

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>
УДК:633.521:631.529(470.5)

К.П. Королёв*, А.Н. Якубенко, Э.Н. Якубенко

ФГАОУ ВО

«Тюменский государственный университет»
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6

*Автор для переписки:

corolev.konstantin2016@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов: К. П. Королёв: концептуализация, разработка и обоснование схемы скрещиваний, проведение полевых исследований, написание и редактирование рукописи. А. Н. Якубенко, Э. Н. Якубенко: сбор, обработка, визуализация полученных экспериментальных данных.

Для цитирования: Королёв К.П., Якубенко А.Н., Якубенко Э.Н. Адаптивность гибридных популяций *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Завуралья. *Овощи России*. 2024;(5):59-63.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>

Поступила в редакцию: 02.07.2024

Принята к печати: 19.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Konstantin P. Korolev*,
Alina N. Yakubenko, Elina N. Yakubenko

Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Tyumen State University"
6, st. Volodarskogo, Tyumen, 625003, Russia

*Corresponding Author:

corolev.konstantin2016@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare
that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: K. P. Korolev: conceptualization, development and justification of the crossing scheme, conducting field studies, writing and editing the manuscript. A. N. Yakubenko, E. N. Yakubenko: collection, processing, visualization of the obtained experimental data.

For citation: Korolev K.P., Yakubenko A.N., Yakubenko E.N. Adaptability of hybrid populations of *Linum usitatissimum* L. in conditions of the Northern Transural region. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):59-63. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>

Received: 02.07.2024

Accepted for publication: 19.09.2024

Published: 27.09.2024

Адаптивность гибридных популяций *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Завуралья

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Отбор генотипов с высокими адаптивными свойствами для условий Тюменской области позволяет внести вклад в разработку региональной стратегии селекционно-генетических работ, подбору и выращиванию сортов в связи с меняющимися погодно-климатическими условиями.

Материал и методика. Исследования выполнены в течение трехлетнего периода (2020-2022 годы) в северной лесостепной зоне Тюменской области. Межсортовую гибридизацию (схема 4x4), оценку полученного материала по морфологическим (4 шт.), биологическим (1 шт.), адаптивным показателям (2 шт.) выполняли общепринятыми методиками. В качестве объектов исследования использованы 12 комбинаций льна-долгунца, впервые полученных в условиях региона.

Результаты. Определены достоверные различия ($p < 0,05^*$) между гибридными популяциями льна-долгунца по влиянию генотипа, среды, генотип-средового взаимодействия на степень реализации изученных признаков. Выявлены корреляционные взаимосвязи, определяющие содержание волокна в стебле ($r = 0,79-0,91^*$, период вегетации, высота растений, длина соцветия, мыклость), количества и массы семян на 1 растении ($r = 0,79-0,91^*$, длина соцветия, число, размер и растрескиваемость коробочки). По результатам индивидуального отбора в третьем гибридном поколении (F3) выделены раннеспелые (4 шт.), высокорослые ($n=4$), с максимальным количеством коробочек ($n=4$) и числа семян в них ($n=7$), содержанием волокна ($n=4$) в стебле комбинации.

Выводы. Гибридные комбинации льна-долгунца с высокими показателями стабильных свойств (G1, G3, G9, G10, G11), критериев продуктивности (G1, G2, G4, G7, G8, G9, G11, G12) могут иметь ценность в селекционной работе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лен-долгунец, гибриды, многофакторный анализ, индекс среды, адаптивность, продуктивность

Adaptability of hybrid populations of *Linum usitatissimum* L. in conditions of the Northern Transural region

ABSTRACT

Relevance. The selection of genotypes with high adaptive properties for the conditions of the Tyumen region allows us to contribute to the development of a regional strategy for breeding and genetic work, selection and cultivation of varieties in connection with changing weather and climatic conditions.

Material and methodology. The research was carried out over a three-year period (2020-2022) in the northern forest-steppe zone of the Tyumen region. Intervarietal hybridization (4x4 scheme), evaluation of the obtained material according to morphological (4 pcs.), biological (1 pc.), adaptive indicators (2 pcs.) was carried out using generally accepted methods. The objects of study were 12 combinations of fiber flax, first obtained in the region.

Results. Significant differences ($p < 0.05^*$) were determined between hybrid populations of fiber flax in the influence of genotype, environment, and genotype-environment interaction on the degree of implementation of the studied traits. Correlation relationships have been identified that determine the fiber content in the stem ($r = 0.79-0.91^*$, growing season, plant height, inflorescence length, softness, camber), the number and weight of seeds per plant ($r = 0.79-0.91^*$, inflorescence length, number, size and crackability of the capsule). Based on the results of individual selection in the third hybrid generation (F3), early ripening (4 pieces), tall ($n=4$), with the maximum number of bolls ($n=4$) and the number of seeds in them ($n=7$), fiber content ($n=4$) in the stem of the combination.

Conclusions. Hybrid combinations of fiber flax with high levels of stable properties (G1, G3, G9, G10, G11), productivity criteria (G1, G2, G4, G7, G8, G9, G11, G12) can be valuable in breeding work.

KEYWORDS:

fiber flax, hybrids, multivariate analysis, environmental index, adaptability, productivity

Введение

Выращивание льна определяется его комплексным использованием в различных отраслях промышленности, медицины, декоративном садоводстве. Потенциал сортов определяется их способностью формировать продуктивность при оптимальных условиях, однако в связи с меняющимися климатическими условиями, они также должны обладать и максимальной способностью к адаптации, которая является определяющим критерием для реализации генотипа в различных условиях выращивания [1-3]. Важным составляющим компонентом для селекции льна является проведение экологического испытания, использование в гибридной селекции в качестве исходных родительских форм перспективных современных сортов и образцов коллекции различного эколого-географического статуса, некоторых краевых форм и ценных гибридных линий местного экотипа [4,5,6].

Способы оценки свойств адаптивности апробированы на многих видах культурных растений. Выявлены различия между сортами чечевицы [7], картофеля [8], пшеницы [9, 10], подсолнечника [11]. Наибольший вклад генотип-средовых факторов на формирование количественных признаков установлен в условиях Пакистана [12] на растениях сои, кукурузы в Индии [13]. В исследованиях [14, 15, 16, 17] указывается на необходимость комплексной эколого-продукционной оценки сортов и форм культурных растений. На льне исследования в данном направлении фрагментарны, отражают поиск продуктивных форм, обладающих высоким адаптивным потенциалом: например, в условиях Беларуси (Институт льна НАН Беларуси) выявлены генотипы льна-долгунца, характеризующиеся высоким уровнем агро-адаптивного статуса [18,19], условиях Северо-Западного региона России (ФНЦ лубяных культур) выявлены сорта льна-долгунца с высокой урожайностью обладающих хорошей стрессоустойчивостью, генетической гибкостью, компенсаторной способностью, стабильностью, отзывчивостью на изменения условий выращивания [20, 21]. В исследованиях [22] определен вклад факторов среды в формирование продуктивности, выявлены стабильные сорта льна в трех агроэкологических пунктах Эфиопии. Отсутствие полноценной информации по реакции генотипов льна-долгунца на изменчивость экологического фактора в условиях Северного Зауралья требует проведение дополнительных исследований. Цель исследований

заключалась в выявлении гибридных комбинаций льна, характеризующихся адаптивностью и высоким уровнем проявления морфологических показателей.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования использованы гибридные популяции льна-долгунца (F1-F3): ♀Ярок х ♂Грант (G1), ♀Ярок х ♂Alizee (G2), ♀Ярок х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G3), ♀Alizee х ♂Грант (G4), ♀Alizee х ♂Ярок (G5), ♀Alizee х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G6), ♀Грант х ♂Ярок (G7), ♀Грант х ♂Alizee (G8), ♀Грант х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G9), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G10), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G11), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G12). Межсортовую гибридизацию впервые проводили на Опытном полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений (Биостанция ТюмГУ «Озеро Кучак», Нижнетавдинский р-н, Тюменская обл., географические координаты: 57°21' с.ш. и 66°04' в.д.) по методике, предложенной А.Г. Рогашем и Г. В. Дунаевой [15]. Почва участка дерново-подзолистая, супесчаная с содержанием гумуса 3,6%, подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 433,3 мг/кг почвы, обменного калия (K_2O) – 234,0 мг/кг почвы. Закладку опытов, проведение всех учетов и наблюдений проводили по Методическим указаниям [24].

Климатические условия характеризовались отклонениями от среднеемноголетних значений по температуре и количеству выпавших осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК по Селянинову) за годы исследований различался от 1,2 (засушливый) до 1,6 (влажный). Статистическую обработку полученных данных выполняли методом многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) по Б. А. Доспехову [25] в программе Statistica 6.0 (Statsoft Inc., США). Достоверность различий между генотипами определяли с использованием t-критерия Стьюдента (уровень значимости $p = 0,05$, $p = 0,01$). Экологическую оценку растений льна-долгунца выполняли согласно методу, предложенного S.A. Eberhart, W.A. Russel [26].

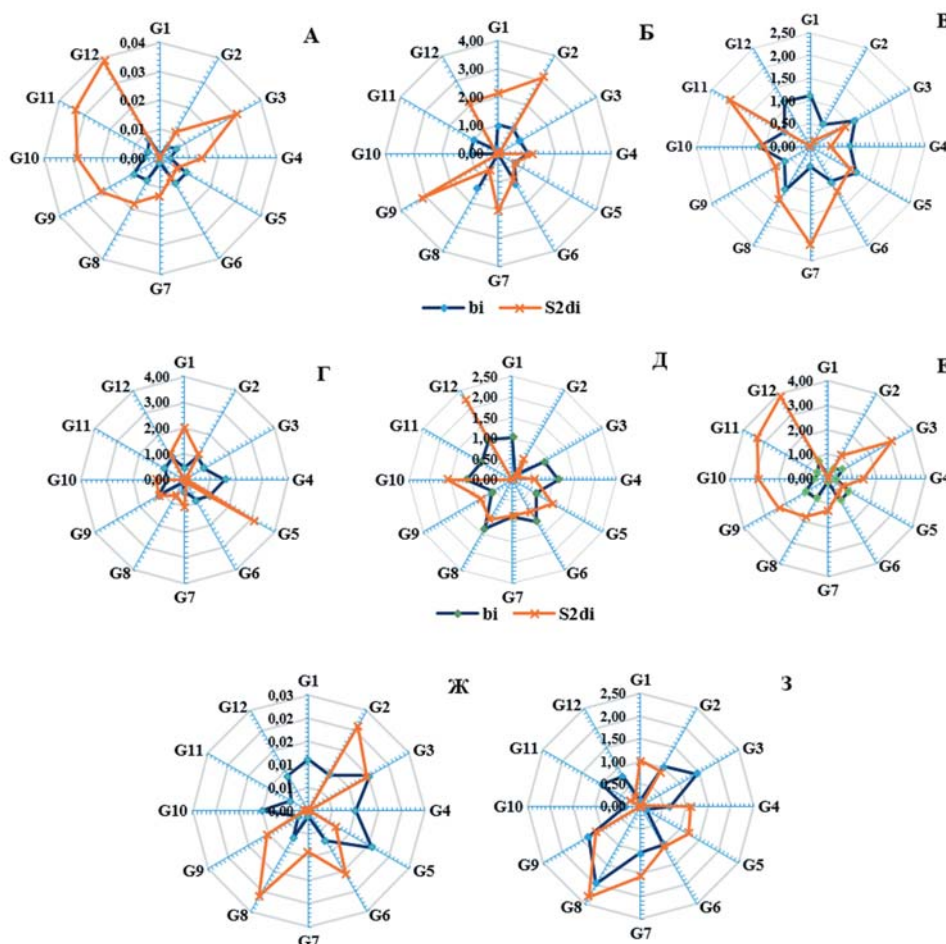
Результаты исследований

По результатам дисперсионного анализа (ANOVA) выявлены достоверные различия между гибридными комбинациями ($p > 0,05$, $p > 0,05$) (табл. 1). Значимость влияния генотип-средового взаимодействия была доказана, что позволило провести оценку их по адап-

Таблица 1. Результаты многофакторного дисперсионного анализа количественных признаков у льна-долгунца
Table 1. Results of multivariate analysis of variance of quantitative traits in fiber flax

Источник дисперсии	Степень свободы (df)	Средний квадрат (mS)						
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Общее	27	-	-	-	-	-	-	-
Генотип (фактор А)	11	25,68 **	31,15 **	21,32 **	9,85 **	21,67 **	26,57 **	1,05
Среда (фактор Б)	2	88,15 **	69,55 **	102,57 **	11,39	55,19 *	31,15 *	8,12
Взаимодействие факторов (АхБ)	5	61,14 **	88,15 **	113,66 **	10,15 **	88,16 **	45,55 **	3,04
Случайное	10	13,63	21,17	10,04	5,10	11,39	10,87	0,89

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Признаки: период вегетации (А), длина соцветия (Б) высота растений (В), содержание волокна (Г), число коробочек на 1 растении (Д), растрескиваемость коробочки (Е), мыкость (Ж), сбежистость (З).



Примечание: период вегетации (А), высота растений (Б), масса стебля (В), масса волокна (Г), содержание волокна (Д), число коробочек (Е), число семян в 1 коробочке (Ж), мыклость (З)

Рис. Характеристика гибридных комбинаций льна-долгунца по параметрам адаптивности, Нижнетавдинский р-н, Тюменская область, 2020-2022 годы

Fig. Characteristics of hybrid flax-fiber flax combinations according to adaptability parameters, Nizhnetavdinsky district, Tyumen region, 2020-2022

тивным свойствам. Наибольшее влияние генотипа выявлено по всем признакам (исключение мыклость), средовые условия оказывали влияние на период вегетации, высоту растений, длину соцветия, число коробочек и их растрескиваемость, генотип-средовое взаимодействие обуславливало формирование всех показателей (исключение мыклость).

В Тюменской области в последние годы участились периоды с контрастным выпадением или недостатком влаги, проявлением негативного влияния пониженных температур в период прорастания и появления всходов, высоких – во время формирования вегетативных и генеративных органов, что в конечном итоге оказывает влияние на конечную продуктивность и качество продукции льна. Для выявления адаптивных свойств гибридных комбинаций проводили экологический тестинг, в результате которого выявлены различия между ними по комплексу изученных признаков и свойств (см. рис.)

Примечание: период вегетации (А), высота растений (Б), масса стебля (В), масса волокна (Г), содержание волокна (Д), число коробочек (Е), число семян в 1 коробочке (Ж), мыклость (З)

Важным направлением селекционных исследований является поиск генотипов растений с высоким потенциалом продуктивности и адаптивностью, при этом сложный характер фактора «генотип-среда», не всегда позволяет наиболее точно отобрать ценные генотипы

на раннем этапе селекции растений [18,19]. Следует иметь полную информацию о стабильности проявления признаков, прежде всего продуктивности, качества, достоверную характеристику более благоприятных сред для проведения индивидуального отбора.

Для определения адаптивного потенциала представленный набор родительских форм и гибридных комбинаций был подвергнут обработке методом Eberhart, Russell [26], в соответствии с которым были выделены несколько групп генотипов по отзывчивости на изменения условий выращивания. К первой, отзывчивым ($bi < 1$, $S2di = 0$) были отнесены G1-G4, G7, G8, G10-G12 (период вегетации); G3-G5, G7, G9-G12 (высота растений); G2, G4, G6, G7, G9, G11 (масса стебля); G1, G3, G4, G8, G10, G12 (масса волокна); G2-G5, G7-G12 (содержание волокна); G1-G4, G7-G8, G10-G12 (число коробочек); G2, G4, G6-G9, G11-G12 (число семян в 1 коробочке); G1, G4-G6, G10-G12 (мыклость). В группу стабильных ($bi = 1,0$, $S2di = 0$) вошли G10-G11 (высота растений); G1 (содержание волокна). Слабой отзывчивостью ($bi > 1$, $S2di = 0$) по периоду вегетации характеризовались G5, G6, G9; по высоте растений – G1, G2, G4, G6, G8; массе стебля – G1, G3, G5, G8, G10-G12; массе волокна – G2, G9, G11; содержанию волокна – G4, G6, G8, G10, G12; числу коробочек – G5, G6, G9; числу семян в 1 коробочке – G1, G3, G5, G7, G8, G10; мыклости – G2, G3, G7-G9.

Таблица 2. Корреляционная матрица количественных признаков у гибридных популяций льна-долгунца, 2020-2022 годы
Table 2. Correlation matrix of quantitative traits in hybrid populations of fiber flax, 2020-2022

r	ПВ	ВР	ДС	СВ	ЧК	ЧС	РК	Р	М	
ПВ	1,00	0,43	0,55*	0,51	0,61*	0,53	0,40	0,20	0,39*	а
ВР	0,43	1,00	0,70**	0,74**	0,65*	0,80**	0,64*	-0,11	0,81*	б
ДС	0,55*	0,70**	1,00	0,68**	0,81**	0,77**	0,63*	0,22	0,34*	в
СВ	0,51	0,74**	0,68**	1,00	-0,35*	0,10	-0,15	-0,01	0,64*	г
ЧК	0,61	0,65*	0,81**	0,35	1,00	0,69**	0,52	0,04	-0,25	д
ЧС	0,53	0,80**	0,77**	0,10	0,69**	1,00	0,51	0,72**	-0,11	
РК	0,40	0,64*	0,63*	-0,15	0,52	0,51	1,00	0,43	0,02	
Р	0,20	-0,11	0,22	-0,01	0,04	0,72**	0,43	1,00	0,09	
М	0,39	0,81**	0,34	0,64**	-0,25	-0,11	0,02	0,09	1,00	
С	0,19	0,71**	0,45	0,73**	-0,15	0,03	0,01	0,10	-0,19	

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$; Признаки: период вегетации (ПВ), высота растений (ВР), длина соцветия (ДС), содержание волокна (СВ), число коробочек на 1 растении (ЧК), число семян в 1 коробочке (ЧС), размер коробочки (РК), растрескиваемость коробочки (Р), мыклость (М). Сила связи: очень слабая (а; $r = 0,0-0,3$), слабая (б; $r = 0,3-0,5$), средняя (в; $r = 0,5-0,7$), сильная (г; $r = 0,7-0,9$), очень сильная (д; $r = 0,9-1,0$)

Изученные гибридные комбинации, различающиеся по набору морфо-биологических признаков, подвергали обработке методом корреляционного анализа. В результате, была установлена различная степень сопряженности признаков (табл.2).

Выявлена достоверная ($p < 0,05$) сильная корреляционная связь ($r = 0,72-0,81^*$), которой характеризовались показатели, определяющие продуктивность растений льна-долгунца (размеры, число коробочек, и семян в них, масса и содержание волокна, мыклость) с высотой растений и длиной соцветия. Средней силой связи ($r = 0,50-0,70^*$) характеризовались признаки периода вегетации и некоторые параметры коробочек. Слабая связь ($r = 0,34-0,45$) была отмечена между длиной соцветия и мыклостью, период вегетации с высотой растений. Очень слабая прямая и обратная связь ($r = 0,01-0,25$) была определена у гибридов льна между периодом вегетации, высотой растений, содержанием волокна и критериями коробочек, мыклостью.

Выводы

На основании проведенных исследований достоверно установлено влияние генотипа, средовых условий и взаимодействия генотипа с окружающей средой. Наибольший вклад в формирование вегетацион-

ного периода вносили фактор Б (43,5-61,2%), высоты растений – фактор АхБ (37,8-41,1%), массы стебля – фактор АхБ (35,7-54,8%), содержание волокна – фактор А (35,7-56,9%), числа коробочек – фактор Б (43,6-62,3%), числа семян в 1 коробочке – фактор АхБ (53,6-57,9%). К отзывчивым генотипам по периоду вегетации было отнесено 9 комбинаций, по высоте растений – 8 шт., по массе стебля – 6 шт., по массе волокна – 9 шт., содержанию волокна – 7 шт., по числу коробочек – 9 шт., числу семян в 1 коробочке – 6 шт., по мыклости – 7 шт. В группу стабильных вошли 5 комбинаций по признакам высоты растений, содержанию волокна. Остальные генотипы были отнесены к слабоотзывчивым. К гибридным комбинациям, имеющим практическую ценность для дальнейшего индивидуального отбора, можно отнести комбинации ♀Ярок х ♂Грант (G1), ♀Ярок х ♂Alizee (G2), ♀ Alizee х ♂Грант (G4), ♀ Грант х ♂Ярок (G7), ♀ Грант х ♂ Alizee (G8), ♀ Грант х ♂ Betertelsdorf 6884/60 (G9), ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G11), ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G12). Перспективными комбинациям, сочетающие проявление высокого содержания волокна и стабильности являются ♀Ярок х ♂Грант (G1), мыклости ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G11), ♀ Грант х ♂ Betertelsdorf 6884/60 (G9).

Литература

1. Павлова Л.Н. Этапы развития селекционной работы по льну-долгунцу: достижения и основные направления. Научные достижения – льноводству. 2010. С. 39-45.
2. Жученко мл. А.А., Рожмина Т.А., Понажев В.П., Павлова Л.Н., Тихомирова В. Я., Сорокина О.Ю., Павлов Е.И., Поздняков Б.А., Усанова З.И. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь: Тверской ГУ, 2009. 272 с.
3. Жученко А.А. Роль адаптивной системы земледелия в растениеводстве XXI века. Коммерческие сорта новых культур Российской Федерации. Москва: ИКАР, 2003. С.10-15.
4. Кутузова С.Н., Брач Н.Б., Пороховина Е.А., Павлов А.В., Шаров И.Я. Проблема селекции льна-долгунца и исходный материал для их решения в коллекции ВИР. Научные достижения – льноводству. 2010. С. 28-35.
5. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013;13:78. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>
6. Wang Z., Hobson N., Galindo L., Zhu S., Shi D., McDill J., Yang L., Hawkins S., Neutelings G., Datla R., Lambert G., Galbraith D.W., Grassa C.J., Geraldine A., Cronk Q.C., Cullis C., Dash P.K., Kumar P.A., Cloutier S., Sharpe A.G., Wong G.K., Wang J., Deyholos M.K. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal*. 2012;72(3):461-473. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2012.05093.x>
7. Mohebdini M., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. Stability of performance in lentil (*Lens culinaris* Medic.) Genotypes in Iran. *Euphytica*; 2006.(149):343-352. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9086-7>
8. Mushinskiy A.A., Aminova E.V., Fedotova L.S., Dergileva T.T. Evaluation of potato tubers of Nevsky variety and selection hybrids by amino acid composition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012155>
9. Суринов Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес). Новосибирск. 2011. 708 с.
10. Abdulahi A. Stability analysis of seed yield in safflower genotypes in Iran *Acta Agronomica Hungarica*. 2009;57(2):189-195. <https://doi.org/10.1556/AAgr.57.2009.2.10>
11. Abdulhamid M., Qabil N., El-Saadony F. Genetic variability, correlation and path analyses for yield and yield components of some bread wheat genotypes. *Journal of Plant Production*. 2017;(8):845-852. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40877>
12. Rani R., Raza G., Ashfaq, H., Rizwan M., Shimelis H., Tung M. H., Arif M. Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*. 2023;13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090994>

13. Singamsetti A., Shahi J.P., Zaidi P.H., Seetharam K., Vinayan M.T., Kumar M., Singla S., Madankar K. Genotype × environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. *Field Crops Research*. 2021;(270):108224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108224>
14. Duarte J.B., de Zimmermann M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. *Crop Science*. 1995;35(3):905912. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500030046x>
15. Padi F.K. Genotype × environment interaction and yield stability in a cowpea-based cropping system. *Euphytica*. 2007;(158):11–25. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9420-8>
16. Purchase J.L., Hatting H., Van Deventer C. S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 2000;(17):101–107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
17. Adugna W., Labuschagne M. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*. 2003;(129):211–218. <https://doi.org/10.1023/A:1021979303319>
18. Полонетская Л.М. Потенциал генетической изменчивости у сортов масличного льна (*Linum usitatissimum* L.). *Вестник нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2004;(1):58–63.
19. Королёв К.П. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):615–621. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> <https://elibrary.ru/yzkvvmh>
20. 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;21(2):141–151. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151> <https://elibrary.ru/aybhkh>
21. Куземкин И.А., Рожмина Т.А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):666–674. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> <https://elibrary.ru/npvlyv>
22. Worku N., Heslop-Harrison J.S., Adugna W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2015; 62:1037–1053 <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>
23. Рогаш А.Р. К вопросу о методике гибридизации льна. *Лен и конопля*. 1969;(6):32–33.
24. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.); под ред. В.З. Богдана. Устье: РНДУП «Ин-т льна», 2011. 12 с.
25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2014. 351 с.
26. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;(6):36–40.
7. Mohebdini M., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. Stability of performance in lentil (*Lens culinaris* Medic.) Genotypes in Iran. *Euphytica*; 2006.(149):343–352. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9086-7>
8. Mushinskiy A.A., Aminova E.V., Fedotova L.S., Dergileva T.T. Evaluation of potato tubers of Nevsky variety and selection hybrids by amino acid composition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012155>
9. Surin N.A. Adaptive potential of Siberian grain crop varieties and ways of its improvement (wheat, barley, oats). Novosibirsk. 2011. 708 p. (In Russ.)
10. Abdulahi A. Stability analysis of seed yield in safflower genotypes in Iran *Acta Agronomica Hungarica*. 2009;57(2):189–195. <https://doi.org/10.1556/AAgr.57.2009.2.10>
11. Abdulhamid M., Qabil N., El-Saadony F. Genetic variability, correlation and path analyses for yield and yield components of some bread wheat genotypes. *Journal of Plant Production*. 2017;(8):845–852. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40877>
12. Rani R., Raza G., Ashfaq, H., Rizwan M., Shimelis H., Tung M. H., Arif M. Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*. 2023;13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090994>
13. Singamsetti A., Shahi J.P., Zaidi P.H., Seetharam K., Vinayan M.T., Kumar M., Singla S., Madankar K. Genotype × environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. *Field Crops Research*. 2021;(270):108224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108224>
14. Duarte J.B., de Zimmermann M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. *Crop Science*. 1995;35(3):905912. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500030046x>
15. Padi F.K. Genotype × environment interaction and yield stability in a cowpea-based cropping system. *Euphytica*. 2007;(158):11–25. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9420-8>
16. Purchase J.L., Hatting H., Van Deventer C. S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 2000;(17):101–107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
17. Adugna W., Labuschagne M. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*. 2003;(129):211–218. <https://doi.org/10.1023/A:1021979303319>
18. Полонетская Л.М. Потенциал генетической изменчивости у сортов масличного льна (*Linum usitatissimum* L.). *Вестник нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2004;(1):58–63. (In Russ.)
19. Королёв К.П. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси. *Сельскохозяйственная биология*. 2017; 52. (3): 615–621. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> <https://elibrary.ru/yzkvvmh>
20. 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;21(2):141–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151> <https://elibrary.ru/aybhkh>
21. Kuzemkin I.A., Rozhmina T.A. Screening of flax collection accessions for yield and adaptability parameters in the conditions of the North-West region. *Agricultural Science of Euro-North-East*. 2022;23(5):666–674. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> <https://elibrary.ru/npvlyv>
22. Worku N., Heslop-Harrison J.S., Adugna W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2015; 62:1037–1053 <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>
23. Rogash A.R. On the Methodology of Flax Hybridization. *Flax and Hemp*, 1969; (6): 32–33. (In Russ.)
24. Methodical Guidelines for Studying the Flax Collection (*Linum usitatissimum* L.); edited by V.Z. Bogdan. Usty: RNDUP "In-t Flax", 2011. 12 p. (In Russ.)
25. Dospekhov B.A. Field Experiment Methodology (with the Basics of Statistical Processing of Research Results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (In Russ.)
26. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;(6):36–40.

• References (In Russ.)

1. Pavlova L.N. Stages of development of selection work on fiber flax: achievements and main directions. Scientific achievements - flax growing. 2010. P.39–45. (In Russ.)
2. Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A., Ponazhev V.P., Pavlova L.N., Tikhomirova V.Ya., Sorokina O.Yu., Pavlov E.I., Pozdnyakov B.A., Usanova Z.I. Ecological and genetic bases of selection of fiber flax. Tver: Tver State University, 2009. 272 p. (In Russ.)
3. Zhuchenko A. A. The role of the adaptive farming system in crop production of the 21st century. Commercial varieties of new crops of the Russian Federation. Moscow: IKAR, 2003. P.10–15. (In Russ.)
4. Kutuzova S.N., Brach N.B., Porokhovina E.A., Pavlov A.V., Sharov I.Ya. The problem of fiber flax breeding and the source material for their solution in the VIR collection. Scientific achievements in flax growing. 2010. P. 28–35. (In Russ.)
5. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013;13:78. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>
6. Wang Z., Hobson N., Galindo L., Zhu S., Shi D., McDill J., Yang L., Hawkins S., Neutelings G., Datla R., Lambert G., Galbraith D.W., Grassa C.J., Geraldine A., Cronk Q.C., Cullis C., Dash P.K., Kumar P.A., Cloutier S., Sharpe A.G., Wong G.K., Wang J., Deyholos M.K. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal*. 2012;72(3):461–473.

Об авторах:

Константин Петрович Королёв – кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, автор для переписки, corolev.konstantin2016@yandex.ru, SPIN-код: 9597-4011, <http://orcid.org/0001-0001-9595-3493>

Алина Николаевна Якубенко – студент бакалавриата

Элина Николаевна Якубенко – студент бакалавриата

About the Authors:

Konstantin P. Korolev – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Corresponding Author, corolev.konstantin2016@yandex.ru, SPIN-code: 9597-4011, <http://orcid.org/0001-0001-9595-3493>

Alina N. Yakubenko – undergraduate student

Elina N. Yakubenko – undergraduate student