₅		0,06				

Table 3

Effect of different forms of nitrogen and boron on the content of macroelements in fiber flax of the Caesar variety

№	Option	Content, %	Increased control		Increase from boron	
			% (abs)	% (rel)	% (abs)	% (rel)
N						
1	Control	1.25	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.44	0.19	15.47	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1.52	0.27	21.87	0.08	5.54
4	NaNO ₃	1.3	0.05	4.27	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1.41	0.16	12.8	0.11	8.18
6	CO(NH ₂) ₂	1.45	0.2	16.27	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1.49	0.24	19.47	0.04	2.75
NSR ₀₅		0.13				
P ₂ O ₅						
1	Control	0.63	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.47	−0.16	−24.87	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0.55	−0.08	−12.7	0.08	16.2
4	NaNO ₃	0.48	−0.15	−24.34	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	0.51	−0.12	−18.52	0.04	7.69
6	CO(NH ₂) ₂	0.48	−0.15	−23.28	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	0.49	−0.14	−22.22	0.01	1.38
NSR ₀₅		0.04				
K ₂ O						
1	Control	1.77	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.79	0.02	0.94	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1.76	−0.01	−0.56	−0.03	−1.49
4	NaNO ₃	1.52	−0.25	−14.31	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1.6	−0.17	−9.42	0.09	5.71
6	CO(NH ₂) ₂	1.72	−0.05	−2.64	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1.71	−0.06	−3.39	−0.01	−0.77
NSR ₀₅		0.06				

Содержание калия в растениях льна-долгунца сорта Цезарь находилось в пределах 1,52-1,79% (табл. 3). Аммонийная и амидная формы азота не оказали влияния на обсуждаемый показатель, достоверное различие с контролем достигнуто не было. Однако применение только натриевой селитры снизило содержание макроэлемента в сельскохозяйственной культуре на 0,25%. Добавление бора к нитрату натрия статистически значительно повысило содержание калия в растениях льна-долгунца по сравнению с вариантом, где применяли только нитратную форму азота. Содержание макроэлемента в данном варианте составляло 1,6%, прибавка от бора – 5,71%. Но даже совместное внесение натриевой селитры и борной кислоты не помогло достигнуть контрольных значений показателя, снижение содержания калия в данном варианте по сравнению с вариантом без внесения удобрений составляло 0,17%, или 9,42% к контролю.

Достоверное уменьшение содержания калия было отмечено в варианте с внесением мочевины и бора. Содержание калия здесь составляло 1,71%, что ниже контроля на 3,39%.

Применение разных форм азота и бора оказало влияние и на вынос растениями льна-долгунца макроэлементов (табл. 4).

Таблица 4

Влияние разных форм азота и бора на вынос макроэлементов растениями льна-долгунца сорта Цезарь

№	Вариант	Вынос, мг/сосуд	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			мг/сосуд	%	мг/сосуд	%
N						
1	Контроль	117,5	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	313,6	196,1	166,9	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	347,8	230,3	196,0	34,2	10,9
4	NaNO ₃	256,8	139,2	118,5	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	300,2	182,6	155,4	43,4	16,9
6	CO(NH ₂) ₂	317,1	199,6	169,9	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	333,5	216,0	183,8	16,4	5,2
HCP ₀₅		30,9				
P ₂ O ₅						
1	Контроль	59,2	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	102,8	43,6	73,7	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	125,6	66,4	112,1	22,7	22,1
4	NaNO ₃	94,0	34,8	58,8	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	109,4	50,2	84,8	15,4	16,4
6	CO(NH ₂) ₂	105,3	46,0	77,8	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	109,4	50,2	84,8	4,2	4,0
HCP ₀₅		8,6				
K ₂ O						
1	Контроль	166,4	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	388,4	222,0	133,4	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	401,9	235,5	141,5	13,5	3,5
4	NaNO ₃	299,3	132,9	79,9	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	341,5	175,1	105,3	42,2	14,1
6	CO(NH ₂) ₂	375,6	209,3	125,8	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	381,9	215,5	129,5	6,3	1,7
HCP ₀₅		22,9				

Table 4

**Effect of different forms of nitrogen and boron on the removal of macroelements
by fiber flax of the Caesar variety**

№	Option	Removal, mg/vessel	Increased control		Increase from boron	
			mg/vessel	%	mg/vessel	%
N						
1	Control	117.5	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	313.6	196.1	166.9	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	347.8	230.3	196.0	34.2	10.9
4	NaNO ₃	256.8	139.2	118.5	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	300.2	182.6	155.4	43.4	16.9
6	CO(NH ₂) ₂	317.1	199.6	169.9	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	333.5	216.0	183.8	16.4	5.2
NSR ₀₅		30.9				
P ₂ O ₅						
1	Control	59.2	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	102.8	43.6	73.7	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	125.6	66.4	112.1	22.7	22.1
4	NaNO ₃	94.0	34.8	58.8	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	109.4	50.2	84.8	15.4	16.4
6	CO(NH ₂) ₂	105.3	46.0	77.8	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	109.4	50.2	84.8	4.2	4.0
NSR ₀₅		8.6				
K ₂ O						
1	Control	166.4	—	—	—	—
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	388.4	222.0	133.4	—	—
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	401.9	235.5	141.5	135	3.5
4	NaNO ₃	299.3	132.9	79.9	—	—
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	341.5	175.1	105.3	42.2	14.1
6	CO(NH ₂) ₂	375.6	209.3	125.8	—	—
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	381.9	215.5	129.5	6.3	1.7
NSR ₀₅		22.9				

Хозяйственный вынос азота сельскохозяйственной культурой находился в пределах 117,5-347,8 мг/сосуд. Внесение и аммонийной, и нитратной, и амидных форм азота положительно влияло на обсуждаемый показатель. Во всех вариантах была достигнута достоверная прибавка, которая составляла 118,5-169,9% к контролю. Однако добавление к азотным удобрениям бора еще увеличило вынос

макроэлемента. Статистически значимая прибавка от действия микроэлемента была получена в вариантах с его совместным внесением с сульфатом аммония и с натриевой селитрой, составляя 10,9 и 16,9% соответственно. Добавление к мочеvine борной кислоты также повысило вынос азота растениями технической культуры на 5,2%, но полученная прибавка оказалась в пределах ошибки.

Вынос фосфора растениями льна-долгунца сорта Цезарь увеличивался при внесении разных форм азотных удобрений и бора (табл. 4). Если рассматривать влияние только разных форм азота, то можно отметить, что наибольший вынос макроэлемента был зафиксирован при внесении амидной формы азота, когда составил 105,3 мг/сосуд, превышение контроля – на 77,8%. Однако близкие значения данного показателя были обнаружены при внесении аммонийной формы азота, вынос фосфора технической культурой составил 102,8 мг/сосуд, превышение контроля – на 73,7%. Достоверное увеличение выноса зольного элемента питания было получено и в варианте с внесением только натриевой селитры.

Стоит отметить, что добавление борного удобрения повысило вынос фосфора во всех вариантах на 84,8-112,1% к контролю. Статистически значимое действие бора на вынос фосфора проявилось только при внесении микроэлемента совместно с сульфатом аммония и с натриевой селитрой, когда прибавка от бора составляла 22,1 и 16,4% соответственно.

На вынос калия растениями льна-долгунца сорта Цезарь также повлияло внесение разных форм азота и бора (табл. 4). Высокий вынос макроэлемента был зафиксирован при внесении аммонийной формы азота и составлял 388,4 мг/сосуд, превышая контрольные значения на 133,4%. Амидная форма азота также повысила вынос калия растениями льна-долгунца. Вынос зольного элемента питания в данном варианте составлял 375,6 мг/сосуд – на 125,8% выше обсуждаемого показателя в варианте без удобрений. Добавление бора к азоту повысило вынос калия во всех вариантах, но достоверное увеличение показателя было отмечено только при внесении сернокислого аммония и натриевой селитры. Наибольший вынос макроэлемента был зафиксирован при совместном применении сульфата аммония и борной кислоты, когда составлял 401,9 мг/сосуд и был на 141,5 выше контроля, прибавка от бора составила 3,5%. Совместное внесение натриевой селитры и борной кислоты увеличило вынос калия льном-долгунцом на 105,3% к контролю, прибавка от действия борной кислоты составила 14,1%.

Итак, лен-долгунец очень требователен к минеральному режиму и сильно реагирует на недостаток питательных веществ в почве [5]. Это объясняется сравнительно неглубоким расположением корневой системы, ее низкой поглотительной способностью и довольно коротким промежутком времени, в течение которого лен-долгунец потребляет основную массу элементов минерального питания [6]. Считается, что лучшие формы азотных удобрений под лен-долгунец – сульфат аммония, аммиачная селитра и мочевины [7], что и подтвердилось в нашей работе. При внесении аммонийной и амидной форм азота увеличивались урожайность льна-долгунца сорта Цезарь, содержание сухого вещества, азота в растениях сельскохозяйственной культуры (табл. 1-3). Согласно полученным данным урожайность льна-долгунца увеличивалась при применении азотных удобрений, однако с учетом того, что при закладке опыта фосфорные удобрения не вносились, содержание подвижных форм данного макроэлемента в почве снижалось, и техническая культура испытывала недостаток питательного вещества, что и наблюдалось нами (табл. 3). Содержание калия в растениях льна-долгунца снижалось только в варианте с применением натриевой селитры. Скорее всего внесение данного удобрения насыщало почвенный раствор катионами натрия и ухудшало питание льна-долгунца калием (табл. 3).

Лен-долгунец особенно чувствителен к недостаточному содержанию бора в почве [7]. Микроэлемент активно участвует в обменных процессах, его недостаток ведет к отмиранию точек роста, гибели растений сразу же после разворачивания семядолей и при наличии одной-двух пар листьев [8]. При хорошей обеспеченности кальцием и фосфором сильнее проявляется недостаток бора [6]. Так, и в наших исследованиях при использовании для закладки опыта хорошо окультуренной почвы, имеющей 5 класс по степени кислотности, 5 класс по содержанию подвижного фосфора, 90%-ную степень насыщенности основаниями, добавление данного микроэлемента к азотному удобрению увеличивало урожай технической культуры, содержание азота и вынос льном-долгунцом макроэлементов (табл. 1, 3-4).

Выводы

Результаты исследований показали, что внесение азотных удобрений в дозе 50 мг N/кг почвы вне зависимости от формы, в которой находится элемент питания, повышает урожайность льна-долгунца, содержание сухого вещества в технической культуре. Добавление бора в дозе 1,67 мг В/кг почвы к сернокислому аммонийному и натриевой селитре увеличивает урожай льна-долгунца на 5,05 и 7,94% по сравнению с вариантами без внесения микроэлемента. Однако содержание сухого вещества в растениях технической культуры при совместном применении азотных удобрений и бора повышается только при добавлении борной кислоты к сульфату аммония, когда прибавка от бора составляет 7,86%.

Результаты вегетационного опыта также показали, что применение сернокислого аммония и мочевины увеличивает содержание в растениях сельскохозяйственной культуры азота на 15,47 и 16,27% по сравнению с контролем. Внесение азотных удобрений снижает содержание в растениях льна-долгунца фосфора, причем добавление бора к сульфату аммония, а также к натриевой селитре достоверно повышает содержание макроэлемента в культуре по сравнению с вариантами без применения борной кислоты. Внесение натриевой селитры уменьшает содержание калия в растениях льна-долгунца на 0,25%.

Согласно проведенным исследованиям применение азотных удобрений в аммонийной, нитратной и амидной формах повышает вынос растениями льна-долгунца азота, фосфора и калия. Добавление бора к сернокислому аммонiu и натриевой селитре увеличивает вынос азота на 10,9 и 16,9%, а фосфора – на 16,4 и 22,1%. Совместное применение азотнокислого натрия и борной кислоты также повышает вынос льном-долгунцом калия, когда прибавка от внесения микроэлемента составляет 14,1%.

Список источников

1. Малахова Ю.Е., Кидин В.В. Доступность ячменно элементов минерального питания из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы. Плодородие. 2012;№ 4(67):28-30.
2. Рожмина Т.А., Павлова Л.Н., Поназев В.П., Захарова Л.М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;1:3-8.
3. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 24.07.2023).
4. Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И. и др. Практикум по агрохимии. Москва: КолосС, 2008:599.
5. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Продуктивность и качество льна-долгунца при применении минеральных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом Контролфит // Аграрный научный журнал. 2022;7:22-26. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp22-26>.
6. Налиухин А.Н. Почвенная диагностика азотно-го питания льна-долгунца. Агрохимия. 2016;7:24-36.
7. Артюшин А.М., Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. и др. Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: Учебное пособие. Москва: Агропромиздат, 1991:223.
8. Петрова А.А., Смирнова Т.И., Павлов М.Н. и др. Стимулирующее действие боросодержащих хелатных комплексов на лен-долгунец // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия». 2020;2(40):143-149. <https://doi.org/10.26456/vtchem2020.2.18>.

Сведения об авторах

Юлия Евгеньевна Гусева, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; uguseva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5307-421X>

Галина Алексеевна Смолина, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

References

1. Malakhova Yu.E., Kidin V.V. Availability of mineral nutrition elements to barley from different horizons of sod-podzol soil. Plodorodie. 2012;4(67):28-30. (In Rus.)
2. Rozhmina T.A., Pavlova L.N., Ponazhev V.P., Zakharova L.M. Flax industry is on the road to revival. Plant Protection and Quarantine. 2018;1:3-8. (In Rus.)
3. Sown areas, gross yields and yields of agricultural crops in the Russian Federation in 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (Access date: 07.24.2023).
4. Kidin V.V., Deryugin I.P., Kobzareno V.I. et al. Practical course on agrochemistry. Moscow: KolosS, 2008:599. (In Rus.)
5. Konova A.M., Gavrilova A.Yu. Productivity and quality of fiber flax when using mineral fertilizers and foliar feeding of plants with Controfit. The Agrarian Scientific Journal. 2022;7:22-26. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp22-26> (In Rus.)
6. Naliukhin A.N. Soil diagnostics of nitrogen nutrition of fiber flax. Agrohimia. 2016;7:24-36. (In Rus.)
7. Artyushin A.M., Deryugin I.P., Kulyukin A.N. et al. Fertilizer in intensive technologies for cultivating agricultural crops: textbook. Moscow: Agropromizdat, 1991:223. (In Rus.)
8. Petrova A.A., Smirnova T.I., Pavlov M.N. et al. Stimulating effect of boron-containing chelate complexes on fiber flax. Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Series: Chemistry. 2020;2(40):143-149. <https://doi.org/10.26456/vtchem2020.2.18> (In Rus.)

Information about the authors

Yuliya E. Guseva, CSc (Bio), Associate Professor of Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); uguseva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5307-421X>.

Galina A. Smolina, CSc (Bio), Associate Professor of Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434,

государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; gsmolina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2730-4595>

Алексей Максимович Пронин, магистрант 1 года обучения, направление подготовки 35.04.03. Агрохимия и агропочвоведение, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; alex.poganel@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1201-9094>

Статья поступила в редакцию 31.10.2023
Одобрена после рецензирования 01.12.2023
Принята к публикации 04.12.2023

Russian Federation); gsmolina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2730-4595>.

Aleksey M. Pronin, Master's Degree student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); alex.poganel@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1201-9094>.

The article was submitted to the editorial office 31 Oct 2023
Approved after reviewing 01 Dec 2023
Accepted for publication 04 Dec 2023