

УДК 633.521:631.527(476)
DOI: 10.5281/zenodo.7896477
EDN: QMWGIE

Гриб С. И.¹, Богдан В. З.²

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В БЕЛАРУСИ

¹РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»;

²Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»

Реферат. *Динамичное развитие льноводства обусловлено необходимостью создания конкурентоспособной продукции из высококачественного сырья. Сорт – один из важнейших элементов в технологической цепи по производству сырья для последующей переработки. Цель исследований – усовершенствование приемов методологии селекционного процесса льна-долгунца, выделение генетических источников хозяйственно ценных признаков, создание нового селекционного материала и высокопродуктивных сортов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Республики Беларусь. Исследования проводили в 1996–2021 гг. на опытных участках РУП «Институт льна» (Оршанский район Витебской области Республики Беларусь) на дерново-подзолистой почве с использованием общепринятых методов анализа и стандартных методик сортоизучения. В результате изучения созданной в РУП «Институт льна» национальной коллекции генофонда льна-долгунца, включающей 628 образцов из 33 стран мира, выделены генетические источники важнейших хозяйственно ценных признаков: скороспелости – 91 образец (61–77 дней), высокой урожайности тресты – 57 (613,9–928,2 г/м²), волокна – 60 (177,9–317,9 г/м²), семян – 81 (123,8–194,2 г/м²), с высоким содержанием волокна – 205 (28,1–36,4 %) и качеством длинного трепаного волокна – 55 (номера волокна 12-13), устойчивости к фузариозному увяданию – 76 (развитие болезни менее 20 %) и полеганию – 175 (4,5–5,0 баллов). Использование в селекции льна-долгунца новых методологических подходов для оценки и отбора генотипов (электронная сканирующая микроскопия, электрофорез, ДНК-маркирование) в сочетании с традиционными методами гибридизации и отбора способствовали созданию 14 сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода: восемь раннеспелых (Пралеска, Ярок, Левит 1, Веста, Ласка, Грант, Маяк, Дукат), четыре среднеспелых (Ива, Лада, Рубин, Алтын) и два позднеспелых (Мара и Талер). Созданные сорта характеризуются высокими показателями урожайности (тресты – 46,1–66,0 ц/га, волокна – 13,5–21,6 ц/га) и качества льнопродукции, устойчивостью к полеганию (4,0–5,0 баллов) и фузариозному увяданию (у 10 из 14 сортов развитие болезни менее 20 %). Все сорта включены в Госреестр Республики Беларусь. Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации.*

Ключевые слова: лён-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), селекция, сорт, исходный материал, образец, источники хозяйственно-ценных признаков, анатомо-морфологические, биохимические и физико-химические методы анализа, электрофорез.

Для цитирования: Гриб С. И., Богдан В. З. Оптимизация методологии и результаты селекции льна-долгунца в Беларуси // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.

For citation: Grib S. I., Bogdan V. Z. Optimization of the methodology and results of flax breeding in Belarus // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023. No.1(33). P. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.

Введение

Лён-долгунец в Республике Беларусь является традиционной национальной прядильной культурой. В настоящее время представление о престижности возделывания этой культуры меняется не только в Республике Беларусь, но и в европейских странах. По объемам производства льноволокна Беларусь занимает третье место в мире после Франции и Бельгии. Белорусский лен хорошо известен в сопредельных странах (Россия, Украина, Литва) и некоторых странах дальнего зарубежья (Китай, Турция). Поэтому динамичное развитие льноводства обусловлено необходимостью создания конкурентоспособной продукции из высококачественного сырья. Одним из факторов конкурентоспособности является производство высококачественного сырья в процессе возделывания льна. Селекционная работа по льну, а точнее ее результат – сорт – является одним из важнейших элементов в многозвенной технологической цепи по производству сырья для последующей переработки [1, 2].

Селекция льна-долгунца в Республике Беларусь, начатая в 1926 г., связана с именами известных ученых К. Г. Ренарда, М. И. Афолина, В. И. Рубана, А. М. Богука, Л. Н. Каргопольцева, Л. В. Ивашко и др. [3]. Такие белорусские «бренды», как Оршанский 2, Могилевский известны далеко за пределами нашей республики. В настоящее время в научно-исследовательских учреждениях Беларуси, занимающихся селекцией льна-долгунца (Институт льна и Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция), накоплен обширный опыт по созданию высокопродуктивных сортов [3–5].

Селекция – инновационный процесс, направленный на повышение эффективности производства качественной продукции растениеводства, в том числе льна-долгунца. Совершенствование методологии селекции льна-долгунца служит инструментом прогресса и вносит в селекционный процесс элементы инновационности исследований, что является одним из приоритетов развития аграрной науки в Республике Беларусь.

Основными приоритетами селекции полевых культур в Беларуси на современном этапе определены: повышение адаптивного потенциала устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам в сочетании с высокой продуктивностью, качеством продукции, ресурсоэффективностью и экологической безопасностью [6, 7]. Этим приоритетам полностью соответствуют исследования по созданию сортов льна-долгунца в Институте льна.

На современном этапе развития селекции основными компонентами оптимизации методологии создания сортов льна-долгунца являются: формирование и изучение национального генофонда, выделение источников хозяйственно ценных признаков, создание нового селекционного материала, выделение доноров и трансгрессий, различные способы отбора генотипов на основе выраженности хозяйственно полезных признаков на всех этапах селекционного процесса с использованием анатомо-морфологических, биохимических, молекулярно-генетических и физико-химических методов анализа.

Основополагающей базой любого селекционного процесса служит генофонд. Генетические ресурсы растений являются наиболее ценным и стратегически важным капиталом любой страны, так как непосредственно связаны с решением продовольственной, природоохранной и биологической безопасности в настоящем и будущем [8–10]. Сохранение, изучение и использование зародышевой плазмы растений в большинстве стран мира рассматриваются как единая национальная

задача и служат основой успеха в развитии устойчивого сельскохозяйственного производства [11–15].

Цель исследований – усовершенствовать приемы методологии селекционного процесса льна-долгунца, выделить генетические источники хозяйственно ценных признаков, создать новый селекционный материал и высокопродуктивные сорта, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Республики Беларусь.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в течение 1996–2021 гг. на опытных участках РУП «Институт льна» (Оршанский район Витебской области, Республика Беларусь) на дерново-подзолистой почве, развивающейся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемом на глубине 1 метр мореным суглинком. Агрохимические показатели пахотного слоя: рН (в КСl) – 4,81–6,02 (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса – 1,81–1,97 % (ГОСТ 26213-91 р. 1), фосфора – 158,3–184,0 мг/кг, калия – 207,5–261,8 мг/кг почвы (ГОСТ 26207-91).

Объектом исследований являлась культура льна-долгунца, предметом исследований – образцы мирового генофонда – источники хозяйственно ценных признаков, совершенствование приемов методологии оценки селекционного материала, создание новых сортов.

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по гидротермическому режиму: шесть лет были оптимальными (ГТК – 1,37–1,60), девять лет – избыточно влажными (ГТК – 1,74–2,50), семь лет – с недостаточным увлажнением (ГТК – 1,03–1,30), по два года – засушливые (ГТК – 1,00) и очень засушливые (ГТК – 0,68–0,70) (рисунок 1). Это позволило объективно оценить исходный и селекционный материал льна-долгунца.

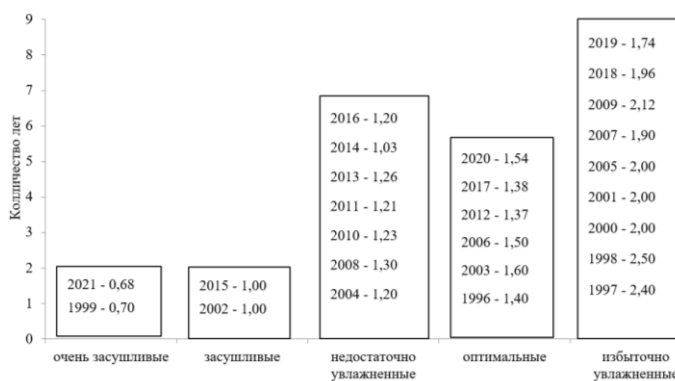


Рисунок 1 – Гидротермический коэффициент периода вегетации льна-долгунца

Полевые опыты проводили в соответствии с «Методическими указаниями по селекции льна-долгунца» [16], «Методическими указаниями по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.)» [17], «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [18]. Полученные результаты исследований анализировали методами биологической статистики (дисперсионный, корреляционный, регрессионный) [19] с использованием пакета программ анализа данных Microsoft Excel и Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлена схема оптимизации методологии селекционного процесса льна-долгунца в РУП «Институт льна».

Созданная в процессе исследований национальная коллекция генофонда льна-долгунца включает 628 образцов различного эколого-географического происхождения

и представлена 33 странами мира. Его изучение позволило выделить генетические источники наиболее важных хозяйственно ценных признаков (таблица 1).

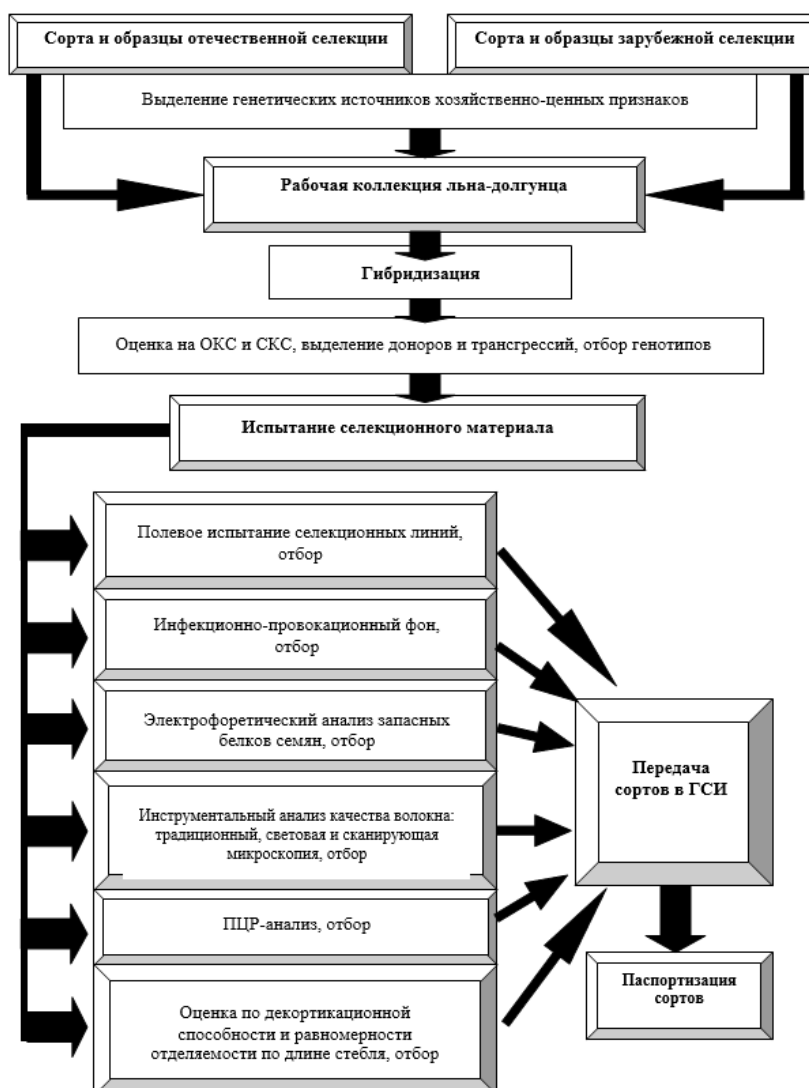


Рисунок 2 – Схема оптимизации методологии селекционного процесса льна-долгунца в РУП «Институт льна»

Таблица 1 – Источники хозяйственно ценных признаков в национальной коллекции генофонда льна-долгунца, созданной в РУП «Институт льна»

Признак	Количество образцов, шт.	Градация признака
Раннеспелость, дней	91	61–77
Высота растений, см	75	88,7–106,1
Урожайность тресты, г/м ²	57	613,9–928,2
Урожайность волокна, г/м ²	60	177,9–317,9
Урожайность семян, г/м ²	81	123,8–194,2
Содержание общего волокна, %	205	28,1–36,4
Номер длинного трепаного волокна	55	12–13
Устойчивость к полеганию, балл	175	4,5–5,0
Развитие фузариозного увядания, %	76	< 20
Комплекс признаков	194	сочетание трех и более признаков

Среди них источники высокой урожайности: льнотресты – сорта украинской селекции (Гліну́м, Поліський 5, Глазур, Львівський 7 – 562,2–584,0 г/м²), западноевропейской (Drakkar, Suzanne, Silva, Aramis – 561,7–673,0 г/м²), отечественные сорта Лада, Талер (594,4–600,0 г/м²), а также льноволокна – современные сорта белорусской (Веста, Лада, Талер – 169,1–182,4 г/м²) и западноевропейской селекции (Drakkar, Suzanne, Eden, Aramis – 185,0–243,7 г/м²).

Ряд образцов выделен в качестве источников высокой урожайности длинного волокна (Гліну́м, Alizee, С-108, Тонус, Норд – 128,3–202,0 г/м²) благодаря более высокому его содержанию в стеблях (28,0–30,0 %). Источниками скороспелости являются кряжевые формы из России (Печерский кряж, Велижский кряж, Дальневосточный кряж), образцы ВИР-12, ВИР-13, ВИР-14, ВИР-17 (Россия); литовские образцы В-150, В-154, В-192 и др. В качестве источников скороспелости с высокой урожайностью тресты и волокна выделены сорта Вита, Ярок (Беларусь), образцы Гліну́м, Персей (Украина), Алексим (Россия), Балтучяй (Литва) и другие.

Высокой устойчивостью к полеганию характеризуются сорта и образцы белорусского происхождения – Ярок, Веліч, Призыв 2, Грант, Прамень, Лада, Мара, Малахит, Дука́т; российские образцы – Кром, Надежный, Добрыня, Норд, Александрит; образцы западноевропейской селекции – Madonna, Noblesse, Laura, Marina (Нидерланды), Versailles, Aramis, Eden (Франция), образцы из США – Rust Resistant, Dillman, Китая – Heiya12, Heiya13, Heiya14, Xinying 2.

Выделен относительно устойчивый к фузариозному увяданию исходный материал (степень развития болезни на искусственном инфекционно-провокационном фоне до 20 %): Гамма, Оршанский 2, Веста, Блакит, Весна (Беларусь), И-9, донор устойчивости к фузариозу из К-6746 (Япония), Л-1120 (Россия), Поліський 5, Каменя́р, Блакитний, Український ранній (Украина), Silva (Франция), CI 687 (Dillman) (США).

В коллекции льна-долгунца выявлены образцы, характеризующиеся высоким качеством длинного трепаного волокна. Высоким средним номером волокна характеризуются образцы Гамма (Беларусь), Hercules (Швеция), Мрія (Украина), К-07-107, Л-1120, ВНИИЛ-9 (Россия) и другие, волокно которых обладает высокой крепостью (разрывная нагрузка – 245,8–302,0 Н). Высокую гибкость имеют российские образцы К-07-107 (57,0 мм), Tekirdag (54,3 мм) и украинский сорт Мрія (51,7 мм).

Выделенные источники хозяйственно ценных признаков являются базовыми компонентами различных типов скрещиваний, выполненных в объеме более 1300 комбинаций. На основе комплекса селекционных оценок в полевых условиях и лабораторных анализов, целенаправленных отборов на различных этапах селекционного процесса, создано 14 сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода: восемь раннеспелых (Пралеска, Ярок, Левит 1, Веста, Ласка, Грант, Маяк, Дука́т), четыре среднеспелых (Ива, Лада, Рубин, Алтын) и два позднеспелых (Мара и Талер) (таблица 2).

В создании сортов было задействовано 18 исходных родительских форм: 11 – белорусской селекции и семь – зарубежной. Анализ родословных созданных сортов показывает, что белорусский сорт Вита характеризуется наибольшей сортообразующей способностью. Он участвовал в создании восьми сортов. Сорта Весна, Блакит и Призыв 81 (Беларусь) были задействованы в гибридизации при создании трех сортов, Ярок (Беларусь), Томский 17 и К-6 (Россия) – в создании двух сортов. В гибридизацию привлекались также белоцветковые образцы, обладающие рядом положительных свойств. Так при создании сорта Левит 1 в качестве отцовской формы (♂) был взят белорусский позднеспелый сорт К-65,

характеризующийся белой окраской лепестков, высокой устойчивостью к полеганию и фузариозному увяданию. Сорт Грант создан в результате гибридизации голубоцветкового сорта Вита (♀) и белоцветкового сорта Лаура (♂), характеризующегося высоким выходом и качеством волокна. При создании сорта Лада в качестве отцовской формы (♂) использовали селекционную линию, полученную в результате скрещивания сортов (♀ Призыв 81 × ♂ Л-41). Селекционная линия характеризуется высокой устойчивостью к полеганию, унаследованной от белоцветкового сорта Л-41, высоким выходом и качеством волокна, характерной сорту Призыв 81.

Таблица 2 – Система сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода, созданных в РУП «Институт льна»

Сорт	Образцы генофонда, участвующие в создании сорта	Шифр родоначального растения	Поколение и год отбора родоначального растения	Год создания сорта
Раннеспелые (72–75 суток)				
Пралеска	Оршанский 2, Ника (РБ), nameless K-512*, nameless K-486* (РФ)	10И ₂₋₄₋₁₋₆	F ₄ , 1989	1998
Ярок	М-8 (РБ), Томский 17 (РФ)	12Р ₃₋₂₋₇₋₃₋₅	F ₅ , 1997	2004
Левит 1	К-65 (РБ), Томский 17 (РФ)	3Р ₁₋₃₋₁₋₅₋₅	F ₅ , 1997	2005
Веста	Призыв 81, Вита (РБ), К-6 (РФ)	4Т ₅₋₉₋₁₋₆	F ₄ , 2000	2007
Ласка	Призыв 81, Вита (РБ), К-6 (РФ)	4Т ₅₋₃₋₂₋₄	F ₄ , 2000	2007
Грант	Вита (РБ), Лаура (Нидерланды)	12Х ₆₋₁₋₂₋₃₋₃	F ₅ , 2004	2010
Маяк	Весна (РБ), И-9 (РФ)	80Е ₆₋₁₋₂	F ₃ , 2006	2013
Дукаг	Весна, Ярок (РБ)	1Ю ₇₋₆₋₃₋₃₋₁	F ₅ , 2009	2015
Среднеспелые (76–81 суток)				
Ива	Вита (РБ), Томский 18 (РФ)	5П ₇₋₁₋₆₋₃₋₂₃	F ₅ , 1997	2004
Лада	Вита, Призыв 81, Л-41 (РБ)	5Х ₁₋₂₋₂₋₇₋₆	F ₅ , 2004	2011
Рубин	Вита, Весна (РБ)	1Э ₄₋₂₋₂₋₆₋₂	F ₅ , 2008	2013
Алтын	Блакит, Вита, Люда (РБ)	20Ю ₂₋₁₋₂₋₇₋₃	F ₅ , 2009	2017
Позднеспелые (82–86 суток)				
Мара	Вита, Блакит (РБ)	5Ш ₇₋₁₋₄₋₃₋₆	F ₅ , 2007	2012
Талер	Блакит, Ярок (РБ)	18Ю ₁₋₆₋₂₋₇₋₃₋₁	F ₆ , 2010	2015

Примечание. * – указаны номера каталога ВИР (г. Санкт-Петербург, Россия).

Одним из эффективных методов идентификации сортов является контроль внутривидовой изменчивости по белкам-маркерам, а точнее – по электрофоретическим спектрам (ЭФС) многокомпонентного полиморфного белка семени. Его применение позволяет выявить различия, не связанные с условиями среды. Белковые маркеры могут быть использованы в сочетании с другими методами селекции на всех этапах селекционного процесса – от поиска источников для селекции до регистрации получаемых сортов, семеноводства, сортового контроля и контроля качества продукции [20].

Методика электрофоретического анализа (ЭФА) запасных белков семян для культуры льна-долгунца была впервые адаптирована в Республике Беларусь в 2012 г. Впоследствии разработана схема использования ЭФА на всех этапах селекционного процесса. Электрофоретический спектр при этом рассматривается как селекционный признак. Использование ЭФА в селекционном процессе позволяет оценить генетическую однородность материала и эффективность отбора [21].

Разработанную методику и схему использования ЭФС запасных белков семян применяли при оценке сортообразцов льна-долгунца в питомнике селекционного

сортоиспытания в сочетании с анализом морфологических и хозяйственно ценных признаков. Результатом явилось создание сорта Мара. Сорт характеризуется двумя биотипами запасных белков. Первый биотип состоит из 51 компонента, второй – из 34 компонентов, из которых по 11 компонентов являются наиболее выраженными. Это свидетельствует об относительной сбалансированности генотипа по проявлению основных хозяйственно ценных признаков.

Морфологические и анатомические признаки стебля льна находятся в тесной взаимосвязи. Строение элементарных волокон на поперечном срезе стебля также свидетельствует о качестве волокна. Использование инструментального метода для анатомо-морфометрического анализа на основе световой и сканирующей микроскопии расширяет информацию об ультраструктурных особенностях стебля и элементарных волокон у селекционных образцов и сортов льна-долгунца, различных по продуктивности, качеству волокна и другим хозяйственно полезным признакам [22].

Применение комплексного подхода, включающего световую и сканирующую электронную микроскопию в сочетании с компьютерным анализом полученных изображений, в оценке селекционных образцов льна-долгунца по признакам волокнистости и качества волокна обеспечило создание сорта Грант [23].

По показателям анатомии элементарных волокон и строению волокнистых пучков сорт Грант превзошел контрольные сорта и родительские генотипы. Волокнистые пучки овальной формы, сформированы хорошо, без заливов. Элементарные клетки гранёной формы, стенки толстые с небольшим просветом (рисунок 3). Сорт характеризуется небольшим диаметром стебля (1,49 мм); большим числом пучков (30 шт.) и волокон на срезе (900 шт.), что позволяет судить о высокой тонине элементарных волокон, а низкий процент лигнификации (0,4 % от общего числа волокон на срезе) свидетельствует о высокой эластичности и мягкости волокна и, соответственно, о высоком качестве будущей ткани.

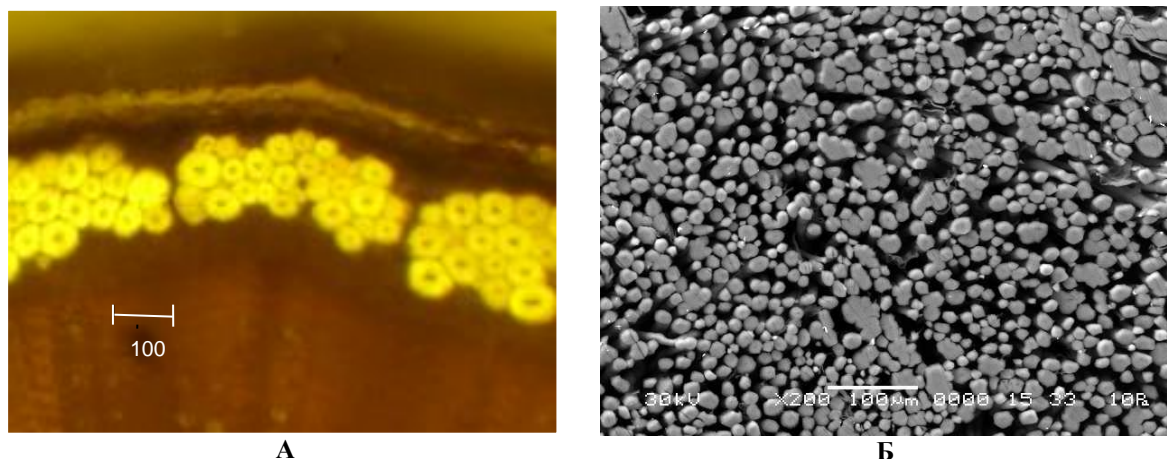


Рисунок 3 – Анатомо-морфологическое строение элементарных волокон сорта Грант: А – световая микроскопия (15×16), Б – электронная микроскопия (×200)

Кроме высокой волокнистости сорт Грант имеет толстые клеточные стенки с небольшим просветом, что делает волокно более прочным, а получаемые ткани менее мнущимися. Перечисленные характеристики свидетельствуют о высоком качестве льноволокна.

Генетическая оригинальность созданных сортов льна-долгунца подтверждена ДНК-маркированием. Генетические паспорта на основе SSR-маркеров разработаны для всех 14 созданных сортов льна-долгунца [24, 25].

Созданные нами 14 сортов льна-долгунца по данным государственного сортоиспытания характеризуются высокими показателями урожайности льнопродукции (таблица 3).

Так, средняя урожайность льноволокна варьировала от 13,5 ц/га у сорта Дукат до 21,6 ц/га у сорта Лада, семян от 5,9 ц/га у сорта Ярок до 10,1 ц/га у сорта Мара. Высоким содержанием общего волокна характеризовались сорта Левит 1 (35,2 %), Ярок (33,2 %), Лада (33,1%), Ива (32,2 %). Высокий выход длинного волокна обеспечили сорта Ласка (19,4 %), Грант (19,1 %), Ярок и Веста (18,3 %). Высокой устойчивостью к полеганию (4,5–5,0 баллов) характеризуются девять сортов, средней устойчивостью (4,0–4,4 баллов) – пять сортов. По устойчивости к фузариозному увяданию в условиях инфекционно-провокационного фона 10 из 14 созданных сортов характеризуются как высокоустойчивые (развитие болезни менее 20 %), сорта Мара и Ива – среднеустойчивые (развитие болезни 26,0–26,7 %).

По результатам государственного сортоиспытания созданные 14 сортов льна-долгунца включены в Госреестр Республики Беларусь. Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации. Авторские права на сорта Пралеска, Ива, Ярок, Левит 1, Ласка, Веста и Грант защищены патентами Республики Беларусь [5, 26, 27].

Экономическая оценка созданных сортов льна-долгунца показывает, что их возделывание является высокорентабельным. Наиболее перспективными в этом отношении являются сорта Грант, Лада, Мара, Маяк, Рубин. Использование новых сортов позволяет повысить урожайность льнотресты на 9,0–18,5 ц/га, уровень рентабельности до 72,0–94,7% и снизить удельные затраты на 15,8–76,4 руб./усл. тонну льнопродукции [5].

Таблица 3 – Продуктивность и устойчивость белорусских сортов льна-долгунца селекции РУП «Институт льна»

Сорт	Годы государственного испытания	Урожайность, ц/га				Содержание волокна, %		Устойчивость к полеганию, балл	Развитие фузариоза на ИПФ, %	Год включения в Госреестр
		семян	тресты	общего волокна	длинного волокна	общего	длинного			
Раннеспелые (72–75 суток)										
Пралеска	1999–2001	6,2	54,0	16,5	9,1	30,5	16,8	4,0	6,0	2002
Ярок	2005–2007	5,9	48,5	16,1	8,9	33,2	18,3	4,3	11,3	2008
Левит 1	2006–2008	6,2	48,1	16,9	8,4	35,2	17,5	4,5	15,0	2009
Веста	2008–2010	7,8	50,1	16,2	9,5	31,3	18,3	4,0	18,0	2011
Ласка	2008–2010	7,0	55,1	17,4	10,6	31,8	19,4	4,1	14,0	2011
Грант	2011–2013	9,1	64,4	19,4	12,3	30,2	19,1	4,6	11,0	2014
Маяк	2014–2016	8,5	59,0	18,2	8,4	30,8	14,2	5,0	31,0	2017
Дукат	2016–2018	7,5	46,1	13,5	7,0	30,0	15,1	4,9	17,0	2019
Среднеспелые (76–81 суток)										
Ива	2005–2007	7,0	49,5	15,9	8,2	32,2	16,6	4,6	26,7	2008
Лада	2012–2014	9,1	65,3	21,6	10,3	33,1	15,7	4,4	11,0	2015
Рубин	2014–2016	8,8	56,5	16,4	7,7	29,0	13,7	5,0	43,0	2017
Алтын	2018–2020	6,3	55,1	15,2	7,8	27,5	14,1	4,5	14,0	2021
Позднеспелые (82–86 суток)										
Мара	2013–2015	10,1	66,0	18,6	10,9	28,2	16,5	4,5	26,0	2016
Талер	2016–2018	7,2	49,2	15,4	7,1	31,3	14,4	4,9	14,0	2019

Востребованность созданных сортов сельскохозяйственным производством отражается в позитивной динамике их возделывания. В течение 2015–2020 гг. посевные площади под новыми сортами увеличились в 5,5 раза (с 5,1 до 27,9 тыс. га). В 2021 г. созданные сорта, составляя в Госреестре 22 % от всех включенных, занимали в производстве 56,6 % при площади посева 23,8 тысяч гектаров.

Выводы

Оптимизация методологии селекционного процесса льна-долгунца, основанная на использовании нового генофонда, разнообразных методов оценки и отбора генотипов (электрофорез запасных белков семян, сканирующая микроскопия, ПЦР-анализ) расширяет и углубляет знания о культуре и повышает эффективность селекции.

В процессе изучения созданной в РУП «Институт льна» Беларуси национальной коллекции генофонда льна-долгунца включающей 628 образцов из 33 стран мира выделены генетические источники основных хозяйственно ценных признаков: скороспелости – 91 образец (61–77 дней), высокой урожайности тресты – 57 (613,9–928,2 г/м²), волокна – 60 (177,9–317,9 г/м²), семян – 81 (123,8–194,2 г/м²), с высоким содержанием волокна – 205 (28,1–36,4%) и качеством длинного трепаного волокна – 55 (номер волокна 12-13), устойчивости к фузариозному увяданию – 76 (развитие болезни менее 20 %) и полеганию – 175 (4,5–5,0 баллов).

На основе нового генофонда методом гибридизации и многократного индивидуального отбора в сочетании с применением новых аналитических и инструментальных методов в течение 1996–2021 гг. создана система взаимодополняющих для условий Беларуси сортов льна-долгунца, дифференцированных по продолжительности вегетационного периода (раннеспелые: Пралеска, Ярок, Левит 1, Ласка, Веста, Грант, Маяк, Дукач; среднеспелые: Ива, Лада, Рубин, Алтын; позднеспелые Мара, Талер). Созданные сорта характеризуются высокими показателями урожайности (тресты – 46,1–66,0 ц/га, волокна – 13,5–21,6 ц/га) и качества льнопродукции, устойчивостью к полеганию (4,0–5,0 баллов) и фузариозному увяданию (у 10 из 14 сортов развитие болезни менее 20%). Пять сортов (Пралеска, Левит 1, Ласка, Веста, Грант) включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации.

Литература

1. Самсонов В. П., Богдан В. З. Сорт – важнейший фактор повышения эффективности льноводства // Земляробства і ахова раслін. 2011. № 6. С. 78–80.
2. Кишлян Н. В., Мельникова Н. В., Рожмина Т. А. Механизм адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 205–212. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212.
3. Богдан В. З., Богдан Т. М., Королев К. П. Селекция льна-долгунца в Беларуси: направления, результаты, перспективы // Земледелие и защита растений. 2016. № 6. С. 33–36.
4. Хамутовский П. Р., Хамутовская Е. М., Шульга В. А., Балашенко Д. В. Характеристика новых сортов льна-долгунца селекции РУП «Могилевская ОСХОС НАН Беларуси» // Земледелие и растениеводство. 2022. № 3. С. 47–50.
5. Богдан В. З. Новые сорта льна-долгунца и их экономическая оценка // Земледелие и растениеводство. 2023. № 1. С. 45–49.
6. Гриб С. И. Приоритеты стратегии и направления селекции полевых культур в Беларуси // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси» по земледелию «Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси». Минск: Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, 2017. С. 214–216.
7. Литарная М. А., Богдан В. З. Оценка адаптивности образцов коллекции льна-долгунца по урожайности общего волокна // Земледелие и селекция в Беларуси. 2022. Вып. 58. С. 452–457.

8. Рожмина Т. А., Жученко А. А. мл., Мельникова Н. В., Смирнова А. Д. Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 133–140. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140.
9. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Белоруссии. Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.615rus.
10. Павлова Л. Н., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П. Новые сорта льна-долгунца – основа повышения эффективности отрасли льноводства. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: научное пособие. Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 23–25.
11. Привалов Ф. И. Генетические ресурсы растений в Республике Беларусь: состояние и организация исследований // Земледелие и растениеводство. 2022. № 6. С. 7–9.
12. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 141–151. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151.
13. Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и их адаптивность к условиям северо-западного региона России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 5. С. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674.
14. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А., Андреева И. А. Скрининг образцов генофонда льна по урожайности волокна и их адаптивности к условиям Центрального Нечерноземья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 6. С. 688–696. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696.
15. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Изучение коллекционных образцов генофонда льна-долгунца по основным хозяйственно ценным признакам в условиях Северо-Запада Российской Федерации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 4. С. 518–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.518-530.
16. Понажев В.П., Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И., Кудрявцева Л. П., Виноградова Е. Г., Пролетова Н. В., Янышина А. А., Медведева О. В., Линь А. А., Синцова О. В., Курчакова Л. Н., Герасимова Е. Г. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской государственный университет, 2014. 140 с.
17. Кутузова С. Н., Питько А. Г. Изучение коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.): методические указания. Л.: ВИР, 1988. 29 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Под ред. Федина М. А. М., 1988. 122 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2013. 349 с.
20. Петрова Н. Н., Кардис Т. В., Егоров С. В., Акулич М. П. Метод электрофоретического анализа белков для целей селекции и сортового контроля // Земляробства і ахова раслін. 2008. № 3. С. 8–13.
21. Богдан В. З., Петрова Н. Н. Новые резервы в селекции льна-долгунца: монография. Горки: БГСХА, 2013. 200 с.
22. Титок В. В., Леонтьев В. Н., Лугин В. Г. Современные инструментальные методы анализа льнопродукции. Минск: БГТУ, 2011. 278 с.
23. Богдан В. З., Ивашко Л. В., Богдан Т. М., Чульцов Р. А. Сорт Грант – гарантия высоких урожаев льна-долгунца // Наше сельское хозяйство. 2015. № 7. С. 23–26.
24. Богдан В. З., Лемеш В. А., Богданова М. В., Богдан Т. М., Литарная М. А. Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров // Земледелие и растениеводство. 2021. № 6. С. 48–52.
25. Богданова М. В. Микросателлитный анализ сортов льна, включенных в государственный реестр Республики Беларусь // Материалы всероссийской молодежной конференции в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» «Актуальные проблемы генетики и молекулярной биологии в рамках фестиваля науки». Уфа: ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», 2012. С. 8–9.
26. Государственный реестр сортов // Отв. ред. Бейня В. А. Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений», 2021. С. 46–47.
27. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. С. 135–136. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://docviewer.yandex.by/view/1130000015058030/>.

References

1. Samsonov V. P., Bogdan V. Z. Variety is the most important factor in increasing the efficiency of flax growing // *Zemlyarobstva i akhova raslin*. 2011. No. 6. P. 78–80.
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. Vol.181. No. 4. P. 205–212. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-205-212.
3. Bogdan V. Z., Bogdan T. M., Korolev K. P. Fiber flax breeding in Belarus: directions, results, perspectives // *Crop Farming and Plant Protection*. 2016. No. 6. P. 33–36.
4. Khamutovsky P. R., Khamutovskaya E. M., Shulga V. A., Balashenko D. V., Ryzhkova A.V. Characteristics of new fiber flax cultivars bred by RUE “Mogilev OSHOS NAS of Belarus” // *Crop Farming and Plant Growing*. 2022. No. 3. P. 47–50.
5. Bogdan V. Z. New varieties of fiber flax and their economic evaluation // *Crop Farming and Plant Growing*. 2023. No. 1. P. 45–49.
6. Grib S. I. Strategy priorities and ways of field crop breeding in Belarus // *Proceedings of the International scientific-practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the founding of the Republican Unitary Enterprise “Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming” “Strategy and priorities for the development of agriculture and selection of field crops in Belarus”*. Minsk: National Academy of Sciences of Belarus, Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming, 2017. P. 214–216.
7. Litarnaya M. A., Bogdan V. Z. Evaluation of adaptability of fibre flax collection samples by “total fibre yield” character // *Arable Farming and Plant Breeding in Belarus*. 2022. Iss. 58. P. 452–457.
8. Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A. jr., Melnikova N. V., Smirnova A. D. Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 133–140. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140.
9. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural biology]*. 2017. Vol. 52. No. 3. P. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.615rus.
10. Pavlova L. N., Gerasimova E. G., Rummyantseva V. N., Kudryavtseva L. P. New varieties of fiber flax – the basis for increasing the efficiency of the flax industry // *In book: Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects*. Tver: Tver State University, 2018. P. 23–25.
11. Privalov F. I. Plant genetic resources in the Republic of Belarus: state and organization of research // *Crop Farming and Plant Growing*. 2022. No. 6. P. 7–9.
12. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 141–151. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151.
13. Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Screening of accessions from fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022. Vol. 23. No. 5. P. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674.
14. Traburova E. A., Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Screening of flax gene pool samples by fiber yield and their adaptability to the conditions of the Central Non-Black Earth Region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 688–696. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696.
15. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Study of collection accessions of the fiber flax gene pool according to the main agronomic characters in the conditions of the North-West of the Russian Federation // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021. Vol. 22. No. 4. P. 518–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.518-530.
16. Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Rozhmina T. A., Loshakova N. I., Kudryavtseva L. P., Vinogradova E. G., Proletova N. V., Yanyshina A. A., Medvedeva O. V., Lin A. A., Sintsova O. V., Kurchakova L. N., Gerasimova E. G. Breeding and primary seed production of fiber flax: guidelines. Tver: Tver State University, 2014. 140 p.
17. Kutuzova S. N., Pitko A. G. Study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.): methodical instructions. Leningrad: VIR, 1988. 29 p.
18. Methodology of state variety testing of agricultural crops // Ed. by Fedin M. A. Moscow, 1988. 122 p.
19. Dospikhov B. A. Methods of field research: with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2013. 349 p.
20. Petrova N. N., Kardis T. V., Egorov S. V., Akulich M. P. Method of electrophoretic analysis of proteins for selection and varietal control // *Zemlyarobstva i akhova raslin*. 2008. No. 3. P. 8–13.

21. Bogdan V. Z., Petrova N. N. New reserves in fiber flax breeding: monograph. Gorki: Belarus State Agricultural Academy, 2013. 200 p.
22. Titok V. V., Leontiev V. N., Lugin V. G. Modern instrumental methods for analyzing flax products. Minsk: BSTU, 2011. 278 p.
23. Bogdan V. Z., Ivashko L. V., Bogdan T. M., Chultsov R. A. Variety Grant – a guarantee of high yields of fiber flax // *Nashe selskoe khozyaystvo*. 2015. No. 7. P. 23–26.
24. Bogdan V. Z., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Bogdan T. M., Litarnaya M. A. Genetic passport system of Belarusian selection new fiber flax varieties with the use of molecular markers // *Crop Farming and Plant Growing*. 2021. No. 6. P. 48–52.
25. Bogdanova M. V. Microsatellite analysis of flax varieties included in the state register of the Republic of Belarus // *Proceedings of the All-Russian Youth Conference in the framework of the Federal Target Program “Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia” “Actual problems of genetics and molecular biology within the framework of the festival Sciences”*. Ufa: Bashkir State Agrarian University, 2012. P. 8–9.
26. State Register of Varieties // Ed. by Beynya V. A. Minsk: Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, State Inspectorate for Testing and Protection of Plant Varieties, 2021. P. 46–47.
27. State register for selection achievements admitted for usage (national list). Vol.1. “Plant varieties” (official publication). Moscow: FGBNU “Rosinformagrotech”, 2022. P. 135–136. [Electronic resource]. Access point: <https://docviewer.yandex.by/view/1130000015058030/> (reference’s date 02.03.2023).

UDC 633.521:631.527(476)

Grib S. I., Bogdan V. Z.

OPTIMIZATION OF THE METHODOLOGY AND RESULTS OF FLAX BREEDING IN BELARUS

Summary. *The dynamic development of flax cultivation is driven by the need to create competitive products from high-quality raw materials. Variety is one of the most important elements in a multi-link technological chain for the production of raw materials for further processing. The aim of the research was to improve methods of the flax breeding process methodology, to identify genetic sources of economically valuable traits, to create new breeding material and high-productive varieties adapted to the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus. The studies were carried out in 1996–2021 on experimental plots of RUE “Institute of Flax” (Orsha district of Vitebsk region, Republic of Belarus) on sod-podzolic soil. In the course of research, we used generally accepted methods of analysis and were guided by standard methods of variety study. As a result of studying the national collection of fiber flax gene pool created at the “Institute of Flax”, which currently includes 628 samples from 33 countries, genetic sources of the most important economically valuable traits were identified: early maturity – 91 samples (61 – 77 days), high yield of treated plant fibres (retted stalks) – 57 (613.9–928.2 g/m²), high yield of fiber – 60 (177.9–317.9 g/m²) and seeds – 81 (123.8–194.2 g/m²), high fiber content – 205 (28.1–36.4 %) and the quality of long frayed fiber – 55 (fiber numbers 12–13), resistance to Fusarium wilt – 76 (disease development less than 20%) and lodging – 175 (4.5–5.0 points). The use of new methodological approaches in fiber flax breeding for the genotypes evaluation and selection (scanning electron microscopy, electrophoresis, DNA marking) in combination with traditional methods of hybridization and selection contributed to the creation of 14 varieties differentiated by duration of growing season: eight early-ripening (‘Pralska’, ‘Yarok’, ‘Levit 1’, ‘Vesta’, ‘Laska’, ‘Grant’, ‘Mayak’, ‘Dukat’); four mid-ripening (‘Iva’, ‘Lada’, ‘Rubin’, ‘Altyn’) and two late-ripening (‘Mara’ and ‘Taler’). Created varieties are characterized by high yields (retted stalks – 46.1–66.0 c/ha, fiber – 13.5–21.6 c/ha) and quality of flax products, as well as resistance to lodging (4.0–5.0 points) and Fusarium wilt (in 10 out of 14 varieties, the development of the disease is less than 20 %). All varieties are included in the State Register of the*

Republic of Belarus. Five of them ('Praleska', 'Levit 1', 'Vesta', 'Laska', 'Grant') are included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation.

Keywords: *fiber flax (Linum usitatissimum L.), breeding, variety, source material, sample, sources of economically valuable traits, anatomical-morphological, biochemical and physico-chemical methods of analysis, electrophoresis.*

Гриб Станислав Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Национальной академии наук Беларуси, главный научный сотрудник лаборатории тритикале, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; 222160, Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино, ул. Тимирязева, 1; e-mail: triticale@izis.by.

Богдан Виктор Зигмундович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией селекции льна-долгунца, Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: bogdan_v@tut.by.

Grib Stanislav Ivanovich, Dr. Sc. (Agr.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, chief researcher of the triticale Laboratory, Republican unitary enterprise "Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming"; 1, Timiryazeva str., Zhodino, Minsk region, 222160, Republic of Belarus; e-mail: triticale@izis.by.

Bogdan Viktor Zigmundovich, Cand. Sc. (Agr.), assistant professor, head of the Laboratory of fiber flax breeding, Republican scientific subsidiary unitary enterprise "Institute of Flax"; 27, Tsentralnaya str., agro-town Ustye, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus; e-mail: bogdan_v@tut.by.

Дата поступления в редакцию – 07.02.2023.

Дата принятия к печати – 10.03.2023.