

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.521:631.524.85

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБРАЗЦОВ КОЛЛЕКЦИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПО УРОЖАЙНОСТИ ЛЬНОВОЛОКНА

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

РУП «Институт льна»,
аг. Устье, Республика Беларусь, 211003, e-mail: malarittaml@mail.ru

(Поступила в редакцию 30.04.2024)

В статье представлены результаты анализа адаптивного потенциала 22 образцов коллекции льна-долгунца различного эколого-географического происхождения по урожайности льноволокна за 2021–2023 гг. В среднем за годы исследований урожайность общего волокна у образцов коллекции варьировала от 83,3 г/м² (В-79) до 163,7 г/м² (Надежный). Наиболее благоприятным был 2021 год (ГТК=0,69, I_j=+43,9) за счет оптимального увлажнения (ГТК=1,09) в период «всходы – цветение» (среднесортная урожайность общего волокна составила 172,4 г/м²). Дисперсионный анализ показал, что существенное влияние при формировании урожая льноволокна оказали условия года (51,0 %). Доля влияния генотипа составила 24,3 %. В качестве источников высокой урожайности льноволокна (145,0 – 163,7 г/м²) выделены образцы Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий. В результате анализа показателей адаптивности выделены образцы, обладающие высокой генетической гибкостью (152,5 – 174,6) – Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий, Алей, Днепровский; пластичностью (bi = 1,85 – 1,47) – Днепровский, Надежный, Стойкий, Рубеж и Лизетта; стабильностью (σ²= 0,4 – 6,3) – В-169, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Надежный, Flax of Heilonjiang N14; стрессоустойчивостью (-27,4 – -30,3) – л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), В-79, Порт-7. В селекционном процессе при создании новых конкурентоспособных сортов льна-долгунца целесообразно использовать в качестве исходного материала образцы Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), набравшие наименьшие суммы рангов (28), обеспечивающие получение высокого урожая льноволокна и обладающие наибольшим адаптивным потенциалом.

Ключевые слова: лен-долгунец, образец, урожайность льноволокна, пластичность, стабильность, адаптивность, стрессоустойчивость, генетическая гибкость.

The article presents the results of the analysis of the adaptive potential of 22 accessions of the fiber flax collection of various ecological and geographical origins in terms of flax fiber yield for 2021–2023. On average, over the years of research, the total fiber yield of the collection accessions varied from 83.3 g/m² (B-79) to 163.7 g/m² (Nadezhny). The most favorable year was 2021 (HTC=0.69, I_j=+43.9) due to optimal moisture (HTC=1.09) during the "seedlings-flowering" period (the average varietal yield of total fiber was 172.4 g/m²). The analysis of variance showed that the conditions of the year had a significant impact on the formation of the flax fiber yield (51.0 %). The share of genotype influence was 24.3 %. The following samples were selected as sources of high flax fiber yield (145.0 – 163.7 g/m²): Nadezhny, l. Saldo × Mogilevskiy (BIL1083), Rubezh, Stoykiy. As a result of the analysis of the adaptability indices, the following samples were selected: high genetic flexibility (152.5 – 174.6): Nadezhny, l. Saldo × Mogilevskiy (BIL1083), Rubezh, Stoykiy, Aley, Dneprovsky; plasticity (bi = 1.85 – 1.47): Dneprovsky, Nadezhny, Stoykiy, Rubezh, and Lizetta; stability (σ²= 0.4 – 6.3): B-169, l. Saldo × Mogilevskiy (BIL1083), Nadezhny, Flax of Heilonjiang N14; stress resistance (-27.4 – -30.3) – l. Saldo × Mogilevsky (BIL1083), B-79, Port-7. In the selection process for creating new competitive varieties of fiber flax, it is advisable to use as source material the samples Nadezhny, l. Saldo × Mogilevsky (BIL1083), which have scored the lowest rank sums (28), ensuring a high yield of flax fiber and possessing the greatest adaptive potential.

Key words: fiber flax, sample, flax fiber yield, plasticity, stability, adaptability, stress resistance, genetic flexibility.

Введение

Наиболее эффективным средством повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе льна-долгунца, является сорт. По имеющимся оценкам вклад сорта в повышение урожайности оценивается от 20 до 50 % [1]. Современные сорта льна-долгунца способны обеспечить урожайность льноволокна на уровне 20 ц/га и более. Однако в производственных условиях добиться такого урожая весьма проблематично, что связано не только с агротехническими мероприятиями, но и с влиянием неблагоприятных факторов внешней среды [2].

В последние годы отмечаются колебания климатических условий возделывания льна-долгунца не только по годам, но и в течение вегетации. Увеличилось проявление таких стресс-факторов, как засуха, высокие температуры и обильные дожди в критические фазы формирования волокна и семян,

расширился ареал и вредоносность заболеваний, которые негативно сказываются на получении высокого урожая и качества льнопродукции.

В настоящее время селекционеры особое внимание уделяют устойчивости исходного материала к лимитирующим факторам среды и способности получения стабильных показателей урожая. Анализ показателей продуктивности по параметрам адаптивности, экологической пластичности и стабильности даёт возможность с большей точностью проводить подбор сортов для конкретной зоны возделывания. Поэтому актуальным направлением в селекционных программах является систематическое изучение генетического разнообразия, его анализ и подбор эффективных источников с комплексом заданных параметров [3, 4, 5].

Резервом повышения урожайности и качества льнопродукции является генофонд культуры и максимальная реализация его биологического потенциала. Сосредоточением потенциала ценных генов льна-долгунца в Беларуси является генетический фонд, находящийся в РУП «Институт льна», который в настоящее время включает 635 образцов различного эколого-географического происхождения.

Цель исследований – оценка адаптивного потенциала образцов коллекции льна-долгунца по урожайности общего волокна для дальнейшего использования в качестве исходного материала при создании новых конкурентоспособных сортов.

Основная часть

Исследования проводили в 2021–2023 гг. в селекционном севообороте РУП «Институт льна». В качестве исходного материала использовали 22 образца льна-долгунца различного эколого-географического происхождения (рис. 1).

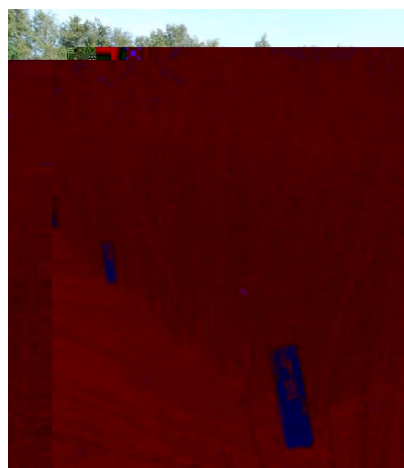
Исследования проводили согласно методическим указаниям по изучению коллекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum L.*) [6]. Сорта-контроли высевали через каждые 20 делянок, в качестве которых в системе Государственного испытания сортов в настоящее время используются Ярок (раннеспелый), Стойкий (среднеспелый) и Надежный (позднеспелый).



2021 год



2022 год



2023 год

Рис. 1. Внешний вид питомника коллекции льна-долгунца в фазу цветения по годам изучения

Почва опытных участков дерново-подзолистая, развивающаяся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины ниже 1 м мореной. Агрохимические показатели почвенных участков варьировали по годам: рН 5,00–6,10, содержание подвижного фосфора 125,9–274,6 мг/кг почвы, обменного калия 150,5–197,1 мг/кг почвы, содержание гумуса $\approx 1,8\%$.

Основная подготовка почвы опытного участка – традиционная для льна. Обработка почвы проводилась по мере ее созревания, минеральные и микроудобрения внесены из расчета потребности растений льна, выноса их с урожаем и плодородия почвы, согласно технологическому регламенту возделывания льна-долгунца [7].

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались между собой по температурному режиму, количеству и периодичности выпадения осадков, что способствовало объективной оценке образцов коллекции льна-долгунца [8].

При анализе адаптивных параметров рассчитывали индекс условий среды (I_j), стабильность (σ_d^2), пластичность (bi) [9], стрессоустойчивость ($X_{min}-X_{max}$), генетическую гибкость ($(X_{max}+X_{min})/2$) [10, 11],

коэффициент адаптивности (KA) [12]. Двухфакторный дисперсионный анализ урожайности льноволокна рассчитывали по Б. А. Доспехову [13].

Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) является интегральным показателем оценки влагообеспеченности растений льна-долгунца. Несмотря на то, что 2021 год характеризовался как засушливый (ГТК=0,69), он был наиболее благоприятным ($I_j = +43,9$). Оптимальное увлажнение в период «всходы – цветение» (ГТК=1,09) способствовало формированию волокна. Среднесортная урожайность общего волокна составила 172,4 г/м² (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика условий среды для анализа образцов коллекции льна-долгунца по урожайности общего волокна

Показатель	ГТК / продолжительность фаз развития, суток		
	2021 год	2022 год	2023 год
всходы – цветение	1,09 / 48	1,57 / 53	0,73 / 59
цветение – ранняя желтая спелость	0,32 / 22	1,38 / 30	2,50 / 31
период вегетации (ГТК)	0,69 / 70	1,50 / 83	1,63 / 90
индекс условий среды (I_j)	+43,9	-11,6	-32,2
среднесортная урожайность (Y_j), г/м ²	172,4	116,9	96,3

Неблагоприятным по урожайности общего волокна был 2023 год (ГТК=1,63, $I_j = -32,2$). За счет сильной засухи в критический период формирования волокна (ГТК=0,73) среднесортная урожайность составила 96,3 г/м².

В результате двухфакторного дисперсионного анализа установлено влияние генотипа, условий года и их взаимодействия на урожайность льноволокна. Наиболее существенное влияние на урожайность общего волокна оказали условия года (51,0 %). Доля влияния генотипа составила 24,3 % (табл. 2).

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа образцов коллекции льна-долгунца по урожайности общего волокна (среднее за 2021–2023 гг.)

Источник вариации	SS	df	MS	F	F крит.	Доля вклада фактора, %
Генотип	97634,2	21	4649,2	12,18	1,64	24,3
Год	204623,4	2	102311,7	268,03	3,06	51,0
Генотип × год	48625,2	42	1157,7	3,03	1,48	12,1
Случайная изменчивость	50386,0	132	381,7			

В среднем за 2021–2023 гг. исследований урожайность общего волокна у образцов коллекции варьировала от 83,3 г/м² (В-79) до 163,7 г/м² (Надежный). Высокой урожайностью льноволокна (145,0 – 163,7 г/м²) характеризовались образцы Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика образцов коллекции льна-долгунца по показателям адаптивности (среднее за 2021–2023 гг.)

Название образца	Урожайность льноволокна, г/м ²			$Y_{min}-Y_{max}$	$(Y_{min}+Y_{max})/2$	b_i	σ_d^2	KA
	min	max	среднее					
Ярок	101,9	156,0	126,7	-54,1	129,0	0,69	18,3	1,0
Стойкий	91,8	221,6	145,0	-129,8	156,7	1,73	19,7	1,1
Надежный	108,6	240,6	163,7	-132,0	174,6	1,75	5,0	1,3
Алей	118,1	193,5	145,1	-75,5	155,8	1,01	382,8	1,1
Могилёвский	102,8	178,5	141,0	-75,7	140,6	0,93	207,9	1,1
Порт-5	121,1	166,7	139,0	-45,6	143,9	0,62	12,5	1,1
Порт-7	123,3	153,6	134,6	-30,3	138,5	0,40	74,8	1,0
Рубеж	96,3	220,4	152,7	-124,1	158,4	1,59	79,5	1,2
Днепроvский	83,2	221,8	139,4	-138,6	152,5	1,85	38,1	1,1
Авиан	102,1	197,5	147,1	-95,5	149,8	1,21	115,6	1,1
Лизетта	85,5	203,9	143,4	-118,4	144,7	1,47	326,6	1,1
Г-818-93-7	91,0	138,7	115,6	-47,7	114,8	0,58	110,7	0,9
Г-1407-7-28	82,3	183,7	129,1	-101,4	133,0	1,29	78,0	1,0
ВИР-3	59,7	112,6	83,8	-52,9	86,2	0,68	14,9	0,7
л. Сальдо × Могилёвский (BIL1081)	115,2	175,5	136,4	-60,3	145,3	0,82	220,9	1,1
л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083)	145,6	173,0	156,7	-27,4	159,3	0,37	1,5	1,2
В-79	69,6	98,1	83,3	-28,5	83,8	0,36	15,0	0,6
В-153	99,8	165,5	123,1	-65,7	132,6	0,92	116,4	1,0
В-169	63,8	150,0	100,6	-86,1	106,9	1,13	0,4	0,8
Flax of Heilonjiang N13	74,9	157,8	108,1	-82,9	116,4	1,11	22,4	0,8
Flax of Heilonjiang N14	78,9	115,7	95,6	-36,8	97,3	0,47	6,3	0,7
Shuangya №12	90,9	168,9	118,1	-78,0	129,9	1,09	193,7	0,9

Уровень устойчивости генотипов к стрессовым условиям отражает разность ($V_{min}-V_{max}$) и чем ниже его значение, тем выше стрессоустойчивость сорта, соответственно шире размах приспособительных возможностей. В наших исследованиях высокой устойчивостью к стрессу обладали образцы л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083) (-27,4), В-79 (-28,5), Порт-7 (-30,3).

Показатель $(V_{min}+V_{max})/2$ характеризует генетическую гибкость и компенсаторную способность образца: чем выше величина данного показателя, тем выше степень соответствия между генотипом и факторами окружающей среды. Высокие значения по данному показателю установлены у 6 образцов коллекции льна-долгунца: Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий, Алей, Днепровский, которые варьировали в пределах 152,5–174,6.

Коэффициент линейной регрессии (bi) урожайности общего волокна образцов льна-долгунца подтверждает их реакцию на изменение условий среды. В результате исследований выделено пять отзывчивых образцов ($bi = 1,85 - 1,47$) – Днепровский, Надежный, Стойкий, Рубеж и Лизетта, у которых в благоприятные условия выращивания ($I_j (2021) = +43,9$) урожайность общего волокна составила 221,8 г/м², 240,6 г/м², 221,6 г/м², 220,4 г/м² и 203,9 г/м² соответственно. Данные образцы характеризуются как интенсивные. Образцы В-153, Могилевский, Алей, Shuangya №12 способны формировать стабильную урожайность общего волокна в меняющихся условиях среды ($bi = 0,92 - 1,09$).

К относительно стабильным ($\sigma_d^2 = 0,4 - 6,3$) по урожайности общего волокна отнесены образцы В-169, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Надежный, Flax of Heilonjiang N14.

Об адаптивных способностях образцов судят по коэффициенту адаптивности (KA), предложенному Животковым Л. А. и др. [12]. Высокий коэффициент адаптивности отмечен у образцов Рубеж, л. Сальдо × Могилёвский (шифр 1083) и Надежный ($KA = 1,2-1,3$).

С целью получения более объективных результатов был использован принцип ранжирования по параметрам адаптивности, а окончательная оценка проведена по сумме полученных баллов: чем меньше сумма рангов анализируемого образца, тем большую хозяйственную ценность он имеет. Данная оценка позволила выявить наиболее адаптивные генотипы льна-долгунца Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), набравшие наименьшие суммы рангов (табл. 4).

Таблица 4. Ранги параметров адаптивности образцов льна-долгунца по урожайности общего волокна

Название образца	$V_{min}-V_{max}$	$(V_{min}+V_{max})/2$	bi	σ_d^2	KA	Сумма рангов
Ярок	8	16	15	8	4	51
Стойкий	20	4	3	9	3	39
Надежный	21	1	2	3	1	28
Алей	11	5	11	22	3	52
Могилёвский	12	11	12	19	3	57
Порт-5	5	10	17	5	3	40
Порт-7	3	12	20	12	4	51
Рубеж	19	3	4	14	2	42
Днепровский	22	6	1	11	3	43
Авиан	16	7	7	16	3	49
Лизетта	18	9	5	21	3	56
Г-818-93-7	6	18	18	15	5	62
Г-1407-7-28	17	13	6	13	4	53
ВИР-3	7	21	16	6	7	57
л. Сальдо × Могилёвский (BIL1081)	9	8	14	20	3	54
л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083)	1	2	21	2	2	28
В-79	2	22	22	7	8	61
В-153	10	14	13	17	4	58
В-169	15	19	8	1	6	49
Flax of Heilonjiang N13	14	17	9	10	6	56
Flax of Heilonjiang N14	4	20	19	4	7	54
Shuangya №12	13	15	10	18	5	61

Заключение

В результате исследований выделены образцы льна-долгунца, обладающие высокой генетической гибкостью (152,5–174,6) – Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий, Алей, Днепровский; пластичностью ($bi = 1,85 - 1,47$) – Днепровский, Надежный, Стойкий, Рубеж и Лизетта; стабильностью ($\sigma_d^2 = 0,4 - 6,3$) – В-169, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Надежный, Flax of Heilonjiang N14; стрессоустойчивостью (-27,4 – -30,3) – л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), В-79, Порт-7. В качестве источников высокой урожайности льноволокна (145,0 – 163,7 г/м²) выделены образцы Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (BIL1083), Рубеж, Стойкий.

В селекционном процессе по созданию адаптивных сортов льна-долгунца с высокой потенциальной продуктивностью льноволокна целесообразно использовать в качестве исходного материала образцы Надежный, л. Сальдо × Могилёвский (ВІЛ1083), у которых наименьшая сумма рангов (28). Данные образцы обеспечивают получение высокой урожайности общего волокна в различных агроклиматических условиях возделывания и способны отзываться на улучшение условий среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусева Л. В., Мальцев Н. В. Сорт как фактор повышения урожайности и экономической эффективности выращивания зерновых культур в условиях Среднего Урала // Теория и практика мировой науки. – 2017. – № 6. – С. 12–17.
2. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А. Изучение коллекционных образцов коллекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – №32(11). – С. 40–42.
3. Горянина Т. А. Сравнительная оценка сортов озимой тритикале по адаптивной способности и стабильности // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 1. – С. 37–41.
4. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 1. Общая генетика растений / науч. ред. А. В. Кильчевский, Л. В. Хотьлева. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 551 с.
5. Дёмина И. Ф. Результаты изучения коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Среднего Поволжья // Аграрная наука евро-северо-востока. – 2020. – Т. 21, № 6. – С. 653–659.
6. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / В. З. Богдан [и др.]. – Устье, 2011. – 13 с.
7. Отраслевой регламент. Возделывание льна-долгунца. Типовые технологические процессы: принят 02.04.2012; вступ. в силу 03.04.2012. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2012. – 47 с.
8. Агрометеорологический бюллетень / ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»; начальник Т.С. Гомонова, 2023 г. – Минск, 2023. – 9 с.
9. Зыкин В. А., Мешков В. В., Сапего В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. Рекомендации. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1984. – 24 с.
10. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. *Crop Sci.*, 1981, 21(6): 943-946.
11. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
12. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.