

**ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ И АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ У КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ
LINUM USITATISSIMUM L. РАЗЛИЧНОГО ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В
УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

Научная статья

Королев К.П.^{1,*}, Боме Н.А.²

¹ ORCID : 0000-0001-9595-3493;

^{1,2} Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (corolev.konstantin2016[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье отражены результаты полевого тестирования 60 образцов льна-долгунца по урожайности соломы, тресты, волокна в северной лесостепной агроклиматической зоне Тюменской области. Установлены фенотипические различия по параметрам адаптивной способности, стабильности и селекционной ценности. В результате дисперсионного анализа установлен достоверный ($p > 0,05$) вклад генотипа (фактор А), среды (фактор В) и генотип-средовых взаимодействий (АхВ) в проявление изучаемых признаков в контрастных климатических условиях. На основании многолетнего (2017-2020 гг.) полевого изучения льна выявлены источники по урожайности соломы (21 шт.), тресты (19 шт.), волокна (6 шт.), семенам (9 шт.), которые рекомендуем использовать в качестве исходного материала для селекции.

Ключевые слова: образец, факторы среды, урожайность, адаптивность, стабильность, селекционная ценность генотипа.

**THE FORMATION OF PRODUCTIVE AND ADAPTIVE PROPERTIES OF COLLECTIONAL SAMPLES OF
LINUM USITATISSIMUM L. OF DIFFERENT ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ORIGIN IN THE
NORTHERN TRANS-URALS**

Research article

Korolev K.P.^{1,*}, Bome N.A.²

¹ ORCID : 0000-0001-9595-3493;

^{1,2} University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

* Corresponding author (corolev.konstantin2016[at]yandex.ru)

Abstract

The article reflects the results of field-testing of 60 linen flax samples by straw, hemp straw, fibre yield in the northern forest-steppe agroclimatic zone of Tyumen Oblast. Phenotypic differences in the parameters of adaptive ability, stability and breeding value were established. As a result of analysis of variance, the reliable ($p > 0.05$) contribution of genotype (factor A), environment (factor B) and genotype-medium interactions (AhB) in the manifestation of the studied characteristics in contrasting climatic conditions was established. Based on the long-term (2017-2020) field study of flax, the sources for straw yield (21 pc), hemp straw (19 pc), fibre (6 pc), seeds (9 pc), which we recommend to use as a source material for breeding, were identified.

Keywords: sample, environmental factors, yield, adaptability, stability, genotype breeding value.

Введение

Одним из факторов, обеспечивающих максимальный уровень высококачественной продукции, является сорт. Поскольку урожайность определяется состоянием всей системы «генотип-среда», возникает необходимость комплексного подхода к повышению потенциала онтогенетической адаптации [1, С. 9-12], [2, С. 22-36], [3, С. 1-783]. Селекция на устойчивость к неблагоприятным (абиотическим и биотическим) факторам окружающей среды играет ведущую роль в большинстве селекционных программ [4, С. 75-83], [5, С. 1-372]. Комплексная оценка по параметрам адаптивности и стабильности генотипов позволяет выделить перспективные источники высокой потенциальной продуктивности, экологической устойчивости. Наибольшую ценность в экологической селекции представляют образцы, сочетающие эти признаки [6, С. 160]. Цель исследования – установление параметров адаптивности, стабильности и селекционной ценности образцов льна-долгунца в Тюменской области.

Методы и принципы исследования

В качестве объекта исследований использованы 60 образцов льна-долгунца различного эколого-географического происхождения из генетического фонда льна кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета. Полевое изучение образцов проводили в 2017-2020 гг. на опытном полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений биостанции «Озеро Кучак» (Нижнетавдинский район, Тюменская область). Посев семян осуществляли на опытных делянках с учетной площадью 1 м², в трехкратной повторности, с рандомизированным размещением. Почва участка дерново-подзолистая супесчаная, с содержанием гумуса 3,6%, подвижных форм фосфора – 3434 мг/кг, обменного калия – 234,0 мг/кг почвы. Предшественник – зерновые культуры. Уборку растений льна с каждой делянки выполняли вручную при наступлении фазы ранней желтой спелости [7, С. 1-12]. Вегетационные периоды во время проведения исследований, различались по тепло- и влагообеспеченности: 2018 и 2020 годы были слабозасушливыми, остальные – влажными, что дало

возможность провести более объективную оценку коллекционного материала и выявить наиболее продуктивные из них с высокими адаптивными свойствами.

Анализ параметров адаптивности и стабильности генотипов льна-долгунца проводили по методике, предложенной А.В. Кильчевским и Л.В. Хотылевой [8, С. 1481-1490]. Статистический анализ – по методике, изложенной Б.А. Доспеховым [9, С. 1-399]. Достоверность различий (при $p < 0,05$) между образцами выполняли с использованием t -критерия Стьюдента.

Основные результаты

Результаты и их обсуждение. Урожайность является определяющим показателем каждого образца льна. Многофакторный дисперсионный анализ, позволил установить достоверные различия между образцами по генотипическим и средовым особенностям формирования продуктивности.

Таблица 1 - Результаты многофакторного дисперсионного анализа за 2017-2020 гг

Источник варьирования	df	mS	F _{факт.}
Урожайность соломы			
Фактор А (генотип)	59	1234,54	2,17**
Фактор Б (окружающая среда)	3	2456,92	4,32**
Взаимодействие факторов (АхБ)	116	1568,34	2,76**
Случайный фактор (С)	118	567,45	-
Урожайность тресты			
Фактор А (генотип)	59	894,52	1,95**
Фактор Б (окружающая среда)	3	3234,14	7,07**
Взаимодействие факторов (АхБ)	116	987,35	2,16**
Случайный фактор (С)	118	456,81	-
Урожайность семян			
Фактор А (генотип)	59	3456,13	27,84
Фактор Б (окружающая среда)	3	8934,55	71,99**
Взаимодействие факторов (АхБ)	116	1009,43	8,13*
Случайный фактор (С)	118	124,10	-
Урожайность волокна			
Фактор А (генотип)	59	2891,1	4,17**
Фактор Б (окружающая среда)	3	3076,1	4,44**
Взаимодействие факторов (АхБ)	116	1534,0	2,20**
Случайный фактор (С)	118	696,2	-

Примечание: df – степень свободы, mS – средний квадрат; F_{факт.} – фактическое значение критерия Фишера; различия достоверны при 95,0% (*) и 99,0% (**) уровне значимости

Кильчевским А.В. и Хотылевой Л.В. [11, С. 1-191], [12, С. 518-526] предположена оценка генотипов в различных средовых условиях с выявлением общей и специфической адаптивной способности, и стабильности, что может способствовать повышению эффективности индивидуального отбора с учетом селекционной ценности генотипов. Критерием, характеризующим среднее значение признака в различных условиях среды, является общая адаптивная способность (ОАС), а все отклонения показателей от нее в конкретной среде, позволяет охарактеризовать специфическая адаптивная способность (САС). Высокий уровень САС может указывать на стабильность генотипа при различных параметрах среды

Выявлены образцы с положительными значениями общей адаптивной способности (ОАС) по урожайности: соломы – Львовский 7 (203,0), Ikar 332 (203,0), Izolda (164,4), Грант (132,0), Urite-2 (151,4), В-164 (132,0), Drakkar

(119,4), Wiko (117,7), Томич (109,7), Alizee (108,4), Тiмiрязiвецъ (106,0), Luzacija (93,0), Suzanne (72,7), AP4 (27,4), T. Tammes st. 19 (14,0); тресты – Honkei 35 (156,8), Томский-16 (132,2), Томский-18 (91,4), Глiнум (34,5), Ikar 332 (25,9). Львовский 7 (21,6), Biei Shinshu (8,3), Karnobat-448 (3,3); волокна – Sheyenne (45,2), № 422 (36,5), Honkei 35 (18,9), Ярок (10,7); семян – Томич (12,7), Дукаг (4,9), 7052 (4,7), Tammes v (2-69) (1,3), Львовский 7 (21,6), Biei Shinshu (14,1), Karnobat-448 (12,0), Luzacija (8,8), Грант (8,4), В-164 (5,3), Ikar 332(1,0). Полученные данные отражают средний и высокий уровень продуктивности, на который оказывают условия выращивания, что следует учитывать при подборе сортов льна для конкретных агроэкологических зон Тюменской области.

Специфическая адаптивная способность (САС) отражает возможности генотипа реагировать на особенности действия абиотических факторов, и при складывающихся благоприятных условиях он может формировать высокую продуктивность [12, С. 518-526], [14, С. 281-325], [15, С. 422-465], [16, С. 30-31]. Экологически стабильными по урожайности соломы были Маяк (109,6), Дукаг (94,0), T. Tammes st 19 (56,4), Ярок (33,9), № 422 (20,1), Minamishu (10,3); тресты – Дукаг (134,9), Восход (104,4), Ярок (90,6) Львовский 7 (51,8), Biei Shinshu (10,7); волокна – Wiko (93,4), Грант (80,7), Alizee (66,1), Тiмiрязiвецъ (45,7), Luzacija (11,4); семян – Грант (64,5), Ива (34,2), Маяк (16,4), Honkei 35 (10,2), Томский-16 (9,6). Полученные данные подтверждают значительное влияние условий окружающей среды на формирование продуктивности, в связи с чем, выделенные образцы представляют практическую ценность как исходный материал в селекционном процессе.

Относительная стабильность (Sg_i) в ряде случаев обусловлена максимальным проявлением особенностей генотипа и в меньшей степени зависит от общей адаптивной способности [17, С. 184-190], [18, С. 505-509], что можно учитывать в селекции на стабильность урожайности. Среди изученных образцов максимальными показателями Sg_i по урожайности характеризовались: AP3 (58,5), Дукаг (42,2), Грант (30,1), Томич (22,2) – солома; Colchagui M.A.g. (76,09), Тiмiрязiвецъ (93,4), Маяк (73,2), Грант (60,1) – треста; Ярок (82,2), Томич (64,4) – волокно; Ярок (73,9), 5.772.-5-19 (72,5), AP3 (70,9), Томич (67,4), T. Tammes B. (81,9), Теха (80,2), Colchagui M.A.g. (76,0), Тiмiрязiвецъ (73,5) – семена.

Селекционная ценность генотипа (CZG_i) отражает сравнительную оценку видов и сортов растений, с учетом среды, как фона для проведения отбора ценных форм с одновременной диагностикой растений с учетом ОАС и варианты САС [20, С. 1-227], [21, С. 1-111]. На основании выполненных расчетов в группу образцов с высокой селекционной ценностью отнесены: Томский-16 (10,5), Грант (8,2), Томич (4,1), Colchagui M.A.g. (3,5) (солома); Томич (6,5), Дукаг (5,0), Львовский 7 (3,2), Biei Shinshu (2,0) (тресты); Alizee (9,2), Томский-17(6,8), Томский-18(6,0), Томский-16 (5,1) (волокно). Bertelsdorfer (10,4), Svalof (7,7), Томский-16 (6,6), Томский-17(4,3) (семена).

Корреляционный анализ выявил высокую положительную достоверную связь (при P>0,05) между средними показателями продуктивности и общей адаптационной способности (r=0,95). Установлена средняя сила связи селекционной ценности генотипа с относительной стабильностью (r=0,65), средними значениями продуктивности (r=0,54), общей адаптационной способностью (r=0,55). Относительная стабильность генотипа характеризовалась слабой обратной связью с урожайностью (r=-0,08) и общей адаптационной способностью (r=-0,06).

Заключение

По результатам проведенных исследований в общей фенотипической изменчивости льна по урожайности соломы, тресты, волокна, семян установлено достоверное долевое участие генотипа (фактор А, 25,6; 12,3; 20,8; 30,0% соответственно), среды (фактор Б, 42,0; 65,1; 50,2; 53,8) и их взаимодействия (АхБ, 31,2; 19,4; 28,9; 15,6). Высокой селекционной ценностью по показателям комплексной оценки характеризовались 13 образцов (Томский-16, Грант, Томич, Colchagui M.A.g., Томич, Дукаг, Львовский 7, Biei Shinshu, Alizee, Томский-17, Томский-18, Bertelsdorfer, Svalof), которые можно рассматривать как перспективные для использования в селекции и сельскохозяйственной практике.

Финансирование

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

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The article was prepared within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FEWZ-2021-0007 "Adaptive ability of agricultural plants in the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Генетические основы селекции растений в 4 т. / А.В. Кильчевский и др. — Минск: Беларуская навука, 2008. — Т. 1. Общая генетика растений. — с. 9-12.
2. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений / А.А. Жученко. — Кишинев: Штиица, 1988. — с. 22-36.
3. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко. — М.: РУДН, 2001. — Т. 1. — 783 с.

4. Borojevic S. Breeding for specific adaptability, input use and marketneeds / S. Borojevic // Seeds. Rome. — 1982. — p. 75-83.
5. Кильчевский А.В. Экологическая селекция растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. — Минск: Технология, 1997. — 372 с.
6. Кравченко Р.В. Оценка параметров адаптивности и стабильности проявления хозяйственно ценных признаков гибридов кукурузы / Р.В. Кравченко, В.Ф. Пивоваров // Генетика и биотехнология на рубеже тысячелетий: материалы международной научной конференции, посвященной 45-летию основания Института генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси. — Минск: Право и экономика, 2010. — с. 160.
7. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / В.З. Богдан и др. — Устье: Ин-т льна, 2011. — 12 с.
8. Кильчевский А.В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 1. Обоснование метода / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева // Генетика. — Минск, 1985. — Т. 21 — 9. — с. 1481-1490.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов — Москва: Колос, 1972. — 399 с.
10. Международный классификатор СЭВ вида *Linum usitatissimum* L. — Ленинград: ВИР, 1989. — 42 с.
11. Кильчевский А.В. Генотип и среда в селекции растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. — Минск, 1989. — 191 с.
12. Кильчевский А.В. Генетико-экологические основы селекции растений / А.В. Кильчевский // Информационный вестник БОГИС. — 2005. — Т. 9. — 4. — с. 518-526.
13. Bradshaw A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants / A.D. Bradshaw // Advances genetics. — 1965. — 13. — p. 115-155.
14. Allard R.W. Some parameters of population variability and their implications in plant breeding / R.W. Allard, P.E. Hansche // Advances in agronomy. — 1964. — Vol. 16. — p. 281-325.
15. Simmonds N.W. Variability in crop plants, its use and conservation / N.W. Simmonds // Biological Reviews. — 1962. — Vol. 37. — 3. — p. 422-465.
16. Рекашус Э.С. Критерий существенности общей адаптивной способности: обоснование метода / Э.С. Рекашус // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2018. — 66(5). — с. 30-33.
17. Tai G.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials / G.C. Tai // Crop Science. — 1971. — Vol. 11. — p. 184-190.
18. Lin C.S. Genetic properties of four types of stability parameter / C.S. Lin, M.R. Binns // Theoretical and applied genetics. — 1991. — Vol. 82. — 4. — p. 505-509.
19. Кильчевский А.В. Методы оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 2. Числовой пример и обсуждение / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева // Генетика. — 1985. — Т. 21. — 9. — с. 1491-1498.
20. Генетические основы гетерозиса / Л.В. Хотылева и др. — Минск: Белорусская наука, 2021. — 227 с.
21. Хотылева Л.В. Взаимодействие генотипа и среды (методы оценки) / Л.В. Хотылева, Л.А. Тарутина. — Минск: Наука и техника, 1982. — 111 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Geneticheskie osnovy selekcii rastenij v 4 t. [Genetic foundations of plant breeding in 4 volumes] / A.V. Kil'chevskij et al. — Minsk: Belaruskaja navuka, 2008. — Vol. 1. Obshchaya genetika rastenij [General genetics of plants]. — p. 9-12. [in Russian]
2. Zhuchenko A.A. Adaptivnyj potencial kul'turnyh rastenij [Adaptive potential of cultivated plants] / A.A. Zhuchenko. — Kishinev: Shtiica, 1988. — p. 22-36. [in Russian]
3. Zhuchenko A.A. Adaptivnaja sistema selekcii rastenij (jekologo-geneticheskie osnovy) [Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic bases)] / A.A. Zhuchenko. — M.: RUDN, 2001. — Vol. 1. — 783 p. [in Russian]
4. Borojevic S. Breeding for specific adaptability, input use and marketneeds / S. Borojevic // Seeds. Rome. — 1982. — p. 75-83.
5. Kil'chevskij A.V. Jekologicheskaja selekcija rastenij [Ecological plant breeding] / A.V. Kil'chevskij, L.V. Hotyleva. — Minsk: Tehnologija, 1997. — 372 p. [in Russian]
6. Kravchenko R.V. Ocenka parametrov adaptivnosti i stabil'nosti projavlenija hozjajstvenno cennyh priznakov gibridov kukuruzy [Evaluation of the parameters of adaptability and stability of the manifestation of economically valuable traits of corn hybrids] / R.V. Kravchenko, V.F. Pivovarov // Genetika i biotehnologija na rubezhe tysjacheletij [Genetics and biotechnology at the turn of the millennium]: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 45th anniversary of the founding of the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus. — Minsk: Pravo i jekonomika, 2010. — p. 160. [in Russian]
7. Metodicheskie ukazanija po izucheniju kolekcii l'na (*Linum usitatissimum* L.) [Guidelines for the study of the collection of flax (*Linum usitatissimum* L.)] / V.Z. Bogdan et al. — Ust'e: Institute of Flax, 2011. — 12 p. [in Russian]
8. Kil'chevskij A.V. Metod ocenki adaptivnoj sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differencirujushhej sposobnosti sredy. Soobshhenie 1. Obosnovanie metoda [Method for assessing the adaptive ability and stability of genotypes, the differentiating ability of the environment. Message 1. Justification of the method] / A.V. Kil'chevskij, L.V. Hotyleva // Genetika [Genetics]. — Minsk, 1985. — Vol. 21 — 9. — p. 1481-1490. [in Russian]
9. Dospheov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experience] / B.A. Dospheov — Moscow: Kolos, 1972. — 399 p. [in Russian]
10. Mezhdunarodnyj klassifikator SJeV vida *Linum usitatissimum* L [International classifier of the CMEA species *Linum usitatissimum* L]. — Leningrad: VIR, 1989. — 42 p. [in Russian]

11. Kilchevsky A.V. Genotip i sreda v selekcii rastenij [Genotype and environment in plant breeding] / A.V. Kilchevsky, L.V. Hotyleva. — Minsk, 1989. — 191 p. [in Russian]
12. Kilchevsky A.V. Genetiko-jekologicheskie osnovy selekcii rastenij [Genetic and ecological bases of plant breeding] / A.V. Kilchevsky // Informacionnyj vestnik BOGIS [Information Bulletin of BOGIS]. — 2005. — Vol. 9. — 4. — p. 518-526. [in Russian]
13. Bradshaw A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants / A.D. Bradshaw // Advances genetics. — 1965. — 13. — p. 115-155.
14. Allard R.W. Some parameters of population variability and their implications in plant breeding / R.W. Allard, P.E. Hansche // Advances in agronomy. — 1964. — Vol. 16. — p. 281-325.
15. Simmonds N.W. Variability in crop plants, its use and conservation / N.W. Simmonds // Biological Reviews. — 1962. — Vol. 37. — 3. — p. 422-465.
16. Rekasus Je.S. Kriterij sushhestvennosti obshhej adaptivnoj sposobnosti: obosnovanie metoda [Criterion of essentiality of the general adaptive ability: substantiation of the method] / Je.S. Rekasus // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka [Agrarian science of the Euro-North-East]. — 2018. — 66(5). — p. 30-33. [in Russian]
17. Tai G.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials / G.C. Tai // Crop Science. — 1971. — Vol. 11. — p. 184-190.
18. Lin C.S. Genetic properties of four types of stability parameter / C.S. Lin, M.R. Binns // Theoretical and applied genetics. — 1991. — Vol. 82. — 4. — p. 505-509.
19. Kilchevsky A.V. Metody ocenki adaptivnoj sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differencirujushhej sposobnosti sredy. Soobshhenie 2. Chislovoj primer i obsuzhdenie [Methods for assessing the adaptive ability and stability of genotypes, the differentiating ability of the environment. Message 2. Numerical example and discussion] / A.V. Kilchevsky, L.V. Hotyleva // Genetika [Genetics]. — 1985. — Vol. 21. — 9. — p. 1491-1498. [in Russian]
20. Geneticheskie osnovy geterozisa [Genetic bases of heterosis] / L.V. Hotyleva et al. — Minsk: Belorusskaja nauka, 2021. — 227 p. [in Russian]
21. Hotyleva L.V. Vzaimodejstvie genotipa i sredy (metody ocenki) [Interaction of genotype and environment (assessment methods)] / L.V. Hotyleva, L.A. Tarutina. — Minsk: Nauka i tehnika, 1982. — 111 p. [in Russian]