

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИСПЫТАНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ СОРТООБРАЗЦОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА МУТАНТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Т. М. БОГДАН, В. З. БОГДАН, М. А. ЛИТАРНАЯ, С. А. ИВАНОВ

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»,
аг. Устье, Республика Беларусь, 211003, e-mail tatiana-bogdan2016@yandex.by

(Поступила в редакцию 11.03.2025)

Одним из методов создания селекционного материала является химический мутагенез. Применение этого метода существенно расширяет генетическую изменчивость организмов, увеличивает возможности отбора растений у различных сельскохозяйственных культур с селекционно ценными признаками и, следовательно, способствует ускорению селекционного процесса. В статье проведена комплексная оценка сортобразцов льна-долгунца мутантного происхождения (обработка французского образца Aramis нитрозометилмочевиной (НММ) в концентрациях 0,006 %, 0,01 %, 0,12 % при экспозициях – 6, 12, 18 часов) на заключительном этапе селекционного процесса. В течение 2022–2024 гг. сортобразцы проанализированы по основным хозяйственно ценным признакам: урожайности семян, тресты, общего и длинного волокна, качество длинного трёпаного волокна, устойчивости к фузариозному увяданию и полеганию. В результате было выделено 2 сортобразца: 2Ar 2 (НММ 0,01+12 ч.) характеризовался как высокорослый и высокоустойчивый к полеганию и фузариозному увяданию, высокоурожайный по тресте, общему и длинному волокну и 3Ar 2 (НММ 0,01+18 ч), который показал относительно высокое качество длинного трёпаного волокна. Сортобразец 2Ar 2 отзывчив на изменения условий среды ($bi > 1$) по урожайности семян, общего и длинного волокна. Анализ урожайности семян, тресты, общего и длинного волокна за годы изучения по испытываемым сортобразцам показал их зависимость от условий года (вклад фактора составил 71,8–88,3 %). На урожайность семян оказывало также влияние взаимодействие фактора генотип $\times$ год (20,9 %). Сортобразцы 2Ar 2 и 3Ar 2 включены в селекционные программы для создания высокопродуктивных и стабильных сортов льна-долгунца в условиях северо-восточной части Республики Беларусь.

Ключевые слова: лён-долгунец, селекция, мутантное происхождение, сортобразец, урожайность семян, тресты общего и длинного волокна.

One of the methods for creating breeding material is chemical mutagenesis. The use of this method significantly expands the genetic variability of organisms, increases the possibilities of selecting plants in various agricultural crops with breeding valuable traits and, therefore, helps to accelerate the breeding process. The article provides a comprehensive assessment of flax varieties of mutant origin (treatment of the French Aramis sample with nitrosomethylurea (NMU) in concentrations of 0.006 %, 0.01 %, 0.12 % at exposures of 6, 12, 18 hours) at the final stage of the breeding process. During 2022–2024, the variety samples were analyzed for the main economically valuable traits: seed yield, straw, total and long fiber, quality of long scutched fiber, resistance to fusarium wilt and lodging. As a result, two variety samples were isolated: 2Ar 2 (NMU 0.01+12 h) was characterized as tall and highly resistant to lodging and fusarium wilt, high-yielding in terms of straw, total and long fiber, and 3Ar 2 (NMU 0.01+18 h), which demonstrated a relatively high quality of long scutched fiber. The 2Ar 2 variety sample is responsive to changes in environmental conditions ($bi > 1$) in terms of seed yield, total and long fiber. Analysis of the yield of seeds, straw, total and long fiber over the years of study for the tested variety samples showed their dependence on the conditions of the year (the contribution of the factor was 71.8–88.3 %). The seed yield was also affected by the interaction of the genotype $\times$ year factor (20.9 %). Varieties 2Ar 2 and 3Ar 2 are included in breeding programs for the creation of highly productive and stable varieties of fiber flax in the conditions of the north-eastern part of the Republic of Belarus.

Key words: fiber flax, breeding, mutant origin, variety sample, seed yield, total and long fiber straw.

Введение

В системе мер, направленных на развитие льноводства, одно из ведущих мест занимает создание высокопродуктивных сортов льна-долгунца, обладающих широким адаптивным потенциалом [1, с. 3]. Созданные в последние годы отечественные сорта характеризуются высокой урожайностью льноволокна (2,0–2,5 т/га) и льносемян (1,0–1,2 т/га), хорошим качеством льноволокна, устойчивостью к полеганию и болезням. Однако, в производственных условиях их биологический потенциал реализуется не более чем на 45 %. Что в значительной мере обусловлено влиянием неблагоприятных факторов среды [2, с. 31–33; 3, с. 450–452]. Для максимально возможной реализации урожайного потенциала любой сельскохозяйственной культуры необходимо иметь сведения по основным хозяйственно ценным признакам и их устойчивости к лимитирующим урожайность факторам среды [4, с. 5].

Известно, что мутагенез является основным генератором эволюционного процесса, причем мутации – изначальный источник всей генетической изменчивости. Индуцированный мутагенез в сотни раз увеличивает частоту появления измененных форм, и поэтому в настоящее время он признан достаточно эффективным методом создания генетической вариативности у растительных организмов [5, с. 63]. Рядом исследований показано, что обработка мутагенами позволяет выделить в потомстве растений формы, которые представляют интерес для использования в селекционном процессе. Таким

способом получены формы с повышенной урожайностью волокна и семян, а также формы, более устойчивые к болезням и полеганию по сравнению с исходными генотипами. Мутации поставляют селекционеру новый генетический исходный материал, который может быть использован для создания сортов как в чистом виде, так и в качестве родительских форм при гибридизации [6–9].

Цель исследований – провести комплексную оценку сортообразцов льна-долгунца мутантного происхождения в селекционном сортоиспытании по основным хозяйственно ценным признакам.

Основная часть

Проведены испытания пяти сортообразцов льна-долгунца мутантного происхождения селекционного сортоиспытания в 2022–2024 годах в условиях северо-восточной части Республики Беларусь. Представленные сортообразцы созданы в 2016 году путём обработки коллекционного французского образца Agamis нитрозометилмочевинной (НММ) в концентрациях 0,006 %, 0,01 %, 0,12 % при экспозициях – 6, 12, 18 часов. В ходе многократного отбора интерес представили сортообразцы 2Ag 1, 1Ag 2, 2Ag 2, 3Ag 2, 3Ag 3.

Почва опытных участков дерново-подзолистая, развивающаяся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м мореным суглинком. Предшественники – горчица белая, ячмень яровой, гречиха по годам испытания соответственно. Агрохимические показатели почвенных участков селекционного севооборота 2022–2024 годов варьировали: кислотность почвы pH_{KCL} – 4,5–6,1, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 125,9–331,2 мг/кг почвы, содержание обменного калия (по Масловой) – 173,7–197,1 мг/кг почвы. Закладку опытов, учёт и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями [10, с. 16–23].

Годы исследований различались по метеорологическим условиям. Так, 2022 год характеризовался как оптимально влажный с чередованием засушливых и избыточно влажных периодов. Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) вегетационного периода составил 1,40. В 2023 году первая половина вегетационного периода льна-долгунца до цветения проходила в сухих условиях (ГТК=0,25), что существенно снизило высоту растений и урожайность тресты и волокна. Цветение и созревание льна проходили в условиях избыточного увлажнения (ГТК=2,69). В 2024 году в период от всходов до быстрого роста льна-долгунца было сухо (ГТК=0,35), период цветения-созревания характеризовался как избыточно влажный (ГТК=1,93). Такие контрастные условия в разные периоды роста и развития растений льна-долгунца позволили объективно оценить селекционные сортообразцы по продуктивности и качеству льнопродукции.

В качестве контроля использовали позднеспелый сорт Надёжный, у которого средняя продолжительность вегетационного периода за годы исследования составила 73,3 суток.

Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа (Б. А. Доспехов) [11] при помощи пакета анализа, входящего в состав Microsoft Excel. Расчёт и анализ параметров экологической пластичности проведён по Зыкину [12].

Продолжительность вегетационного периода является одним из важных хозяйственно ценных признаков льна-долгунца, который определяет возможность получения высокого урожая в районах его выращивания [3, с. 7]. Все изучаемые в опыте образцы относились к позднеспелой группе, у которых средняя продолжительность вегетационного периода варьировала незначительно по годам ($V, \%$ =6,7): от 76 (2Ag 2) до 80 суток (1Ag 2).

Важным показателем, от которого зависит урожайность льносоломы, волокна и качество длинного трёпанного волокна является высота растений. Все сортообразцы, кроме 2Ag 1, достоверно превышали сорт-контроль по высоте растений.

Пригодность сорта к механизированной уборке определяется его устойчивостью к полеганию. Все представленные сортообразцы были высокоустойчивыми (4,9 и 5,0 баллов).

Создание и внедрение в производство устойчивых к болезням сортов является одним из наиболее радикальных направлений в системе защитных мероприятий, обеспечивающих стабильное повышение урожая и качества продукции [13, с. 3]. Фузариозное увядание льна является наиболее распространённым и вредоносным заболеванием льна. По устойчивости к фузариозному увяданию все испытываемые сортообразцы отнесены к высокоустойчивым (развитие болезни до 20 %). Исключения составили сорт-контроль Надёжный и сортообразец 3Ag 2, которые были среднеустойчивыми.

Номер длинного трёпанного волокна – комплексный показатель качества, который варьировал от 9,7 (2Ag 1) до 10,7 (3Ag 2 и сорт-контроль Надёжный). Варьирование номера длинного трёпанного волокна по годам было несущественным, за исключением сортообразца 3Ag 3, у которого в неблагоприятный 2023 год данный показатель составил № 9, а в 2022 и 2024 годы – № 11, в среднем за три года – № 10,3 (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика по хозяйственно ценным признакам сортообразцов льна-долгунца мутантного происхождения (среднее 2022–2024 гг.)

Сортообразец	Схема обработки	Вегетационный период, сутки	Высота, см	Устойчивость к полеганию, балл	Развитие фузариозного увядания, %	Номер длинного трепаного волокна
Надёжный (контроль)		73,3	69,3	5,0	22,6	10,7
2Ar 1	HMM 0,006+12 ч.	79,3	70,9	5,0	12,7	9,7
1Ar 2	HMM 0,01+6 ч.	80,0	74,4	4,9	7,8	10,0
2Ar 2	HMM 0,01+12 ч.	76,0	74,8	5,0	14,6	10,3
3Ar 2	HMM 0,01+18 ч.	76,3	74,0	5,0	24,7	10,7
3Ar 3	HMM 0,12+18 ч.	77,7	73,3	5,0	14,5	10,3
HCP ₀₅		3,9	3,6	0,1	8,3	

Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности семян льна-долгунца были в 2023 году. Средняя урожайность семян среди представленных сортообразцов составила 8,8 ц/га, менее благоприятный – 2024 год, когда данный показатель был 6,0 ц/га. Сортообразец 2Ar 2 в благоприятный год имел максимальную урожайность семян – 9,5 ц/га, а в неблагоприятный минимальную – 5,4 ц/га (рис. 1).

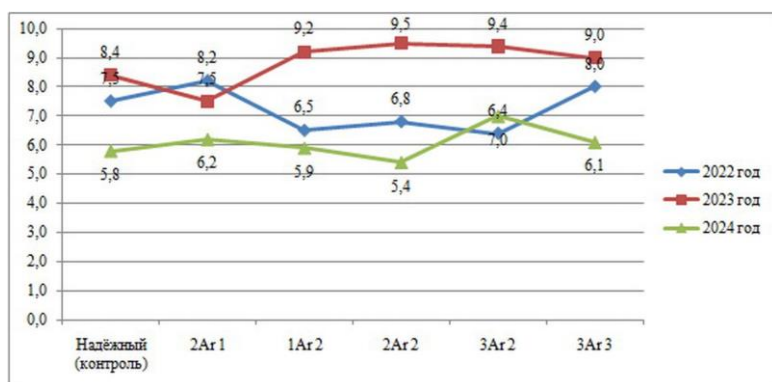


Рис. 1. Урожайность семян у сортообразцов льна-долгунца (2022–2024 гг.)

Сортообразцы 1Ar 2 и 2Ar 2 по урожайности семян отнесены к интенсивному типу (коэффициент линейной регрессии, $b_i=1,25$ и $1,52$ соответственно), т.е. данные сортообразцы отзывчивы на улучшение среды, которое сопровождалось повышением урожайности семян.

По урожайности семян испытываемые сортообразцы существенно различались. Варьирование урожайности находилось в пределах от 7,2 (1Ar 2 и 2Ar 2) до 7,7 ц/га (3Ar 3) (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность льнопродукции сортообразцов льна-долгунца мутантного происхождения (среднее 2022–2024 гг.)

Сортообразец	Схема обработки	Урожайность, ц/га			
		семян	тресты	общего волокна	длинного волокна
Надёжный (контроль)		7,2	52,3	17,9	11,8
2Ar 1	HMM 0,006+12 ч.	7,3	57,7	21,4	12,9
1Ar 2	HMM 0,01+6 ч.	7,2	61,6	20,9	13,8
2Ar 2	HMM 0,01+12 ч.	7,2	62,3	22,9	14,8
3Ar 2	HMM 0,01+18 ч.	7,6	52,4	19,5	12,8
3Ar 3	HMM 0,12+18 ч.	7,7	59,4	21,4	14,4
HCP ₀₅		0,42	7,24	3,46	1,75

По урожайности тресты и волокна благоприятным был 2022 год, неблагоприятным 2023 год (рис. 2 и 3). Все сортообразцы в среднем за три года испытания превышали сорт-контроль Надёжный по урожайности тресты, общего и длинного волокна, сильно варьируя по годам ($V, \% > 20$). По урожайности тресты существенное превышение над контролем наблюдали у сортообразцов 1Ar 2 и 2Ar 2.

Максимальная урожайность тресты, общего и длинного волокна за три года исследований получена у сортообразца 2Ar 2 – 62,3 ц/га, 22,9 ц/га и 14,8 ц/га соответственно (табл. 2). Данный сортообразец имел максимальные урожайность тресты и общего волокна в неблагоприятный год – 50,1 и 15,7 ц/га (рис. 2 и 3).

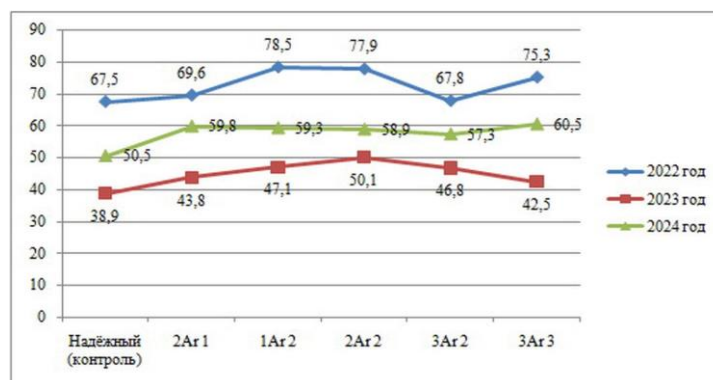


Рис. 2. Урожайность тресты у сортов образцов льна-долгунца (2022–2024 гг.)

По урожайности общего волокна за три года испытаний выделились сорта образцы 2Ar 1, 3Ar 3 и 2Ar 2, которые существенно превышали сорт-контроль (табл. 2). Максимальная урожайность общего волокна (29,7 ц/га) получена в 2022 году у сорта образца 2Ar 2 (рис. 3), который отнесён к интенсивному типу ($b_i=1,2$).

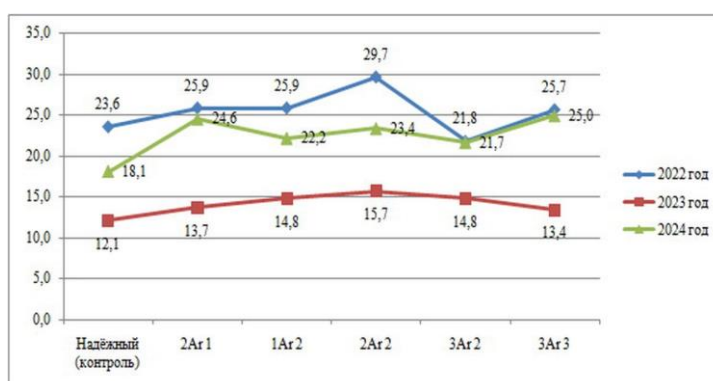


Рис. 3. Урожайность общего волокна у сортов образцов льна-долгунца (2022–2024 гг.)

Максимальная урожайность длинного волокна за три года исследований отмечена по сорта образцу 2Ar 2 – 14,8 ц/га, который отнесён к интенсивному типу ($b_i=1,2$). Существенное превышение над контролем по урожайности длинного волокна было у сорта образцов 1Ar 2 и 3Ar 3 (табл. 2).

Максимальная урожайность длинного волокна получена у сорта образца 3Ar 3 в 2022 году – 20,7 ц/га. Следует отметить, что превышение урожайности длинного волокна у сорта образцов в благоприятный 2022 год по отношению к данному показателю в неблагоприятный 2023 год было в 1,6–2,5 раза выше (рис. 4).

Сорта образцы 2Ar 2 и 3Ar 3 отнесены к интенсивному типу по урожайности длинного волокна, у которых коэффициент линейной регрессии, b_i составил 1,1. Данные сорта образцы отзывчивы на улучшение среды, которое сопровождалось повышением урожайности длинного волокна.

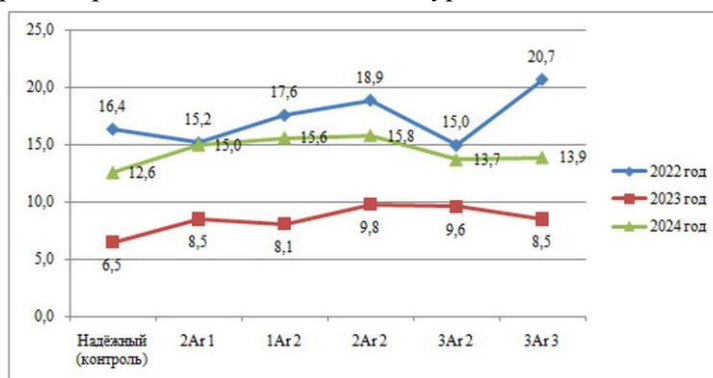


Рис. 4. Урожайность длинного волокна у сортов образцов льна-долгунца (2022–2024 гг.)

Анализ урожайности семян, тресты, общего и длинного волокна по испытываемым сорта образцам за 2022–2024 годы показал их зависимость от условий года (71,8–88,3 %). На урожайность семян оказывало также влияние взаимодействие фактора генотип $\times$ год (20,9 %). Влияние фактора генотип на урожайность льнопродукции было незначительным (табл. 3).

Таблица 3. Влияние факторов на урожайность льнопродукции

Признак	Доля фактора, %		
	генотип	год	генотип x год
Урожайность семян	2,0	71,8	20,9
Урожайность тресты	7,4	88,3	2,9
Урожайность общего волокна	9,1	84,0	5,9
Урожайность длинного волокна	9,4	86,5	2,7

Заключение

Проведена комплексная оценка сортообразцов льна-долгунца мутантного происхождения по основным хозяйственно ценным признакам: урожайности семян, тресты, общего и длинного волокна, качеству длинного трёпаного волокна, устойчивости к фузариозному увяданию и полеганию в 2022–2024 годах испытания. Отобраны 2 сортообразца 2Аг 2 и 3Аг 2. Сортообразец 2Аг 2 характеризовался как высокорослый, высокоустойчивый к полеганию и фузариозному увяданию, обеспечил урожайность тресты – 62,3 ц/га, общего волокна – 22,9 ц/га и длинного – 14,8 ц/га. Сортообразец 3Аг 2 выделялся по качеству длинного трепаного волокна – средний номер 10,7. Данные сортообразцы включены в селекционные программы для создания высокопродуктивных и стабильных сортов льна-долгунца в условиях северо-восточной части Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожмина, Т. А. Льняная отрасль на пути к возрождению / Т. А. Рожмина, О. Ю. Сорокина, В. П. Понажев, Л. М. Захарова // Защита и карантин растений. – 2018. – № 1. – С. 3–8.
2. Зуева, С. М. Влияние нормы высева на урожайность льна-долгунца сорта Феникс в условиях Смоленской области / С. М. Зуева, А. М. Конова, А. Ю. Гаврилова, Е. А. Трабунова, С. М. Чехалков // Аграрный научный журнал. – 2022. – №12. – С. 31–35. DOI: 10.28983/asj. y2022i12pp31-35.
3. Степин, А. Д. Оценка перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания по основным хозяйственно-ценным признакам и адаптивности / А. Д. Степин, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – №23(4). – С. 450–462.
4. Зуева, С. М. Сравнительное изучение перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания в условиях Смоленской области / С. М. Зуева, С. М. Чехалков, Е. А. Трабунова // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – № 4(4). – С. 3–10. DOI: 10.54016/ SVITOK.2024.69.60.001.
5. Симаш, С. В. Создание новых селекционно ценных форм льна-долгунца с использованием индуцированного мутагенеза / С. В. Симаш, В. З. Богдан, Т. М. Богдан // Земляробства і ахова раслін. – 2011. – №3. – С. 63–65.
6. Володин, В. Г. Радиационный мутагенез у растений / В. Г. Володин. – Минск, 1975. – С. 124–156.
7. Рапопорт, И. А. Химический мутагенез: теория и практика / И. А. Рапопорт. – Москва, 1966. – С. 3–51.
8. Сидорова, К. К. Влияние химических мутагенов и гамма-лучей на мутационную изменчивость у разных сортов гороха / К. К. Сидорова // Специфичность химического мутагенеза: сб. науч. тр. – Москва, 1968. – С. 204–216.
9. Павлова, Л. Н. Методические указания по селекции льна-долгунца / Л. Н. Павлова [и др.]. – Россельхозакадемия: ВНИИ льна, Москва, 2004. – 43 с.
10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 2-е издание, переработ. и дополн. – М.: «КОЛОС», 1968. – 336 с.
11. Зыкин, В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчёт и анализ: методические рекомендации / В. А. Зыкин, В. В. Мешков, В. А. Сапега // СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1984. – 24 с.
12. Лошакова, Н. И. Методические указания по фитопатологической оценке устойчивости льна-долгунца к болезням / Н. И. Лошакова, Т. В. Крылова, Л. П. Кудрявцева. – М.: ВНИИ льна, Россельхозакадемия, 2006. – 52 с.