



Агроэкологическая адаптированность коллекционных образцов льна-долгунца

В. З. Богдан, Т. М. Богдан, М. А. Литарная, С. А. Иванов

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна», Витебская область, Республика Беларусь

Автор, ответственный за переписку: Виктор Зигмундович Богдан, bogdan_v@tut.by

Важнейшее требование, которому должны соответствовать перспективные сорта – адаптивность, то есть способность противостоять действию факторов среды, снижающих продуктивность и качество продукции. Для создания таких сортов требуется постоянный поиск источников и доноров стабильно проявляющихся хозяйственно-ценных признаков. С этой целью дана оценка агроэкологической адаптированности и её составляющих 42 коллекционных образцов льна-долгунца по одним из самых ценных признаков – урожайности длинного волокна и его номеру. Установлены достоверные различия ($P_{0,05}$) между образцами по данным признакам. Средняя урожайность длинного волокна составила 87,9 г/м². У 23 образцов урожайность превысила среднее значение. Максимальную урожайность длинного волокна сформировали российские образцы ‘Тонус’ (130,6 г/м²) и ‘Норд’ (128,3 г/м²), которые также имели максимальные значения индекса урожайности длинного волокна (42,7 и 40,4 г/м²) соответственно.

Средний номер длинного трёпаного волокна составил 10,1. Двадцать четыре образца характеризовались более высокими значениями этого показателя. Максимальный номер длинного трёпаного волокна за три года (11,3) имели белорусские сорта ‘Алей’ и ‘Могилёвский’, у которых также отмечены максимальные индексы по номеру длинного трёпаного волокна (1,2).

Высокой степенью отзывчивости на улучшения условий среды, выражавшейся в повышении урожайности длинного волокна (R_i) характеризовались сорта ‘Алей’, ‘Тонус’, ‘Сурский’, ‘Цезарь’ (соответственно 39,4%, 35,4%, 32,9%, 32,2%); по признаку номер длинного трёпаного волокна – образцы ‘Сальдо’ × ‘Родник’ ($R_i=19,8\%$), ‘Сурский’, ‘Venus’, ВИР-14, ВИР-12, ($R_i=16,5\%$).

Низкой отзывчивостью на неблагоприятные факторы в отношении урожайности длинного волокна характеризовались образцы Vera ($D_i=-7,14\%$), Батист ($D_i=-7,69\%$), ВИР-15 ($D_i=-10,64\%$). Неблагоприятные условия среды не привели к снижению номера длинного трёпаного волокна у образцов ‘Добрыня’, ‘Дипломат’, ‘Поліський 4’, ВИР-13, ‘Львовский 8’, ‘Есмань’, ‘Міандр’ ($D_i\%=0,0$). Высоко отзывчивыми на стрессовые факторы в отношении урожайности длинного волокна были образцы ‘Тонус’ ($D_i=-44,3\%$), ‘Цезарь’ ($D_i=-43,8\%$), ‘Lino de fibra’ ($D_i=-42,1\%$), China I TMP1919 ($D_i=-41,8\%$), Горизонт ($D_i=-40,9\%$). Резкое снижение номера длинного трёпаного волокна при неблагоприятных факторах наблюдали у образцов ‘Kaliakra’, ВИР-17, ‘Venus’, ‘Сурский’ ($D_i=-27,7\%$).

Выделены тринадцать коллекционных образцов, получивших высокие оценки агроэкологической адаптированности в отношении урожайности длинного волокна и его номера. Белорусский сорт ‘Алей’, литовские образцы В-192, ‘В-168’ и российский образец ‘Добрыня’ вошли в первую группу с высокой степенью агроэкологической адаптированности в отношении изучаемых признаков.

Ключевые слова: селекция, лён-долгунец, урожайность длинного волокна, номер длинного трёпаного волокна, адаптивность

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственной программы «Наукоемкие технологии и техника», подпрограмма 4 «Мобилизация и рациональное использование генетических ресурсов растений национального банка для селекции, обогащения культурной и природной флоры Беларуси» на 2016-2020 годы, Задание 04: Пополнить генофонд культурного льна, обеспечить его изучение, документирование и рациональное использование в селекции.

Для цитирования: Богдан В.З., Богдан Т.М., Литарная М.А., Иванов С.А. Агроэкологическая адаптированность коллекционных образцов льна-долгунца. *Биотехнология и селекция растений*. 2023;6(3):5-13. DOI: 10.30901/2658-6266-2023-3-02

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их местам работы.

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2023-3-o2

Agroecological adaptedness of fiber flax specimens

Viktor Z. Bogdan, Tatyana M. Bogdan, Marina A. Litarnaya, Sergey A. Ivanov

Institute of Flax, Vitebsk region, Republic of Belarus

Corresponding author: Viktor S. Bogdan, bogdan_v@tut.by

The most important requirement to be met by promising varieties is adaptability, i. e., the ability to resist environmental factors that reduce productivity and product quality. To create such varieties, a constant search for sources and donors of consistently manifested economically valuable traits is required. For this purpose, agroecological adaptedness and its components were assessed for 42 fiber flax specimens with respect to the most important features, namely the yield of flax fiber and its number. Significant differences ($P_{0.05}$) between the specimens concerning these characteristics were established. The average fiber yield in the study was 87.9 g/m². In 23 specimens, the yield exceeded the average value. The maximum fiber yield was recorded for the Russian specimens 'Tonus' (130.6 g/m²) and 'Nord' (128.3 g/m²). These specimens had the highest long fiber yield (42.7 and 40.4 g/m²), respectively. The average number of the scutched long fiber in the study was 10.1. This value exceeded the average one in 24 specimens. The Belarusian varieties 'Alej' and 'Mogilyovskij' had the maximum number of the scutched long fiber for three years (11.3), and also maximum indices (1.2) concerning the number of the scutched long fiber.

A high degree of responsiveness to improved environmental conditions (R_i) expressed as an increase in the long fiber yield was demonstrated by the varieties 'Alej', 'Tonus', 'Surskij', 'Cezar' ($R_i = 39.4\%$, 35.4% , 32.9% , 32.2% respectively), and that expressed in the number of the long scutched fiber was displayed by specimens 'Sal'do' × 'Rodnik' ($R_i = 19.8\%$), 'Surskij', 'Venus', VIR-14, and VIR-12, ($R_i = 16.5\%$).

The specimens Vera ($D_i = -7.14\%$), Batist ($D_i = -7.69\%$), and VIR-15 ($D_i = -10.64\%$) were characterized by low responsiveness to unfavorable factors in respect of the long fiber yield. Such conditions did not cause a decrease in the number of the long scutched fiber in the specimens 'Dobrynya', 'Diplomat', 'Polisky 4', VIR-13, 'L'vovskij 8', 'Esman', and 'Miander' ($D_i = 0.0$). The specimens 'Tonus' ($D_i = -44.3\%$), 'Cezar' ($D_i = -43.8\%$), 'Lino de fibra' ($D_i = -42.1\%$), China 1 TMR1919 ($D_i = -41.8\%$), Gorizont ($D_i = -40.9\%$) were highly responsive to stress factors in terms of fiber yield. A sharp decrease in the number of the long scutched fiber under unfavorable factors was observed for specimens 'Kaliakra', VIR-17, 'Venus', and 'Sursky' ($D_i = -27.7\%$).

Thirteen specimens received high ratings of agroecological adaptedness in terms of the yield of fibre and its number. The Belarusian variety 'Alej', Lithuanian specimens B-192, B-168 and the Russian 'Dobrynya' were included in the first group with a high degree of agroecological adaptedness with respect to the studied characteristics.

Keywords: breeding, fiber flax, long fiber yield, number of the long scutched fiber, adaptability

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of Subprogram 4 "Mobilization and rational use of plant genetic resources of the national bank for breeding and enrichment of the cultivated and natural flora of Belarus" of the State Program "Science-intensive technologies and engineering" for 2016-2020, Task 04: To replenish the gene pool of cultivated flax, ensure its study, documentation and rational use in breeding.

For citation: Bogdan V.Z., Bogdan T.M., Litarnaya M.A., Ivanov S.A. Agroecological adaptedness of fiber flax specimens. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2023;6(3):5-13. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2023-3-o2

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Bogdan V.Z., Bogdan T.M., Litarnaya M.A., Ivanov S.A., 2023

Введение

В ближайшем будущем прогресс в сельском хозяйстве определит совершенствование адаптации агросистем к варьирующим во времени и пространстве факторам внешней среды. Для этих направлений селекции характерна агроэкологическая адресность, связанная с большей приспособленностью новых сортов и гибридов к местным условиям, а также наукоёмким технологиям возделывания. Их главная отличительная способность – сочетание высокой потенциальной продуктивности (величины и качества урожая) с устойчивостью к наиболее распространённым в регионе абиотическим и биотическим стрессорам, а также доминирование влияния генотипа по отношению к действию нерегулируемых факторов внешней среды (Zhuchenko, 2004). Эффективность такой селекции достигается благодаря применению различных приёмов оценки экологической пластичности, которые неодинаковы по сложности и интерпретации полученных результатов. В частности, разработан комплексный показатель оценки агроэкологической адаптированности генотипа к меняющимся условиям. Это особенно актуально сегодня в свете участвующих в последние годы засух и тренда глобального потепления климата. Такая разработка необходима селекционным центрам для объективной оценки генофонда культурных растений в конкретных условиях, подбора исходного материала по разнообразию откликов и отбора сортов в селекционном процессе на этапе конкурсного испытания (Kincharov et al., 2022).

В массовом производстве реализуется лишь 50-60% генетического потенциала допущенных к использованию сортов. Главная причина этого – недостаточный уровень адаптивности районированных сортов, которые выступают в качестве решающего фактора реализации потенциальной продуктивности в нерегулируемых условиях среды (Goncharenko, 2005).

Максимальное использование генетических ресурсов, создание и внедрение адаптивных сортов, является главным и наиболее доступным при переходе к адаптивному растениеводству (Zhuchenko, 2003).

Лён-долгунец – традиционная национальная прядильная культура Беларуси, с которой связаны история и быт народа. В условиях формирования экономических связей нового уровня, у нашей страны имеются предпосылки занять достойное место на мировом рынке льнопродукции. Для реализации этой возможности необходимо повысить её конкурентоспособность. В решении этой задачи главную роль следует отводить не расширению посевных площадей под лён, требующих значительных

капитальных вложений, а поиску снижения себестоимости льнопродукции, и в первую очередь, за счёт повышения урожайности и качества.

В выполнении задач, стоящих перед льноводством Республики Беларусь по увеличению урожайности, улучшению качества льнопродукции и стабильности урожая, важная роль принадлежит новым сортам, адаптированным к наиболее распространенным в регионе абиотическим и биотическим стрессорам.

За период 2012-2022 годов в Республике Беларусь районировано 15 сортов льна-долгунца отечественной селекции: 'Грант' (2014 г.), 'Лада' (2015 г.), 'Мара' (2016 г.), 'Маяк', 'Рубин' (2017 г.), 'Дукат', 'Талер' (2019 г.), 'Алтын' (2020 г.), 'Эверест' (2022 г.) – оригинатор Республиканское унитарное предприятие (РУП) «Институт льна», а также 'Ветразь' (2017 г.), 'Малахит' (2019 г.), 'Днепровский', 'Стойкий', 'Надёжный' (2021 г.), 'Рубеж' (2022 г.) – оригинатор РУП «Могилёвская областная сельскохозяйственная опытная станция НАН Беларуси» (State Register, 2022). По данным трёхлетнего государственного сортоиспытания в различных агрометеорологических условиях, у представленных сортов средняя урожайность длинного волокна составила 8,5 ц/га и средний номер длинного трёпаного волокна¹ – 11,4. Максимальный номер длинного трёпаного волокна 12,5 и 12,3 имели сорта 'Грант' и 'Маяк' соответственно. Потенциал новых сортов льна-долгунца отечественной селекции позволяет в условиях производства при тщательном соблюдении всех агротехнических мероприятий получать до 60 ц/га тресты, 15-20 ц/га льноволокна и до 10 ц/га семян (Results of testing of varieties, 2022).

Однако, сложившаяся в последние годы ситуация свидетельствует о снижении уровня биологического разнообразия и деградации генетических ресурсов растений, пригодных для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, что происходит из-за глобального изменения климата и неуклонного усиления антропогенного прессинга на природные экосистемы. Поэтому сохранение, изучение и эффективное использование генофонда растений в большинстве стран мира рассматриваются как наиболее актуальная национальная задача, которая служит основой успеха в развитии устойчивого сельскохозяйственного производства. Благодаря разнообразию генетических ресурсов, сельскохозяйственные культуры и сорта оказываются приспособленными к постоянно меняющимся условиям среды и способны преодолевать проблемы, создаваемые вредителями, болезнями и абиотическими стрессорами. Сохранение, рациональное использование, справедливое и равноправное совместное участие в выгодах от использования гене-

Примечание редактора: «Номер волокна» – это число, характеризующее трёпаное и чесаное волокно, которое используется при оценке льняного волокна в республиках бывшего Советского Союза. Определяется экспертами органолептически, с учетом длины, цвета, яркости, тонкости, гибкости и прочности волокна в пределах от №3, наименьшего номера (волокно самого низкого качества – короткое, неблестящее, грубое) до №32, наивысшего номера (высококачественное волокно – длинное, мягкое, яркое и тонкое) / Editor's note: The 'number of fiber' is a number characterizing the scutched and hackled fiber, which is used in flax fiber assessment in republics of the former Soviet Union. It is determined organoleptically by experts, considering the length, color, brightness, fineness, flexibility, and strength of fiber in the range from No.3, the lowest number (the lowest quality fiber – short, not bright, and rough), to No.32, the highest number (high quality fiber – long, soft, bright, and thin).

тических ресурсов являются предметом международной заинтересованности и насущной необходимостью (Privalov et al., 2020).

Основными приоритетами селекции полевых культур в Беларуси на данном этапе нами определены: повышение адаптивного потенциала устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам в сочетании с высокой продуктивностью, качеством продукции, ресурсоэффективностью и экологической безопасностью. Для их реализации предусматривается работа по таким направлениям, как создание систем адаптивных взаимодополняющих сортов: адаптивных к условиям изменения климата с широкой нормой генотипической реакции; высокопродуктивных для интенсивного растениеводства и точного земледелия; экологически безопасных для системы органического земледелия и сортов целевого назначения для производства разнообразных специализированных видов продукции (Grib, 2017).

Основным источником хозяйственно-ценных признаков льна-долгунца при создании нового селекционного материала является генофонд национальной коллекции, которая на 2022 год включает свыше 630 образцов из 33 стран мира. Коллекционный материал ежегодно всесторонне изучается по комплексу хозяйственно-ценных признаков. В последние десятилетия, в связи с более частым проявлением экстремальных погодных явлений, включая периоды жары, засух и ливней, актуальным является комплексная оценка, учитывающая отзывчивость образцов на улучшение агроклиматических условий и степень их реакции на неблагоприятные факторы среды с учётом индекса урожайности в изучаемом наборе (Bogdan et al., 2022; Litarnaya, Bogdan, 2022).

При этом уже на этапе подбора родительских форм для скрещиваний надо учитывать, что не любое разнообразие сортов является эффективным, а лишь то, которое в ответах на критические погодные явления может повысить устойчивость к изменению климата (Kahiluoto et al., 2014) и даёт практические средства для повышения устойчивости и адаптации к изменению климата сортов не только продовольственных, но и кормовых культур (Mäkinen et al., 2015).

Целью исследований являлась оценка агроэкологической адаптированности и её составляющих у коллекционных образцов льна-долгунца.

Материал и методы

В течение 2018-2020 годов испытывали 42 коллекционных образца различного эколого-географического происхождения. Закладку рабочей коллекции, учёты, наблюдения, уход, уборку проводили согласно методическим указаниям по изучению коллекции льна (Bogdan et al., 2011). Агроэкологическую адаптированность оценивали по двум основным показателям, определяющим ценность

образцов льна-долгунца – урожайности длинного волокна и комплексному показателю, характеризующему качество длинного трёпаного волокна – номеру (Arno et al., 1961).

При анализе элементов структуры урожая вычисляли средние величины признаков и их доверительные интервалы, рассчитанные при уровне значимости 0,05. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа (Dospekhov, 1985) с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по гидротермическому режиму, что позволило объективно оценить агроэкологическую адаптированность образцов льна-долгунца.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, развивающаяся на среднем лёссовидном суглинке, подстилом с глубины 1 м мореной. Пахотный горизонт почвы имел следующие агрохимические показатели: содержание гумуса (по Тюрину) 1,95%, pH_{KCl} – 5,6, содержание P_2O_5 – 235,6 мг/кг почвы; K_2O – 113,8 мг/кг почвы.

Для создания сортов с уменьшением риска существенного снижения урожайности волокна в неблагоприятные годы и достижения высоких показателей в благоприятных условиях использован комплексный показатель оценки агроэкологической адаптированности генотипа к лимитирующим факторам (DAA_i), который рассчитывали путем сложения трех показателей – относительного индекса урожайности волокна образца (I_i , %), степени отзывчивости (R_i , %) на благоприятные условия и степени депрессии урожайности волокна образца (сорта) (D_i , %) (Kincharov et al., 2022).

Результаты и обсуждение

В течение вегетационного периода проведены фенологические наблюдения за коллекционными образцами льна-долгунца с фиксированием дат наступления основных фаз в процессе роста и развития растений, учтены и проанализированы устойчивость к основным болезням льна (фузариозное увядание, пасмо, бактериоз и другие) и полеганию. Проведён надлежащий уход за посевами коллекционного питомника. После теребления льна-долгунца и обмолота его семян, льносолону расстилают на стлище для получения льнотресты (рисунок).

Установлены достоверные различия ($P_{0,05}$) между образцами по урожайности длинного волокна и его номеру. Средняя урожайность длинного волокна в опыте составила 87,9 г/м². Максимальной урожайностью длинного волокна характеризовались российские образцы 'Тонус' (130,6 г/м²) и 'Норд' (128,3 г/м²). Средний номер длинного трёпаного волокна в опыте составил 10,1. Максимальный номер длинного трёпаного волокна (11,3) обеспечивали белорусские сорта 'Алей' и 'Могилёвский' (табл. 1).

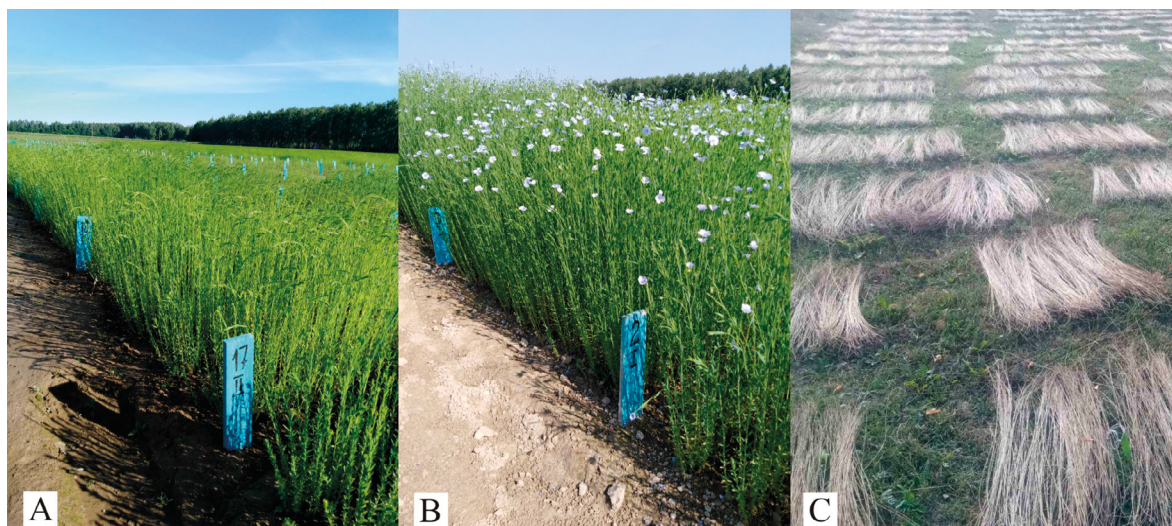


Рисунок. Период вегетации льна-долгунца и приготовление тресты
 А – фаза бутонизации, В – фаза цветения, С – расстил соломы на стлище

Figure. Fiber flax growing season and retted flax preparation
 A – budding stage, B – flowering stage, C – straw spreading in the retting area

Таблица 1. Урожайность длинного волокна и его номер коллекционных образцов льна-долгунца (2018-2020 годы)

Table 1. Long fiber yield and fiber number of fiber flax specimens (2018-2020)

Образец / Specimen	Урожайность длинного волокна, г/м ² Long fiber yield, g/m ²					Номер длинного трёпаного волокна Number of the long scutched fiber				
	2018	2019	2020	среднее mean	I _i	2018	2019	2020	среднее mean	I _i
‘Алей’/ ‘Alej’	87,8	96,7	144,2	109,5	21,6	11,0	12,0	11,0	11,3	1,2
‘Могилёвский’/ ‘Mogilyovskij’	90,0	105,8	123,3	106,4	18,5	11,0	12,0	11,0	11,3	1,2
B-192	91,7	128,3	116,7	112,2	24,3	10,0	12,0	10,0	10,7	0,6
‘Норд’/ ‘Nord’	96,7	136,7	151,7	128,3	40,4	11,0	11,0	10,0	10,7	0,6
‘Добрыня’/ ‘Dobrynya’	93,3	115,0	133,3	113,9	26,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,9
‘Дипломат’/ ‘Diplomat’	101,7	125,0	130,0	118,9	31,0	10,0	10,0	10,0	10,0	–0,1
ВИР-13/ VIR-13	90,0	88,3	103,3	93,9	6,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,9
‘Есмань’/ ‘Esman’	100,0	116,7	111,7	109,4	21,5	10,0	10,0	10,0	10,0	–0,1
B-168	106,7	120,0	101,7	109,4	21,5	10,0	12,0	10,0	10,7	0,6
‘Союз’/ ‘Soyuz’	86,7	103,3	86,7	92,2	4,3	10,0	12,0	10,0	10,7	0,6
‘Тонус’/ ‘Tonus’	90,0	161,7	140,0	130,6	42,7	10,0	10,0	11,0	10,3	0,2
‘Сальдо’ × ‘Родник’/ ‘Sal’do’ × ‘Rodnik’	86,7	101,7	120,0	102,8	14,9	10,0	13,0	10,0	11,0	0,9
Средняя / Mean	77,1	93,8	92,7	87,9		9,8	10,8	9,8		
HCP _{0,05} / LSD	3,9	4,7	4,5			0,5	0,6	0,5		
I _j , g/m ²	–10,8	5,9	4,8			–0,3	0,7	–0,3		

Примечание: I_i – Индекс урожайности, г/м² и номера волокна образца;

I_j – Индекс условий года по урожайности, г/м² и номеру волокна образца

Note: I_i – Yield index, g/m² and fiber number of a specimen;

I_j – Index of the year conditions with respect to the yield, g/m² and fiber number of a specimen.

Важным и ценным показателем при оценке агроэкологической адаптированности образцов с определенным генотипом является индекс урожайности образца (сорта) (I_j), определяемый как разность средней урожайности образца и средней урожайности в опыте (выражено в тех же единицах, что и урожайность). Образцы российских сортов ‘Тонус’ и ‘Норд’ имели максимальные значения индекса урожайности длинного волокна (42,7 г/м² и 40,4 г/м²) соответственно. Максимальный индекс номера длинного трёпаного волокна (1,2) был у белорусских сортов ‘Алей’ и ‘Могилёвский’ (см. табл. 1).

Аналогично определяется и индекс условий года (I_j) – разность средней урожайности образца (сорта) за год и его средней урожайности в опыте. Данный показатель необходим для анализа условий года и оценки реакции образцов на них. Условия для формирования урожая длинного волокна были неблагоприятными в 2018 году ($I_j = -10,8$ г/м²); 2019 и 2020 годы характеризовались как благоприятные: данный показатель составил 5,9 г/м² и 4,8 г/м², соответственно. Для формирования высокого

качества длинного волокна благоприятным был 2019 год ($I_j = 0,7$). В 2018 и 2020 годах условия оказались менее благоприятными ($I_j = -0,3$) (см. табл. 1).

Базовым показателем для дальнейших расчётов является относительное значение индекса урожайности сорта ($I_r, \%$), определяемое как отношение разности средней урожайности образца и средней урожайности в опытном варианте к средней урожайности в опыте, выраженное в процентах. Отрицательное значение показателя свидетельствует о том, что образец по продуктивности в анализируемых условиях уступает среднему значению в опыте, а при положительном значении превосходит его. В изучаемой выборке 54,8% образцов превосходили средние значения в опытных вариантах по урожайности длинного волокна и 57% – по номеру длинного трёпаного волокна. Высокий индекс урожайности длинного волокна имели образцы российских сортов ‘Тонус’ (48,5%) и ‘Норд’ (46,0%), по номеру длинного трёпаного волокна выделились белорусские сорта ‘Алей’ и ‘Могилёвский’ с показателем 12,2% (табл. 2).

Таблица 2. Агроэкологическая адаптированность и её составляющие у коллекционных образцов льна-долгунца (средние в 2018-2020 годах)

Table 2. Agroecological adaptedness and its components in fiber flax specimens (averages for 2018-2020)

Образец/ Specimen	Урожайность длинного волокна, г/м ² Long fiber yield, g/m ²					Номер длинного трёпаного волокна Number of the long scutched fiber				
	$I_r, \%$	$R_r, \%$	$D_r, \%$	$DAA_r, \%$	Ранг	$I_r, \%$	$R_r, \%$	$D_r, \%$	$DAA_r, \%$	Ранг
‘Алей’ (к.)/ ‘Alej’	24,6	39,4	–39,1	24,9	1	12,2	6,6	–8,3	10,5	1
‘Могилёвский’ (к.)/ ‘Mogilyovskij’	21,0	19,3	–27,0	13,3	2	12,2	6,6	–8,3	10,5	1
‘Lino de fibra’.	–46,9	19,0	–42,1	–70,1	5	–14,2	13,0	–20,0	–21,0	5
‘Kaliakra’/ ‘Калиакра’	–5,8	17,7	–32,2	–20,3	3	–4,3	13,2	–27,3	–18,4	5
B-192	27,7	18,3	–28,6	17,4	1	5,6	13,2	–16,7	2,2	1
SV 661654,79-39725	–45,7	12,1	–37,1	–70,8	5	–20,8	0,00	0,0	–20,8	5
‘Норд’/ ‘Nord’	46,0	26,6	–36,3	36,3	1	5,6	3,3	–9,1	–0,2	2
‘Добрыня’/ ‘Dobrynya’	29,6	22,1	–30,0	21,7	1	8,9	0,0	0,0	8,9	1
‘Дипломат’/ ‘Diplomat’	35,3	12,6	–21,8	26,1	1	–1,0	0,0	0,0	–1,0	2
B-150/ B-150	2,4	9,5	–23,7	–11,9	3	8,9	9,9	–16,7	2,2	1
‘Поліський 4’/ ‘Polisky 4’	–33,0	10,7	–39,0	–61,3	5	–1,0	0	0,0	–1,0	2
Батист/ Batist	–5,8	4,4	–7,7	–9,1	3	2,3	7,0	–9,1	–0,2	2
ВИР-12/ VIR-12	–31,1	16,4	–35,6	–50,2	5	2,3	17,0	–25,0	–6,2	3
ВИР-13/ VIR-13	6,8	10,7	–14,5	3,0	2	8,9	0,0	0,0	8,9	1
ВИР-14/ VIR-14	–13,4	10,1	–23,5	–26,8	4	2,3	17,0	–25,0	–6,2	3
ВИР-15/ VIR-15	–17,2	6,3	–10,6	–21,5	3	2,3	7,0	–9,1	–0,2	2
ВИР-17/ VIR-17	–23,5	10,7	–30,4	–43,2	4	–1,0	9,9	–27,3	–18,4	5
‘Львовський 6’/ ‘L'vovskij 6’	–48,2	3,2	–20,7	–65,7	5	–14,2	3,1	–11,1	–22,2	5

Образец/ Specimen	Урожайность длинного волокна, г/м ² Long fiber yield, g/m ²					Номер длинного трёпаного волокна Number of the long scutched fiber				
	I _i , %	R _i , %	D _i , %	DAA _i , %	Ранг	I _i , %	R _i , %	D _i , %	DAA _i , %	Ранг
‘Львовский 8’/ ‘L'vovskij 8’	–33,0	12,6	–38,1	–58,5	5	–1,0	0	0,0	–1,0	2
‘Есмань’./ ‘Esmen’	24,5	8,2	–14,3	18,4	1	–1,0	0,0	0,0	–1,0	2
‘Миандр’/ ‘Miander’	–9,6	25,3	–39,3	–23,7	3	–1,0	0	0,0	–1,0	2
B-168	24,5	12,0	–15,3	21,2	1	5,6	13,2	–16,7	2,2	1
‘Venus’	–20,4	9,5	–25,5	–36,4	4	–7,6	17,0	–27,3	–18,4	5
‘Сурский’/ ‘Surskij’	20,7	32,9	–34,6	19,0	1	–7,6	17,0	–27,3	–18,4	5
‘Союз’/ ‘Soyuz’	4,9	12,6	–16,1	1,4	2	5,6	13,2	–16,7	2,2	1
‘Тонус’/ ‘Tonus’	48,5	35,4	–44,3	39,6	1	2,3	6,6	–9,1	–0,2	2
China 1 TMP1919	–2,7	29,7	–41,8	–14,8	3	8,9	10,0	–16,7	2,1	1
‘Цезарь’/ ‘Cezar’	19,5	32,2	–43,8	7,9	2	2,3	7,0	–9,1	–0,2	2
Горизонт/ Gorizont	33,4	24,0	–41,0	16,4	2	–1,0	10,0	–18,2	–9,3	4
‘Сальдо’ × ‘Родник’ ‘Sal'do’ × ‘Rodnik’	16,9	19,6	–27,8	8,7	2	8,9	19,8	–23,1	5,6	1
Vera	–22,5	2,1	–7,1	–27,5	4	–4,3	13	–18,2	–9,3	4

Примечание: I_i% – относительный индекс урожайности образца; R_i% – степень отзывчивости образца; D_i% – степень депрессии урожайности образца; DAA_i – степень агроэкологической адаптированности образца
 Note: I_i% – relative yield index of a specimen; R_i% – degree of specimen responsiveness; D_i% – degree of yield depression in a specimen; DAA_i – degree of agroecological adaptedness of a specimen

Важным показателем адаптивности и пластичности, хозяйственной ценности и приспособленности сорта к определенным агроэкологическим условиям среды является его отзывчивость на благоприятные условия (R_i,%). Степень отзывчивости сорта на благоприятные условия среды в изучаемом наборе образцов определяли как отношение разности урожайности в благоприятный год и средней урожайности образца к средней урожайности в опыте в неблагоприятный год, выраженное в процентах. Высокой степенью отзывчивости на улучшения условий среды, проявляющейся как повышение урожайности длинного волокна, характеризовались сорта ‘Алей’ (R_i=39,4%), ‘Тонус’ (R_i=35,4%), ‘Сурский’ (R_i=32,9%), ‘Цезарь’ (R_i=32,2%); по признаку номер длинного трёпаного волокна – образцы ‘Сальдо’ × ‘Родник’ (R_i=19,8%), ВИР-12, ВИР-14, ‘Venus’, ‘Сурский’ (R_i=17%) (см. табл. 2).

Немаловажное значение в агроклиматических условиях зоны проведения исследований имеют показатели, характеризующие устойчивость сорта к комплексу неблагоприятных факторов внешней среды. Одним из наиболее информативных критериев оценки в данном случае является показатель депрессии урожайности волокна в ответ на неблагоприятные факторы (D_i,%), который находят как отношение разности урожайности образца в неблагоприятный и благоприятный годы к урожайности в благоприятный год, выраженное в процентах (Kincharov et al., 2022).

Низкой отзывчивостью на неблагоприятные факторы в отношении урожайности длинного волокна характе-

ризовались образцы Vera (D_i= –7,1%), Батист (D_i= –7,7%), ВИР-15 (D_i= –10,6%). Неблагоприятные условия среды не привели к снижению номера длинного трёпаного волокна у образцов SV 661654,79-39725, ‘Добрыня’, ‘Дипломат’, ‘Поліський 4’, ВИР-13, ‘Львовский 8’, ‘Есмань’, ‘Миандр’ (D_i,%=0,0). Высоко отзывчивыми на стрессовые факторы в отношении выхода длинного волокна были образцы ‘Тонус’ (D_i= –44,3%), ‘Цезарь’ (D_i= –43,8%), ‘Lino de fibra’ (D_i= –42,1%), China 1 TMP1919 (D_i= –41,8%), Горизонт (D_i= –41%). Резкое снижение номера длинного трёпаного волокна при неблагоприятных факторах наблюдали у образцов ‘Kaliakra’, ВИР-17, ‘Venus’, ‘Сурский’ (D_i= –27,3%) (см. табл. 2).

Значения агроэкологической адаптированности сортов (DAA_i,%) по урожайности длинного волокна в группе ранжированных образцов находились в интервале от +39,6% (‘Тонус’) до –70,8% (SV 661654,79-39725). Данный диапазон был разбит на пять групп. Для этого были рассчитаны интервалы для групп методом сложения модулей минимального и максимального значения агроэкологической адаптированности генотипа и последующего деления полученного значения на пять. В первую группу с высокой агроэкологической адаптированностью вошли образцы ‘Алей’, B-192, ‘Норд’, ‘Добрыня’, ‘Дипломат’, ‘Есмань’, B-168, ‘Сурский’, ‘Тонус’.

По номеру длинного трёпаного волокна значения агроэкологической адаптированности варьировали от +10,5% (‘Алей’, ‘Могилёвский’) до –22,2% (‘Львовский 6’). В первую группу с высокой агроэкологической

адаптированностью по этому показателю вошли сорта 'Алей', 'Могилёвский', 'Добрыня', 'Союз' и образцы В-192, В-150, ВИР-13, В-168, China 1 TMP1919, 'Сальдо' × 'Родник'.

Таким образом, тринадцать коллекционных образцов характеризовались высокой оценкой агроэкологической адаптированности по признакам урожайности длинного волокна и его номеру (1 и 2 ранг по двум признакам). Белорусский сорт 'Алей', литовские образцы В-192, В-168 и российский сорт 'Добрыня' вошли в первую группу с высокой степенью агроэкологической адаптированности по изучаемым признакам. За годы исследований по ряду хозяйственно-ценных признаков выделились следующие образцы: сорт 'Алей' – по семенной продуктивности; образец В-192 характеризовался коротким периодом вегетации; образец В-168 отличался высокорослостью и урожайностью по соломе и тресте; сорт 'Добрыня' – высоким содержанием общего и длинного волокна в тресте.

Заключение

Оценка агроэкологической адаптированности генотипов льна-долгунца позволила объективно изучить коллекционный материал по степени приспособленности к условиям возделывания. При этом значения агроэкологической адаптированности и составляющих её элементов дали комплексное представление о характеристиках изучаемых образцов по наиболее важным показателям отзывчивости и стрессоустойчивости растений, и объективное представление о разнообразии отзывчивости генотипов на изменения условий среды.

References/Литература

- Arno A.A., Grashchenko M.G., Shikov S.A. Methodology of technological assessment of flax and hemp products. Moscow; 1961. [In Russian] (Арно А.А., Гращенко М.Г., Шиков С.А. Методики технологической оценки продукции льна и конопли. Москва; 1961).
- Bogdan V.Z., Bogdan T.M., Litarnaya M.A., Ivanov S.A. Evaluation of fibre flax varieties with regard to adaptability parameters in the conditions of the Republic of Belarus. In: *Strategy, priorities and achievements in the development of agriculture and breeding of agricultural plants in Belarus: Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming*; 2022 July 7-8; Zhodino, Belarus. Minsk: Research and Practical Center for Arable Farming; 2022. p.254-256. [in Russian] (Богдан В.З., Богдан Т.М., Литарная М.А., Иванов С.А. Оценка сортов льна-долгунца по параметрам адаптивности в условиях Республики Беларусь. В кн.: *Стратегия, приоритеты и достижения в развитии земледелия и селекции сельскохозяйственных растений в Беларуси: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию*; 7-8 июля 2022; Жодино, Беларусь. Минск: РУП «Научно-практический центр по земледелию»; 2022. С.254-256). URL: <https://izis.by/wp-content/uploads/IzdSbornik/2022%20Стратегии.pdf> [дата обращения 23.04.2023].
- Bogdan V.Z., Ivanova E.V., Andronic E.L., Bogdan T.M., Ivashko L.V.,

- Maslinskaya M.E. Methodological guidelines for the study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) (Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kolektsii lna (*Linum usitatissimum* L.). V. A. Lemesh, P. R. Khomutovsky (eds). Ustie: Flax Institute; 2011. [in Russian] (Богдан В.З., Иванова Е.В., Андроник Е.Л., Богдан Т.М., Ивашко Л.В., Маслинская М.Е. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / под ред. Е. А. Лемеш, П. Р. Хомутовский. Устье: Институт льна; 2011).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2005;6:49-53. [in Russian] (Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005;6:49-53).
- Grib S.I. Strategy priorities and ways of field crop breeding in Belarus. In: *Strategy and priorities for the development of agriculture and field crop breeding in Belarus: Materials of the International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 90th anniversary of the foundation of the Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming*; 2017 July 6-7; Zhodino, Belarus. Minsk: Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming; 2017. p.214-215. [in Russian] (Гриб С.И. Приоритеты стратегии и направления селекции полевых культур в Беларуси. В кн.: *Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»*; 5-6 июля 2017; Жодино, Беларусь. Минск: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; 2017. С.214-215). URL: <https://izis.by/wp-content/uploads/Conference/2017/Сборник.pdf> [дата обращения 23.04.2023].
- Kahiluoto H., Kaseva J., Hakala K., Himanen S.J., Jauhiainen L., Rötter R.P., Salo T., Trinka M. Cultivating resilience by empirically revealing response diversity. *Global Environmental Change*. 2014;25:186-193. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.02.002
- Kincharov A.I., Demina E.A., Kincharova M.N., Taranova T. Yu., Mullayanova O.S., Chekmasova K.Yu. Methodology for assessing agroecological adaptability of genotypes in conditions of global climate warming. *Proceedings on the Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):39-47. [in Russian] (Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Кинчарова М.Н., Таранова Т.Ю., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):39-47). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47
- Mäkinen H., Kaseva J., Virkajärvi P., Kahiluoto H. Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Research*. 2015;183:23-30. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.006
- Litarnaya M.A., Bogdan V.Z. Evaluation of adaptability of fibre flax collection samples by "total fibre yield character". *Agriculture and Breeding in Belarus*. 2022;58:452-457. [in Russian]. (Литарная М.А., Богдан В.З. Оценка адаптивности образцов коллекции льна-долгунца по признаку «урожайность общего волокна». *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2022;58:452-457).
- Privalov F.I., Grib S.I., Matys S.I. Genetic resources of the national bank of seeds – a basis of crop breeding in Belarus. *Agriculture and breeding in Belarus*. 2020;56:276-283. [in Russian] (Привалов Ф.И., Гриб С.И., Матыс И.С. Генетические ресурсы национального банка семян – основа селекции сельскохозяйственных растений в Беларуси. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2020;56:276-283).
- Results of testing varieties of agricultural plants of winter, spring cereals, legumes and groats for economic utility in the Republic of Belarus for 2019-2021 (Rezultaty ispytaniya sortov selskokhozyaistvennykh rasteniy ozimnykh, yarovykh

- zernovykh, zernobobovykh i krupyanykh na khozyajstvennuyu poleznost v Respublike Belarus' za 2019-2021 gody). Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, State Inspection for Testing and Protection of Plant Varieties. Minsk; 2022. [in Russian] (Результаты испытания сортов сельскохозяйственных растений озимых, яровых зерновых, зернобобовых и крупяных на хозяйственную полезность в Республике Беларусь за 2019-2021 годы / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. Минск; 2022).
- State Register of Agricultural Plant Varieties (Gosudarstvennyi reestr sortov selskokhozyaistvennykh rastenii). V.A. Beynya (ed.). State Inspection for Testing and Protection of Plant Varieties. Minsk; 2022. [in Russian] (Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений / отв. ред. В. А. Бейня; Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. Минск; 2022).
- Zhuchenko A.A. The role of adaptive farming system in crop production of the XXI century (Rol adaptivnoy sistemy zemledeliya v rastenievodstve XXI veka). In: *Commercial varieties of new crops of the Russian Federation*. Moscow: IKAR; 2003. p.10-15. [in Russian] (Жученко А.А. Роль адаптивной системы земледелия в растениеводстве XXI века. В кн.: *Коммерческие сорта новых культур Российской Федерации*. Москва: ИКАР; 2003. С.10-15).
- Zhuchenko A.A. Opportunities for releasing plant cultivars and hybrids taking into account the climate change (Vozmozhnosti sozdaniya sortov i gibridov rasteniy s uchetoм izmeneniya klimata). In: *A strategy for Adaptive Breeding of Field Crops in Connection with Global Climate Change (Strategiya adaptivnoy seleksii polevykh kultur v svyazi s globalnym izmeneniyem klimata)*. Saratov; 2004. p.10-16. [in Russian] (Жученко А.А. Возможности создания сортов и гибридов растений с учетом изменения климата. В кн.: *Стратегия адаптивной селекции полевых культур в связи с глобальным изменением климата*. Саратов; 2004. С.10-16).

Информация об авторах

Виктор Зигмундович Богдан, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции льна-долгунца Республиканское унитарное предприятие «Институт льна», 211003 Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, агрогородок Устье, ул. Центральная, 27, bogdan_v@tut.by, <https://orcid.org/0000-0001-9716-1748>

Татьяна Михайловна Богдан, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца Республиканское унитарное предприятие «Институт льна», 211003 Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, агрогородок Устье, ул. Центральная, 27, tatiana-bogdan2016@yandex.by, <https://orcid.org/0009-0001-5439-3706>

Марина Александровна Литарная, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца Республиканское унитарное предприятие «Институт льна», 211003 Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, агрогородок Устье, ул. Центральная, 27, malarittaml@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3279-9371>

Сергей Анатольевич Иванов, научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца РУП «Институт льна», 211003 Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, агрогородок Устье, ул. Центральная, 27, ivanoff.ipn007@yandex.ru

Information about the authors

Viktor S. Bogdan, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Fiber Flax Breeding Laboratory, Institute of Flax, 27, Tsentralnaya Street, Ustye Agricultural Town, Orsha District, Vitebsk Region, 211003 Republic of Belarus, bogdan_v@tut.by, <https://orcid.org/0000-0001-9716-1748>

Tatyana M. Bogdan, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Fiber Flax Breeding Laboratory, Institute of Flax, 27, Tsentralnaya Street, Ustye Agricultural Town, Orsha District, Vitebsk Region, 211003 Republic of Belarus, tatiana-bogdan2016@yandex.by, <https://orcid.org/0009-0001-5439-3706>

Marina A. Litarnaya, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Fiber Flax Breeding Laboratory, Institute of Flax, 27, Tsentralnaya Street, Ustye Agricultural Town, Orsha District, Vitebsk Region, 211003 Republic of Belarus, malarittaml@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3279-9371>

Sergey A. Ivanov, Researcher, Fiber Flax Breeding Laboratory, Institute of Flax, 27, Tsentralnaya Street, Ustye Agricultural Town, Orsha District, Vitebsk Region, 211003 Republic of Belarus, ivanoff.ipn007@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.04.2023; одобрена после рецензирования 29.05.2023; принята к публикации 15.09.2023.

The article was submitted on 30.04.2023; approved after reviewing on 29.05.2023; accepted for publication on 15.09.2023.