

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.521:631.527
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117



Фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья

К. П. Королев, Н. А. Боме, Н. Н. Колоколова

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Константин Петрович Королев, corolev.konstantin2016@yandex.ru

Актуальность. Одним из путей повышения производства льна является расширение посевных площадей, в том числе в зонах нетрадиционных для его выращивания. Для решения этой задачи необходим тщательный подбор сортов, способных давать стабильные высокие урожаи и обладать конкурентоспособным качеством сырья. Цель исследования заключалась в выявлении потенциала адаптивности образцов и выделении источников ценных свойств для их использования в условиях Северного Зауралья.

Материалы и методы. В полевых условиях юга Тюменской области в 2017–2020 гг. было проведено изучение 60 образцов льна. Фенотипический скрининг проводили с использованием Международного классификатора и дескриптора вида *Linum* по показателям полевой всхожести семян, высоте растений, урожайности семян, льносоломы, тресты, волокна. Статистическая обработка данных выполнена методами многофакторного дисперсионного и корреляционного анализа. Экологический скрининг выполняли по S.A. Eberhart, W.A. Russell.

Результаты и заключение. На основании многолетних данных выявлены источники признаков: полевая всхожесть семян – 4; высота растения – 4; продолжительность вегетационного периода – 11; урожайность: соломы – 21; тресты – 19; семян – 9; урожайность всего волокна – 6; масса 1000 семян – 5 образцов. Установлено, что проявление признаков в большей степени обусловлено влиянием фактора «окружающая среда» и сложным взаимодействием «генотип × среда». По результатам баллового ранжирования выделено 12 образцов, которые могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции. С помощью корреляционного анализа в среднем за годы исследований обнаружены высокие и стабильные прямые взаимосвязи урожайности соломы ($r = 0,73-1,00$) и тресты ($r = 0,68-1,00$) с высотой растений. В относительно благоприятных для роста и развития растений условиях вегетационных периодов 2017 и 2020 г. возрастало влияние полевой всхожести семян на высоту растений ($r = 0,62-1,00$), урожайность соломы ($r = 0,78-1,00$), семян ($r = 0,52-0,91$).

Ключевые слова: лен, генотип, факторы среды, адаптивность, всхожесть семян, высота растений, продуктивность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FEWZ-2021-0007 «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зауралья».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Королев К.П., Боме Н.А., Колоколова Н.Н. Фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):102-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals

Konstatin P. Korolev, Nina A. Bome, Natalya N. Kolokolova

University of Tyumen, Tyumen, Russia

Corresponding author: Konstatin P. Korolev, korolev.konstantin2016@yandex.ru

Background. One of the ways to increase flax production is to expand cropping areas, including nontraditional ones. To solve this problem, it is necessary to carefully select cultivars that can produce stable high yields and have competitive raw material quality. The aim of this study was to identify the adaptability potential of flax accessions and select sources of valuable properties for their use under the conditions of the Northern Trans-Urals.

Materials and methods. Sixty flax accessions were studied in the fields of the south of Tyumen Province in 2017–2020. Phenotypic screening was performed according to the published lists of descriptors, taking into account outdoor seed germination, plant height, seed yield, flax straw, retted stalks, and fiber. Statistical data processing included the multivariate analysis of variance and correlation analysis. Environmental screening was performed according to S. A. Eberhart, W. A. Russell.

Results and conclusion. Based on the long-term data, sources of traits were identified: 4 for outdoor seed germination, 4 for plant height, 11 for the duration of the growing season, 21 for straw yield, 19 for the yield of retted stalks, 9 for seed yield, 6 for total fiber yield, and 5 for 1000 seed weight. The manifestation of traits was shown to be largely induced by the impact of the environment factor and the complex genotype × environment interaction. On the basis of screening results, 12 accessions were selected. The correlation analysis helped to find out that on average over the years of research there were high and stable direct relationships of the yield of straw ($r = 0.73-1.00$) and retted stalks ($r = 0.68-1.00$) with plant height. Under relatively favorable conditions for plant growth and development during the growing seasons of 2017 and 2020, the influence of outdoor seed germination on plant height ($r = 0.62-1.00$), straw yield ($r = 0.78-1.00$), and seed yield ($r = 0.52-0.91$) increased.

Keywords: flax, genotype, environmental factors, adaptability, seed germination, plant height, productivity

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation: No. FEWZ-2021-0007 "Adaptability of agricultural plants under the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Korolev K.P., Bome N.A., Kolokolova N.N. Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):102-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

Введение

Лен является одним из древнейших растений многоцелевого использования. В настоящее время его выращивают в Европе, Канаде, Индии, Китае, США (FAO, 2020), при этом общемировая площадь посевов составляет от 0,3 млн га (лен-долгунец) до 2,5 млн га (лен масличный). В Российской Федерации (EMISS..., 2019) посевы льна-долгунца составляют 49,7 тыс. га, из них наибольшие площади сосредоточены на территории Омской (5,2 тыс. га), Тверской (5,0 тыс. га), Смоленской (4,8 тыс. га), Вологодской (4,7 тыс. га), Нижегородской (4,5 тыс. га), Курганской (3,2 тыс. га) областей, Алтайского края (4,3 тыс. га), Удмуртской республики (4,0 тыс. га). Следует отметить, что культивированием льна также занимаются в Республике Татарстан, Республике Дагестан, Республике Марий Эл, Брянской, Ярославской, Новосибирской, Псковской, Томской, Новгородской, Волгоградской, Белгородской, Владимирской областях.

Одним из показателей, характеризующих вид, является генетическое разнообразие (Sheidai, 2008; Sheidai et al, 2013; Porokhvinova et al, 2021), которое способно обеспечить необходимый генетический материал для адаптации к изменчивости биотических и абиотических факторов окружающей среды. Широкое использование морфологического скрининга сортов требует значительных затрат, так как признаки могут подвергаться действию экологических факторов (Diederichsen, 2001; Diederichsen, Raney, 2006; Saeidi, 2008). «Золотым фондом» коллекций считаются стародавние сорта и местные формы, полученные в результате длительного естественного и искусственного отбора (Zhuchenko, Rozhmina, 2000). Несомненно, ведущая роль в расширении посевов в Западной Сибири принадлежит урожайным, устойчивым к полеганию и болезням сортам льна-долгунца (Керков, 1997). Агроклиматическое разнообразие условий Российской Федерации ставит перед селекцией задачи, направленные на создание экологически дифференцированных сортов, которые за счет повышения адаптивного потенциала и устойчивости к экстремальным факторам среды могут формировать стабильные урожаи.

Сортовой ассортимент льна-долгунца достаточно разнообразен и представлен 67 сортами, из них 11 сортов рекомендованы для выращивания в Западно-Сибирском регионе (State Register..., 2021). Следует отметить, что в Тюменской области лен-долгунец практически не выращивается, что отчасти обусловлено отсутствием современных районированных сортов с высоким потенциалом продуктивности и адаптивности к контрастным почвенно-климатическим условиям, однако при этом известно, что первые попытки выращивания льна относятся к концу XIX в. – началу XX в. (Aksarin, Korolev, 2021).

Существует связь стабильности признаков растений с их адаптивным потенциалом, который проявляется в разных условиях среды в виде различных физиологических, морфологических и других приспособительных реакций (Zhuchenko, 1980, 2000). Данных по экологическому изучению сортов, новых гибридных и мутантных форм льна-долгунца к настоящему времени получено недостаточно (Korolev, Bome, 2017; Korolev et al, 2018), что определяет актуальность исследований по подбору сортов для агроценозов северных широт, важной составляющей которых является определение вклада генотипа и условий выращивания в фенотипическую изменчивость количественных признаков.

Цель настоящего исследования – изучение реакции образцов льна на абиотические условия Северного Зауралья и выделение лучших по хозяйственно ценным признакам.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета (ТюмГУ) в 2017–2020 гг. Полевые опыты проводили на полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений (биостанция ТюмГУ «Озеро Кучак», Тюменская область, Нижнетавдинский район: 57°40' с. ш. и 66°10' в. д., 57,0 м – высота над уровнем моря). Объект исследования – 60 образцов льна различного эколого-географического происхождения. Материал был представлен стародавними образцами и селекционными сортами, полученными из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и от оригинаторов сортов льна (табл. 1).

Учетная площадь делянки – 1 м², повторность трехкратная, размещение делянок в опыте рандомизированное. Семена высевали вручную в I–II декадах мая при достижении температуры почвы 8°C на глубине 10 см. Лабораторная всхожесть семян изученных образцов составила 92–96%. Посев выполнен под маркер из расчета 200 семян на 1 погонный метр ряда, количество рядков на делянке – 10, глубина заделки семян – 1–2 см. Почва дерново-подзолистая супесчаная с содержанием гумуса 3,67%, подвижных форм фосфора – 3434 мг/кг, обменного калия – 234,00, кальция – 3362,33, меди – 55,41, железа – 3553,51, магния – 1125,37, цинка – 402,52 мг/кг почвы. Предшественник – зерновые культуры. При появлении массовых всходов льна подсчитывали количество взошедших растений и по отношению к высеванному семенам рассчитывали полевую всхожесть (%). В фазе полного цветения измеряли высоту (от поверхности почвы до самой верхней части растения) 10 растений на каждой опытной делянке. Уборку растений льна с каждой делянки осуществляли при наступлении фазы ранней желтой спелости и оставляли в снопах на экспериментальном участке на 2–3 дня. После отделения семян от стеблей была определена урожайность соломы. Лыготресту получали методом росной мочки стеблей на травяном покрове из многолетних злаковых трав в течение 10–14 дней, при этом льносолому дважды оборачивали. Проводили просушивание тресты и по мере ее готовности взвешивали. После очистки семян определяли их урожайность.

Описание и распределение сортов на группы по морфобиологическим показателям проводили в соответствии с методическими указаниями (Kutuzova, Pitko, 1988; Bogdan, 2011), Международным классификатором вида *Linum usitatissimum* L. (Rykova, 1989), Descriptor list for flax (*Linum usitatissimum* L.) (Nozkova, et al, 2016).

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по среднесуточной температуре воздуха, количеству выпавших осадков, что позволило более полно выявить потенциал изученных сортов льна. Расчет гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (Selyaninov, 1928) показал, что условия 2018 и 2020 г. были слабозасушливыми (ГТК = 1,2 и 1,3 соответственно), 2017 и 2019 г. – влажными (ГТК = 1,5 и 1,6 соответственно).

Таблица 1. Характеристика сортов, участвовавших исследовании
Table 1. Characteristics of the cultivars participating in the study

Номер каталога	Название образца	Страна происхождения	Тип льна
к-5398 <input type="checkbox"/>	Велижский кряж	Россия	Лен-долгунец
к-5404 <input type="checkbox"/>	Печерский кряж	Россия	Лен-долгунец
к-6955 <input type="checkbox"/>	403-4	Россия	Лен-долгунец
к-8344 <input type="checkbox"/>	Антей	Россия	Лен-долгунец
к-8152 <input type="checkbox"/>	Прибой	Россия	Лен-долгунец
к-7962 <input type="checkbox"/>	Русич	Россия	Лен-долгунец
к-7803 <input type="checkbox"/>	Смолич	Россия	Лен-долгунец
к-7461 <input type="checkbox"/>	С-108	Россия	Лен-долгунец
к-8381 <input type="checkbox"/>	Лидер	Россия	Лен-долгунец
к-8153 <input type="checkbox"/>	Восход	Россия	Лен-долгунец
к-8411 <input type="checkbox"/>	Орион	Россия	Лен-долгунец
к-8410 <input type="checkbox"/>	Норд	Россия	Лен-долгунец
к-8504 <input type="checkbox"/>	Добрыня	Россия	Лен-долгунец
к-25 <input type="checkbox"/>	Пересвет	Россия	Лен-долгунец
к-26 <input type="checkbox"/>	Квартет	Россия	Лен-долгунец
к-7694 <input type="checkbox"/>	Томский-16	Россия	Лен-долгунец
к-8002 <input type="checkbox"/>	Томский-17	Россия	Лен-долгунец
к-8003 <input type="checkbox"/>	Томский-18	Россия	Лен-долгунец
к-8154 <input type="checkbox"/>	ТОСТ	Россия	Лен-долгунец
к-8246 <input type="checkbox"/>	ТОСТ-3	Россия	Лен-долгунец
к-8247 <input type="checkbox"/>	ТОСТ-4	Россия	Лен-долгунец
к-8560 <input type="checkbox"/>	ТОСТ-5	Россия	Лен-долгунец
к-8559 <input type="checkbox"/>	Памяти Крепкова	Россия	Лен-долгунец
к-35 <input type="checkbox"/>	Томич	Россия	Лен-долгунец
к-8172 <input type="checkbox"/>	Импульс	Россия	Лен-долгунец
к-7254 <input type="checkbox"/>	Союз	Россия	Лен-долгунец
к-7563 <input type="checkbox"/>	36.3.-4	Беларусь	Лен-долгунец
к-1 <input type="checkbox"/>	Грант	Беларусь	Лен-долгунец
к-13 <input type="checkbox"/>	Веста	Беларусь	Лен-долгунец
к-9 <input type="checkbox"/>	Ива	Беларусь	Лен-долгунец
к-68 <input type="checkbox"/>	Дукат	Беларусь	Лен-долгунец

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Номер каталога	Название образца	Страна происхождения	Тип льна	
к-2	△	Маяк	Беларусь	Лен-долгунец
к-6	△	Рубин	Беларусь	Лен-долгунец
к-8	△	Мара	Беларусь	Лен-долгунец
к-6887	○	Ярок	Беларусь	Лен-долгунец
к-7480	□	Глілум	Украина	Лен-долгунец
к-7787	□	Зоря-87	Украина	Лен-долгунец
к-7467	□	Львівській-7	Украина	Лен-долгунец
к-7584	□	Urite-2	Литва	Лен-долгунец
к-6885	□	Ikar 332	Румыния	Лен-долгунец
к-6676	□	Karnobat-448	Венгрия	Лен-долгунец
к-8230	□	Wiko	Польша	Лен-долгунец
к-7159	□	Izolda	Польша	Лен-долгунец
к-6888	□	Betertelsdorf 6884/60	Германия	Лен-долгунец
к-8494	□	Alizee	Франция	Лен-долгунец
к-8493	□	Drakkar	Франция	Лен-долгунец
к-8288	□	Hermes	Франция	Лен-долгунец
к-6305	□	Sheyenne	США	Межеумок
к-4035	□	Ottawa 770 B	Канада	Межеумок
к-55	△	Suzanne	Нидерланды	Лен-долгунец
к-8345	□	Marylin	Нидерланды	Лен-долгунец
к-6707	□	Tammes v(2-69)	Нидерланды	Лен-долгунец
к-6656	□	Svalof 0232	Швеция	Лен-долгунец
к-7706	□	Currong	Австралия	Лен-долгунец
к-6746	□	Aoyagi	Япония	Лен-долгунец
к-42	△	Honkei 41	Япония	Лен-долгунец
к-6965	□	Comun del Peru L5	Перу	Лен-долгунец
к-5506	□	Luzacija	Чехия	Лен-долгунец
к-8288	□	Texa	Чехия	Лен-долгунец
к-6907	□	4.911-4.-1.8	Аргентина	Лен-долгунец

Примечание: номер каталога: □ – ВИР; △ – ВНИИЛ; ○ – Институт биологии ТюмГУ

Note: catalogue number: □ – VIR; △ – Research Institute of Flax; ○ – Institute of Biology, University of Tyumen

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием общепринятой методики полевого опыта Б. А. Доспехова (Dospikhov, 2014.), расчет экологических показателей (b_p , S^2d) осуществляли по методу S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966).

Результаты и обсуждение

Одним из показателей, отражающих потенциал сорта при интродукции, является полевая всхожесть семян. Факторы, оказывающие влияние на данный критерий, многогранны. Для формирования оптимального числа всходов в полевых условиях необходимы семена с хорошей лабораторной всхожестью, также необходимо учитывать почвенно-климатические условия, биологические особенности растений. При этом немаловажна роль генотипа и его взаимодействия с окружающей средой (Kurt, 2010).

Продолжительность вегетационного периода изменялась по образцам за годы исследований от 77 до 90 суток при среднем значении 80 суток. В коллекции к раннеспелым было отнесено 11 образцов (18,3%), средне-спелым – 38 (63,4%), позднеспелым – 11 (18,3%) образцов. Раннеспелая группа представлена образцами: Печерский кряж (к-5404), Велижский кряж (к-5398), 'Восход' (к-8153), 'Маяк' (к-2 ВНИИЛ), 'Рубин' (к-6 ВНИИЛ), 'Томский-16' (к-7694), 'Тост-4' (к-8247), 'Памяти Крепкова' (к-8559), 'Karnobat-448' (к-6676), 'Ikar 332' (к-6885), 'Betertelsdorf 6884/60' (к-6888) со средним периодом вегетации данной группы 77 суток.

В таблице 2 представлено распределение изученных образцов льна на группы по уровню фенотипического проявления количественных признаков. На показатели, характеризующие способность семян к прорастанию, существенное влияние оказывали особенности генотипов и условия вегетационных периодов. В полевом опыте первые всходы льна-долгунца отмечали на третьи – пятые сутки, массовые – на седьмые – девятые. В среднем за годы исследования по изученным генотипам полевая всхожесть семян составляла 59,8%. Максимальные значения признака отмечали у образцов Велижский кряж, '403-4' (к-6955), Печерский кряж, 'Томский-18' (к-8003), 'Рубин': 70,4%; 70,6%; 71,2%; 71,2% и 71,4% соответственно. Следует отметить, что в 2018 г. установлена самая низкая полевая всхожесть, что связано прежде всего с пониженной температурой воздуха (на 3,1–5,3°C ниже нормы) и недостатком влаги (7,2–54,0% к норме) в период прорастания семян и появления всходов. По усредненным данным, генотипы были условно распределены на две группы: с низкой (< 60,0%) и средней (60,0–80,0%) полевой всхожестью семян, в которые вошли 26 и 34 образца соответственно.

Высота растений является одним из признаков, имеющих большое значение при создании высоковолокнистых сортов льна-долгунца. Климатические факторы и сортовые особенности могут оказывать влияние на данный показатель. По нашим данным, в годы исследования признак был относительно стабильным и составлял в среднем 89,3 см (2020 г.) – 86,5 см (2018 г.) Выделено 3 группы образцов по общей высоте растений: низкие (68,0–84,3 см) – 20, средние (84,5–101,4 см) – 37, высокие (102,5–103,9 см) – 3, при этом 5,0% генотипов было отнесено к группе высоких и 61,7% – средних растений. Из высокорослых следует отметить 'Wiko' (к-8230) – 102,5 см, 'Ива' (к-9 ВНИИЛ) – 103,2 см, 'Alizee' (к-8494) – 103,9 см (см. табл. 2).

Главной характеристикой, определяющей ценность каждого сорта, является продуктивность. У льна-долгунца основными показателями являются: урожайность соломы, тресты, волокна, семян, на которые оказывают влияние факторы различной природы.

Выявлено влияние продолжительности вегетационного периода, сортовых особенностей (Zajas et al., 2005), густоты стояния растений (Zubal, 2012), общего количества коробочек на растении и их обсемененности (Witkovich et al., 2005) на конечную продуктивность растений и дальнейшее практическое использование льна.

В соответствии с Международным классификатором вида *Linum usitatissimum* L. (Rukova, 1989) для характеристики сортов по фенотипическим признакам используют процентное соотношение показателей каждого испытуемого сорта и стандартов. В связи с тем, что в настоящее время в Тюменской области нет районированных сортов льна, мы в качестве стандарта использовали среднее значение признака по изученному набору генотипов. Такой подход позволил выявить образцы (по отношению к условному стандарту) с очень низкой (36,6–64,2%), низкой (66,0–85,5%), средней (88,2–105,0%), высокой (106,8–112,6%), очень высокой (116,1–178,5%) урожайностью семян. Наибольший интерес для селекционных программ и внедрения в практику представляют 19 генотипов, характеризующихся высокими показателями семенной продуктивности.

Полиморфизм вида льна отчасти может быть расширен селективным воздействием (Крепков, 2004). Урожайность соломы составляла от 137,4 г/м² в 2020 г. до 456,2 г/м² в 2019 г. На основе расчетного показателя отношения урожайности каждого образца к средней по коллекции выделено 5 групп (см. табл. 2). В группы с очень низкой (54,0–65,0%) и низкой (66,0–85,0%) урожайностью вошли 11 и 21 образец соответственно. Высокими (109,9–120,0%) и очень высокими (123,0–160,9%) показателями характеризовались 17, остальные 11 образцов были в группе со средней (87,6–103,8%) урожайностью.

Из высокопродуктивных образцов следует назвать 'Восход', 'Wiko', 'Грант' (к-1 ВНИИЛ), 'Мара' (к-8 ВНИИЛ), 'Alizee', 'Drakkar' (к-8493), 'Памяти Крепкова', 'Импульс' (к-8172), 'Тост-3' (к-8246), 'Тост-5' (к-8560), 'Томич' (к-35 ВНИИЛ), 'Marylin' (к-8345), 'Антей' (к-8344), 'Русич' (к-7962), 'Suzanne' (к-55 ВНИИЛ), 'Томский-17' (к-8002), 'ТОСТ' (к-8154), 'Тост-4', 'Томский-16', 'Глнум' (к-7480), 'Томский-18' с урожайностью в пределах от 287,2 до 412,9 г/м².

Урожайность тресты является критерием, связанным с продуктивностью и качеством получаемого волокна, что вызывает необходимость оценки генотипов по данному показателю. Средняя урожайность тресты изученных образцов составила 251,3 г/м² при минимальном значении 134,6 г/м² (к-6305 'Sheyenne') и максимальном – 430,2 г/м² ('Глнум').

Согласно результатам оценочной группировки, выявлены 9 образцов с очень низкой (53,6–64,0%), 21 – низкой (66,2–85,5%), 11 – средней (86,4–103,5%), 13 – высокой (107,1–115,5%), 6 – очень высокой (118,6–171,2%) урожайностью тресты (см. табл. 2). Из наиболее продуктивных следует отметить 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Тост-4', 'Suzanne', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Томский-16', 'Томский-18', 'Глнум' с урожайностью 298,0–430,2 г/м².

В результате скрининга коллекции образцы распределены на пять групп по урожайности всего волокна:

Таблица 2. Распределение образцов льна на группы по некоторым селекционно ценным признакам (среднее, 2017–2020 гг., Тюмень)
Table 2. Group distribution of flax accessions according to the studied indicators (average, 2017-2020, Tyumen)

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
1	<p>< 60,0% n = 26</p> <p>С-108, Импульс, Лидер, Орион, Икар 332, Союз, Норд, Драккаг, Ива, Тост-5, Восход, Прибой, Suzanne, 4.911-4-1.8, Таммес v(2-69), Тост-4, Comun del Peru L5, Смолич, Зоря-87, Віко, Тост-3, Sheyenne, Nonkei 41, Томич, Кагнобат-448, Дукаг</p>	<p>< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 0</p>	<p>< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 11</p> <p>Печерский кряж, Велижский кряж, 403-4, Luzaciја, Sheyenne, Лидер, Таммес v(2-69), Икар 332, Смолич, Ottava 770 В See, Comun del Peru L5</p>	<p>< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 9</p> <p>Sheyenne, Велижский кряж, Печерский кряж, Таммес v(2-69), Смолич, Лидер, 403-4</p>	<p>< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 9</p> <p>Таммес v(2-69), Печерский кряж, Икар 332, Смолич, Лидер, 403-4 Sheyenne, Велижский кряж</p>	<p>< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 17</p> <p>Мара, Віко, Смолич, Норд, 4.911-4-1.8, Ярок, Engel</p>

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
2	<p>60,0-80,0 n = 34</p> <p>Alizee, Рубин, Грант, Русич, Веста, Маяк, Памяти Крепкова, Квартет, Лузасія, Антей, Добрыня, Engelum 51 УП, Аоуагі, Капобат-448, Урпте-2, Пересвет, Томский-17, Теха, Svalof 0232, Ottava 770 В See, Глілум, Малуін, 36.3.-4, Яроч, Currong, Hermes, Томский-16, Велижский кряж, 403-4, Печерский кряж, Томский-18, Львівський-7</p> <p>ТОСТ</p> <p>Betertelsdorf 6884/60</p> <p>Izolda</p>	<p>76,0-95,0% к условному стандарту n = 20</p> <p>Томский-16, Томский-17, ТОСТ, Антей, ТОСТ-3, Тост-4, Аоуагі, Капобат-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Орион, Теха, Sheyenne, Лузасія, 4.911-4.-1.8, 403-4, Норд, Comun del Peru L5, Таммес v(2-69)</p>	<p>76,0-95,0% к условному стандарту n = 21</p> <p>Аоуагі, Капобат-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Теха, 4.911-4.-1.8, Норд, Nonkei 41, Currong, Hermes, Svalof 0232, Союз, Engelum 51 УП, Веста, Дукат, Betertelsdorf 6884/60, 36.3.-4, С-108, Львівський-7, Яроч</p>	<p>76,0-95,0% к условному стандарту n = 21</p> <p>Аоуагі, Капобат-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Теха, 4.911-4.-1.8, Норд, Nonkei 41, Currong, Hermes, Svalof 0232, Союз, Engelum 51 УП, Веста, Дукат, Betertelsdorf 6884/60, С-108, Львівський-7, Яроч, Ottava 770 В See, Comun del Peru L5, Прибой</p>	<p>76,0-95,0% к условному стандарту n = 8</p> <p>Лидер, Currong, Дукат, Импульс, Квартет, Велижский кряж, Hermes, Таммес v(2-69)</p>	

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
3	81-90% n = 0	96,0-115,0% n = 37 Велижский кряж, Нонкей 41, Томич, Curgong, Hermes, Ottawa 770 В See, Svalof 0232, Izolda, Тост-5, Союз, Вей Shinshu, Прибой, Памяти Крепкова, Смолич, Engelum 51 УП, Веста, Печерский кряж, Импульс, Томский-18, Ikar 332, Дукаг, Beterteldorf 6884/60, 36.3.-4, Русич, Лидер, Восход, С-108, Зоря-87, Драккаг, Маяк, Львівський-7, Suzanne, Marylin, Рубин, Грант, Мара, Ярок, Urite-2, Глінум	96,0-115,0% n = 11 Ива, Прибой, Рубин, Маяк, Орион, Urite-2, Зоря-87, Грант, Восход, Мара, Wiko	96,0-115,0% n = 11 Curgong, 36.3.-4, Wiko, Urite, Svalof 0232, Орион, Зоря-87, Ива, Izolda Восход, Драккаг, Памяти Крепкова	96,0-115,0% n = 12 Русич, Ива, Прибой, Рубин, Маяк, Орион, Urite-2, Зоря-87, Грант, Восход, Мара, Wiko	96,0-115,0% n = 16 Sheyenne, Тост-5, Ottawa 770 В See, Маяк, Alizee, Luzascja, Прибой, С-108, Рубин, Izolda, Печерский кряж, Аоуагі, Тост-3, Капобат-448, Веста, Добрыня, Орион

Таблица 2. Окончание
Table. 2. The end

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
4	91,0-100% n = 0	116,0-135,0% n = 3 Wiko, Alizee, Ива	116,0-135,0% n = 12 Alizee, Drakkar, Памяти Крепкова, Тост-3, Тост-5, Томский-17, Антей, Томич, Русич, Suzanne, Импульс, Marylin, Izolda	116,0-135,0% n = 13 Marylin, Рубин, Тост-3, Маяк, Тост-5, Русич, Импульс, Томич, Грант, Мара, Антей, Suzanne, Тост-4	116,0-135,0% n = 12 Alizee, Drakkar, Памяти Крепкова, Тост-3, Тост-5, Томский-17, Антей, Томич, Русич, Suzanne, Импульс, Marylin	116,0-135,0% n = 12 Тост-4, Русич, Грант, ТОСТ, Союз, Восход, Зоря-87, Томич, Памяти Крепкова, Томский-17, Львівський-7, Антей
5	-	> 135,0% n = 0	> 135,0% n = 5 Томский-16, ТОСТ, Тост-4, Томский-18, Глнум	> 135,0% n = 6 ТОСТ, Томский-17, Alizee, Глнум, Томский-18, Томский-16	> 135,0% n = 6 ТОСТ, Томский-16, Alizee, Томский-17, Томский-18, Глнум	> 135,0% n = 7 Svalof 0232, Томский-16, Marylin, Suzanne, Drakkar, Betertelsdorf 6884/60, Izolda, Томский-18

Примечание: группы по уровню признака: 1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – средний; 4 – высокий; 5 – очень высокий; номер каталога каждого сорта приведен в таблице 1

Note: groups by the character level: 1 – very low; 2 – low; 3 – medium; 4 – high; 5 – very high; the catalogue number of each cultivar may be found in Table 1

очень низкая (15,0%), низкая (35,0%), средняя (20,0%), высокая (20,0%), очень высокая (10,0%). Практическую ценность могут иметь 'ТОСТ', 'Томский-16', 'Alizee', 'Томский-17', 'Томский-18', 'Глунум'.

Образцы отнесены в группы с мелкими (3,6–5,5 г) и средними (5,6–8,9 г) семенами по массе 1000 шт. При этом в условиях 2017 г. изменчивость признака составляла от $4,1 \pm 0,33$ г (Печерский кряж) до $5,5 \pm 0,46$ г (к-13 ВНИИЛ 'Веста'). В 2018 г. масса 1000 семян находилась в пределах $4,2 \pm 0,18$ г ('Маяк') – $5,6 \pm 0,94$ г (к-4035 'Ottawa 770 B See'); 2019 г.: $4,5 \pm 0,22$ г ('Восход') – $5,1 \pm 0,33$ г ('Suzanne'); 2020 г.: $4,3 \pm 0,10$ г (к-8410 'Норд') – $5,0 \pm 0,61$ г ('403-4') при среднем популяционном значении 4,8 г, 4,6 г, 4,8 г, 4,6 г соответственно. В качестве источников признака можно рекомендовать 'Betertelsdorf 6884/60', 'Грант', 'Alizee', 'Ottawa 770 B See', 'Веста'.

Для решения задач экологической селекции необходимо при отборе учитывать адаптивную способность и стабильность генотипов в различных средах, проводить оценку сред по их пригодности в качестве фона для отбора (Zhuchenko, 1980). При этом важно установление вклада генотип-средовых взаимодействий (Kilchevsky, Khotyleva, 1997).

На основании многофакторного дисперсионного анализа установлено достоверное ($F_{\text{факт.}} > F_{0,05}$ и $F_{0,01}$) влияние факторов на изучаемые признаки (табл. 3). От условий окружающей среды в большей степени зависели высота растения, урожайность соломы, тресты, семена, от взаимодействия генотипа с окружающей средой – полевая всхожесть семян, от генотипических особенностей образцов – урожайность семян и соломы. Важную роль в адаптивной селекции имеет формирование эколого-генетических основ адаптивного потенциала сельскохозяйственных растений, определение направлений их использования (Zhuchenko, 2008).

Экологическую пластичность следует рассматривать как способность растений реагировать на изменчивость условий выращивания (Eberhart, Russell, 1966). На основании расчета коэффициента регрессии выделяют сорта интенсивного ($b_i < 1$) и нейтрального типа ($b_i > 1$). Коэффициент регрессии, равный или больше единицы, говорит о высокой отзывчивости и пластичности сорта, значение меньше нуля или приближенное к нулю позволяет сделать вывод о низкой адаптивности к изменениям окружающей среды.

Нами были выявлены несколько групп сортов по отзывчивости на факторы окружающей среды (табл. 4). В первую группу ($b_i < 1$, $S^2 d_i = 0$) вошли нестабильные генотипы, проявляющие максимальный потенциал в неблагоприятных условиях выращивания, из которых нужно отметить следующие образцы: 'Прибой' (к-8152), 'Орион' (к-8411), 'Норд', 'Импульс', 'С-108' (к-7461), 'Лидер' (к-8381), 'Ива', 'Drakkar', 'Львівській-7' (к-7467) (по полевой всхожести семян); 'Орион', '403-4', 'Tammes v(2-69)' (к-6707), 'Пересвет' (к-25 ВНИИЛ) (по высоте растения); 'Sheyenne', Печерский кряж, Велижский кряж, '403-4' (по урожайности семян); 'Luzacija' (к-5506), 'Sheyenne', Печерский кряж, Велижский кряж, '403-4', 'Tammes v(2-69)', 'Лидер' (по урожайности тресты); 'Лидер', 'Смолич' (к-7803), 'Sheyenne', '403-4', 'Tammes v(2-69)', 'Luzacija', 'Ottawa 770 B See', Печерский кряж, Велижский кряж, 'Hermes' (к-8288), 'Ikar 332' (к-6885) (по урожайности соломы); образцы 'Sheyenne', Печерский кряж, '403-4', Велижский кряж, 'Luzacija', 'Tammes v(2-69)', 'Лидер', 'Смолич', 'Engelum 51 УП' (к-6930), 'Comun del Peru L5' (к-6965), 'Норд', 'Союз' (к-7254), 'Львівській-7', 'Honkei 41' (к-42 ВНИИЛ), 'Теха' (к-8228), 'Добрыня' (к-8504), '4.911-4.-1.8' (к-6907), 'Izolda' (к-7159) 'Ottawa 770 B See', 'Aoyagi' (к-6746), 'Hermes', 'Квартет' (к-26 ВНИИЛ), 'Karnobat-448', 'С-108', 'Веста', 'Прибой', 'Пере-

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа по определению вклада отдельных факторов и их взаимодействия в фенотипическую изменчивость признаков льна, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 3. Results of the analysis of variance for individual contributions of the factors and their interaction to the phenotypic variability of flax characters, 2017–2020, Tyumen

Источник варьирования	Число степеней свободы (d.f.)	Средний квадрат (M.S.)	Критерий Фишера			Доля влияния фактора, %
			$F_{\text{факт.}}$	$F_{0,05}$	$F_{0,01}$	
Полевая всхожесть семян						
Фактор А (генотип)	59	246,11	12,62**	1,48	1,73	19,11
Фактор Б (окружающая среда)	3	4043,22	207,45**	2,70	3,98	26,15
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	8721,11	447,46*	1,39	1,59	46,44
Случайный фактор (С)	118	19,49	–	–	–	8,3
Высота растения						
Фактор А (генотип)	59	567,23	4,51	1,48	1,73	19,15
Фактор Б (окружающая среда)	3	2113,51	16,81**	2,70	3,98	42,22
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1345,66	10,70**	1,39	1,59	36,08
Случайный фактор (С)	118	125,66	–	–	–	2,55

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Источник варьирования	Число степеней свободы (d.f.)	Средний квадрат (M.S.)	Критерий Фишера			Доля влияния фактора, %
			F _{факт.}	F _{0,05}	F _{0,01}	
Урожайность соломы						
Фактор А (генотип)	59	1234,54	2,17**	1,48	1,73	25,62
Фактор Б (окружающая среда)	3	2456,92	4,32**	2,70*	3,98	42,09
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1568,34	2,76**	1,39	1,59	31,21
Случайный фактор (С)	118	567,45	-	-	-	1,17
Урожайность тресты						
Фактор А (генотип)	59	894,52	1,95**	1,48	1,73	12,32
Фактор Б (окружающая среда)	3	3234,14	7,07**	2,70	3,98	65,19
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	987,35	2,16**	1,39	1,59	19,44
Случайный фактор (С)	118	456,81	-	-	-	3,05
Урожайность семян						
Фактор А (генотип)	59	3456,13	27,84	1,48	1,73	30,04
Фактор Б (окружающая среда)	3	8934,55	71,99**	2,70	3,98	53,18
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1009,43	8,13*	1,39	1,59	15,67
Случайный фактор (С)	118	124,10	-	-	-	1,11
Урожайность всего волокна						
Фактор А (генотип)	59	2891,1	4,17**	1,48	1,73	20,81
Фактор Б (окружающая среда)	3	3076,1	4,44**	2,70	3,98	50,22
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1534,0	2,20**	1,39	1,59	28,97
Случайный фактор (С)	118	696,2	-	-	-	-

Таблица 4. Распределение образцов льна на группы по отзывчивости на изменчивость условий выращивания, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 4. Group distribution of flax accessions according to their response to the variability of growing conditions, 2017–2020, Tyumen

Экологическая группа	Полевая всхожесть семян, %		Высота растений, см		Урожайность, г/м ²							
					солома		семена		треста		волокно	
	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%
$b_i < 1, S^2 d_i = 0$	24	40,0	25	41,7	35	58,3	28	46,7	33	55,0	33	10,0
$b_i = 1, S^2 d_i = 0$	1	1,6	4	6,6	0	0,0	0	0,0	1	1,6	1	1,6
$b_i > 1, S^2 d_i = 0$	35	58,4	31	51,7	25	41,7	32	53,3	26	43,4	26	43,4

свет', 'Ярок' (к-6887 ТюмГУ), 'Betertelsdorf 6884/60', 'Currong (к-7706), '36.3.-4' (к-7563), 'Upite-2' (к-7584) (по урожайности всего волокна).

Вторая группа ($b_1 = 1, S^2d_1 = 0$) включала стабильные генотипы с максимальным уровнем проявления признака в неблагоприятных условиях среды. По полевой всхожести семян сюда отнесен 'Грант', по высоте растения – 'Ottava 770 B See', 'Svalof 0232' (к-6656), 'Тост-5'; по урожайности тресты и всего волокна – 'Wiko'.

В третью группу сортов ($b_1 > 1, S^2d_1 = 0$), характеризующихся нестабильностью, высокой отзывчивостью на изменения условий среды, включены образцы 'Русич', 'Антей', 'Квартет', 'Памяти Крепкова', 'Львівській-7', 'Luzacija', 'Маяк', 'Мара', 'Веста' (полевая всхожесть семян); 'Прибой', 'Памяти Крепкова', 'Engelum 51 УП', 'Смолич', 'Печерский кряж', 'Веста' (высота растения); 'Karnobat-448', 'Тост-3', 'Aoyagi' (урожайность семян); 'Upite-2', 'Маяк', 'Зоря-87' (к-7787), 'Орион', (урожайность соломы); 'Svalof 0232', 'Орион', 'Зоря-87', 'Ива', 'Восход', 'Drakkar', 'Памяти Крепкова', 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Suzanne', 'Тост-4', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Глінум', 'Томский-16', 'Томский-18' (урожайность тресты); образцы 'Svalof 0232', 'Орион', 'Зоря-87', 'Ива', 'Восход', 'Drakkar', 'Памяти Крепкова', 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Тост-4', 'Suzanne', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Томский-16', 'Томский-18', 'Глінум' (урожайность всего волокна).

С целью выявления генотипов, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков, использовали метод баллового ранжирования. Каждый из сортов получал определенный балл в зависимости от значения признака от минимального (1 балл) к максимальному (60 баллов, что соответствует количеству изученных образцов). По сумме баллов оцениваемых признаков выполнялось ранжирование сортов (табл. 5). Средний балл составил 228,9 для сортов первого ранга, 152,8 и 74,9 – для сортов второго и третьего рангов.

По итогам ранжирования максимальную сумму баллов набрали 20,0% образцов, которые можно рекомендовать для использования в качестве исходного материала

в селекции; 60,0% образцов занимали промежуточное положение, а 20,0% проявили положительные свойства по отдельным признакам. Высокая оценка генотипов первого ранга формировалась в 75,0% случаев за счет показателей полевой всхожести семян, 66,6% – урожайности тресты и высоты растения, 46,6% – урожайности соломы, 41,6% – урожайности семян.

Многочисленная группа второго ранга отличалась средним уровнем проявления признаков при относительно значительном разбросе баллов по образцам. Например, по урожайности тресты максимум баллов набрали лишь 5,5%, соломы – 8,3%, семян – 16,6%. Генотипы, отнесенные в третий ранг, характеризовались низкими продуктивными и адаптивными свойствами, но могут быть использованы в качестве родительских компонентов в скрещиваниях для улучшения отдельных признаков.

Корреляционный анализ может быть использован в качестве инструментария получения информации о влиянии элементов урожайности. Разнообразие сведений о генетических корреляциях не всегда позволяет выявить полноценную картину взаимосвязей, особенно при значимом воздействии отдельного фактора. Например, известно о достоверном влиянии на продуктивность некоторых морфологических признаков льна (El-Hariri et al., 2004; Copur, 2006; Brutch, Porokhvinova, 2011).

Для выявления взаимосвязей между фенотипическими признаками, определяющими продуктивность растений льна, был проведен корреляционный анализ и построены плеяды (рисунок). За период 2017–2020 гг. были обнаружены высокие и стабильные достоверные прямые взаимосвязи урожайности соломы и тресты с высотой растений. Связи между урожайностью соломы и семян были средними обратными, при этом отмечено усиление сопряженности в условиях засушливого 2018 г. В относительно благоприятных для роста и развития растений условиях вегетационных периодов 2017 и 2020 г. возрастала зависимость высоты растений, урожайности соломы, тресты и семенной продуктивности от полевой всхожести семян.

Таблица 5. Результаты баллового ранжирования сортов льна-долгунца по комплексу селекционно ценных признаков, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 5. Results of score ranking of fiber flax cultivars according to a set of traits valuable for breeding, 2017–2020, Tyumen

Сумма баллов	Ранг	Сорт
201–273	1	n = 12 Томский-16, Томский-17, Томский-18, Marylin, Alizee, Глінум, Suzanne, Рубин, Русич, Грант, Мара, ТОСТ
102–199	2	n = 36 Восход, Антей, ТОСТ-3, Памяти Крепкова, Дукат, Томич, Импульс, Зоря-87, Drakkar, Львівській-7, Upite-2, Betertelsdorf 6884/60, Ива, Svalof 0232, 36.3.-4, Ярок, Currong, Izolda, Тост-4, Тост-5, Ottava 770 B See, Прибой, Aoyagi, Веста, Hermes, Печерский кряж, С-108, Karnobat-448, Пересвет, Маяк, Добрыня, Engelum 51 УП, Квартет, Союз, Орион, Велижский кряж
50–95	3	n = 12 Теха, Honkei 41, Sheyenne, Luzacija, Ikar 332, Смолич, Лидер, 4.911-4.-1.8, 403-4, Норд, Comun del Peru L5, Tammes v(2-69)

Примечание: номер каталога каждого сорта приведен в таблице 1

Note: the catalogue number of each cultivar may be found in Table 1

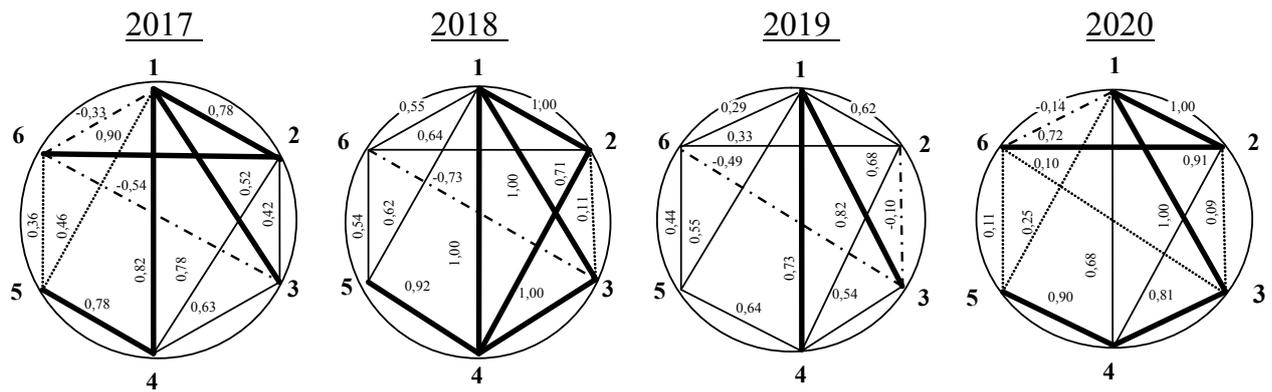


Рисунок. Корреляционные плеяды признаков у образцов коллекции льна в различные годы изучения (среднее, 2017–2020 гг., Тюмень):

1 – высота растений, 2 – полевая всхожесть семян, 3 – урожайность соломы, 4 – урожайность тресты, 5 – урожайность всего волокна, 6 – урожайность семян. Сила связи между признаками: — сильная ($r = 0,7-0,9$); - - - средняя ($r = 0,5-0,7$); слабая ($r = 0,5-0,3$); . - . - . обратная ($r = -0,1...-0,9$)

Figure. Correlation pleiades of traits in the accessions from the flax collection in different years of study (average, 2017–2020, Tyumen):

1 – plant height, 2 – outdoor seed germination, 3 – yield of straw, 4 – yield of retted stalks, 5 – total fiber yield, 6 – seed yield. The strength of the relationship between characters: — strong ($r = 0.7-0.9$); - - - medium ($r = 0.5-0.7$); weak ($r = 0.5-0.3$); . - . - . reverse ($r = -0.1...-0.9$)

Подобные результаты по характеру корреляционных связей между признаками приведены в работах других исследователей (Tadesse et al., 2009; Kumar, 2016).

Заключение

На основании анализа многолетних данных (2017–2020 гг.) установлено, что на уровень фенотипического проявления селекционно ценных признаков существенное влияние оказывают контрастные условия окружающей среды, а также их взаимодействие с генотипом. Выделены источники ценного исходного материала по следующим признакам:

- полевая всхожесть семян – ‘Томский-18’ (к-8003), ‘Рубин’ (к-6 ВНИИЛ), Велижский кряж (к-5398), Печерский кряж (к-5404),
- высота растения – ‘Глнум’ (к-7480), ‘Wiko’ (к-8230), ‘Ива’ (к-9 ВНИИЛ), ‘Alizee’ (к-8494), урожайность семян – ‘Грант’ (к-1 ВНИИЛ), ‘Betertelsdorf 6884/60’ (к-6888), ‘Svalof 0232’ (к-6656), ‘Томский-16’ (к-7694), ‘Томский-17’ (к-8002), ‘Comun del Peru L5’ (к-6965), ‘Drakkar’ (к-8493), ‘Sheyenne’ (к-6305), ‘Suzanne’ (к-55);
- урожайность соломы – ‘Восход’ (к-8153), ‘Wiko’, ‘Грант’, ‘Мара’ (к-8 ВНИИЛ), ‘Alizee’, ‘Drakkar’, ‘Памяти Крепкова’ (к-8559), ‘Импульс’ (к-8172), ‘ТОСТ-3’ (к-8246), ‘ТОСТ-5’ (к-8560), ‘Томич’ (к-35 ВНИИЛ), ‘Marylin’ (к-8345), ‘Антей’ (к-8344), ‘Русич’ (к-7962), ‘Suzanne’, ‘Томский-17’, ‘ТОСТ’ (к-8154), ‘ТОСТ-4’ (к-8247), ‘Томский-16’, ‘Глнум’, ‘Томский-18’);
- урожайность тресты – ‘Marylin’, ‘Рубин’, ‘ТОСТ-3’, ‘Маяк’ (к-2 ВНИИЛ), ‘ТОСТ-5’, ‘Русич’, ‘Импульс’, ‘Томич’, ‘Грант’, ‘Мара’, ‘Антей’, ‘ТОСТ-4’, ‘Suzanne’, ‘ТОСТ’, ‘Томский-17’, ‘Alizee’, ‘Томский-16’, ‘Томский-18’, ‘Глнум’;
- урожайность общего волокна – ‘ТОСТ’, ‘Томский-16’, ‘Alizee’, ‘Томский-17’, ‘Томский-18’, ‘Глнум’;
- масса 1000 семян – ‘Betertelsdorf 6884/60’, ‘Грант’, ‘Alizee’, ‘Ottava 770 В See’ (к-4035), ‘Веста’ (к-13).

Лучшим сочетанием изучаемых признаков в одном генотипе характеризовались сорта ‘Томский-16’, ‘Том-

ский-17’, ‘Томский-18’, ‘Marylin’, ‘Alizee’, ‘Глнум’, ‘Suzanne’, ‘Рубин’, ‘Русич’, ‘Грант’, ‘Мара’, ‘ТОСТ’.

Экологическая оценка образцов льна позволила установить вклад генотипа и генотип-средовых взаимодействий на реализацию ответных реакций. В каждой из сформированных групп выявлены генотипы льна с различной степенью отзывчивости, среди них – ‘Грант’, ‘Ottava 770 В See’, ‘Svalof 0232’ (к-6656), ‘ТОСТ-5’, ‘Wiko’ – характеризовались стабильным проявлением количественных признаков в меняющихся условиях окружающей среды.

Выявленные достоверные корреляционные взаимосвязи между морфобиологическими признаками можно рассматривать в качестве маркерных при оценке и создании нового исходного материала для селекционной работы на продуктивность льна в условиях Северного Зуралья.

References / Литература

- Aksarin V.V., Korolev K.P. Flax growing in Tyumen region: history of formation and development in XX century. *Nauchnyi dialog = Scientific Dialogue*. 2021;(7):341-358. [in Russian] (Аксарин В.В., Королев К.П. Льноводство Тюменской области: история становления и развития в XX веке. *Научный диалог*. 2021;(7):341-358). DOI: 10.24224/2227-1295-2021-7-341-358
- Bogdan V.Z. (ed.). Guidelines for the study of the flax collection (*Linum usitatissimum* L.) (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektsii lna [*Linum usitatissimum* L.]). Ustye: Institute of Flax; 2011. [in Russian] (Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / под ред. В.З. Богдана. Устье: Институт льна; 2011).
- Brutch N.B., Porokhovinova E.A. Links between the morphological and agronomic characters in hybrids of lines with different manifestation of these traits. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2011;167:78-89. [in Russian] (Броч Н.Б., Пороховинова Е.А. Связи морфологических

- и хозяйственно-ценных признаков у гибридов между линиями льна, контрастными по этим характеристикам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;167:78-89).
- Copur O., Gur M.A., Karakus M., Demirel U. Determination of correlation and path analysis among yield components and seed yield in oil flax varieties (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Biological Sciences*. 2006;6(4):738-743. DOI: 10.3923/jbs.2006.738.743
- Diederichsen A. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection. *Plant Breeding*. 2001;120(4):360-362. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00616.x
- Diederichsen A., Raney J.P. Seed colour, seed weight and seed oil content in *Linum usitatissimum* L. accessions held by Plant Gene Resources of Canada. *Plant Breeding*. 2006;125(4):372-377. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2006.01231.x
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Методика полевого опыта [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014 [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта [с основами статистической обработки результатов исследований]. 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).
- Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- El-Hariri D.M., Hassanein M.S., El-Sweify A.H.H. Evaluation of some flax genotypes straw yield, yield components and technological characters. *Journal of Natural Fibers*. 2004;1(2):1-12. DOI: 10.1300/J395v01n02_01
- EMISS, State Statistics (EMISS. Gosudarstvennaya statistika): [website]. [in Russian] (ЕМИСС. Государственная статистика: [сайт]). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> [дата обращения: 17.08.2021].
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [site]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> [accessed Nov. 01, 2021].
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Ecological plant breeding (Экологическая селекция растений). Minsk: Technalohija; 1997. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія; 1997).
- Korolev K.P., Bome N.A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus. *Agricultural Biology*. 2017;52(3):615-621. [in Russian] (Королев К.П., Боме Н.А. 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).
- Korolev K.P., Gromova Yu.A., Kramar K.V. Adaptive potential of fiber flax and oil flax cultivars under extreme conditions of Siberia (Adaptivnyy potentsial sortov lna-dolguntsa i lna maslichnogo v ekstremalnykh usloviyakh Sibiri). *Tobolsk nauchny = Scientific Tobolsk*. 2018;2018:46-49. [in Russian] (Королев К.П., Громова Ю.А., Крамар К.В. Адаптивный потенциал сортов льна-долгунца и льна масличного в экстремальных условиях Сибири. *Тобольск научный*. 2018; 2018:46-49).
- Krepkov A.P. Fiber flax in Siberia (Len-dolgunets v Sibiri). Tomsk: Tomsk University; 2004. [in Russian] (Крепков А.П. Лен-долгунец в Сибири. Томск: Томский университет; 2004).
- Krepkov A.P. Flax is a national concept (Len ponyatiye natsionalnoye). *Lnyanoye delo = Flax Business*. 1997;(4):11-14. [in Russian] (Крепков А.П. Лен понятие национальное. *Льняное дело*. 1997;(4):11-14).
- Kumar N, Paul S., Dhial R.S. Study on genetic variability, heritability and genetic advance for agro-morphological traits of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Research in Environment and Life Sciences*. 2016;9:16-18.
- Kurt O., Uysai H., Uzun S. Allometric model for leaf area estimation linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Turkish Journal of Field Crops*. 2006;11(1):1-5.
- Kutuzova S.N., Pitko A.G. Guidelines for the study of the flax collection (*Linum usitatissimum* L.) (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kolleksii lna [*Linum usitatissimum* L.]). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Кутузова С.Н., Питько А.Г. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.). Ленинград: ВИР; 1988).
- Nozkova J., Pavelek M., Bjelkova M., Brutch N., Tejklova E., Porokhvinova E., Brindza J. Descriptor list for flax (*Linum usitatissimum* L.). Nitra: Slovak University of Agriculture; 2016.
- Porokhvinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Yakusheva T.V., Brutch N.B. Collection of flax genetic resources of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(2):75-90. [in Russian] (Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Брач Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;7(2):75-90). DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-09
- Rykova R.P. (ed.). International COMECON list of descriptors for the species *Linum usitatissimum* L. Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Международный классификатор СЭВ вида *Linum usitatissimum* L. / под ред. Р.П. Рыковой. Ленинград: ВИР; 1989).
- Saeidi G. Genetic variation and heritability for germination, seed vigour and field emergence in brown and yellow-seeded genotypes of flax. *International Journal of Plant Production*. 2008; 2:15-22.
- Selyaninov G.T. On agricultural assessment of climate (O selskokhozyaystvennoy otsenke klimata). *Trudy po selskokhozyaystvennoy meteorologii = Works on Agricultural Meteorology*. 1928;20:165-177. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;20:165-177).
- Sheidai M., Afshar M.F., Keshavarzi S., Talebi Z., Noormohammadi T.S. Genetic diversity and genome size variability in *Linum austriacum* (Linaceae) populations. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2008;57:20-26. DOI: 10.1016/j.bse.2014.07.014
- Sheidai M., Ziaee S., Talebi S., Noormohammadi Z., Farahani Y. Infra-specific genetic and morphological diversity in *Linum album* (Linaceae). *Biologia*. 2013;69:32-39. DOI: 10.2478/s11756-013-0281-4
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2021. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2021). URL: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/Итоговый-реестр-2021.pdf> [дата обращения: 16.03.2022].
- Tadesse T., Singh H., Weyessa B.R. Correlation and path coefficient analysis among seed yield traits and oil content in

- Ethiopian linseed germplasm. *International Journal of Sustainable Crop Production*. 2009;4(4):8-16.
- Witkovich R., Zajac T., Krynska B., Klima K. Variation and interrelation of yield components in linseed. *Acta Agraria et Silvicultura*. 2005;45:11-17. [in Polish]
- Zajac T., Grzesiak S., Kulig B., Poláček M. The estimation of productivity and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) using the growth analysis. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2005;27(4A):549-558. DOI: 10.1007/s11738-005-0061-z
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants (adaptation, recombination, agrobiocenosis) (Экологическая генетика культурных растений [adaptatsiya, rekombinogenez, agrobiotsenoz]). Chisinau: Ştiinţa; 1980. [in Russian] (Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев: Штиинца; 1980).
- Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A. Mobilization of flax genetic resources (Mobilizatsiya geneticheskikh resursov lna). Staritsa; 2000. [in Russian]. (Жученко А.А., Рожмина Т.А. Мобилизация генетических ресурсов льна. Старица; 2000).
- Zubal P. The effects of sowing date, seeding rate and nutrition on yields of the oilseed flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.). *Vedecke Prace Vyskumneho Ustavu Rastlinnej Vyroby Piest'any*. 2001;30:33-38. [in Slovak]

Информация об авторах

Константин Петрович Королев, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, korolev.konstantin2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9595-3493>

Нина Анатольевна Боме, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Наталья Николаевна Колоколова, кандидат биологических наук, доцент, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, campanella2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9221-318X>

Information about the authors

Konstantin P. Korolev, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, korolev.konstantin2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9595-3493>

Nina A. Bome, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Department, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Natalya N. Kolokolova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, campanella2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9221-318X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 09.02.2023; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 11.03.2022; approved after reviewing on 09.02.2023; accepted for publication on 02.03.2023.