

DOI

УДК 633.521:631.52(470.25)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕНОТИПОВ *LINUM USITATISSIMUM* L. ПО ФЕНОТИПИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ И СТАБИЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОДТАЕЖНОЙ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

К. П. Королев

**Реферат.** Представлены результаты тестирования 12 гибридных комбинаций льна-долгунца F3-F5, полученных на основе межсортовых скрещиваний четырех исходных родительских форм (Ярок, Грант, Alizee, Betertelsdorf 6884/60) по комплексу морфо-биологических показателей с учетом их экологической стабильности. Полевое изучение выполняли на Биологической станции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак» (Нижнетавдинский р-н, Тюменская область, 57°21' с. ш., 66°04' в. д.). Выявлены достоверные различия ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ) между ними по всем изученным признакам. В общей фенотипической изменчивости изученных признаков определено максимальное влияние генотип-средовых взаимодействий (48,5%). Установлена группа стабильных ( $b_i=1,0$ ,  $S_2d_i=0$ , G1, G2, G3, G4, G5, G6, G8, G9), высоко ( $b_i < 1,0$ ,  $S_2d_i=0$ ) и слабо отзывчивых ( $b_i > 1,0$ ,  $S_2d_i=0$ ) гибридов. С использованием индекса (SI) определены наиболее устойчивые из них в двух группах (SI=61,0-80,0% и 81,0-100,0%). По индексу стабильности (I) определены ценные генотипы льна-долгунца по высоте растений (G1, G2), числу коробочек (G1, G2, G10), числу семян в 1 коробочке (G1, G8), периоду вегетации (G1, G2, G8). С помощью рангового критерия Канга (RS) выявлены две группы по стабильности признаков, из которых первая имеет наибольшее значение по высоте растений (G1, G3, G5), длине соцветия (G1), числу коробочек (G1, G6, G10, G11), числу семян в 1 коробочке (G8), содержанию волокна (G1, G3, G5, G12), периоду вегетации (G4). Отобраны гибридные комбинации (G1, G2, G3, G5, G6, G7, G11), представляющие наибольший практический интерес для селекционного процесса.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, гибриды, факторы среды, дисперсионный анализ, индекс стабильности.

**Для цитирования:** Королев К.П. Комплексная оценка генотипов *Linum usitatissimum* L. по фенотипическим признакам и стабильности в условиях подтаежной агроэкологической зоны Тюменской области // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. №3(11). С. 34-40

**Введение.** Лен (*Linum usitatissimum* L.) является самоопылителем, относится к семейству льновых. Одно из немногих культурных растений двухстороннего использования (на волокно и масло). Растения волокнистого морфо типа имеют большую высоту растений, с меньшим количеством ветвей, прочную соломину, по сравнению с масличными для которых характерны более низкие растения, разветвленные, с высокой урожайностью семян, содержанием масла и несколько иным биохимическим составом [1, 2, 3]. Достаточно разнообразное использование льна в текстильной, пищевой, лакокрасочной промышленности. Материалы, имеющие смешанный компонентный состав, на основе льна, могут применяться при изоляции, фильтров, геотекстиля при защите почв от различных типов эрозионных процессов, ландшафтном строительстве [4, 5, 6].

Лен является древнейшим растением, о находках его волокна, возрастом около 30 тысяч лет, известно на территории Грузии (Верхнепалеолитические слои пещеры Дзудзуана) [7]. Лен-долгунец широко выращивается на территории Западной Европы, Канады, США, Китая, Индии [8, 9, 10].

Наличие ценного разнообразного исходного материала является важным аспектом для дальнейшей успешной работы [11, 12, 13]. Использование современных методов и подходов в селекции льна-долгунца позволило получить ряд новых сортов, характеризующихся скороспелостью, содержанием волокна свыше

30,0%, толерантных к полеганию. Ценными являются генотипы с комплексной устойчивостью к фитопатогенам, например, селекции ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур (г. Тверь) – Цезарь, Визит, Сурский, Надежда, с повышенной массой семени – Дипломат [14, 15, 16]. Актуальным является наличие сортов с маркерными признаками, в данном направлении следует отметить достижения селекции ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» (г. Киров) – Снежок желтосемянный, Белочка, Весничка, Снегурочка, Лазоревка. Для контрастных условий вегетационного периода Западной Сибири селекционерами СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН (г. Томск) были получены новые сорта льна-долгунца Томич, Томич-2, Томич-3.

Дальнейшее развитие селекции льна-долгунца может быть связано с созданием сортов с новыми или улучшенными хозяйственно ценными признаками (например, мощное развитие корневой системы, тонкостенных) [14]. Для повышения эффективности работ, наряду с традиционными методами оценки и отбора на ранних этапах селекции, необходимо более широкое использование достижений современной биотехнологии, молекулярно-генетических методов (агробактериальная трансформация), белковых, ДНК-маркеров при получении сортов льна.

В связи с наблюдаемыми климатическими изменениями в период вегетации растений,

создаваемые генотипы должны обладать не только высоким уровнем биологической продуктивности, показателями качества, устойчивости к полеганию, фитопатогенам, но и стабильностью к факторам окружающей среды. Для этого следует проводить их более широкое экологическое испытание в различных зонах, с дальнейшим использованием современных статистических методов и последующей интерпретацией полученных результатов.

С целью диагностики генотип-средового взаимодействия используют различные подходы. Известно о такой оценке генотипов пшеницы [16], нута [17], хлопчатника [18], маша [19], при этом важно определить те сорта льна, которые характеризуются продуктивностью, экологической стабильностью в различных условиях выращивания [20, 21].

Взаимодействие генотипа и среды оказывает влияние на связь фенотипического проявления признаков с его генетической основой, что не позволяет в полной степени отобрать наиболее ценные генотипы, особенно по диагностическим критериям крайне уязвимым к проявлению экологических факторов различной силы [22, 23]. Как указывает А. Yaghotiroog [24] для снижения негативного эффекта GxE, необходимо проводить селекционный отбор стабильных генотипов при наибольшем разнообразии средового фактора.

В Тюменской области, характеризующейся различными агроэкологическими условиями, необходим подбор наиболее стабильных генотипов с высоким уровнем хозяйственно-ценных признаков, при этом информации о реакции межсортовых гибридных популяций льна-долгунца достаточно не представлено, что и вызвало необходимость проведения данного этапа работы.

Цель исследования – фенотипическая вариабельность основных хозяйственно-ценных признаков льна-долгунца и выделение наиболее стабильных из них в условиях Тюменской области.

**Условия, материалы и методы.** В качестве объекта исследования использованы гибридные популяции льна-долгунца (F<sub>3</sub>-F<sub>5</sub>)

со следующей кодировкой: G1 (♀Ярок x ♂Грант), G2 (♀Ярок x ♂Alizee), G3 (♀ Ярок x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G4 (♀ Alizee x ♂Грант), G5 (♀ Alizee x ♂Ярок), G6 (♀ Alizee x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G7 (♀ Грант x ♂Ярок), G8 (♀ Грант x ♂ Alizee), G9 (♀ Грант x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G10 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G11 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G12 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок). Получение и дальнейшее изучение гибридных популяций льна выполняли в период 2018-2023 года на территории Биологической станции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак» в Нижнетавдинском районе Тюменской области. Почва участка – дерново-подзолистая, супесчаная, с содержанием гумуса 3,6%, фосфора – 433,3 мг/кг почвы, калия – 234,0 мг/кг почвы. Закладку полевых экспериментов, учеты и наблюдения осуществляли согласно Методических указаний [25].

Метеорологические условия в период исследований отличались от среднемноголетних показателей, как по температуре, так и количеству выпавших осадков. Согласно гидротермическому коэффициенту (по Селянинову), наблюдались как слабо засушливые (ГТК=1,2), так и влажные (ГТК=1,6) периоды в течение вегетации. Статистическую обработку данных выполняли с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) по Б. А. Доспехову [26] в программе Statistica 6.0 (Statsoft Inc., США). Распределение образцов по стабильности осуществляли с использованием рангового критерия Канта (RS) [27]. Достоверность различий – на основании t-критерия Стьюдента. Отзывчивость генотипов устанавливали по методу S.A. Eberhart и W.A. Russel [28], рассчитывали индексы: отбора генотипа (GSI) по [29] и индекса устойчивости (SI) по [30].

**Результаты и обсуждение.** По результатам выполненного дисперсионного анализа (ANOVA) была доказана значимость (p<0,05, p<0,01) генотипических особенностей (А), средовых условий (Б) и их взаимодействий (АхБ) по изученным показателям (табл. 1). В связи с тем, достоверность фактора генотип-среда была статистически доказана, дальше можем переходить к оценке гибридных комбинаций по экологической стабильности.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа гибридных комбинаций льна-долгунца F<sub>3</sub>-F<sub>5</sub> по шести оценочным показателям, 2020-2022 годы

Источник вариации	df	mS					
		А	Б	В	Г	Д	Е
Генотип (фактор А)	11	103,82**	64,15**	35,11**	94,59**	175,26**	52,28**
Среда (фактор Б)	2	97,85*	152,32**	102,54**	28,41*	82,91*	19,32*
Взаимодействие генотип-среда (фактор АхБ)	20	117,24**	101,89**	142,81**	88,15**	115,63**	77,91**
Случайное (В)	15	19,42	48,25	16,30	10,22	26,66	11,04

Примечание: df – число степеней свободы, mS – средний квадрат. Различия между генотипами достоверны: p<0,05\*; p<0,01\*\*. Высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в 1 коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е).

Установлено, что в общей фенотипической изменчивости изученных критериев вклад генотипических особенностей составлял от 19,9% до 40,0%, средовых факторов от 16,9% до 47,3%, генотип-средовых условий от 17,7% до 48,5%. Влияние генотипа было максимальным (40,0%) для признака «размер коробочки». Средовые условия на 45,8-47,3% обуславливали признаки «высота растений», «число коробочек на 1 растении». На 42,2-48,5% признаки «длина соцветия», «число семян в 1 коробочке», «растрескиваемость коробочки» зависели от взаимодействия генотипа со средой.

Полученные гибридные комбинации льна-долгунца характеризовались вариабельностью изученных показателей. Наибольшей высотой растений они характеризовались в условиях 2021 года (103,4±0,45\* см), при минимуме в 2020 году (87,5±1,34\*\* см). По длине соцветия более оптимальные условия сформировались в 2021 году (8,1±0,56\*) и 2022 году (6,3±0,56\*), по числу коробочек – 2022 год (5,3±0,06\* шт.), числу семян в 1 коробочке – 2020 год (7,8±0,11\*\* шт.), периоду вегетации – 2020 год (73,4±1,02), содержанию

волокна – 2021 год (36,4%±1,56). Максимальное количество отобранных высокорослых генотипов, имеющие достоверные различия приходилось на 2020 год (36,6%), по длине соцветия – 2021 год (21,4%), числу коробочек – (11,1%), числу семян в 1 коробочке – 2020 год (8,1%), содержанию волокна – 2021 год (64,8%). С коротким периодом вегетации – 62,1% в 2020 году.

Проводили экологическую оценку гибридных популяций льна с использованием различных методических подходов. Согласно S.A. Eberhart, W.A. Russel [28] определены различные группы генотипов по отзывчивости (табл. 2). К высоко отзывчивым ( $b_i < 1, S^2d_i=0$ ) было отнесено от 16,6% (период вегетации) до 66,6% (высота растений). В группе стабильных отмечены 8,3% (высота растений) – 16,6% (длина соцветия, число коробочек, число семян в 1 коробочке, содержание волокна, период вегетации). Слабой отзывчивостью ( $b_i > 1, S^2d_i=0$ ) характеризовалось 25,0% (высота растений) – (длина соцветия, число семян в 1 коробочке, содержание волокна, период вегетации).

Таблица 2 – Группировка генотипов льна-долгунца F3- F5 по отношению к экологическому фактору, метод S.A. Eberhart, W.A. Russel, 2020-2022 года

Группа	Показатели					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Высоко отзывчивые $b_i < 1, S^2d_i=0$ (n=2-8)	G1,G3,G4, G5, G6, G7, G9, G12	G1,G3, G6, G11, G12	G1,G2,G3 G4, G7, G10 G11	G2, G3, G4	G1, G5, G6, G12	G1,G10
Стабильные $b_i=1,0, S^2d_i=0$ (n=1-2)	G2	G4, G5	G1, G2	G5, G6	G8, G9,	G3,G5
Слабоотзывчивые $b_i > 1, S^2d_i=0$ (n=3-6)	G8, G10, G11	G2,G7, G8, G9, G10, G12	G5,G6, G8, G9, G12	G7, G8, G9, G10, G11,G12	G1,G2, G3, G4, G10, G11	G6, G7 G8, G9 G11, G12

Примечание: высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в 1 коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е). Генотипы: G1 (♀Ярок x ♂Грант), G2 (♀Ярок x ♂Alizee), G3 (♀ Ярок x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G4 (♀ Alizee x ♂Грант), G5 (♀ Alizee x ♂Ярок), G6 (♀ Alizee x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G7 (♀ Грант x ♂Ярок), G8 (♀ Грант x ♂ Alizee), G9 (♀ Грант x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G10 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G11 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G12 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок).

Сочетанием высокорослости (92,3±0,61–106,8±1,05 см) и высокой отзывчивостью ( $b_i > 1, S^2d_i=0$ ) характеризовались G6, G9; длиной соцветия (6,6±0,88 – 7,8±0,13 см) – G3, G11, числом коробочек (4,8±0,10 – 6,7±0,33 шт.) – G1, G3, G9; числом семян в 1 коробочке (8,4±0,14 – 10,0±0,23 шт.) – G5, G6, содержанием волокна – G1, G5. В группе стабильных можно отметить G2 (высота растений) и G1 (число коробочек).

Гибридные комбинации оценивали с использованием индекса устойчивости (SI) (табл. 3). К генотипам с очень низкой степенью устойчивости отнесено 8,3-16,6%, с низкой – 8,3-25,0%, самой обширной была

группа со средней устойчивостью – 33,3-58,3%. Группа устойчивых и очень устойчивых была немногочисленной.

Сочетающим высокую устойчивость (64,31-72,15%) и высоту растений отмечены – G2, длину соцветия (68,9-70,0%) – G5, G9, число коробочек на 1 растении (72,2-78,9%) – G9, число семян в 1 коробочке (61,0-70,0%) – G6, G11. Очень высокой устойчивостью (81,0-85,5%) характеризовались комбинации G2, G3, G5 по высоте растений и числу коробочек.

Гибридные комбинации льна-долгунца оценивали по индексу стабильности [1]. По высоте растений в группу стабильных вошли

## АГРОНОМИЯ

G1, G3; по длине соцветия – G1, G5; по числу семян в 1 коробочке – G1, G2; по числу коробочек на 1 растение – G2, G5, содержанию волокна – G1, периоду вегетации – G1, G2, остальные были отнесены к нестабильным.

Отобраны генотипы, сочетающие стабильность и высокорослость (G1, G2), большее число коробочек (G1, G2, G10) и число семян в них (G1, G8), меньший период вегетации (G1, G2, G8).

Таблица 3 – Группировка генотипов льна-долгунца F<sub>3</sub>- F<sub>5</sub> по индексу устойчивости (SI), 2020-2022 года

Признак	Очень низкая <20,0%	Низкая 21,0-40,0%	Средняя 41,0-60,0%	Высокая 61,0-80,0%	Очень высокая 81,0-100,0%
Высота растений (n=1-6)	G2	G3	G1, G5, G6, G7, G11, G12	G4, G8, G9, G10	G2
Длина соцветия (n=1-5)	G1	G4, G6	G7, G8, G10, G11, G12	G5, G9	G3
Число коробочек (n=1-4)	G2, G7	G1, G10	G3, G4, G9, G12	G6, G8, G11	G5
Число семян в 1 коробочке (n=1-6)	G5	G4, G8	G3, G6 G7, G8, G10, G12	G1, G2, G11 G9	-
Содержание во- локна (n=1-6)	G5	G8, G11	G1, G2, G3, G7, G9, G10	G4, G6 G12	-
Период вегета- ции (n=1-7)	G12	G5, G6	G2, G3, G4, G7, G8, G9, G11	G1, G10, G12	-

*Примечание: Генотипы: G1 (♀Ярок x ♂Грант), G2 (♀Ярок x ♂Alizee), G3 (♀ Ярок x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G4 (♀ Alizee x ♂Грант), G5 (♀ Alizee x ♂Ярок), G6 (♀ Alizee x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G7 (♀ Грант x ♂Ярок), G8 (♀ Грант x ♂ Alizee), G9 (♀ Грант x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G10 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G11 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G12 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок).*

С учетом индекса стабильности (I) они были распределены с использованием рангового критерия Канга (RS). По результатам скрининга были выделены две группы по данному критерию (табл. 4). Преобладающее количество стабильных комбинаций отмечено по признакам высота растений (3,0 шт., 25,0%), число коробочек и

содержание волокна (4,0 шт., 33,3%), со значением показателя ранговой суммы (RS= 9,12,-13,0; 8,9-11,6; 10,1-13,8) соответственно. К комбинациям, имеющим дальнейшее селекционного значение можно рекомендовать G1 (высота растений + длина соцветия + содержание волокна), G3 и G5 (высота растений + содержание волокна).

Таблица 4 – Группировка гибридных комбинаций F<sub>3</sub>- F<sub>5</sub> по ранговой сумме Канга (RS), 2020-2022 года

Группа	Показатели					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Стабильные (n=1-4)	G1, G3, G5	G1	G1, G6, G10, G11	G8	G1, G3, G5, G12	G4
Нестабильные (n=7-11)	G2, G4, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12	G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12	G2, G3, G4, G5, G7, G8, G9, G12	G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G9, G10, G11, G12	G4, G6, G7, G8 G9, G10, G11	G1, G2, G3, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12

*Примечание: высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в 1 коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е). Генотипы: G1 (♀Ярок x ♂Грант), G2 (♀Ярок x ♂Alizee), G3 (♀ Ярок x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G4 (♀ Alizee x ♂Грант), G5 (♀ Alizee x ♂Ярок), G6 (♀ Alizee x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G7 (♀ Грант x ♂Ярок), G8 (♀ Грант x ♂ Alizee), G9 (♀ Грант x ♂ Betertelsdorf 6884/60), G10 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G11 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок), G12 (♀ Betertelsdorf 6884/60 x ♂ Ярок).*

Для выявления взаимосвязей данного набора признаков проводили корреляционный анализ. Сопряженностью средней силы ( $r = -0,527-0,644$ ,  $p < 0,05$ ) характеризовались признаки высота растений, длина соцветия, варiances стабильности. Показатели длины соцветия, числа семян в 1 коробочке, содержания волокна имели связь с коэффициентом регрессии ( $r = -0,565-0,599$ ,  $p < 0,05$ ). Индекс устойчивости обуславливал формирование периода вегетации ( $r = -0,543$ ). Установлены слабые прямые и обратные связи между вариансой стабильности и индексом устойчивости ( $r = 0,335$ ), высотой растений и коэффициентом регрессии ( $r = -0,444$ ).

**Выводы.** В результате проведенных исследований между гибридными комбинациями льна-долгунца выявлены достоверные различия ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ) по набору фенотипических признаков. Установлен вклад генотипа

(31,2%), средовых условий (34,6%) в степень проявления показателей. Определяющую роль генотип-средового взаимодействия определили на высоту растений (46,5%), число коробочек (48,5%), число семян на 1 растении, содержание волокна (41,5%).

Отобраны группы стабильных генотипов по высоте растений (6 шт.), длине соцветий (6 шт.), числу коробочек (6 шт.), числу семян в 1 коробочке (6 шт.), содержанию волокна (6 шт.), периоду вегетации (6 шт.).

На основании комплексного тестинга с использованием нескольких методических подходов, выявлен ряд гибридных комбинаций, проявивших как стабильность, так и высокий уровень отдельных признаков, к которым можно отнести G1, G2, G3, G5, G6, G7, G11, имеющие дальнейшую селекционную значимость.

#### Литература

1. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов / С. Н. Кутузова, Е. А. Пороховинова, Н. Б. Брач [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181(2). С.57-64. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64>.
2. Пороховинова Е. А. Генетический контроль восстановления фертильности пыльцы у линий льна (*Linum usitatissimum* L.) с цитоплазматической мужской стерильностью // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. № 178(1). С. 68-81. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-1-68-81>
3. Углеводный состав слизи из семян льна и его связь с морфологическими признаками / Е. А. Пороховинова, А. В. Павлов, Н. Б. Брач [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 52(1). С. 161-171. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.161rus>
4. Effect of photoperiod on *Linum usitatissimum* L. characters / N.B. Brach, I. Matvienko, E. Porokhovinova, et al. // Journal of Natural Fibers. 2020. Vol. 17(9). p. 1345-1354. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1568345>
5. Genetic structure of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) based on retrotransposon-based markers / Nabibollahi N, Noormohammadi Z, Sheidai M, Farahani F. // Genetika. 2015. Vol. 47(3). pp. 1111-1122. <https://doi.org/10.2298/GENSR1503111H>
6. Крылов В. С. Значение льноводства для развития экономики Нечерноземной зоны России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2017. №6. С. 26-31. EDN YTXSOB
7. 30,000-year-old wild flax fiber / E. Kvavadze, O. Bar-Yosef, A. Belfer-Cohen, et al. // Science. 2009. Vol. 325(1). p. 35. [cited 2023, December 22]. Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1175404>
8. Comparison between Tencel-Flax Blended Slub Yarn and Cotton-Flax Blended Slub Yarn / M.N. Islam, L.L. Rahman, Md. I. Hosen, et al. // Journal of Textile Science and Technology. 2022. Vol. 8. pp. 221-230. <https://doi.org/10.4236/jtst.2022.84016>
9. Flax: Ancient to modern food / Qamar Huma, Ilyas Muhammad, Shabbir Ghulam, et al. // Pure and Applied Biology. 2019. Vol. 8. pp. 2269-2276. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2019.80173>
10. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection / A. Hoque, J.D Fiedler, M Rahman // BMC Genomics. 2020. Vol. 21. pp. 557. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
11. Внутривидовое разнообразие льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) и его роль в решении проблемы создания отечественной сырьевой базы / Т. А. Рожмина, А. И. Рыжов, И. А. Куземкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 12. С. 17-20. EDN YMEMUF
12. Колотов А. П. Качество основной продукции льна масличного в условиях Среднего Урала // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2 (18). С. 23-28. EDN YSTTBN
13. Попова Г. А., Рогальская Н. Б., Трофимова В. М. Мировые генетические ресурсы льна коллекции ВИР в создании сортов Томской селекции // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. №4. С. 34-47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-4>
14. Понажев В. П., Виноградова Е. Г. Развитие селекции и семеноводства льна-долгунца – важнейший ресурс повышения эффективности льноводства России // Технические культуры. 2022. № 1 (3). С.30-39. <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.71.55.004>
15. Рожмина Т. А., Пролётова Н. В., Ущановский И. В. Изучение контроля устойчивости к фузариозному увяданию (*Fusarium oxysporum* f. lini) на начальных этапах селекционного процесса льна-долгунца // Кормопроизводство. 2022. №9. С.22-26. <https://doi.org/10.25685/KPM.2022.67.17.002>
16. Multi-environment evaluation of winter bread wheat genotypes under rainfed conditions of Iran-using AMMI model / S. Golkari, R. Haghparsat, E. Roohi, et al. // Crop Breeding Journal. 2016. Vol. 4-6 (1-2). pp. 17-31. [cited 2022, December 14]. Available from: <https://europepmc.org/article/pmc/5853414>.
17. Genotype and environment effects on sensory, nutritional and physical properties of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) // M.J. Kobos, I. Izquierdo, S. Massachusetts, et al. // Spanish Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 14. p e0709. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016144-871>
18. Stability studies of new cotton genotypes to determine the yield of cotton seeds sown in various places of Sindh province / Ahmed Tycho Zahir, Abror Seifullah, Rizwan Muhammad, et al. // Pure and Applied Biology. 2023. Vol. 12. pp. 1144-1149. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2023.120117>
19. Morphological diversity and characterization of mash (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes using identity, uniformity and stability descriptors / D.P. Joshi, L.D. Parmar, R. Kumar // Biological Forum-International Journal. 2022. Vol.

14(2). pp. 1102-1110. <https://doi.org/10.47413/vidya.v2i2.261>

20. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food / A. Goyal, V. Sharma, N. Upadhyay, et. al. // Journal Food Science Technology. 2014. Vol. 51(9). pp. 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>

21. Flaxseed – a potential functional food source / P. Kajla, A. Sharma, DR. Sood. et.al. // J Food Sci Technol. 2015. Vol. 52(4). pp. 1857-1871. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1293-y>

22. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition / P. Kaur, R. Waghmare, V. Kumar, et.al. // Oilseeds Fats Crops Lipids. 2018. Vol. 25(3). p. A304. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018018>

23. Genetic diversity and genome size variability in *Linum austriacum* (Lineaceae) populations / M. Sheidai, F. Afshar, M. Keshavarzi, et.al. // Biochem Systems Ecology. 2014. Vol. 57. pp. 20-26. <https://doi.org/10.1016/J.BSE.2014.07.014>

24. Nonparametric estimation and component analysis of phenotypic stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) / A. Yaghotipoor, E. Farshadfar // Pakistan Journal of Biological Science. 2007. Vol. 10. pp. 26462-652. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2646.2652>

25. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.); под общ ред. В. З. Богдана / Устье: РНДУП «Ин-т льна». 2011. 12 с.

26. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Альянс, 2014. 351 с.

27. A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes / Kang M.S. // Cereal Research Communication. 1988. Vol. 16. pp. 113-115. [cited 2022, December 21]. Available from: <https://www.jstor.org/stable/2378277128>. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russel // Crop Science. 1966. Vol. 6. pp. 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011>

29. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments / R. Mohammadi, A. Amri // Euphytica. 2008. Vol. 159. pp. 419-432. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9600-6>

30. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model / M., Rao, RG. Lakshmikantha, RS. Kul-karni, et. al. // Helia. 2004. Vol. 27. p. 59-66. <https://doi.org/10.2298/HEL0441059R>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

#### Сведения об авторе:

Королёв Константин Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: korolevkonstantin799@gmail.com

Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

### COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF *LINUM USITATISSIMUM* L. GENOTYPES BY PHENOTYPIC CHARACTERISTICS AND STABILITY IN THE CONDITIONS OF THE SUBTAIGA AGROECOLOGICAL ZONE OF THE TYUMEN REGION

K. P. Korolev

**Abstract.** The article presents the results of testing 12 hybrid combinations of fiber flax F3-F5 obtained based on interparietal crossings of four initial parental forms (Yarok, Grant, Alizee, Betertelsdorf 6884/60) for a set of morpho-biological parameters considering their ecological stability. Field research was carried out at the Biological Station of Tyumen State University "Lake Kuchak" (Nizhnetavdinsky District, Tyumen Region, 57°21' N, 66° 04' E). Reliable differences ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) between them for all the studied traits were revealed. In the total phenotypic variability of the studied traits, the maximum influence of genotype-environment interactions (48.5%) was determined. A group of stable ( $bi=1.0$ ,  $S2di=0$ , G1, G2, G3, G4, G5, G6, G8, G9), highly ( $bi < 1.0$ ,  $S2di=0$ ) and weakly responsive ( $bi > 1.0$ ,  $S2di=0$ ) hybrids was determined. Using the index (SI), the most stable of them in two groups were determined ( $SI=61.0-80.0\%$  and  $81.0-100.0\%$ ). According to the stability index (I), valuable flax genotypes were identified by plant height (G1, G2), number of capsules (G1, G2, G10), number of seeds in 1 capsule (G1, G8), and vegetation period (G1, G2, G8). Using the Kang rank criterion (RS), two groups by stability were identified, of which the first has the highest value for plant height (G1, G3, G5), inflorescence length (G1), number of capsules (G1, G6, G10, G11), number of seeds in 1 capsule (G8), fiber content (G1, G3, G5, G12), and vegetation period (G4). Hybrid combinations (G1, G2, G3, G5, G6, G7, G11) were selected, which are of the greatest practical interest for the selection process.

**Key words:** flax, hybrids, environmental factors, analysis of variance, stability index

**For citation:** Korolev K.P., Comprehensive assessment of *Linum usitatissimum* L. genotypes by phenotypic characteristics and stability in the conditions of the subtaiga agroecological zone of the Tyumen region. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2024; 3(11): 34-40

#### References

1. Kutuzova S. N., Porokhvinova E. A., Brach N. B. [World gene pool of flax VIR and selection of rust-resistant varieties]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selekcii*. 2020; 181 (2): 57-64. doi: <http://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64>.

2. Porokhvinova E. A. [Genetic control of pollen fertility restoration in flax (*Linum usitatissimum* L.) lines with cytoplasmic male sterility]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selekcii*. 2017; 178 (1): 68-81. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-1-68-81> conditions of the Ancestral region of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i cifrovoye zemledelie*. 2022; 3(3): 12-19. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2022-12-19>.

3. Porokhvinova E. A., Pavlov A. V., Brach N. B. [Carbohydrate composition of flax seed mucus and its relationship with morphological features]. *Sel'skhozajstvennaya biologiya*. 2017; 52(1): 161-171. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.161rus>

4. Brach N. B., Matvienko I., Porokhvinova E. Effect of photoperiod on *Linum usitaissimum* L. characters. *Journal of Natural Fibers*. 2020; 17(9): 1345-1354. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1568345>

5. Habibollahi H, Noormohammadi Z, Sheidai M. Genetic structure of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) based on retrotransposon-based markers. *Genetika*. 2015; 47(3): 1111-1122. <https://doi.org/10.2298/GENSR1503111>

6. Krylov V. S. [The importance of flax growing for the development of the economy of the Non-Black Earth Zone of Russia]. *Jekonomika sel'skhozajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij*. 2017; 6: P. 26-31. EDN YTXSOB
7. Kavadze E., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A. 30,000-year-old wild flax fiber // *Science*. 2009; 325(1): 35. [cited 2023, December 22]. Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1175404>
8. Islam M.N., Rahman L.L., Hosen Md. I. Comparison between Tencel-Flax Blended Slub Yarn and Cotton-Flax Blended Slub Yarn. *Journal of Textile Science and Technology*. 2022; 8: 221-230. <https://doi.org/10.4236/jtst.2022.84016>
9. Huma Qamar, Muhammad Ilyas, Ghulam Shabbir. Flax: Ancient to modern food. *Pure and Applied Biology*. 2019; 8: 2269-2276. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2019.80173>
10. Hoque A., Fiedler J.D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. *BMC Genomics*. 2020; 21: 557. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
11. Rozhmina T. A., Ryzhov A. I., Kuzemkin I. A. [Intraspecific diversity of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) and its role in solving the problem of creating a domestic raw material base]. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. 2017; 31. 12: 17-20. EDN YMEMUF
12. Kolotov A. P. [Quality of the main products of oil flax in the conditions of the Middle Urals]. *Permskij agrarnyj vestnik*. 2017; 2 (18): 23-28. EDN YSTTBN
13. Popova G. A., Rogalskaya N. B., Trofimova V. M. [World genetic resources of flax from the VIR collection in the creation of varieties of Tomsk selection]. *Sibirskij vestnik sel'skhozajstvennoj nauki*. 2023; 53: 34-47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-4>
14. Ponazhev V. P., Vinogradova E. G. [Development of selection and seed production of fiber flax is the most important resource for increasing the efficiency of flax growing in Russia]. *Tehnicheskie kul'tury*. 2022; 1(3): 30-39. <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.71.55.004>
15. Rozhmina T. A., Proletova N. V., Ushchapovsky I. V. [Study of control of resistance to fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. *lini*) at the initial stages of the selection process of fiber flax]. *Kormoproizvodstvo*. 2022; 9: 22-26. <https://doi.org/10.25685/KPM.2022.67.17.002>
16. Golkari S., Haghparast R., Roohi E. Multi-environment evaluation of winter bread wheat genotypes under rainfed conditions of Iran-using AMMI model. *Crop Breeding Journal*. 2016; 4-6 (1-2): 17-31. [cited 2022, December 14]. Available from: <https://europepmc.org/article/pmc/5853414>
17. Kobos MJ., Izquierdo I., Massachusetts S. Genotype and environmental effects on sensory, nutritional and physical properties of chickpeas (*Cicerius arietinum* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2016; 14: e0709. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016144-871>
18. Zahir Ahmed Tycho, Seifullah, Abror Muhammad Rizwan. Stability studies of new cotton genotypes to determine the yield of cotton seeds sown in various places of Syndaprovince. *Pure and Applied Biology*. 2023; 12:1144-1149. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2023.120117>
19. Joshi D. P., Parmar L. D., Kumar R. Morphological diversity and characterization of mash (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes using identity, uniformity and stability descriptors. *Biological Forum-International Journal*. 2022; 14(2): 1102-1110. <https://doi.org/10.47413/vidya.v2i2.261>
20. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal Food Science Technology*. 2014; 51(9): 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
21. Kajla P., Sharma A., Sood DR. Flaxseed – a potential functional food source. *Journal Food Science Technology*. 2015; 52(4): 1857-1871. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1293-y> . V., Babachenko V. Sh. [Genetic analysis of the mass of 1000 grains of barley]. *Niva Povolzh'ja*. 2018; 4(49): 26-32.
22. Kaur P., Waghmare R., Kumar V. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. *Oilseeds Fats Crops Lipids*. 2018; 25(3): A304. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018018>
23. Sheidai M., Afshar F., Keshavarzi M. Genetic diversity and genome size variability in *Linum austriacum* (Lineaceae) populations. *Biochem Systems Ecology*. 2014; 57: 20-26. <https://doi.org/10.1016/J.BSE.2014.07.014>
24. Yaghotipoor A., Farshadfar E. Nonparametric estimation and component analysis of phenotypic stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Biological Science*. 2007; 10: 26462-652. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2646.2652>
25. Metodicheskie ukazaniya po izucheniju kollekcii l'na (*Linum usitatissimum* L.); [Methodical instructions for studying the flax collection (*Linum usitatissimum* L)]. Ustye: RNDUP "Institute of Flax". 2011. 12.
26. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij [ Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. M: AllianCe. 2014. 351.
27. Kang M. S. A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*. 1988; 16: 113-115. [cited 2022, December 21]. Available from: <https://www.jstor.org/stable/23782771>
28. Eberhart S.A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966; 6: 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011>
29. Mohammadi R., Amri A. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica*. 2008; 159: 419-432. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9600-6>
30. Rao M., Lakshmikantha R. G., Kulkarni R. S. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model. *Helia*. 2004; 27: 59-66. <https://doi.org/10.2298/HEL0441059R>

**Conflict of interest**

The author declares no conflicts of interest. There was no funding for the work.

**Author:**

Korolev Konstantin Petrovich – Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor; e-mail: korolevkonstantin799@gmail.com.  
Tyumen State University, Tyumen, Russia.