



Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции

© 2021. Т. А. Рожмина✉, А. А. Жученко, Е. Г. Герасимова, И. А. Андреева, А. Д. Смирнова

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

Исследование проводили с целью изучения реакции различных генотипов льна на обработку растений гербицидом сульфонилмочевинного класса – Магнум (действующее вещество метсульфурон-метил) и выявления устойчивых форм для использования их в селекционных программах на гербицидоустойчивость. В 2018–2020 гг. выполнена оценка 24 сортов и перспективных линий льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции на устойчивость к данному гербициду, обработку посевов препаратом проводили в рекомендованной норме расхода – 0,01 кг/га в фазу «елочка». Доказано, что применение гербицида Магнум приводит к неравномерности роста растений в период «елочка-цветение», что отрицательно сказывается на урожайности и качестве льноволокна. Снижение основных показателей продуктивности и качества волокна в варианте с применением гербицида по сравнению с контролем в зависимости от генотипа составило: по высоте растений – до 44,4 %, весу технической части – 71,1 %, массе волокна – 74,8 %, «мыкlosti» стебля – 46,3 %, длине элементарного волокна – 27,7 %. Высокий уровень устойчивости (свыше 80 %) к гербициду Магнум по всем анализируемым признакам проявили сорта Атлант (Россия) и Могилевский (Беларусь). Показано, что при обработке растений льна-долгунца гербицидом, как правило, происходит увеличение соцветия за счет снижения технической длины стебля, в результате чего у подавляющего большинства генотипов под действием применения препарата Магнум наблюдалось повышение основных показателей продуктивности – количества коробочек и семян на растении (до 3,2 раза). Исключение составил сорт Вега 2 (Литва), у которого уменьшилось количество коробочек на растении в варианте с обработкой гербицидом по сравнению с контролем в 1,8 раза, а количество семян – в 5,3 раза. Этот сорт оказался также наиболее чувствительным к действию препарата Магнум по всем показателям продуктивности и качества волокна. Полученные результаты согласуются с данными, полученными при обработке различных коллекционных образцов льна-долгунца баковой смесью Магнум + Гербитокс Л + Миура в рекомендованных нормах расхода (0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га).

Ключевые слова: лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), гербицид, устойчивость, сорт, продуктивность, качество волокна

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № 075-00853-19-00).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Жученко А. А., Герасимова Е. Г., Андреева И. А., Смирнова А. Д. Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):844–856. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856>

Поступила: 30.08.2021

Принята к публикации: 03.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products

© 2021. Tatyana A. Rozhmina✉, Alexander A. Zhuchenko, Elena G. Gerasimova, Irina A. Andreeva, Anzhela D. Smirnova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The aim of the research was to study the response of various flax genotypes to the treatment of plants with a sulfonylurea herbicide – Magnum (active ingredient is metsulfuron-methyl) and to identify resistant forms for use in breeding programs for herbicide resistance. In 2018–2020 an assessment of 24 varieties and promising lines of fiber flax of domestic and foreign selection for resistance to this herbicide was carried out, the treatment of crops with the preparation was carried out at the recommended consumption rate of 0.01 kg/ha in the “herringbone” phase. It has been proved that the use of this herbicide leads to uneven plant growth during the “herringbone – flowering” period, which negatively affects the yield and quality of flax fiber. The decrease in the main indicators of the productivity and quality of the fiber in the variant with the use of the herbicide in comparison with the control, depending on the genotype was: in plant height – up to 44.4 %, in the weight of the technical part – 71.1 %, in the fiber mass – 74.8 %, in «myklost» (the ratio of the technical length of stem to its diameter) – 46.3 %, in the length of the elementary fiber – 27.7 %. A high level of resistance (over 80 %) to the herbicide Magnum for all analyzed traits was shown by the varieties Atlant (Russia) and Mogilevsky (Belarus). It was shown that when treating fiber flax plants with the herbicide, as a rule, an increase in inflorescence occurs due to a decrease in the technical length of the stem. It results in rise of the main indicators of seed productivity in most of genotypes under the influence of the Magnum preparation – the number of bolls and

seeds per plant (up to 3.2 times). The exception was the variety Vega 2 (Lithuania), which had a decrease in the number of bolls per plant in the variant with herbicide treatment compared with the control by 1.8 times, and in the number of seeds by 5.3 times. This variety was also the most sensitive to the effect of Magnum in all parameters of productivity and fiber quality. The results are consistent with the data obtained when treating various collection samples of fiber flax with a tank mixture Magnum + Herbitox L + Miura at the recommended consumption rates ($0.007 + 0.6 + 1.0$ kg(l)/ha).

Keywords: fiber flax (*Linum usitatissimum* L.), herbicide, resistance, variety, productivity, fiber quality

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. 075-00853-19-00).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A., Gerasimova E. G., Andreeva I. A., Smirnova A. D. The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):844-856. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856>

Received: 30.08.2021

Accepted for publication: 03.11.2021

Published online: 15.12.2021

В настоящее время в льняном сырье нуждаются – текстильная, медицинская, химическая, пищевая промышленность, оборонный комплекс и другие отрасли народного хозяйства. В связи с этим необходимо наращивание производства конкурентоспособной льнопродукции, удовлетворяющей стратегические потребности государства. Прогнозируемая потребность в волокнистом льносырье составляет свыше 350 тонн в год, при фактическом ежегодном объеме валового производства на уровне 40-45 тыс. тонн [1]. Низким остается качество волокна – средний номер льнотресты по стране составляет $1,0^1$, что сдерживает расширение сфер использования льносырья, а также делает производство культуры низко-рентабельным либо убыточным.

Важная роль в решении проблемы сырьевого обеспечения страны принадлежит селекции, основанной на более полном использовании биологического потенциала культуры. Ярким примером тому является рост урожайности льноволокна в Российской Федерации, которая по сравнению с 90-ми годами прошлого столетия возросла более чем в 2 раза, прежде всего, за счет возделывания в производстве новых более урожайных сортов льна-долгунца. Потенциальная урожайность современных сортов льна-долгунца составляет 20-25 ц/га, номер трепаного (длинного) льноволокна – 12...14 [2]. При этом средняя урожайность льноволокна по Российской Федерации находится на уровне $9,2$ ц/га², а номер трепаного льноволокна – 9,6.

Основными причинами, лимитирующими получение высоких и гарантированных урожаев

волокнистой льнопродукции в стране, является усиление влияния неблагоприятных факторов внешней среды (засуха, неравномерность выпадения осадков и др.), пестрота почв по уровню кислотности и несбалансированность ее по содержанию макро- и микроэлементов, повышение распространенности болезней [3, 4]. Для решения данной проблемы, наряду с традиционными методами, в селекции льна-долгунца в последние годы все шире используются молекулярные методы [5, 6, 7, 8].

Другим не менее значимым фактором, сдерживающим рост урожайности и негативно влияющим на качество льноволокна, является низкая культура земледелия, что вызывает необходимость применения гербицидов в полной норме расхода, а также их баковых смесей [9, 10]. К примеру, применение баковой смеси Ленок + Агритокс + Тарга Супер в рекомендованной норме расхода ($0,005 + 0,6 + 1,5$ кг(л)/га) привело к снижению выхода длинного волокна по сравнению с контролем (вариант без обработки) до 48,9 % [11]. Гербициды оказывают стрессовое воздействие на растения льна не только в период их вегетации, но и отрицательно влияют на состав микрофлоры, участвующей в мацерации льносоломой, что приводит к резкому снижению выхода длинного волокна и его прочности [12].

В борьбе с двудольными сорняками на посевах льна широко применяют гербициды из группы 2М-4Х. Самыми селективными для растений льна-долгунца препаратами из этой группы являются Хвостокс Экстра и Гербитокс-Л. Однако диметиламинные соли 2М-4Х угнетают рост и развитие растений льна,

¹ФГБНУ «Агентство по производству и первичной обработке льна и конопли «Лен» (сайт). Качественные показатели льна-долгунца. [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/kachestvennye-pokazateli-lna-dolgunca> (дата обращения: 15.08.2021).

²ФГБНУ «Агентство по производству и первичной обработке льна и конопли «Лен» (сайт). Урожайность льноволокна в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/urozhaynost-lnovolokna-v-rossiyskoy-federatsii-ts-ga> (дата обращения: 15.08.2021).

снижают техническую длину стебля и выход длинного волокна [13]. Данные гербициды слабо действуют на пикульники, виды горцев, ромашку непахучую, звездчатку среднюю, торицу полевую, виды осотов, подмаренник цепкий. Исследования последнего десятилетия показывают, что эти сорняки практически полностью могут быть уничтожены препаратами сульфонилмочевинного класса – Магнум, Хармони, Секатор, Кортес, Хардин, Леннок. Препарат Лонтрел 300 (BP) и другие из группы клопиралидов перспективны в борьбе с многолетними двудольными сорняками (например, виды осота), но не уничтожают сорняки из семейства сложноцветных и виды горцев. Поэтому их необходимо применять в баковой смеси с препаратами группы 2М-4Х или сульфонилмочевинами [14].

Для снижения отрицательного воздействия гербицидов на растения в последние десятилетия учеными различных стран проводятся исследования по изучению механизма устойчивости к гербицидам для получения методами генетической инженерии форм, толерантных к гербицидному стрессу. При добавлении всего одного гена растения приобретают устойчивость к тому или иному гербициду [15]. Однако в большинстве стран запрещено использование трансгенных форм льна в производственных посевах, что требует поиска альтернативных путей решения данной проблемы.

Цель исследований – изучение реакции различных генотипов льна на обработку растений гербицидом сульфонилмочевинного класса – Магнум (действующее вещество метесульфурон-метил) и выявление устойчивых форм для использования их в селекционных программах на гербицидоустойчивость.

Новизна исследований заключается в проведении комплексного изучения генетического разнообразия прядильного льна по устойчивости к сульфонилмочевинному гербициду, что позволило, с одной стороны, определить влияние его на урожайные и качественные показатели культуры, а с другой – выявить ценные генотипы для селекции на гербицидоустойчивость. Решение данной проблемы будет способствовать, прежде всего,

повышению качества волокнистой льнопродукции в Российской Федерации.

Материал и методы. Исследования проводили в 2018-2020 гг. на опытном поле Института льна – обособленного подразделения ФГБНУ ФНЦ ЛК. В качестве исходного материала использовали 24 сорта и селекционные линии льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции. Оценку образцов проводили в условиях луночного питомника с площадью питания одного растения 2,5х2,5 см, что соответствует норме высева семян 18 млн шт/га.

Посев и закладку опыта осуществляли в соответствии с методическими указаниями по селекции и семеноводству льна-долгунца³. Количество семян, высеваемых по каждому образцу – 20 шт., повторность в опыте 3-кратная. Варианты опыта: 1 – Без обработки гербицидами (контроль). 2 – Обработка посевов льна препаратом Магнум в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га). 3 – Обработка посевов препаратом Магнум в дозе, превышающей рекомендованную в 5 раз (0,05 кг/га).

Почва опытного поля среднесуглинистая дерново-подзолистая с высоким содержанием фосфора (P_2O_5 – 220 мг/кг) и калия (K_2O – 120 мг/кг), слабокислая ($pH_{сол}$ 5,2-5,6).

Исследуемые образцы оценивали по основным показателям продуктивности – высоте растений, весу технической части стебля, массе волокна и его содержанию, а также важнейшим косвенным показателям, определяющим качество льноволокна – длине элементарных волокон и «мыклость» стебля. Показатель «мыклость» стебля есть отношение диаметра к технической части стебля. Длину элементарных волокон рассчитывали по формуле С. М. Авиромы⁴. Устойчивость растений льна-долгунца к гербициду Магнум определяли как отношение показателей продуктивности волокна при стрессовых (вариант с обработкой растений гербицидом) и благоприятных условиях (контроль – без обработки), которая выражена в процентах⁵. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы STATISTICA 7.0. Достоверность различий между средними значениями оценивали при 5%-ном уровне значимости по критерию Фишера.

³Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. 140 с.

⁴Авиром С. М. Основные требования промышленности к качеству льняного стебля. Научно-исследовательские труды ЦНИИЛВ. М.: Государственное научно-техническое издательство легкой промышленности, 1952. Т. 6. С. 23-66.

⁵Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 227 с.

Результаты и их обсуждение. Для уничтожения двудольных и злаковых сорняков в посевах льна-долгунца в настоящее время льносеющими предприятиями страны широко применяется гербицидная композиция: Магнум + Гербитокс Л + Миура, рекомендуемая норма расхода – 0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га. Вместе с тем, как показали проводимые нами исследования (2008-2010 гг.), при обработке посевов льна-долгунца данной гербицидной композицией наблюдалось

снижение качества волокнистого сырья [16]. Так, в варианте с обработкой этой композицией практически у всех изучаемых образцов номер трепаного льноволокна был низким и находился на уровне – 8...10, в то время как в контроле (без применения гербицидов) 12...14. Аналогичные результаты получены и по признаку «длина элементарного волокна», от величины которого зависит прядильная способность льноволокна (рис., [16]).

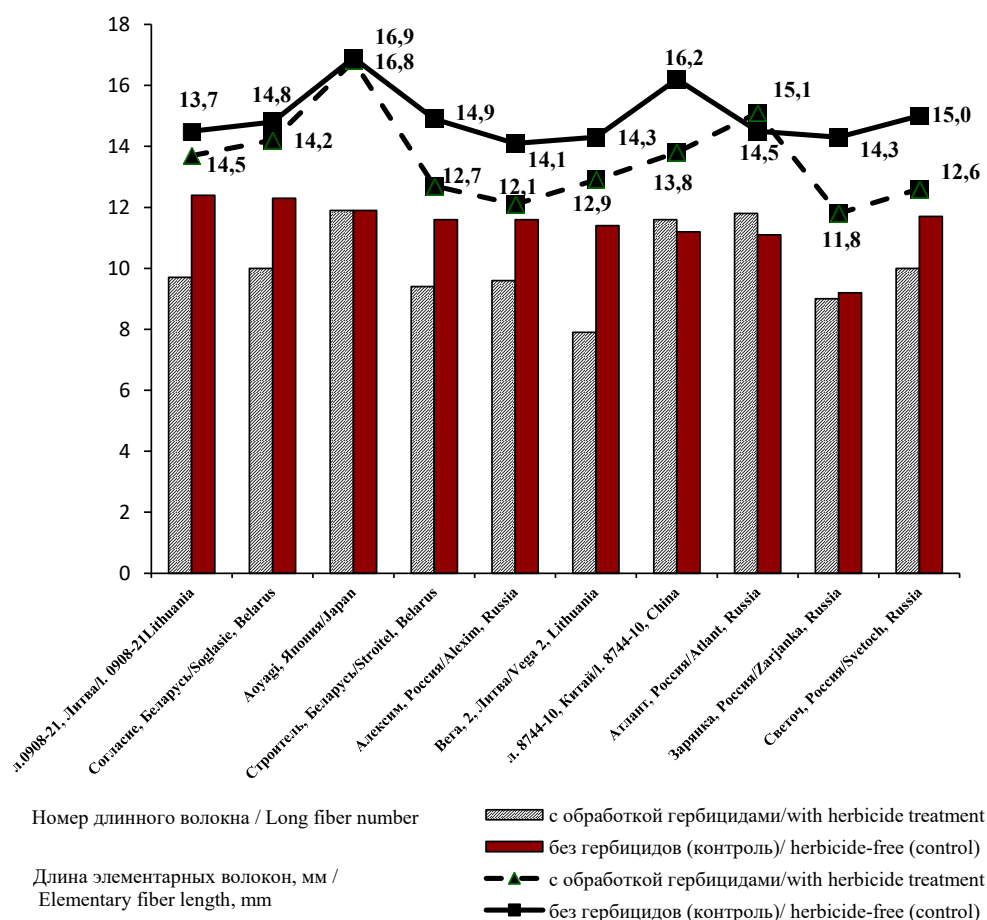


Рис. Влияние гербицидной баковой смеси на качество волокна различных сортов и перспективных линий льна-долгунца (гербицидная баковая смесь Магнум + Гербитокс-Л + Миура (0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га)) /
Fig. The effect of herbicide tank mixture on the quality of fiber of various varieties and promising lines of fiber flax (herbicide tank mixture Magnum + Herbitox-L + Miura (0.007 + 0.6 + 1.0 kg(ltr.) / ha))

Из исследованных генотипов льна-долгунца исключение составили сорт отечественной селекции Атлант, включенный в Госреестр РФ с 2021 г., и сорт Аюуагэ (к-4116) из Японии, которые проявили высокие показатели качества льноволокна как в контроле, так и в варианте с обработкой данной гербицидной композицией. Следует отметить, что эти генотипы отличаются высоким качеством льноволокна.

Для выявления реакции образцов льна на обработку гербицидом Магнум (действующее вещество метилсульфурон-метил) растения обрабатывали препаратом в фазу «елочка» в рекомендованной (0,01 кг/га) и повышенной (0,05 кг/га) нормах расхода. Как видно из данных таблицы 1, в вариантах с обработкой посевов льна-долгунца препаратом Магнум в рекомендованной и повышенной дозах наблюдается снижение количества нормально

развитых растений перед уборкой по сравнению с контролем. В варианте 2 (рекомендованная норма расхода) количество нормально развитых растений в зависимости от генотипа

снизилось по сравнению с контролем (без обработки) на 9,2 (сорт Aoyagi) ... 42,3 % (V-8744-10), в варианте 3 (повышенная норма расхода) – на 59,2...67,5 % соответственно.

Таблица 1 – Влияние гербицида Магнум при разных нормах расхода на высоту растений в период «елочка»-цветение и их выживаемость (2018) /

Table 1– The effect of the herbicide Magnum at different consumption rates on plant height during the «herringbone-flowering» period and on the plant survival, 2018

Название, происхождение образца / Name, origin of the sample	Вариант – норма расхода гербицида, кг/га / Variant – herbicide consumption rate, kg/ha	Динамика высоты растений в процессе онтогенеза, см / Dynamics of plant height in the process of ontogenesis, cm				Выживших растений перед уборкой, % / % of plants survived before harvest
		«елочка» / «herringbone» (14.06)	быстрый рост / fast growth (2.07)	бутонизация / budding (12.07)	цветение / flowering (23.07)	
Аоуаги, Япония / Aoyagi, Japan	I – Без обработки (контроль) / I – Without treatment (control)	11	35	64	95	88,2
	II – 0,01	8	24	31...46*	80	79,0
	III – 0,05	4	14	19...36	75	29,0
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	72,7	68,6	48,4...71,9	84,2	-
	III – 0,05	36,4	40,0	29,7...56,3	78,9	-
V-8744-10, Китай / V-8744-10, China	I – Контроль / Control	12	38	71	85	85,6
	II – 0,01	9	21	37...44	70	43,3
	III – 0,05	4	15	21...45	70	18,1
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	75,0	55,3	52,1...62,0	82,4	-
	III – 0,05	33,3	39,5	29,6...63,4	82,4	-
Атлант, Россия / Atlant, Russia	I – Контроль / Control	12	25	43	85	90,8
	II – 0,01	11	22	43	80	73,2
	III – 0,05	6	20	24...43	80	28,8
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	91,7	88,0	100,0	94,1	-
	III – 0,05	50,0	80,0	55,8...100	94,1	-

* Минимальное и максимальное значения признака / * minimum and maximum value of the trait

Наблюдались различия между реакцией генотипов на гербицидный стресс и по динамике роста растений в критический период «елочка»-бутонизация, когда происходит формирование волокна и его качества. У линии V-8744-10 (Китай) отставание в росте в варианте 2 по сравнению с контролем составило до 52,1 %, в то время как у сорта Атлант не превышало 12 %. Следует отметить также равномерность роста растений сорта Атлант в данный период по сравнению с другими генотипами, что важно для формирования качественного волокна. При увеличении дозы

внесения гербицида (вариант 3) отмечалось усиление неравномерности ростовых процессов, которое наиболее отчетливо проявлялось в фазу бутонизации, что позволяет сделать предположение о гетерогенности испытываемых генотипов по данному признаку и, следовательно, возможности отбора устойчивых линий. У сорта Атлант на жестком гербицидном фоне (0,05 кг/га) выявлены растения, которые по высоте не уступали контролю. В период от фазы «цветение» до фазы «ранняя желтая спелость» высота растений у исследуемых генотипов не изменялась. Таким обра-

зом, полученные данные по сорту Атлант при обработке препаратом Магнум в различных дозах согласуются с результатами исследований, полученными при использовании баковой гербицидной композиции Магнум + Гербитокс Л + Миура, что указывает на стабильность данного генотипа по исследуемым показателям, определяющим, прежде всего, качество льноволокна.

Для дальнейшей оценки влияния гербицида Магнум на основные показатели продуктивности и качества волокна была использована расширенная выборка, включающая 24 сорта и селекционные линии льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции. Оценка реакции образцов льна на обработку гербицидом в рекомендованной норме расхода указывает на повышение вариативности всех исследуемых признаков продуктивности у подавляющего большинства генотипов по сравнению с контролем (табл. 2).

Наиболее вариативными признаками у льна-долгунца являются «вес технической части стебля» и «масса волокна», которые в контроле имели значения, не превышающие 27,1 и 26,6 % соответственно, а в варианте с обработкой гербицидом коэффициент вариации у образцов V-8744-10, Alizee, Универсал и Вега 2 находился в диапазоне от 43,4 до 68,3 %.

Из исследуемых образцов высокую устойчивость к препарату Магнум проявили сорта Атлант, Светоч (Россия), Могилевский, Е-68 (Беларусь), Marina (Голландия), Nike (Польша), Аоуаги (Япония), уровень устойчивости по всем показателям продуктивности волокна – высоте растений, весу технической части стебля и массе волокна получили свыше 80 %. Наиболее чувствительную реакцию к гербицидному стрессу проявил сорт Вега 2 (Литва), у которого высота растений по сравнению с контролем снизилась на 43,4 %, вес технической части – 71,1 и масса волокна – 74,8 %. Неустойчивыми к гербицидному стрессу оказались сорта льна-долгунца – Цезарь, Универсал, Дипломат (Россия), Оршанский 2, Строитель (Беларусь), V-8744-10 (Китай), уровень устойчивости по весу технической части стебля составил 49,8; 51,1; 68,0; 58,7; 73,6; 74,6 % и массе волокна – 48,2; 47,9; 60,9; 58,7; 68,1; 65,9 % соответственно.

В варианте с обработкой гербицидами у подавляющего большинства образцов наблюдалось существенное снижение показателя

«содержание волокна в стебле». При этом, как показывает анализ представленных данных, снижение содержания волокна в стебле не всегда приводит к снижению массы волокна. Наиболее стабильную реакцию по признаку «содержание волокна в стебле» проявили сорта Атлант, Цезарь, AP 5, Тост (Россия), Alizee (Франция), Marina (Голландия), V-8744-10 (Китай), Nike (Польша), Лира, Пралеска, Строитель, Белита и Оршанский 2 (Беларусь), у которых изменение данного показателя было незначительным и составило менее 2,0 абс. процентов.

Основными признаками, определяющими продуктивность льносемян, являются количество коробочек и семян на растении, которые характеризуются высокой вариативностью. В варианте с обработкой гербицидами вариативность данных признаков возрастала. По признаку «количество семян с 1 растения» у 58,3 % образцов вариативность составила от 40,8 до 95,4 %. У ряда изучаемых образцов (Светоч, Тост, Цезарь, AP 5, AP 7, Россия; Marilyn, Marina, Голландия; Аоуаги, Япония; China 1, Китай; Nike, Польша; Пралеска, Е-68, Беларусь) отмечалось 1,5...3,0-кратное увеличение количества коробочек и/или семян на растении в варианте с обработкой растений препаратом Магнум по сравнению с контролем (табл. 3).

Следует отметить, что у наиболее неустойчивого по показателям продуктивности льноволокна сорта Вега 2 (Литва) отмечалось 4-кратное снижение количества льносемян на 1 растении в варианте с обработкой по сравнению с контролем. Как показывает анализ экспериментальных данных, в варианте с обработкой гербицидом происходило снижение не только высоты растений, но и в большей мере технической части стебля, в результате чего увеличивается длина соцветия, что и приводит к увеличению количества коробочек и соответственно числа семян на 1 растении.

Важнейшими косвенными показателями, определяющими качество льноволокна, являются «мыклость» стебля и средняя длина элементарных волокон. Чем выше данные показатели, тем ниже обрывность пряжи и выше качество льноволокна [16]. В варианте без обработки (контроль) длина элементарных волокон у исследуемых образцов льна-долгунца находилась в диапазоне 14,74 (Пралеска)...17,80 (V-8744-10) мм, а «мыклость» стебля – 472,4 (Пралеска)...762,3 (V-8744-10).

Таблица 2 – Влияние гербицида Магнум на продуктивность волока у различных генотипов льна-долгунна (2018-2020) /
Table 2 – The effect of the herbicide Magnum on fiber productivity in different genotypes of flax (2018-2020)

Название, происхождение образца / Name, origin of the sample	Вариант / Variant	Высота растений, см / Plant height, cm	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Вес технической части стебля, мг / Weight of the technical part of the stem, mg	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Масса волока растения, мг / Fiber mass of plant, mg	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Содержание волока в стебле, % / Fiber content in the stem, %
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Атлант, Россия / Atlant, Russia	I	92,6	88,6	2,7	467,7	81,1	14,1	94,4	84,4	10,5	20,3
	II	82,0		2,4	379,3		7,9	79,7		9,7	21,0
Могилёвский, Беларусь / Mogilevsky, Belarus	I	79,6	98,7	5,3	348,0	127,5	16,8	117,3	94,1	16,9	33,8
	II	78,6		3,5	443,6		31,7	110,4		24,9	25,5
Marylin, Голландия / Marylin, Holland	I	79,7	81,1	2,6	391,0	92,9	11,2	131,8	73,3	7,6	33,8
	II	64,6		7,8	363,4		26,9	96,6		30,1	26,4
Аюаги, Япония / Aoyagi, Japan	I	87,3	83,6	3,5	368,0	109,8	17,2	88,0	95,1	16,9	24,0
	II	73,0		10,7	404,3		30,7	83,7		32,9	20,6
China 1, Китай / China 1, China	I	90,9	72,4	3,4	440,6	96,5	22,1	102,6	75,2	17,6	23,5
	II	65,8		10,1	425,2		25,5	77,2		23,6	18,5
V-8744-10, Китай / V-8744-10, China	I	99,7	69,6	3,8	453,8	74,6	26,2	89,1	65,9	25,0	19,8
	II	69,3		10,8	338,7		50,3	58,7		43,4	17,8
Alizee, Франция / Alizee, France	I	86,4	81,9	3,2	474,5	79,1	13,6	144,8	76,9	13,1	30,6
	II	70,80		12,2	375,4		52,1	111,4		44,6	30,6
Тост 3, Россия / Tost 3, Russia	I	90,2	74,5	3,2	430,2	89,3	18,4	129,1	68,1	16,2	30,2
	II	67,2		5,3	384,0		34,9	88,0		41,1	22,5
Универсал, Россия / Universal, Russia	I	87,6	66,2	2,5	460,6	51,1	14,9	121,0	47,9	23,9	27,0
	II	58,0		21,9	235,0		53,6	58,0		68,3	23,6
Nike, Польша / Nike, Poland	I	81,2	87,1	8,6	342,6	103,5	27,1	96,0	108,3	26,6	28,1
	II	70,8		10,3	354,5		27,0	104,0		19,7	29,8
Пралеска, Беларусь / Pralska, Belarus	I	73,6	84,6	5,7	352,4	81,0	21,8	95,3	79,3	20,9	27,2
	II	62,2		8,6	285,1		22,6	75,6		19,9	26,9

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Е-68, Беларусь / E-68, Belarus	I	85,5	80,9	3,4	412,0	97,0	17,4	127,9	80,5	17,1	31,2
	II	69,2		9,7	399,8		33,0	102,9		30,2	25,9
Строитель, Беларусь / Stroitel, Belarus	I	92,5	78,3	4,1	474,9	73,6	21,2	134,6	68,1	15,9	28,7
	II	72,4		7,9	349,7		29,6	91,7		25,7	26,6
Светоч, Россия / Svetoch, Russia	I	73,6	98,3	6,7	263,9	125,6	23,8	72,0	110,8	12,6	28,01
	II	72,1		6,2	331,5		28,3	65,0		26,7	19,8
АР 5, Россия / AR 5, Russia	I	83,6	85,6	2,8	382,8	83,8	19,6	128,5	76,8	15,9	33,8
	II	71,6		7,5	320,9		33,2	98,7		27,0	33,7
Тост, Россия / Tost, Russia	I	72,8	84,6	4,1	312,5	77,2	19,8	83,4	72,2	18,4	26,8
	II	61,6		4,3	241,2		16,6	60,2		17,6	25,0
Цезарь, Россия / Zesar, Russia	I	90,2	67,0	2,8	454,0	49,8	11,7	128,7	48,2	11,7	28,4
	II	60,9		8,7	226,0		29,7	62,0		30,1	27,5
Марина, Голландия / Marina, Holland	I	76,2	85,3	3,6	338,7	88,8	14,9	80,7	85,8	22,3	24,5
	II	65,0		6,6	300,8		20,0	71,4		15,6	23,9
АР 7, Россия / AR 7, Russia	I	81,6	79,0	5,2	422,2	78,4	18,5	110,7	68,4	20,6	26,3
	II	64,7		9,3	330,9		20,9	75,7		21,2	23,1
Лири, Беларусь / Lira, Belarus	I	87,6	77,3	4,4	415,1	67,1	15,0	127,8	68,1	12,7	30,9
	II	67,8		5,3	278,6		28,8	87,0		24,7	31,5
Белита, Беларусь / Belita, Belarus	I	89,2	78,6	3,1	515,0	78,2	12,6	158,9	75,1	12,6	30,9
	II	70,1		8,1	402,9		20,7	119,4		23,1	29,6
Оршанский 2, Беларусь / Orshanskiy 2, Belarus	I	81,9	68,8	4,3	335,3	58,7	17,0	67,1	58,7	16,2	20,1
	II	56,4		9,0	197,0		20,2	39,4		22,5	20,0
Дипломат, Россия / Diplomat, Russia	I	77,9	80,1	5,2	393,4	68,0	20,1	122,5	60,9	15,7	31,4
	II	62,4		7,6	267,7		23,4	74,6		18,5	28,2
Вега 2, Литва / Vega 2, Lithuania	I	83,6	55,6	4,0	429,7	28,9	23,1	107,2	25,2	18,2	25,2
	II	46,5		16,7	124,0		49,0	27,0		47,1	21,9

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га /
Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

Таблица 3 – Влияние гербицида Магнум на продуктивность семян у различных генотипов льна-долгунца (2018-2020 гг.) /
 Table 3 – The effect of the herbicide Magnum on seed productivity in various genotypes of fiber flax (2018-2020)

Название образца / Name of the sample	Вариант / Variant	Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm	± к контролю, см / ± to control, cm	CV, %	Кол-во коробочек на 1 растении, шт. / Bolls per plant, pcs	± к контролю, шт. / ± to control, pcs	CV, %	Кол-во семян на 1 растении, шт. / Seed from a plant, pcs.	± к контролю, шт. / ± to control, pcs	CV, %
Атлант / Atlant	I	11,5	-1,2	17,9	4,4	-1,0	21,9	34,9	-7,6	28,7
	II	10,3		14,8	3,4		33,3	27,3		15,7
Могилёвский / Mogilevsky	I	10,5	+3,5	11,2	3,3	+0,8	14,6	26,1	+4,5	11,9
	II	14,0		36,7	4,1		35,3	30,6		38,5
Marylin	I	10,4	+6,0	10,3	3,1	+2,5	18,3	22,8	+3,2	23,4
	II	16,4		17,2	5,6		34,2	26,0		57,0
Aoyagi	I	10,8	+7,5	26,8	3,2	+4,5	19,8	21,3	+12,4	34,9
	II	18,3		25,8	7,7		41,9	33,7		63,7
China 1	I	14,3	+1,5	33,6	4,2	+3,8	33,3	26,0	+3,0	59,9
	II	12,8		21,7	8,0		47,6	29,0		65,7
V-8744-10	I	7,8	-0,1	16,7	2,8	-0,1	39,3	15,0	10,7	62,2
	II	7,7		7,5	2,7		21,7	4,3		95,4
Alizee	I	9,2	+0,2	19,0	3,2	-0,4	32,3	24,7	-10,5	28,5
	II	9,4		59,5	2,8		58,7	14,2		56,9
Тост 3 / Tost 3	I	10,8	+6,0	23,4	3,4	+2,6	31,6	25,2	+4,6	36,0
	II	16,8		30,2	6,0		56,5	29,8		75,2
Универсал / Universal	I	10,7	+7,3	13,2	3,6	-0,4	19,4	24,4	-0,9	34,4
	II	18,0		7,9	4,0		70,7	23,5		69,2
Nike	I	8,9	+4,6	32,4	3,1	+0,9	28,3	15,6	+14,9	37,4
	II	13,5		24,6	4,0		28,9	30,5		37,1
Пралеска / Praleska	I	12,7	+4,8	22,3	3,6	+1,4	31,8	23,7	+11,8	46,1
	II	17,5		21,1	5,0		26,7	35,5		34,8
E-68	I	9,3	+6,1	15,3	3,4	+2,3	24,8	19,6	+18,4	35,5
	II	15,4		30,2	6,7		60,9	38,0		65,0
Строитель / Stroitel	I	9,4	+3,8	19,7	3,3	+1,0	27,3	21,0	+3,3	37,8
	II	13,2		25,5	4,3		26,9	24,3		39,9
Светоч / Svetoch	I	7,0	+10,3	21,6	2,4	+5,1	21,8	14,9	+42,0	52,3
	II	17,3		15,9	7,5		35,1	56,9		40,8
AP 5 / AR 5	I	10,1	+5,4	8,7	3,2	+1,6	24,7	23,6	+8,0	31,5
	II	15,5		33,9	4,8		44,8	31,6		47,5
Тост / Tost	I	10,3	+7,6	15,9	3,3	+1,9	24,9	21,4	+10,2	25,9
	II	17,9		22,7	5,2		33,7	31,6		43,7
Цезарь / Zesar	I	10,1	+2,8	18,1	3,0	+1,3	33,3	19,0	+13,8	44,4
	II	12,9		24,7	4,3		43,1	32,8		42,2
Marina	I	9,2	+8,2	13,0	2,4	+3,0	21,6	15,0	+29,2	35,6
	II	17,4		41,4	5,4		38,4	44,2		37,8
AP 7 / AR 7	I	9,8	+5,8	14,3	3,6	+2,5	19,4	29,2	+13,9	26,9
	II	15,6		15,7	6,1		41,4	43,1		57,3
Ли́ра / Lira	I	9,0	+2,8	26,7	3,0	+0,6	27,2	21,6	+4,6	27,3
	II	11,8		15,2	3,6		15,2	26,2		15,8
Белита / Belita	I	10,5	+4,9	18,6	2,8	+0,9	28,2	21,2	+4,0	26,0
	II	15,4		18,6	3,7		33,4	25,2		38,5
Оршанский 2 / Orshansky 2	I	11,5	+0,7	13,8	4,7	-0,7	22,5	27,9	-5,3	28,5
	II	12,2		24,9	4,0		35,4	22,6		33,8
Дипломат / Diplomat	I	8,1	+5,0	29,4	2,8	+0,6	36,9	19,0	+3,6	17,2
	II	13,1		33,6	3,4		38,7	22,6		57,8
Вера 2 / Vega 2	I	10,3	-3,3	24,2	3,6	-1,6	32,6	24,0	-19,5	31,2
	II	7,0		40,4	2,0		70,7	4,5		15,7
HCP ₀₅ / LSD ₀₅			3,6			1,3			10,1	

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га/
 Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

Таблица 4 – Влияние гербицида Магнум на длину элементарных волокон и «мыклость» стебля у различных генотипов льна-долгунца (2018-2020 гг.) /

Table 4 – The effect of the herbicide Magnum on the length of elementary fibers and the «myklost» of the stem in different genotypes of fiber flax(2018-2020)

Название образца / Name of the sample	Вариант / Variant	Длина элементарного волокна, мм / Elementary fiber length, mm	± к контролю, мм / ± to control, mm	«Мыклость» стебля, ед. / «Myklost» of stem, unit	± к контролю, ед. / ± to control, unit
Атлант / Atlant	I	16,98±0,53	-1,73	624,2±56,1	-105,3
	II	15,25±0,39		518,9±46,0	
Могилёвский / Mogilevsky	I	15,01±0,55	-0,14	574,7±40,7	-117,5
	II	15,15±0,96		457,2±65,6	
Marylin	I	15,74±0,49	-2,22	560,1±70,4	-208,2
	II	13,52±0,31*		351,9±65,9*	
Aoyagi	I	16,47±0,29	-1,26	661,9±54,6	-191,1
	II	15,21±0,56*		470,8±19,6*	
China 1	I	16,23±0,34	-2,79	605,1±88,8	-234,3
	II	13,44±1,02*		328,8±47,3*	
V-8744-10	I	17,80±0,45	-3,58	762,3±80,6	-253,7
	II	14,22±0,90*		508,6±73,9*	
Alizee	I	15,98±0,26	-0,69	617,6±105,3	-124,9
	II	15,29±0,82		492,7±68,3	
Тост 3 / Tost 3	I	16,14±0,42	-3,13	647,7±51,41	-207,4
	II	13,01±1,08*		371,9±76,9*	
Универсал/ Universal	I	16,04±0,32	-4,45	579,3±46,9	-267,2
	II	11,59±1,73*		312,1±30,0*	
Nike	I	15,45±0,72	-1,71	642,9±100,4	-228,7
	II	13,74±1,64		414,2±92,3*	
Пралеска / Praleska	I	14,74±0,49	-2,17	472,4±40,4	-125,0
	II	12,57±0,87*		347,4±27,8*	
Е-68	I	15,87±0,29	-1,9	605,6±59,16	-255,1
	II	13,97±0,97*		350,5±49,66*	
Строитель / Stroitel	I	16,67±0,43	-1,09	647,7±66,29	-212,3
	II	14,78±0,81		435,4±13,0*	
Светоч / Svetoch	I	15,09±0,60	-0,45	642,9±44,7	-214,7
	II	14,64±0,54		428,2±62,0*	
AP 5 / AR 5	I	15,76±0,39	-1,45	598,9±45,0	-159,3
	II	14,31±0,69*		439,6±81,7*	
Тост / Tost	I	14,71±0,56	-1,77	519,2±50,0	-171,3
	II	12,94±0,60*		347,9±67,0*	
Цезарь / Zesar	I	16,41±0,35	-2,98	603,5±58,3	-178,7
	II	13,43±0,91*		424,8±46,3*	
Marina	I	14,80±0,38	-1,21	578,9±61,1	-196,7
	II	13,59±0,67*		382,2±102,5*	
AP 7 / AR 7	I	15,51±0,30	-1,59	555,5±43,0	-187,5
	II	13,92±1,15*		368,0±67,9*	
Лира / Lira	I	16,10±0,62	-2,31	636,4±59,0	-158,0
	II	13,79±1,01*		478,4±49,6*	
Белита / Belita	I	16,29±0,25	-1,86	596,4±42,6	-217,1
	II	14,33±0,71*		379,3±45,6*	
Оршанский 2 / Orshanskiy 2	I	15,45±0,39	-2,56	558,8±51,1	-219,3
	II	12,89±0,79*		339,5±65,1*	
Дипломат / Diplomat	I	15,32±0,53	-1,91	599,4±56,7	-199,0
	II	13,41±0,75*		400,4±106,8*	
Vega 2 / Vega 2	I	15,87±0,35	-3,58	566,6±59,07	-262,6
	II	12,29±0,92*		304,0 ±77,8*	

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га;

* – достоверное отклонение от варианта I (контроль) /

Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha;

* – significant deviation from variant I (control)

Наиболее высоким потенциалом качества льноволокна обладали такие генотипы, как V-8744-10, Атлант, Аюаги, China 1, Alizee, Универсал, Строитель, Тост 3, Цезарь и Лира. У данных образцов в варианте без обработки гербицидами (контроль) показатели «длина элементарных волокон» достигали более 16 мм и «мыклость» стебля – более 580 ед. В варианте с обработкой гербицидами наблюдалось снижение показателей «длина элементарных волокон» по сравнению с контролем у изучаемых образцов на 0,69 (Alizee) ...4,45 мм (Универсал), «мыклость» стебля – 17,0 (Атлант) ...46,3 % (Вега 2). Наибольшей устойчивостью к гербицидному стрессу отличались сорта Атлант, Могилевский и Alizee, уровень устойчивости по анализируемым качественным параметрам 80 % и выше (табл. 4).

Наиболее чувствительную реакцию на обработку гербицидом проявили сорта Универсал, Вега 2 и Тост 3. Снижение величины признаков «длина элементарных волокон» составило 4,45; 3,58; 3,13 мм, «мыклость» стебля – 46,1; 46,3; 42,6 % соответственно. У образца V-8744-10 показатель «длина элементарного волокна» снизился на 3,58 мм, «мыклость» стебля – 33,3 %, что указывает на средний уровень устойчивости и согласуется с данными по сравнительной оценке динамики роста растений у этого генотипа в вариантах с обработкой гербицидом Магнум и контролем.

Выводы. Исследована реакция 24 сортов и перспективных линий льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции на обработку в фазу «елочка» гербицидом Магнум. В результате чего установлено, что препарат Магнум (действующее вещество метсульфурон-метил) в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га) оказал негативное влияние на продуктивность и качество льноволокна у подавляющего большинства изучаемых генотипов. Впервые выявлена генотипспецифичность у льна-долгунца в отношении данного стрессового фактора. Наиболее чувствительным оказался сорт Вега 2, снижение показателей продуктивности и качества волокна – высоты растений, веса технической части стебля, массы волокна, «мыклости» стебля и длины элементарного волокна при применении гербицида по сравнению с контролем у данного сорта составило – 44,4; 50,0; 74,8; 46,3; 22,6 % соответственно. Высокий уровень устойчивости (свыше 80 %) к гербициду проявили сорта Атлант и Могилевский. Следует отметить, что существенное отрицательное влияние гербицида на семенную продуктивность наблюдалось лишь у единичных образцов льна-долгунца (V-87-44-10, Alizee, Вега 2). Полученные результаты указывают на перспективность селекции льна-долгунца на гербицидоустойчивость.

Список литературы

1. Рожмина Т. А., Понажев В. П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России. Вестник РАЕН. 2015;5(1):59-63. Режим доступа: <https://raen.info/publisher/vestnik/2015/nomer-1.html>
2. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Рысева Т. А., Уткина С. В. Основные направления и результаты научных исследований Псковского НИУ по селекции льна-долгунца. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2):14-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>
3. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Кудрявцев Н. А., Ущаповский И. В., Попов Р. А., Скворцов С. С. Влияние факторов окружающей среды на качество льносырья. Вестник аграрной науки. 2020;(5 (86)):3-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44094127>
4. Прудников В. А. Реакция культуры льна-долгунца на плодородие почвы. Земледелие и защита растений. 2017;(S4):21-23.
5. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. Plant Sci. 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
6. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. Biochim Biophys Acta. 2012;1823(9):1553–1567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
7. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. BMC Plant Biol. 2016;16:124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
8. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaia O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. Biochimie. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>

9. Захарова Л. М. Баковые смеси гербицидов в посевах льна. Защита и карантин растений. 2014;(4):20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21302993>
10. Mańkowski J., Pudelko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035>
11. Захарова Л. М. Влияние гербицидов на урожайность и качество льнопродукции. Защита и карантин растений. 2007;(4):26-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13287068>
12. Аврова Н. П. Применение гербицидов и десикантов ухудшает качество льносырья в процессе выделения волокна. Итоги и перспективы развития селекции, семеноводства, совершенствования технологии возделывания и первичной переработки льна-долгунца: мат-лы Междунар. конф. Торжок, 2000. С.127-129.
13. Захарова Л. М., Кудрявцев Н. А. Технология защиты посевов льна-долгунца. Защита и карантин растений. 2010;(5):25-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14307769>
14. Захарова Л. М. Как добиться высокой эффективности химпрополки посевов льна. Защита и карантин растений. 2016;(3):23-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25606576>
15. Millam S., Obert B., Pretova A. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*, Plant Cell Tiss. Org. 2005;82:93-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-004-6961-6>
16. Рожмина Т. А., Мельникова Н. В., Головлев М. Г., Смирнова М. И., Куземин И. А. Скрининг образцов генофонда льна на устойчивость к неблагоприятным факторам. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(10):11-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002>

References

1. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya l'nyanogo sektora Rossii*. [Condition and prospects of development of linen sector of Russia]. *Vestnik RAEN*. 2015;5(1):59-63. (In Russ.). URL: <https://raen.info/publisher/vestnik/2015/номер-1.html>
2. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Ryseva T. A., Utkina S. V. *Osnovnye napravleniya i rezul'taty nauchnykh issledovaniy Pskovskogo NIU po selektsii l'na-dolguntsa*. [The main directions and results of scientific research of the Pskov Research University for the selection of fiber flax]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):14-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>
3. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Kudryavtsev N. A., Ushchapovsky I. V., Popov R. A., Skvortsov S. S. *Vliyanie faktorov okruzhayushchey sredy na kachestvo l'nosyrya*. [The influence of environmental factors on the crop and quality of fiber flax]. *Vestnik agrarnoy nauki = Bulletin of Agrarian Science*. 2020;(5 (86)):3-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44094127>
4. Prudnikov V. A. *Reaktsiya kul'tury l'na-dolguntsa na plodorodie pochvy*. [The reaction of fiber flax culture to soil fertility]. *Zemledelie i zashchita rasteniy = Agriculture and Plant Protection*. 2017;(S4):21-23. (In Belarus).
5. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. *Plant Sci*. 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
6. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. *Biochim Biophys Acta*. 2012;1823(9):1553-1567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
7. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. *BMC Plant Biol*. 2016;16:124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
8. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaia O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. *Biochimie*. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>
9. Zakharova L. M. *Bakovye smesi gerbitsidov v posevakh l'na*. [Tank mixtures of herbicides in flax crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(4):20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21302993>
10. Mańkowski J., Pudelko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035>
11. Zakharova L. M. *Vliyanie gerbitsidov na urozhaynost' i kachestvo l'noпродукtsii*. [The influence of herbicides on the yield and quality of flax products]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2007;(4):26-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13287068>
12. Avrova N. P. *Primenenie gerbitsidov i desikantov ukhudshaet kachestvo l'nosyrya v protsesse vydeleniya volokna*. [The use of herbicides and desiccants worsens the quality of flax raw materials in the process of fiber extraction]. *Itogi i perspektivy razvitiya selektsii, semenovodstva, sovershenstvovaniya tekhnologii vozdeleyvaniya i pervichnoy pererabotki l'na-dolguntsa: mat-ly Mezhdunar. konf.* [Results and prospects for the development of breeding, seed production, improving the technology of cultivation and primary processing of fiber flax: Proceedings of the International Conference]. Torzhok, 2000. pp.127-129.

13. Zakharova L. M., Kudryavtsev N. A. *Tekhnologiya zashchity posevov l'na-dolguntsa*. [Flax crop protection technology]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(5):25-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14307769>
14. Zakharova L. M. *Kak dobit'sya vysokoy effektivnosti khimpropolki posevov l'na*. [How to achieve high efficiency of chemical weeding of flax crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2016;(3):23-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25606576>
15. Millam S., Obert B., Pretova A. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*, *Plant Cell Tiss. Org.* 2005;82:93-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-004-6961-6>
16. Rozhmina T. A., Mel'nikova N. V., Golovlev M. G., Smirnova M. I., Kuzemin I. A. *Skrining obraztsov genofonda l'na na ustoychivost' k neblagopriyatnym faktoram*. [Screening of samples from flax gene pool for resistance to unfavourable factors]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(10):11-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002>

Сведения об авторах

✉ **Рожмина Татьяна Александровна**, доктор биол. наук, зав. лабораторией селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Жученко Александр Александрович, мл., академик РАН, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Герасимова Елена Георгиевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Андреева Ирина Александровна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Смирнова Анжела Дмитриевна, аспирант, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru

Information about the authors

✉ **Tatiana A. Rozhmina**, DSc in Biology, Head of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Alexander A. Zhuchenko Jr., academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Elena G. Gerasimova, senior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Irina A. Andreeva, junior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Anzhela D. Smirnova, postgraduate student, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky Avenue, 17/56, Tver, Russian Federation, 1700002, e-mail: info@fncl.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author