

УДК 633.521:631.421.1: 631.415.1

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124

В.С. Зотова

Н. В. Пролётова ✉

А.М. Конова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ science.trk@fncl.ru

Поступила в редакцию:
02.03.2024Одобрена после рецензирования:
30.05.2024Принята к публикации:
15.06.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124

Veronica S. Zotova

Natalia V. Proletova ✉

Aminat M. Konova

Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia

✉ science.trk@fncl.ru

Received by the editorial office:
02.03.2024Accepted in revised:
30.05.2024Accepted for publication:
15.06.2024

Влияние провокационных условий повышенного кислого фона почвы на морфологические признаки растений льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Уровень кислотности почв в Российской Федерации за последние десятилетия значительно повысился, а повышенная кислотность почвы — одна из причин низкой реализации в производственных условиях биологической продуктивности различных культур, включая лен-долгунец. При выращивании льна-долгунца на почвах с сильнокислой (pH_{KCl} 4,5 и ниже) и нейтральной (pH_{KCl} свыше 6,0) реакцией почвенного раствора существенно снижается урожайность льноволокна и льносемян.

Методы. Исследования проводились в полевых условиях провокационного питомника в соответствии с методическими указаниями «Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца» и «Селекция льна-долгунца», а также методикой, основанной на внесении необходимого количества извести и коллоидной серы, и патента «Способ определения устойчивости генотипов льна к изменению кислотности почвенного раствора». Исходный материал — сорта льна-долгунца Импульс, Феникс, Лидер, С 108, Союз. Подготовка почвы состояла в проведении зяблевой вспашки, внесении минеральных удобрений в форме азофоски с нормой 1,5 ц/га, бороновании и предпосевной культивации. Способ посева — рядовой, площадь питания одного растения — 3,75 см². Общая площадь эксперимента составляла 60 м² в трехкратной повторности. В качестве контрольного варианта использовался среднекислый фон с pH_{KCl} 4,6–5,0.

Результаты. Создан провокационный фон и определена кислотоустойчивость сортов льна-долгунца Импульс, Феникс, Лидер, С 108, Союз для сильнокислого и слабокислого фона, сильнокислого и среднекислого фона. Выявлено, что все исследуемые сорта льна-долгунца проявили устойчивость к повышенной кислотности почвы, сохраняя при этом высокие показатели продуктивности по сравнению с сортом-стандартом Лидер. Наиболее высокую устойчивость относительно других сортов проявили сорта Смолич, С 108, Импульс.

Ключевые слова: лен-долгунец, устойчивость, кислотность, кислотоустойчивость, продуктивность, провокационный фон, известь, коллоидная сера

Для цитирования: Зотова В.С., Пролётова Н.В., Конова А.М. Влияние провокационных условий повышенного кислого фона почвы на морфологические признаки растений льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.). *Аграрная наука*. 2024; 384(7): 119–124.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>

© Зотова В.С., Пролётова Н.В., Конова А.М.

The influence of provocative conditions of increased acidity of the soil on the morphological characteristics of fiber flax plants (*Linum usitatissimum* L.)

ABSTRACT

Relevance. The level of soil acidity in the Russian Federation has increased significantly over the past decades, and increased soil acidity is one of the reasons for the low realization in production conditions of the biological productivity of various crops, including fiber flax. When growing fiber flax on soils with a strongly acidic (pH_{KCl} 4.5 and below) and neutral (pH_{KCl} over 6.0) soil solution reaction, the yield of flax fiber and flax seeds is significantly reduced.

Methods. The studies were carried out in the field conditions of a provocative nursery in accordance with the methodological instructions "Selection and primary seed production of fiber flax" and "Selection of fiber flax", as well as a technique based on the addition of the required amount of lime and colloidal sulfur and the patent "Method for determining the resistance of flax genotypes to a change in the acidity of the soil solution." The source material is fiber flax varieties Impulse, Phoenix, Leader, S 108, Soyuz. Soil preparation consisted of autumn plowing, application of mineral fertilizers in the form of azophosphate at a rate of 1.5 c/ha, harrowing and pre-sowing cultivation. The sowing method is ordinary, with a feeding area of 3.75 cm² per plant. The total area of the experiment was 60 m² in triplicate. A moderately acidic background with pH_{KCl} 4.6–5.0 was used as a control option.

Results. A provocative background was created and the acid resistance of fiber flax varieties was determined — Impulse, Phoenix, Leader, S 108, Soyuz for strongly acidic and weakly acidic backgrounds, strongly acidic and moderately acidic backgrounds. It was revealed that all studied varieties of fiber flax showed resistance to increased soil acidity, while maintaining high productivity indicators compared to the standard variety Leader. The highest resistance, relative to other varieties, was demonstrated by the varieties Smolich, S 108, and Impuls.

Key words: fiber flax, stability, acidity, acid resistance, productivity, provocative background, lime, colloidal sulfur

For citation: 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; 384(7): 119–124 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>

© Zotova V.S., Proletova N.V., Konova A.M.

Введение/Introduction

Повышенная кислотность почвы — одна из причин снижения продуктивности различных сельскохозяйственных культур, включая лен-долгунец. В мире площадь кислых почв составляет около 50% от общей площади пахотных земель. Подкисление происходит, как правило, вследствие кислотных осадков, применения минеральных удобрений, а также в результате деятельности человека [1, 2].

Уровень кислотности почв в Российской Федерации за последние десятилетия значительно повысился, больше всего — в Нечерноземной зоне. Особенно это актуально для Центрального и Северо-Западного регионов страны, где в срочном известковании нуждаются 54,9% и 40,6% почв соответственно [3–5].

При повышении уровня кислотности почвенного раствора биологическая продуктивность различных культур, включая лен-долгунец, в производственных условиях значительно снижается [1, 4, 5]. Отмечается, что одной из причин снижения продуктивности может являться сокращение в Российской Федерации в 15–20 раз количества посевных площадей, на которых проводится известкование почвы, соответственно, процесс подкисления почвы пропорционально увеличивается. Использование минеральных удобрений на кислых почвах сопровождается сокращением их эффективности на 30–40%, а неблагоприятные почвенные условия приводят к значительному увеличению разрыва между потенциальным и фактическим урожаем сельскохозяйственных культур, в том числе льна-долгунца [1, 2, 6–9].

В настоящее время новые отечественные сорта льна-долгунца имеют биологический потенциал урожайности льноволокна в объеме 20–25 ц с 1 га, однако средняя урожайность в стране ограничивается 9,2 ц. Одной из причин такой разницы может быть доминирование кислых почв, поскольку при выращивании льна-долгунца на почвах с сильнокислой (рН_{KCl} 4,5 и ниже) и нейтральной (рН_{KCl} свыше 6,0) реакцией почвенного раствора существенно снижается урожайность льноволокна и льносемян. Для получения высоких урожаев льнопродукции на дерново-подзолистой, легкой и среднесуглинистой почве необходимо поддерживать слабокислую реакцию с рН_{KCl} в диапазоне 5,3–5,6. К сожалению, только 20–30% площадей почв в стране отвечают этому требованию [2, 6, 7, 10].

Разработка стратегий обеспечения страны конкурентоспособным льносырьем неразрывно связана с важной ролью селекции. Биологический потенциал используемых в производстве сортов льна-долгунца позволяет получать высокие урожаи льноволокна и льносемян. За последние годы вклад сорта в производство оценивается в 40–80%, и его значение будет продолжать расти в будущем. По мнению исследователей, чем менее благоприятные складываются почвенно-климатические и погодные условия, тем более важным становится выбор подходящих сортов и гибридов [2–5].

Селекционные методы являются эффективными при создании новых форм с измененными признаками и свойствами, а создание провокационных фонов для

отбора при селекции на устойчивость к неблагоприятным факторам — перспективным направлением исследований. [6, 11, 12].

Для решения вопроса о создании новых сортов льна-долгунца, устойчивых к повышенной кислотности почвенного раствора, необходимо проводить эффективную селекционную работу, в том числе с использованием биотехнологических методов [6, 11, 13–15].

Цель исследований — оценка влияния экстремальных условий повышенного кислого фона почвы на морфологические признаки льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.).

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования по устойчивости льна-долгунца к повышенной кислотности почвы проводились на базе лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Смоленск, Смоленская обл., Россия) в 2023 году в соответствии с методическими указаниями по селекции льна-долгунца (2004 г.)¹, селекции и первичному семеноводству льна-долгунца (2014 г.)².

Для создания сильнокислого, слабокислого и близкого к нейтральному уровню кислотности уровня кислотности непосредственно под культуру льна-долгунца использовали методику, основанную на внесении необходимого количества извести и коллоидной серы [2, 16].

Для анализа устойчивости генотипов льна к изменению кислотности почвенного раствора при создании провокационного фона использовали способ, обозначенный в патенте «Способ определения устойчивости генотипов льна к изменению кислотности почвенного раствора»³. Он предполагает проведение обычного посева и создание фона с заданной кислотностью путем внесения расчетной дозы извести непосредственно под лен-долгунец.

Исследования проводили с использованием различных сортов льна-долгунца, таких как Смолич, С 108, Импульс, Лидер и Феникс. Сорт-стандартом в исследованиях определен лен-долгунец Лидер (табл. 1). Лидер с 2005 года включен в Государственный реестр⁴ по Центральному, Северо-Западному и Западно-Сибирскому регионам РФ. Рекомендован для возделывания в Смоленской области. Из-за достаточно высокого удельного веса сорта в регионе (18,6%), а также скороспелости в сочетании с высоким содержанием волокна хорошего качества был выбран в качестве сорта-стандарта⁵.

Подготовка почвы соответствовала технологической карте и состояла в проведении зяблевой вспашки, внесении минеральных удобрений в форме азофоски с нормой 1,5 ц/га, бороновании и предпосевной культивации. Способ посева — рядовой, площадь питания одного растения — 3,75 см² (7,5 x 0,5 см). Учетные деланки размером 1 м², общая площадь эксперимента — 60 м² в трехкратной повторности. В качестве контрольного варианта использовался среднекислый фон с рН_{KCl} 4,6–5,0, так как исходная почва имела рН_{KCl} 4,9.

¹ Методические указания по селекции льна-долгунца (утв. ученым советом ВНИИЛ 19 августа 2003 г.). Москва. 2004; 43.

² Понажев В.П., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. и др. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца (методические указания). Тверь: Тверской государственный университет. 2014; 140. ISBN 978-5-7609-0926-8

³ Патент от 20.01.2008 Российская Федерация RU 2314679 C2. Способ определения устойчивости генотипов льна к изменению кислотности почвенного раствора (заявка от 17.06.2005 № 2005118883/13) / О.Ю. Сорокина, Т.А. Рожмина, Л.Б. Айрапетян, Е.А. Хрусталева. М.: ГНУ ВНИИЛ Россельхозакадемии. 6 с.

⁴ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (офиц. изд.). М.: Росинформагротех. 2023; 631.

⁵ Фокша И. Многогранный лен. Российская агрокомпания возрождает исконно русскую культуру. Агротехника и технологии. 2018; 6: 41–45.

Таблица 1. Схема полевого опыта

Table 1. Field experience design

№ варианта	Уровень кислотности	Исходная почва, контроль	Посев
1	сильнокислый pH _{KCL} почвы (<4,5) — искусственно созданный фон	pH _{KCL} 4,6–5,0	рядовой
2	среднекислый pH _{KCL} почвы (4,6–5,0) — естественный фон		
3	слабокислый pH _{KCL} почвы (5,1–5,5) — искусственно созданный фон		
4	близкий к нейтральному pH _{KCL} почвы (5,6–6,0) — искусственно созданный фон		

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программного пакета Microsoft Excel 2021 (США) методом первичной статистической обработки экспериментальных результатов — определения выборочного среднего значения, среднеквадратичного отклонения и вариабельности признака.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В условиях 2023 года на легкосуглинистой почве погодные условия в период всходов и начальный период вегетации льна отличались умеренными температурами и недостатком влаги. Средняя температура воздуха составила +15 °С при средней многолетней +15,8 °С. Количество осадков, выпавших в июне, было значительно ниже среднемноголетнего значения (37,0 мм и 77,2 мм соответственно) (табл. 2). Влажность почвы в слое от 0 до 20 см в период быстрого роста и бутонизации, то есть в критический период для льна по потреблению влаги, находилась в пределах от 3,7 до 10,7%. ГТК июня был ниже оптимальных показателей и составил 1,18 ед. Климатические показатели июня свидетельствуют о том, что влаги и тепла растениям было недостаточно для интенсивного роста льна-долгунца и накопления вегетативной массы, что в дальнейшем отрицательно сказалось на урожайности.

Таблица 2. Агрометеорологические условия вегетационного периода 2023 года (данные Смоленской агрометеорологической станции, Смоленская обл. 6).

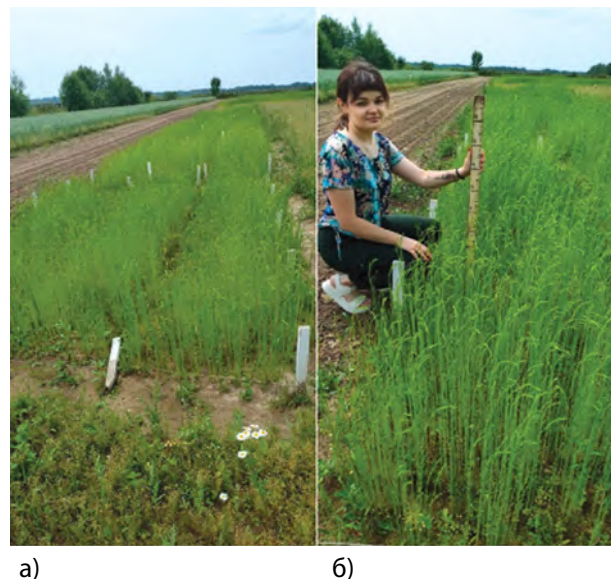
Table 2. Agrometeorological conditions of the growing season 2023 (data from the Smolensk agrometeorological station, Smolensk region)

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С			Количество осадков, мм		ГТК по Селянинову
		средняя 2023 г.	максимальная	средняя многолетняя	2023 г.	среднее многолетнее	
Май	I	6,8	17,2	9,9	3,1	18,4	1,03
	II	13,6	23,7	11,5	8,4	15,8	
	III	13,7	24,3	12,9	25,5	22,9	
Среднее, сумма		11,4 151		11,6	37,0	58,2	
Июнь	I	12,1	22,2	15,3	4,7	24,2	1,18
	II	16,4	27,3	15,6	0,0	27,2	
	III	16,6	27,7	16,5	48,4	25,8	
Среднее, сумма		15,0 451		15,8	53,1	77,2	
Июль	I	18,1	26,9	16,9	15,7	34,6	1,32
	II	16,2	27,5	17,4	31,1	24,5	
	III	16,7	25,6	17,5	23,0	30,4	
Среднее, сумма		17,0 526,7		17,3	69,8	89,5	
Август	I	21,1	31,4	17,2	1,6	20,0	0,83
	II	19,4	31,0	15,2	35,3	23,7	
	III	15,0	26,2	13,9	10,6	22,5	
Среднее, сумма		18,5 570,1		15,4	47,5	66,2	
За вегетационный период		1699		1843	207,4	342	1,09

⁶ Агрометеорологические условия. 2023. I декада мая — II декада августа. Смоленская агрометеорологическая станция. Смоленск, Смоленская обл. 12 с.

Рис. 1. Питомник оценки образцов льна по кислотоустойчивости: а — общий вид питомника, б — учет высоты растений льна-долгунца в фазу быстрого роста. Фото авторов

Fig. 1. Nursery assessment of flax samples for acid resistance: a — general view of the nursery, b — taking into account the height of long-lived flax plants in the phase of rapid growth. Photos of the authors



В период цветения и формирования семян (июль) среднесуточная температура воздуха была в пределах среднемноголетней нормы — +17 °С и +17,3 °С соответственно. Количество выпавших осадков было значительно меньше среднемноголетнего показателя — на 20,3 мм. Однако оптимальная температура воздуха способствовала сохранению влаги в почве (12,8% и 9,6%). В момент налива и созревания льносемян влажность почвы, наоборот, была невысокая — 12,4% и 8,4%. Вместе с тем этого было достаточно для формирования вы-

полненных семян с биологически обусловленным их количеством в коробочке. Лен-долгунец вытерблен с 18 по 22 августа. В целом вегетационный период 2023 г. можно охарактеризовать как слабо засушливый, ГТК — 1,09 ед.

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения, определялась интенсивность прироста по фазам развития растений льна: «елочка», бутонизация, цветение, созревание (рис. 1).

В результате исследований выявлено, что в зависимости от сортовых особенностей растений льна-долгунца в разные фазы развития изменялся показатель высоты растений льна-долгунца. Так, в фазу «елочка» высота растений льна-долгунца (в зависимости от сорта) находилась в пределах 9,7–12,9 см. Начиная с периода быстрого роста стебля в высоту и к фазе бутонизации высота растений составляла: Смолич — 62,1 см,

С 108 — 68,8 см, Импульс — 67,8 см, Лидер — 47,6 см, Феникс — 62,4 см (табл. 3). Наименьшей высотой характеризовался сорт-стандарт Лидер.

От бутонизации до цветения интенсивность роста стебля в высоту значительно снижалась, а после завязывания коробочек рост растения прекращался. Исследования показали, что растения сорта-стандарта Лидер отличались от других сортов меньшей высотой на протяжении всей вегетации.

После уборки сорта оценивали по признакам: высота растений, количество растений в снопе, техническая длина, количество коробочек и семян на растении, масса растений, масса технической части растения.

Результаты оценки растений льна-долгунца после уборки на сильнокислом фоне и слабокислом (оптимальном для выращивания льна-долгунца) по основным морфологическим признакам показали, что используемые в исследованиях сорта в этих условиях характеризуются более высокой продуктивностью по сравнению с сортом-стандартом Лидер. Так, Смолич превосходил Лидер по высоте растений на 4,0 см, С 108 — на 15,5 см, Импульс — на 16,7 см, Феникс — на 18,7 см. Отмечено, что высота растений у сорта Смолич на сильнокислом фоне составила 67,5 см, а на слабокислом — 66,2 см, у сорта С 108 — 76,1 см и 71,7 см, у сорта Импульс — 77,4 см и 74,9 см соответственно, у сорта-стандарта Лидер — 54,1 см и 54,7 см. У сорта Феникс на сильнокислом фоне показатель высоты растений 75,6 см, на слабокислом — 79,0 см. Количество коробочек на растении на сильнокислом фоне изменялось в пределах 3,7–5,0 шт., на слабокислом — 2,7–4,0 шт. Наибольшее количество семян с растения было получено у сорта Феникс (27 шт.) на сильнокислом фоне (табл. 4).

Сопоставив характеристику сортов льна-долгунца по продуктивности, полученную на сильнокислом и среднекислом (контроль) фонах, выявили, что выбранные сорта льна-долгунца лучше развиваются и характеризуются более высокими показателями основных хозяйственно ценных признаков в провокационных условиях сильнокислого фона — pH_{KCL} почвы ($<4,5$). Так, высота растений у сорта Смолич составила на сильнокислом фоне 67,5 см, на среднекислом — 64,5 см, у сорта С 108 — 76,1 см и 74,1 см, у сорта Импульс — 77,4 см и 74,0 см, у генотипа Лидер — 54,1 см и 53,9 см,

Таблица 3. Высота растений льна-долгунца в период вегетации
Table 3. Height of fiber flax plants during the growing season

Сорт	Высота растений, см $\pm$ Sp			
	«елочка»	бутонизация	цветение	созревание
Смолич	11,7 $\pm$ 1,3	62,1 $\pm$ 2,2	68,1 $\pm$ 4,4	72,6 $\pm$ 4,1
С 108	12,9 $\pm$ 1,6	68,8 $\pm$ 3,1	78,3 $\pm$ 3,6	84,1 $\pm$ 4,4
Импульс	12,2 $\pm$ 2,0	67,8 $\pm$ 2,1	75,5 $\pm$ 4,1	85,3 $\pm$ 4,4
Феникс	12,7 $\pm$ 1,9	62,4 $\pm$ 2,1	79,9 $\pm$ 3,2	87,3 $\pm$ 4,2
Лидер, стандарт	9,7 $\pm$ 1,1	47,6 $\pm$ 2,3	54,0 $\pm$ 3,1	68,6 $\pm$ 3,9

у Феникса — 75,6 см и 72,4 см соответственно. Количество коробочек на растении на сильнокислом фоне изменялось в пределах 3,7–5,0 шт., на среднекислом — 3,0–4,7 шт., масса растения была наибольшей у сорта Феникс также на сильнокислом фоне (0,83 г).

Используя данные таблиц 3, 4, определена кислотоустойчивость пяти исследованных генотипов льна-долгунца как отношение значений признаков продуктивности (высота растений, масса, количество коробочек и семян с растения) на сильнокислом фоне к значениям на слабокислом (оптимальном) фоне, выраженное в процентах (табл. 5), и как отношение значений признаков продуктивности на сильнокислом фоне к значениям на среднекислом (контроль) фоне, выраженное в процентах (табл. 6).

Показатель кислотоустойчивости «сильнокислый фон — слабокислый фон» свидетельствовал о том, что в условиях 2023 года сорта проявили высокую устойчивость к стрессовому фактору — повышенной кислотности почвы по всем показателям продуктивности.

Анализ полученных результатов показал, что используемые в исследованиях сорта льна-долгунца в провокационных условиях сильнокислого фона (pH_{KCL} почвы $< 4,5$) лучше развивались и характеризовались более высокими показателями основных хозяйственно ценных признаков, чем на оптимальном для возделывания льна-долгунца — слабокислом почвенном фоне. При этом уровень устойчивости, превышающий 100%, по признаку «высота растений» проявили образцы Смолич, С 108, Импульс. Кислотоустойчивость этих сортов составила от 103,3 до 106,1%.

По признаку «масса растений» у сортов Смолич, С 108, Лидер, Феникс кислотоустойчивость проявилась на уровне от 118,2 до 146,0%. По признаку «количество

Таблица 4. Характеристика образцов льна-долгунца по продуктивности на сильнокислом и слабокислом фонах, 2023 г.
Table 4. Characteristics of fiber flax samples in terms of productivity on strongly acidic and weakly acidic backgrounds, 2023

Генотип	Фон	Высота растений, см $\pm$ Sp	Техническая длина, см $\pm$ Sp	Количество коробочек на растении, шт. $\pm$ Sp	Количество семян на растении, шт. $\pm$ Sp	Масса растений, г $\pm$ Sp	Масса технической части растения, г $\pm$ Sp
Смолич	I	67,5 $\pm$ 5,1	59,9 $\pm$ 4,3	4,0 $\pm$ 0,6	26,4 $\pm$ 5,0	0,62 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,1
	II	64,5 $\pm$ 2,9	56,6 $\pm$ 3,7	3,3 $\pm$ 0,6	24,7 $\pm$ 7,0	0,5 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,03
	III	66,2 $\pm$ 3,9	59,3 $\pm$ 3,0	3,0 $\pm$ 1,0	19,3 $\pm$ 10,1	0,5 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,1
С 108	I	76,1 $\pm$ 8,2	65,6 $\pm$ 5,5	4,0 $\pm$ 0,6	26,4 $\pm$ 7,5	0,73 $\pm$ 0,3	0,40 $\pm$ 0,2
	II	74,1 $\pm$ 2,7	65,1 $\pm$ 1,1	3,0 $\pm$ 1,0	18,3 $\pm$ 3,8	0,5 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,1
	III	71,7 $\pm$ 3,7	62,9 $\pm$ 4,3	3,0 $\pm$ 0,0	20,3 $\pm$ 1,2	0,5 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,02
Импульс	I	77,4 $\pm$ 2,1	67,9 $\pm$ 3,1	3,7 $\pm$ 0,6	23,7 $\pm$ 4,0	0,68 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,03
	II	74,0 $\pm$ 2,1	64,81,00	3,0 $\pm$ 0,0	20,0 $\pm$ 1,0	0,6 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
	III	74,9 $\pm$ 2,8	64,5 $\pm$ 4,5	3,7 $\pm$ 1,2	25,7 $\pm$ 9,3	0,7 $\pm$ 0,2	0,40,10
Феникс	I	75,6 $\pm$ 8,2	62,1 $\pm$ 6,2	5,0 $\pm$ 3,2	27,0 $\pm$ 19,9	0,83 $\pm$ 0,4	0,4 $\pm$ 0,2
	II	72,4 $\pm$ 7,3	61,3 $\pm$ 5,8	4,7 $\pm$ 2,9	21,7 $\pm$ 16,1	0,7 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,1
	III	79,0 $\pm$ 6,0	68,8 $\pm$ 3,9	4,0 $\pm$ 1,0	19,0 $\pm$ 7,9	0,7 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1
Лидер, стандарт	I	54,1 $\pm$ 0,8	44,7 $\pm$ 1,7	3,6 $\pm$ 1,2	27,0 $\pm$ 8,1	0,57 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,1
	II	53,9 $\pm$ 2,7	44,3 $\pm$ 2,9	4,0 $\pm$ 0,0	26,7 $\pm$ 3,8	0,5 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,2
	III	54,7 $\pm$ 3,2	47,5 $\pm$ 4,0	2,7 $\pm$ 1,2	17,0 $\pm$ 6,2	0,4 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,03

Примечание: I — сильнокислый фон, II — среднекислый (контроль), III — слабокислый фон (оптимальный для выращивания льна-долгунца).

Таблица 5. Кислотоустойчивость образцов льна-долгунца на сильнокислом и слабокислом фонах, 2023 г.
Table 5. Acid resistance of fiber flax samples on strongly acidic and weakly acidic backgrounds, 2023

Генотип	Статистические значения	Высота растений, см	Масса растений, г	Количество коробочек на растении, шт.	Количество семян на растении, шт.
		устойчивость, %			
Смолич	среднее значение	102,0	124,4	133,3	136,8
	среднеквадратичное отклонение	14,91	21,80	32,36	31,88
	вариабельность	7,24	13,46	14,02	14,62
С 108	среднее значение	106,1	146,0	133,3	130,0
	среднеквадратичное отклонение	25,39	38,55	21,52	24,07
	вариабельность	19,14	30,51	35,51	26,40
Импульс	среднее значение	103,3	97,1	100,0	92,3
	среднеквадратичное отклонение	24,75	13,53	1,49	13,08
	вариабельность	18,16	37,44	20,29	21,17
Феникс	среднее значение	95,7	118,2	125,0	142,1
	среднеквадратичное отклонение	23,63	10,75	19,13	17,01
	вариабельность	16,16	21,69	27,61	28,95
Лидер, стандарт	среднее значение	98,9	143,2	133,3	158,8
	среднеквадратичное отклонение	22,46	27,96	11,30	14,19
	вариабельность	14,30	22,28	28,79	28,79

Таблица 6. Кислотоустойчивость образцов льна-долгунца на сильнокислом и среднекислом фонах, 2023 г.
Table 6. Acid resistance of fiber flax samples on strongly acidic and moderately acidic backgrounds, 2023

Генотип	Статистические значения	Высота растений, см	Масса растений, г	Количество коробочек на растении, шт.	Количество семян на растении, шт.
		устойчивость, %			
Смолич	среднее значение	104,65	124,00	121,21	106,88
	среднеквадратичное отклонение	25,21	21,80	23,36	21,88
	вариабельность	27,86	31,46	41,02	41,62
С 108	среднее значение	102,70	146,00	133,33	144,26
	среднеквадратичное отклонение	15,39	18,55	16,52	14,07
	вариабельность	19,14	20,51	25,51	26,40
Импульс	среднее значение	104,69	113,33	123,33	118,50
	среднеквадратичное отклонение	24,75	23,53	14,49	13,08
	вариабельность	28,16	37,44	40,29	41,17
Феникс	среднее значение	104,41	118,57	106,38	124,42
	среднеквадратичное отклонение	23,63	25,75	21,13	21,01
	вариабельность	26,16	21,69	17,61	18,95
Лидер, стандарт	среднее значение	100,37	114,00	90,00	101,12
	среднеквадратичное отклонение	22,46	37,96	19,30	16,19
	вариабельность	24,30	21,28	26,49	25,88

коробочек на растении» у всех образцов кислотоустойчивость находилась на уровне от 100,0 до 133,3%, по признаку «количество семян на растении» — у всех генотипов, кроме сорта Импульс, устойчивость по данному признаку составила 130,0–158,8% (табл. 5).

При анализе кислотоустойчивости исследованных сортов льна-долгунца на сильнокислом фоне к значениям на среднекислом (контроль) фоне выявлено, что исследуемые сорта по всем вышеобозначенным признакам продуктивности проявляли высокую устойчивость к

сильнокислой реакции почвенного раствора. На контрольном варианте (среднекислой почве) показатели продуктивности незначительно снижались.

Полученные результаты позволяют характеризовать используемые в исследованиях сорта льна-долгунца как высокоустойчивые к повышенной кислотности почвы. При этом уровень устойчивости, превышающий 100%, по признакам «высота растений», «масса растений», «количество коробочек на растении», «количество семян на растении» проявили все сорта, кроме сорта-стандарта Лидер. Все используемые в исследованиях сорта льна-долгунца отличались высокой продуктивностью независимо от кислотности почвенного раствора. Все сорта характеризовались высокой вариабельностью, а следовательно, высокой пластичностью.

Кислотоустойчивость у сортов по высоте растений составила от 100,37% (у сорта Лидер) до 104,69% (у сорта Импульс) (табл. 6).

По признаку «масса растений» у сортов кислотоустойчивость проявилась от +13,33 до +46,0%. По признаку «количество коробочек на растении» у всех образцов, кроме сорта-стандарта Лидер, кислотоустойчивость находилась на уровне 106,38–133,33%, показатель кислотоустойчивости сорта Лидер был несколько ниже (90%). По признаку «количество семян на растении» у всех сортов устойчивость составила 101,12–144,26%.

Выводы/Conclusion

В результате исследований в полевых условиях создан провокационный фон и определена кислотоустойчивость пяти сортов льна-долгунца — Импульс, Феникс, Лидер, С 108, Союз для сильнокислого и слабокислого (оптимального) фонов; сильнокислого и среднекислого (контроль) фонов.

Выявлено влияние провокационных условий повышенного кислого фона почвы на морфологические признаки растений льна-долгунца. Установлено, что все исследуемые сорта льна-долгунца на созданном провокационном фоне проявили устойчивость к повышенной кислотности почвы, сохраняя при этом высокие показатели продуктивности по сравнению с сортом-стандартом Лидер. Наиболее высокую устойчивость относительно других сортов проявили Смолич, С 108 и Импульс.

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

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS 2024-0004.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the State task of the Ministry of Science and Higher Education of the Federal Scientific Center of Bast Crops on the topic No. FGSS 2024-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kochian L.V., Piñeros M.A., Liu J., Magalhaes J.V. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. *Annual Review of Plant Biology*. 2015; 66: 571–598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>
2. Кишлян Н.В., Мельникова Н.В., Рожмина Т.А. Механизмы адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020; 181(4): 205–212. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-205-212>
3. Великанова И.В., Попов Р.А. Региональные особенности развития льняного подкомплекса в условиях нарастающих кризисных явлений. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2020; 2: 66–71. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.50.2.0012>
4. Некрасов Р.В., Овчаренко М.М., Аканова Н.И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв. *Земледелие*. 2019; 4: 3–7. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10401>
5. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ушаповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020; 14(3): 45–52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
6. Кишлян Н.В., Рожмина Т.А. Оценка генофонда льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) по кислотоустойчивости. *Сельскохозяйственная биология*. 2010; 45(1): 96–103. <https://www.elibrary.ru/lastnd>
7. Сорокина О.Ю., Нечушкин С.М. Роль катионов кальция, магния и кислотности почвы в продуктивности льна-долгунца. *Агрохимия*. 2005; 10: 13–17. <https://www.elibrary.ru/hshesf>
8. Сорокина О.Ю. Влияние бактериальных удобрений в сочетании с минеральными и органоминеральными на продуктивность льна-долгунца. *Плодородие*. 2023; 4: 75–77. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.133.18>
9. Ma L., Yang S. Growth and physiological response of *Kandelia obovata* and *Bruguiera sexangula* seedlings to aluminum stress. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(28): 43251–43266. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17926-0>
10. Прудников А.Д., Рыбченко Т.И., Романова И.Н., Прудникова А.Г., Глушаков С.Н. Адаптивное льноводство. Монография. Смоленск: Универсум. 2016; 216. ISBN 978-5-91412-318-1
11. Пролетова Н.В. Реакция льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) на содержание ионов алюминия в культуре *in vitro*. *Аграрная наука*. 2023; 8: 120–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-120-125>
12. Desai L.J., Patel K.M., Patel P.K., Patel V.K., Gami J.K. Impact Possibility of Organic, Inorganic and Integrated Production Systems for Crop Productivity and Soil Fertility. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024; 36(3): 35–44. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34396>
13. Chaturvedi A., Chaturvedi S.K., Mishra T.S., Pandey V.K., Sharma N. Enhancing Productivity of Rajma (*Phaseolus vulgaris* L.) by Managing Soil Acidity and Organic Nutrient Management under Arunachal Hill Conditions. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024; 36(3): 378–382. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34436>
14. Buranji I., Varga I., Lisjak M., Ilijkić D., Antunović M. Morphological characteristic of fiber flax seedlings regard to different pH water solution and temperature. *Journal of Central European Agriculture*. 2019; 20(4): 1135–1142. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2484>
15. Saleem M.H. et al. Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seedlings grown under the mixing of two different soils of China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27(5): 5211–5221. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07264-7>
16. Аристархов А. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016; 5: 39–47. <https://www.elibrary.ru/wwhkfz>

ОБ АВТОРАХ

Вероника Сергеевна Зотова

аспирант, младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0001-5230-0580>

Наталья Викторовна Пролётова

старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник,
кандидат биологических наук
<https://orcid.org/0000-0002-4137-9622>

Аминат Мсостовна Конова

ведущий научный сотрудник,
кандидат сельскохозяйственных наук
science.trk@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 172002, Россия

REFERENCES

1. Kochian L.V., Piñeros M.A., Liu J., Magalhaes J.V. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. *Annual Review of Plant Biology*. 2015; 66: 571–598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>
2. Kishlyan N.V., Melnikova N.V., Rozhmina T.A. The mechanisms of fiber flax adaptation to high soil acidity (a review). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020; 181(4): 205–212 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-205-212>
3. Velikanova I.V., Popov R.A. Regional features of the development of the flax sub-complex in the context of growing crisis phenomena. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2020; 2: 66–71 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.50.2.0012>
4. Nekrasov R.V., Ovcharenko M.M., Akanova N.I. Agroecological Foundation of Chemical Amelioration of Soils. *Zemledelie*. 2019; 4: 3–7 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10401>
5. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The Main Problems of Scientific Support of Flax Growing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020; 14(3): 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
6. Kishlyan N.V., Rozhmina T.A. Investigation of flax (*Linum usitatissimum* L.) gene pool on resistance to soil acidity. *Agricultural Biology*. 2010; 45(1): 96–103 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lastnd>
7. Sorokina O.Yu., Nechushkin S.M. Role of calcium and magnesium cations and soil acidity in the yielding capacity of fiber flax. *Agrokhimiya*. 2005; 10: 13–17 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hshesf>
8. Sorokina O.Yu. The effect of bacterial fertilizers in combination with mineral and organomineral fertilizers on the productivity of fiber flax. *Plodородие*. 2023; 4: 75–77 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.133.18>
9. Ma L., Yang S. Growth and physiological response of *Kandelia obovata* and *Bruguiera sexangula* seedlings to aluminum stress. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(28): 43251–43266. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17926-0>
10. Prudnikov A.D., Rybchenko T.I., Romanova I.N., Prudnikova A.G., Glushakov S.N. Adaptive flax growing. Monograph. Smolensk: Universum. 2016; 216 (in Russian). ISBN 978-5-91412-318-1
11. Proletova N.V. The reaction of fiber flax (*Linum usitatissimum* L.) to the content of aluminum ions *in vitro* culture. *Agrarian science*. 2023; 8: 120–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-120-125>
12. Desai L.J., Patel K.M., Patel P.K., Patel V.K., Gami J.K. Impact Possibility of Organic, Inorganic and Integrated Production Systems for Crop Productivity and Soil Fertility. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024; 36(3): 35–44. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34396>
13. Chaturvedi A., Chaturvedi S.K., Mishra T.S., Pandey V.K., Sharma N. Enhancing Productivity of Rajma (*Phaseolus vulgaris* L.) by Managing Soil Acidity and Organic Nutrient Management under Arunachal Hill Conditions. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2024; 36(3): 378–382. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34436>
14. Buranji I., Varga I., Lisjak M., Ilijkić D., Antunović M. Morphological characteristic of fiber flax seedlings regard to different pH water solution and temperature. *Journal of Central European Agriculture*. 2019; 20(4): 1135–1142. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2484>
15. Saleem M.H. et al. Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seedlings grown under the mixing of two different soils of China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27(5): 5211–5221. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07264-7>
16. Aristarkhov A. Sulfur in Russian agroecosystems: monitoring the content in soils and the effectiveness of its use. *International Agricultural Journal*. 2016; 5: 39–47 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wwhkfz>

ABOUT THE AUTHORS

Veronica Sergeevna Zotova

Postgraduate Student, Junior Researcher
<https://orcid.org/0000-0001-5230-0580>

Natalia Viktorovna Proletova

Senior Researcher, Leading Researcher,
Candidate of Biological Sciences
<https://orcid.org/0000-0002-4137-9622>

Aminat Msostovna Konova

Leading Researcher, Candidate
of Agricultural Sciences
science.trk@fncl.ru

Federal Scientific Center of Bast Crops,
17/56 Komsomolsky Prospect, Tver, 172002, Russia