

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ СОРТОВ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

¹Гребенникова И.Г., ¹Чешкова А.Ф., ^{2,1}Стёпочкин П.И., ^{1,3}Алейников А.Ф., ¹Чанышев Д.И.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал
Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

³Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Для цитирования: Гребенникова И.Г., Чешкова А.Ф., Стёпочкин П.И., Алейников А.Ф., Чанышев Д.И. Методика оценки экологической пластичности сортов злаковых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 2. С. 100–108. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-12.

For citation: Grebennikova I.G., Cheshkova A.F., Stepochkin P.I., Aleinikov A.F., Chanyshv D.I. Metodika otsenki ekologicheskoi plastichnosti sortov zlakovykh kul'tur [Method of assessment ecological plasticity of cereal crop varieties]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2020, vol. 50, no. 2, pp. 100–108. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-12.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты тестирования новой компьютерной программы Agrostab «Показатели стабильности сортов сельскохозяйственных культур» на основе многолетних (2017–2019) данных полевых исследований в Новосибирской области. Программа реализует современные методы оценки экологической пластичности сортов и позволяет оценивать стабильность генотипов по комплексу фенотипических признаков. Материалом исследований служили сорта яровой мягкой пшеницы селекции Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирская 15, Новосибирская 31, Сибирская 12), коллекционные формы яровой гексаплоидной тритикале из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (Лт-F6-544-6 – к-3992, сорт Укро – к-3644) и селекционная форма – гибрид Сирс 57 × Укро. Образцы имели различное эколого-географическое происхождение и относились к разным группам спелости. Растения выращивали в условиях органического земледелия без применения удобрений и пестицидов. Посев выполняли в различные сроки по чистому пару в четырехкратной повторности. В ходе эксперимента определяли следующие показатели стабильности генотипов:

METHOD OF ASSESSMENT ECOLOGICAL PLASTICITY OF CEREAL CROP VARIETIES

¹Grebennikova I.G., ¹Cheshkova A.F., ^{1,2}Stepochkin P.I., ^{1,3}Aleynikov A.F., ¹Chanyshv D.I.

¹Siberian Federal Scientific Centre
of Agro-BioTechnologies of the Russian
Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Siberian Institute of Plant Growing and
Breeding – Branch of the Institute of Cytology
and Genetics of the Siberian Branch of the
Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

³Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russia

The results of testing new Agrostab computer program “Indicators of stability of agricultural crops varieties” based on long-term (2017–2019) field research data in Novosibirsk region are presented. The program implements modern methods for assessing the ecological plasticity of varieties and allows to evaluate the stability of genotypes by a set of phenotypic characters. The research material was common spring wheat varieties from the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirskaya 15, Novosibirskaya 31, Sibirskaya 12), and collection forms of spring hexaploid triticale from the VIR world collection Lt-F6-544-6 (k-3992), variety Ukro (k-3644) and Sears 57 × Ukro hybrid received as a result of breeding. The samples had a different ecological and geographical origin and belonged to different ripeness groups. Plants were grown organically without the use of fertilizers and pesticides. They were sown at different times after bare fallow in four repetitions.

средовую вариацию, коэффициент гомеостатичности, взвешенный показатель гомеостатичности, устойчивость индекса стабильности, коэффициент мультипликативности, специфическую адаптивную способность, индекс превосходства, экологическую валентность, регрессию на индекс среды и непараметрические оценки стабильности. Показана необходимость использования комплексной величины интегральной селекционной оценки для расчета параметров пластичности и стабильности генотипов. Тестирование программы Agrostab по селекции яровой тритикале позволило определить целенаправленный вектор отбора сортов для агроклиматических условий Западной Сибири и адаптивные образцы для включения в гибридизацию. Применение новых моделей и методов статистического анализа данных для определения экологической пластичности сортов и гибридов позволит повысить эффективность селекционного процесса.

Ключевые слова: компьютерная программа, интегральная оценка, адаптивность, экологическая пластичность, стабильность, яровая тритикале

ВВЕДЕНИЕ

Решающее условие успешного внедрения нового сорта – экологическая пластичность, преимущество по урожайности и другим хозяйственно биологическим свойствам по сравнению с сортами, на замену которых он рекомендуется. В благоприятных условиях возделывания преимущество следует отдавать сортам с высокой потенциальной продуктивностью, тогда как в неблагоприятных и экстремальных условиях потенциальная продуктивность должна сочетаться с достаточно высокой экологической устойчивостью. Взаимодействие генотип $\times$ среда означает, что сорта по-разному реагируют на изменение условий произрастания. Если сорт генетически не способен реагировать на широкий спектр почвенно-климатических условий, т.е. обладает узкой экологической устойчивостью, то он не может противостоять воздействию различных биотических и абиотических стрессов. Адаптивный сорт – это экологически пластичный сорт, приспособленный к различным сочетаниям условий среды [1, 2].

In the course of the experiment, the following genotype stability indicators were determined: environmental variance, coefficient of homeostaticity, weighted homeostaticity index, steadiness of stability index, coefficient of multiplicativity, specific adaptive ability, superiority measure, ecovalence, regression to environmental index, non-parametric stability index. The necessity of using the complex value of the integrated selection index to calculate the parameters of plasticity and genotype stability is shown. Testing of the Agrostab program for breeding of spring triticale made it possible to determine the targeted vector for the selection of varieties in the agroclimatic conditions of Western Siberia and adaptive samples to be included in hybridization. The use of new models and methods of statistical data analysis to determine the environmental plasticity of varieties and hybrids will increase the efficiency of the breeding process.

Keywords: computer program, integrated assessment, adaptability, environmental plasticity, stability, spring triticale

Зерновая продуктивность растения складывается из таких взаимосвязанных показателей, как число продуктивных побегов, число зерен в колосе, масса зерен и число колосков колоса, масса 1000 зерен. Эти показатели формируются последовательно при прохождении различных этапов органогенеза растений. Показатели, формирующиеся на ранних стадиях развития растений, влияют на показатели более поздних стадий. В условиях стресса проявляются компенсационные механизмы как результат конкуренции за ограниченные ресурсы [3].

Анализ наиболее информативных методов оценки генотипов в сериях многосредовых испытаний показал, что не существует универсального способа, способного адекватно оценить адаптивность исследуемых образцов, так как ответ генотипа на факторы окружающей среды всегда является многомерным. В связи с этим возникает необходимость использования комплекса параметров для оценки фенотипического проявления генов широкой адаптации (гомеоадаптивности) [4–6].

Цель исследований – на основе агротехнических и физиологических исследований по этапам органогенеза разработать и испытать на экспериментально полученном материале яровой пшеницы и тритикале метод оценки экологической пластичности сортов злаковых культур

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее время для оценки взаимодействия генотип $\times$ среда разработаны различные методы расчета параметров, характеризующих степень реакции генотипа на изменяющиеся условия среды [6–9]. При этом используются разные термины: адаптивность, приспособляемость, гомеостатичность, пластичность, стабильность и др.

В основе используемых методов оценки лежат статистические процедуры анализа данных, для выполнения которых необходимо наличие специализированного программного обеспечения. Применяемые в современных исследованиях программные продукты по расчету параметров стабильности и используемые в них методы оценки экологической пластичности не учитывают физиологические особенности растений разных сортов: длительность прохождения отдельных этапов органогенеза, на которые влияют условия окружающей среды (длина дня, спектр и интенсивность солнечной инсоляции, температура, влажность почвы и воздуха и т.д.). Это вносит элемент неопределенности в прогнозирование урожайности сортов в разных экологических зонах. Один и тот же сорт может определяться как самый стабильный теми методами, в которых наибольшее значение имеет вариация признаков, и, наоборот, как самый нестабильный в методах, акцентирующих на средней величине признака¹. В связи с этим в качестве комплексной интегральной оценки экологической пластичности предложено использование величины селекционного индекса и разработан алгоритм его расчета.

Обозначим ($X_1, \dots, X_k$) значения признаков продуктивности, включенных в комплексный показатель. В связи с тем, что разные критерии могут иметь различные шкалы измерения, необходимо нормировать значения признаков и вместо величины X_k рассматривать нормализованную величину

$$Y_k = \frac{X_k - X_{\min(k)}}{X_{\max(k)} - X_{\min(k)}}, \quad (1)$$

где $X_{\max(k)}$, $X_{\min(k)}$ – максимальное и минимальное значения k -го признака.

Селекционный индекс растения определяется как взвешенная сумма нормализованных признаков продуктивности по формуле

$$Y = \sum_{k=1}^K q_k \cdot Y_k, \quad (2)$$

где K – количество признаков, Y_k ($k = 1, 2, \dots, K$) – нормированные значения признаков, рассчитанные по формуле (1), q_k – весовые экспертные коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_{k=1}^K q_k = 1$.

После расчета селекционного индекса для каждого растения требуется провести оценку стабильности генотипов на основе данного показателя одним из известных методов. В исследованиях применяли методики В.В. Хангильдина [10], T.R. Francis, L.W. Kannenberg [11], S.A. Eberhart, W.A. Russell [12], R. Nassar, M. Huehn [13]. Расчеты проводили с использованием разработанного программного обеспечения.

Материалом исследований служили сортообразцы яровой мягкой пшеницы селекции Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирская 15, Новосибирская 31, Сибирская 12) и коллекционные формы яровой гексаплоидной тритикале из мировой коллекции ВИР Лт-F6-544-6 (к-3992), сорт Укро (к-3644), а также селекционная форма – гибрид Сирс 57 $\times$ Укро. Образцы имели

¹Отчет о НИР 0778-2018-0003 (Исп.: А.Ф. Алейников, И.Г. Гребенникова, А.Ф. Чешкова и др.) / СФНЦА РАН. Краснообск, 2018. 38 с.

различное эколого-географическое происхождение и относились к разным группам спелости.

Для оценки особенностей реакции исследуемых образцов на изменения погодных условий и различных сроков сева в течение 2017–2019 гг. проведен полевой опыт на земельном участке биополигона Сибирского физико-технического института аграрных проблем Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук. Формирование экологического градиента заключалось в параллельном испытании совместного селекционного материала по множеству хозяйственно ценных признаков при различных сроках сева. Схема опыта включала три варианта длительности светового дня с интервалом в одну неделю: 1-й срок посева (оптимальный) – при наступлении физической спелости почвы (ФСП); 2-й – через 7 дней после ФСП; 3-й – через 14 дней после 1-го срока. Посев выполняли по чистому пару методом рандомизированных повторений в четырехкратной повторности. Растения выращивали в условиях органического земледелия без применения удобрений и пестицидов².

Метеорологические условия в годы проведения исследований были различными как по температурному режиму, так и по количеству осадков, что обеспечило контрастные условия выращивания. Это дало возможность учитывать девять вариантов сред для анализа стабильности и выявить адаптивный потенциал исследуемых образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для реализации эксперимента создана компьютерная программа, позволяющая проводить оценку экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур различными методами в зависимости от целей селекционных исследований. В программной среде R в виде пакета функций раз-

работана компьютерная программа Agrostab «Показатели стабильности сортов сельскохозяйственных культур». Программа предназначена для расчета параметров стабильности сортов сельскохозяйственных культур методами статистического анализа данных. Она позволяет определять следующие показатели стабильности генотипов: средовую вариацию, коэффициент гомеостатичности, взвешенный показатель гомеостатичности, устойчивость индекса стабильности, коэффициент мультипликативности, специфическую адаптивную способность, индекс превосходства, экологическую валентность, регрессию на индекс среды и непараметрические оценки стабильности³.

В качестве оцениваемого параметра может выступать как единичный признак, например, урожайность, так и комплексный показатель – селекционный индекс, рассчитываемый по формуле (2).

При тестировании программы на экспериментально полученном материале в интегральную селекционную оценку включены показатели продуктивности растений с весовыми коэффициентами, представленными в табл. 1.

Средние значения урожайности и селекционного индекса исследуемых образцов приведены в табл. 2, 3. Ранжирование сортов по урожайности отличается от ранжирования по селекционному индексу. Тем не

Табл. 1. Показатели продуктивности, включенные в селекционный индекс

Table 1. Productivity indicators included in the integrated selection index

Код	Наименование признака	Коэффициент
X_1	Длина колоса	1
X_2	Число колосков в колосе	1
X_3	Число зерен в колосе	1
X_4	Масса зерен колоса	1
X_5	Масса 1000 зерен	1

²Отчет о НИР 0778-2019-0001 (Исп.: А.Ф. Алейников, И.Г. Гребенникова, А.Ф. Чешкова, и др.) / СФНЦА РАН. Красноярск, 2019. 48 с.

³Чешкова А.Ф., Стёпочкин П.И., Гребенникова И.Г. Применение программной среды R для оценки параметров стабильности сортов озимой пшеницы // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства: материалы российской науч. конф. Оренбург, 2019. С. 345–349.

Табл. 2. Средние значения урожайности сортов яровой пшеницы и форм яровой тритикале при разных сроках посева, ц/га

Table 2. Mean yield of spring wheat varieties and spring triticale varieties at different sowing dates, centner/ha

Сорт	2017 г.			2018 г.			2019 г.			Сред- нее	Ранг
	Срок посева										
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й		
Новосибирская 15	15	16	13	19	37	29	38	28	28	25	6
±	2	8	1	2	9	2	11	3	6		
Новосибирская 31	19	21	16	29	55	30	50	42	36	33	3
±	3	9	2	6	7	4	4	3	14		
Сибирская 12	23	21	19	32	54	46	56	41	35	36	2
±	8	2	2	4	7	3	10	8	8		
к-3992	20	23	14	41	37	17	41	33	26	28	4
±	5	1	2	8	6	2	8	6	5		
Сирс 57 × Укро	18	15	12	26	26	19	48	48	35	27	5
±	5	4	3	6	2	5	11	13	9		
Укро	31	37	27	41	94	32	42	51	37	44	1
±	6	2	5	16	5	4	4	11	6		
Среднее	21	22	17	31	51	29	46	41	33		

Табл. 3. Средние значения селекционного индекса сортов яровой пшеницы и форм яровой тритикале при разных сроках посева

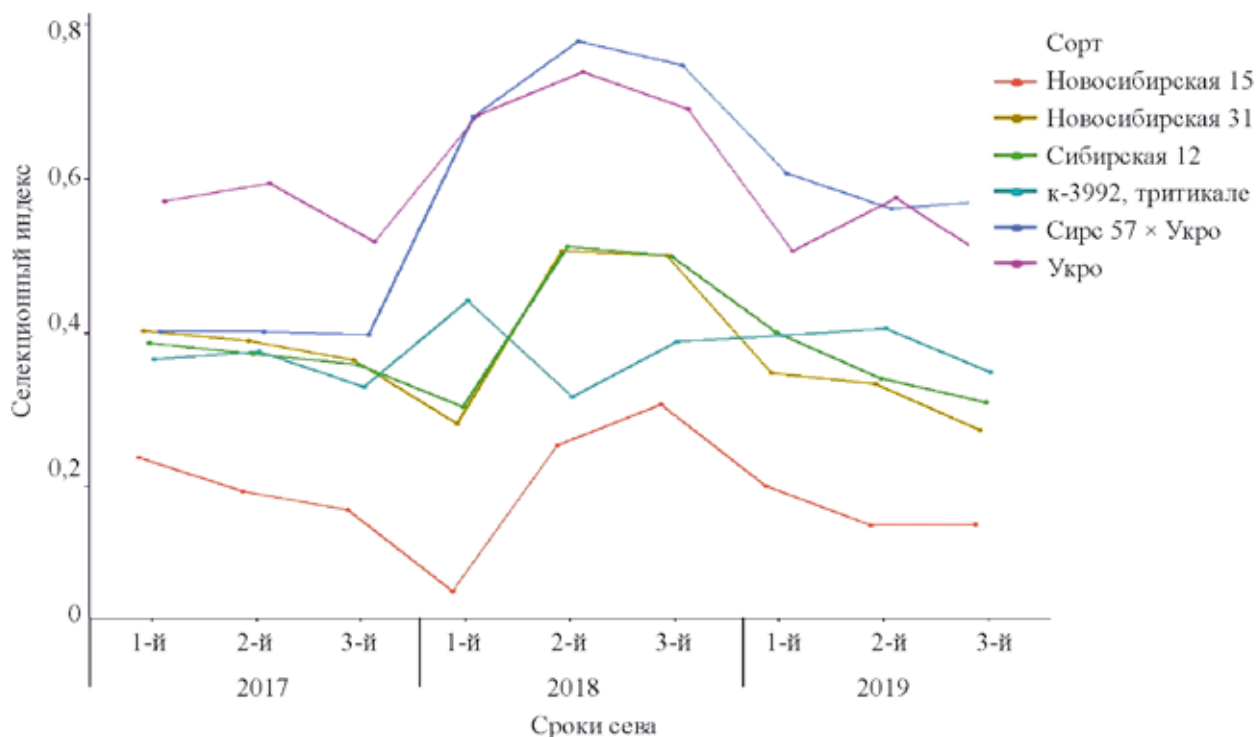
Table 3. Mean values of integrated selection index for spring wheat varieties and spring triticale varieties at different sowing dates

Сорт	2017 г.			2018 г.			2019 г.			Среднее	Ранг
	Срок посева										
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й		
Новосибирская 15	0,24	0,19	0,17	0,06	0,25	0,31	0,20	0,15	0,15	0,19	6
Новосибирская 31	0,40	0,39	0,36	0,28	0,51	0,50	0,35	0,33	0,27	0,38	4
Сибирская 12	0,39	0,37	0,36	0,30	0,51	0,50	0,40	0,34	0,31	0,39	3
к-3992	0,37	0,38	0,33	0,44	0,32	0,39	0,40	0,41	0,35	0,37	5
Сирс 57 × Укро	0,40	0,40	0,40	0,68	0,78	0,75	0,61	0,56	0,57	0,57	2
Укро	0,57	0,59	0,52	0,68	0,74	0,69	0,51	0,57	0,49	0,60	1
Среднее	0,39	0,39	0,36	0,41	0,52	0,52	0,41	0,39	0,36	0,42	

менее, максимальное значение обоих показателей продуктивности имеет сорт тритикале Укро, минимальное – пшеница Новосибирская 15.

На рисунке графически представлены средние по повторностям значения селекционного индекса исследуемых образцов в различных вариантах сред.

Оценка экологической пластичности сортов на основе селекционного индекса проводилась различными методами. В табл. 4 приведены значения коэффициентов вариации, рассчитанные по методике T.R. Francis, L.W. Kannenberg [11], и гомеостатичности – по методике В.В. Хангильдина [10]. Показатели характеризуют стабильность генотипа



Средние значения селекционного индекса сортов яровой пшеницы и форм яровой тритикале при разных сроках сева (2017–2019 гг.)

Mean values of integrated selection index for spring wheat varieties and spring triticale varieties at different sowing dates (2017–2019)

Табл. 4. Показатели вариации селекционного индекса

Table 4. Indicators of variation of the integrated selection index

Сорт	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Гомеостатичность
Новосибирская 15	0,07	38,92	2,04
Новосибирская 31	0,09	24,12	6,76
Сибирская 12	0,08	19,74	9,41
к-3992	0,06	17,35	17,28
Сирс 57 × Укро	0,15	26,70	5,63
Укро	0,10	16,29	14,51

в соответствии со статической концепцией стабильности⁴. Наиболее высокими показателями характеризовались форма тритикале к-3992 и сорт Укро, наименее стабильным отмечен сорт пшеницы Новосибирская 15.

Для оценки стабильности методами динамической концепции рассматривалась двухфакторная модель дисперсионного анализа. Первый фактор – сорт (шесть вариантов), второй – среда (девять вариантов). На основе анализа данных установлено, что взаимодействие генотип × среда – статистически значимо. Следовательно, сорта по-разному реагируют на изменение условий среды. Выполнение анализа стабильности (пластичности) сортов возможно одним из методов динамической концепции (см. табл. 5).

В табл. 6 приведены показатели стабильности сортов, рассчитанные по двум методикам:

1. Eberhart & Russell, наиболее широко используемая для оценок специфики взаимодействия генотип × среда в программах сортоизучения и основанная на расчете коэффициента линейной регрессии (b_i), характеризующего экологическую пластичность сорта, и среднего квадратичного отклонения от линии регрессии (s^2_{di}), определяющего стабильность сорта в различных условиях среды [12];

2. Nassar & Huehn, основанная на относительном ранжировании данных и расчете непараметрического показателя стабильности S_2 [13].

Регрессионный подход к оценке параметров стабильности позволил определить, что сорт Сибирская 12 с коэффициентом регрессии наиболее близким к единице ($b_i = 1,078$), имеет среднюю отзывчивость на изменение условий среды. Такая оценка генотипа свидетельствует о его агрономической (динамической) стабильности, т.е. о проявлении средней реакции на изменения условий возделывания. Показатели сорта соответствуют среде: высокие – благоприятной, незначительно уменьшенные – на бедном агрофоне.

Сорта Новосибирская 31, Сирс 57 × Укро и Укро с коэффициентом регрессии $b_i > 1$ обладают большей отзывчивостью на изменение условий произрастания и требуют более высокого уровня агротехники. Однако в неблагоприятные по погодным условиям годы, а также на низком агрофоне у этих сортов резко снижается продуктивность и возникает потребность в более пластичных сортах с высоким адаптивным потенциалом.

Сорта Новосибирская 15 и к-3992 с коэффициентом регрессии $b_i < 1$ меньше зависят от внешних условий, но имеют низкую продуктивность по сравнению с остальными сортами в опыте. Их можно рекомендовать для возделывания на бедном агрофоне или при неблагоприятных климатических условиях. Второй показатель стабильности – вариация отклонения от линии регрессии – характеризует сорт Сибирская 12 как наиболее стабильный в опыте, Сирс 57 × Укро – как

Табл. 5. Результаты дисперсионного анализа
Table 5. Analysis of variance

Источник варьирования	Степень свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	F	p
Генотип	5	3,982	0,796	301,114	< 0,001*
Среда	8	0,730	0,091	34,488	< 0,001*
Генотип × среда	40	0,827	0,021	7,818	< 0,001*
Ошибка	162	0,428	0,003		

*Значимо на уровне 0,001.

Табл. 6. Показатели стабильности сортов
Table 6. Indicators of varietal stability

Сорт	b_i	s^2_{di}	S_2
Новосибирская 15	0,750	0,003	2,500
Новосибирская 31	1,114	0,002	3,194
Сибирская 12	1,078	0,001	1,000
к-3992	0,042	0,002	3,028
Сирс 57 × Укро	1,896	0,009	5,944
Укро	1,205	0,003	2,444

⁴Чешкова А.Ф., Алеиников А.Ф., Гребенникова И.Г., Стёпочкин П.И.. Сравнительный анализ и классификация методов оценки фенотипической стабильности сельскохозяйственных растений // Информационные технологии, системы и приёмы в АПК: материалы 7-й Международной науч. конф. «Агроинфо-2018». Новосибирск, 2018. С. 99–109.

наименее стабильный. Непараметрический показатель S_2 дал аналогичную оценку стабильности.

Все исследуемые образцы показали высокую способность развиваться при различных условиях внешней среды. Полученные результаты будут использованы для повышения методического уровня и эффективности селекционного процесса за счет применения моделей и методов статистического анализа данных для определения экологической пластичности сортов и гибридов.

ВЫВОДЫ

1. В многосредовых испытаниях не существует универсального способа оценки таких параметров, как экологическая пластичность, гомеостатичность, стабильность. Необходимо использовать комплексную оценку фенотипического проявления генов широкой адаптации.

2. Разработана методика оценки экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур, основанная на использовании интегральной величины селекционного индекса.

3. Разработана компьютерная программа Agrostab, реализующая современные методы оценки экологической пластичности сортов и позволяющая оценивать стабильность генотипов по комплексу фенотипических признаков.

4. На основе тестирования компьютерной программы по селекции зерновых культур определен целенаправленный вектор отбора сортов для агроклиматических условий Западной Сибири и адаптивные образцы для включения в гибридизацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаманин В.П., Трущенко А.Ю. Общая селекция и сортоведение полевых культур: монография. Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. 400 с.
2. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений. Кишинев: Штиинца, 1980, 587 с.
3. Коваль С.Ф., Шаманин В.П. Растение в опыте: монография / ИЦиГ СО РАН, ОмГАУ. Омск: Омскбланкиздат, 1999. 204 с.

4. Mohammadi R., Farshadfar E., Amri A. Comparison of rank-based stability statistics for grain yield in rainfed durum wheat // New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. 2016. Vol. 44. P. 25–40. DOI 10.1080/01140671.2015.1100126.
5. Woyann L.G., Zdziarski A.D., Baretta D., Meira D., Dallacorte L.V. Selection of high-yielding, adapted and stable wheat lines in preliminary trials // Crop breeding and applied biotechnology. 2019. Vol. 19 (4). P. 412–419. DOI: 10.1590/1984-70332019v19n4a58.
6. Kendal E. Comparing durum wheat cultivars by genotype x yield x trait and genotype x trait biplot method // Chilean journal of agricultural research. 2019. Vol. 79 (4). P. 512–522. DOI: 10.4067/S0718-58392019000400512.
7. Abdenmour S., Houcine B., Rhouma S., Sahbi F., Tahar S. Stability and adaptability concepts of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in the north-west of Tunisia // Biologia futura. 2019. Vol. 70 (3). P. 240–250. DOI: 10.1556/019.70.2019.28.
8. Bicalho T.F., Oliveira N., Hamawaki O.T., Costa S.C., De Moraes Junior I., Silva N.S., Hamawaki R.L. Adaptability and stability of soybean cultivars in four sowing seasons // Bioscience journal. 2019. Vol. 35 (5). P. 1450–1462. DOI: 10.14393/BJ-v35n5a2019-42351.
9. Grebennikova I., Cheshkova A., Stepochkin P., Chanyshv D., Aleinikov A. Forecast of economic and valuable properties of grain crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 403. P. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012051.
10. Хангильдин В.В., Шаяхметов И.Ф., Мардамышев А.Г. Гомеостаз компонентов урожая и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы / Генетический анализ количественных признаков растений. Уфа. 1979. С. 5–39.
11. Francis T.R., Kannenberg L.W. Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes // Canadian Journal of Plant Science. 1978. Vol. 58. P. 1029–1034.
12. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. N 1. P. 36–40.
13. Nassar R., Huhn M. Studies on Estimation of Phenotypic Stability: Tests of Significance for Nonparametric Measures of Phenotypic Stability // Biometrics. 1987. Vol. 43, N 1. P. 45–53.

REFERENCES

1. Shamanin V.P., Trushchenko A.Yu. *Obshchaya selektsiya i sortovedenie polevykh kul'tur: monografiya* [General selection and cultivation of field crops], Omsk: FGOU VPO OmGAU Publ., 2006. 400 p. (In Russian).
2. Zhuchenko A.A. *Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rastenii* [Ecological genetics of cultivated plants], Kishinev: Shtiintsa Publ., 1980, 587 p. (In Russian).
3. Koval' S.F., Shamanin V.P. *Rastenie v opyte* [Plant in experiment], Omsk: Omskblankizdat, 1999, 204 p. (In Russian).
4. Mohammadi R., Farshadfar E., Amri A. Comparison of rank-based stability statistics for grain yield in rainfed durum wheat. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2016, vol. 44, pp. 25–40. DOI: 10.1080/01140671.2015.1100126.
5. Woyann L.G., Zdziarski A.D., Baretta D., Meira D., Dallacorte L.V. Selection of high-yielding, adapted and stable wheat lines in preliminary trials. *Crop breeding and applied biotechnology*, 2019, vol. 19 (4), pp. 412–419. DOI: 10.1590/1984-70332019v19n4a58.
6. Kendal E. Comparing durum wheat cultivars by genotype x yield x trait and genotype x trait biplot method. *Chilean journal of agricultural research*, 2019, vol. 79 (4), pp. 512–522. DOI: 10.4067/S0718-58392019000400512.
7. Abdenmour S., Houcine B., Rhouma S., Sahbi F., Tahar S. Stability and adaptability concepts of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in the northwest of Tunisia. *Biologia future*, 2019, vol. 70 (3), pp. 240–250. DOI: 10.1556/019.70.2019.28.
8. Bicalho T.F., Oliveira N., Hamawaki O.T., Costa S.C., De Moraes Junior I., Silva N.S., Hamawaki R.L. Adaptability and stability of soybean cultivars in four sowing seasons. *Bio-science journal*, 2019, vol. 35 (5), pp. 1450–1462. DOI: 10.14393/BJ-v35n5a2019-42351.
9. Grebennikova I., Cheshkova A., Stepochkin P., Chanyshv D., Aleinikov A. Forecast of economic and valuable properties of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 403, pp. 012051. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012051.
10. Khangil'din V.V., Shayakhmetov I.F., Mardamshin A.G. Gomeostaz komponentov urozhaya i predposylki k sozdaniyu modeli sorta yarovoi pshenitsy [Homeostasis of crop components and preconditions for creating a model of spring wheat variety]. *Geneticheskii analiz kolichestvennykh priznakov rastenii* [Genetic analysis of quantitative features of plants], Ufa, 1979, pp. 5–39. (In Russian).
11. Francis T.R., Kannenberg L.W. Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 1978, vol. 58, pp. 1029–1034.
12. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*, 1966, vol. 6, no. 1, pp. 36–40.
13. Nassar R., Huhn M. Studies on Estimation of Phenotypic Stability: Tests of Significance for Nonparametric Measures of Phenotypic Stability. *Biometrics*, 1987, vol. 43, no. 1, pp. 45–53.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Гребенникова И.Г.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦ РАН, а/я 463; e-mail: sibfti.grig@ngs.ru

Чешкова А.Ф., кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Стёпочкин П.И., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Алейников А.Ф., доктор технических наук, старший научный сотрудник

Чанышев Д.И., научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Grebennikova I.G.**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: sibfti.grig@ngs.ru

Cheshkova A.F., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Lead Researcher

Stepochkin P.I., Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher

Aleynikov A.F., Doctor of Science in Engineering, Head Researcher

Chanyshv D.I., Researcher

Финансовая поддержка

Работа поддержана бюджетными проектами СФНЦ СО РАН № 0778-2019-0001 и ИЦиГ СО РАН № 0324-2019-0039-С-01.

Дата поступления статьи 12.02.2020
Received by the editors 12.02.2020