4. Гарке Т.М., Кретова Е.А. Использование авторитетного файла как многофункционального инструмента: опыт Сибирской научной сельскохозяйственной библиотеки-филиала ГПНТБ СО РАН // Инновации и продовольственная безопасность. – 2021. – № 3. – С. 95-102.
5. Галявиева М.С. О новой роли научных библиотек в современной информационной среде научной коммуникации // Вестник КазГУКИ. – 2014. – № 1. – С.104-108.
6. Галявиева М.С. Научные библиотеки в информационном сопровождении и поддержке научных исследований: основные тенденции // Труды ГПНТБ СО РАН. – 2017. – № 12-1. – С. 221-227.
7. Richardson J., Nolan-Brown T., Loria P., Bradbury S. Library Research Support in Queensland: A Survey // Australian Academic & Research Libraries. – 2012. – Vol. 43, – № 4. – P. 256-277.

УДК 631.527:004.4: 004.032.26

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-55-60

*Гребенникова И.Г., Чанышев Д.И.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская обл., р.п. Краснообск*

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ АДАПТИВНОСТИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Методами многомерной статистики на основе результатов селекционных исследований определены биометрические показатели и выявлены источники хозяйственно ценных признаков растений яровой гексаплоидной тритикале, адаптированной для условий Западной Сибири.

Ключевые слова: тритикале яровая, многомерный статистический анализ, хозяйственно ценные признаки, продуктивность, адаптивность.

Введение

Высшей целью селекции и конструирования адаптивных агроэкосистем является сочетание высокой потенциальной продуктивности и экологической устойчивости – основы формирования величины и качества урожая [1]. Практическая селекция позволила преодолеть существовавшее долгое время убеждение, что отбор на устойчивость к абиотическим и/или биотическим стрессам неизбежно приводит к снижению потенциальной урожайности в благоприятных условиях внешней среды. И хотя более устойчивые к действию экологических стрессоров сорта и гибриды обычно имеют меньшую потенциальную продуктивность, отрицательная корреляция между этими двумя комплексными признаками вовсе не обязательна и может быть преодолена [1]. Наибольшее значение в формировании высоких величины и качества урожая играют степень продуктивности и устойчивости на «критических» этапах роста и развития растений [1].

Яровая тритикале – это культура, отличающаяся большим потенциалом урожайности, повышенным содержанием белка и незаменимых аминокислот, что определяет ее пищевое и кормовое достоинство [2]. В тритикале удачно сочетаются высокая экологическая пластичность ржи и урожайность пшеницы [3, 4]. Однако распространение тритикале в западно-сибирском регионе сдерживается значительными колебаниями урожайности и отсутствием адаптированных сортов, отвечающих разнообразным требованиям производства. Изучение качественно новых генетических источников и выделение особо ценных признаков или их комплексов на естественном фоне позволит существенно повысить эффективность создания перспективного селекционного материала, адаптированного к условиям внешней среды. Важнейшим условием эффективного использования потенциала исследуемых образцов является знание зависимостей между зерновой продуктивностью, морфобиологическими и хозяйственно ценными признаками растений [5]. Изучение этих зависимостей позволит определить, за счет каких элементов структуры урожая можно более эффективно повысить продуктивность растений, прогнозировать увеличение эффективности отбора по отдельным признакам и выделить высокоадаптивные селекционные образцы яровой тритикале в условиях Западно-Сибирской лесостепи Приобья.

Материалы и методы

Для детальной оценки хозяйственно ценных признаков и особенностей реакции на изменения погодных условий в течение периода с 2018 по 2020 гг., включительно, нами были проведены испытания трех сортов яровой пшеницы и четырех селекционных форм яровой гексаплоидной тритикале на земельных участках биополигона СибФТИ СФНЦА РАН и опытного поля СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика сортов, включенных в эксперимент

№ п/п	Культура	Название образца	Группа спелости	Происхождение	Наиболее ценные признаки сорта
1	Мягкая яровая пшеница	Новосибирская 15	ранне-спелый	Новосибирск, СибНИИРС	Устойчив к полеганию, средnezасухоустойчив. Умеренно восприимчив к твердой головне. Сильно восприимчив к бурой и стеблевой ржавчинам, к мучнистой росе.
2		Новосибирская 31	средне-ранний	Новосибирск, СибНИИРС	Устойчив к полеганию, средnezасухоустойчив. Умеренно восприимчив к бурой ржавчине и септориозу. В полевых условиях пыльной головней поражался сильно.
3		Сибирская 12	средне-поздний	Новосибирск, СибНИИРС	Устойчив к полеганию, засухоустойчив. Умеренно восприимчив к септориозу, сильно восприимчив к пыльной головне, бурой ржавчине и мучнистой росе.
4	яровая тритикале	К-3992	ранне-спелый	Санкт-Петербург, ВИР	Колос среднеплотный, остистый. Устойчив к полеганию. Колосья вторичных побегов поражаются спорыньей.
5		Kissa (k-3721) (полуостистая форма)	средне-спелый	Мексика	Отобраны полуостистые формы. Колос плотный. Хорошо выполненное зерно. Устойчив к полеганию. Засухоустойчив. Мучнистой росой не поражался.
6		Укро (k-3644)	средне-спелый	Россия, Украина	Колос крупный, плотный, остистый. Хорошо выполненное зерно. Устойчив к полеганию. Засухоустойчив. Мучнистой росой не поражался.
7		Сирс57× Укро	позднес-пелый	Новосибирск, ИЦиГ	Получен в результате диаллельных скрещиваний. Низкостебельный, устойчив к полеганию. Колос плотный, безостый. Мучнистой росой не поражался.

Ускорение процесса испытания генотипов для их дифференцирования по уровню экологической пластичности было выполнено с помощью следующих агротехнических приемов: 1) параллельного испытания набора селекционного материала по множеству хозяйственно ценных признаков в различных почвенных условиях двух земельных участков; 2) проведение полевого опыта в трех вариантах длительности светового дня. Растения выращивались на естественном фоне. Так как уровень нестабильности сорта зависит не только от его наследственных особенностей, но и от степени разнообразия условий экологических испытаний [6], данный подход позволил наиболее полно охватить весь возможный спектр условий среды и получить более полную информацию о параметрах стабильности образцов.

При селекции на адаптивность к факторам с непредсказуемой изменчивостью (количество и распределение осадков, температуры) довольно сложно выявить генотипы, адаптированные к широкому диапазону изменчивости условий среды. Представление о комплексе желательного для нового сорта сочетания признаков можно получить при анализе длительно пересеваемых в конкретной климатической зоне популяций с высоким адаптивным потенциалом, наиболее отчетливо проявляющемся на фоне действия неблагоприятных факторов. Сдвиг частот в пользу наиболее приспособленных к местным условиям генотипов происходит вследствие гетерозиготности тритикале и способности адаптироваться за счет эффекта буферного действия генетической разновидности [7]. В конце эксперимента имеется обогащенная ценными и перспективными генотипами популяция, которая может стать материалом для питомника индивидуального отбора.

Биометрический анализ проводился с использованием следующих методик: 1) методики определения экологической пластичности и стабильности образцов Eberhart & Russell [8] и Nassar & Huehn [9]; 2) мультифакторный корреляционный анализ, применяемый для выявления

ния и объективной оценки взаимосвязей между различными признаками исследуемых образцов. Расчет парных корреляций признаков осуществляли методом Пирсона с оценкой статистической значимости по t-критерию Стьюдента [10]; 3) метод кластерного анализа – применялся для сравнения исследуемых образцов по комплексу признаков и выбора группы растений, наиболее соответствующих желаемому биотипу для конкретных условий произрастания [11].

Результаты

В таблице 2 приведены значения стабильности исследуемых образцов. В соответствии со статической концепцией стабильности [12] наиболее стабильным оказался гибрид тритикале Сирс 57хУкро, имеющий минимальное значение коэффициента вариации ($\sigma=11,0$) и максимальное значение коэффициента гомеостатичности ($H=42,6$).

Также стабильность образцов определялась по двум методикам: 1) методика Eberhart & Russell, широко используемая для оценок специфики взаимодействия генотип×среда в программах сортоизучения и основанная на расчете коэффициента линейной регрессии на индекс среды (b_i), характеризующего экологическую пластичность сорта, и среднего квадратичного отклонения от линии регрессии (s^2_{di}), определяющего стабильность сорта в различных условиях среды [8]; 2) методика Nassar & Huehn, основанная на относительном ранжировании данных и расчете непараметрического показателя стабильности S_2 [9].

Таблица 2

Показатели стабильности и адаптивности исследуемых образцов

Сорт	σ	H	b_i	s^2_{di}	S_2
Новосибирская 15	20,97	8,86	0,68	0,0009	3,36
Новосибирская 31	23,43	6,81	1,35	0,0004	3,61
Сибирская 12	16,11	15,90	0,97	0,0012	3,50
К-3992	16,65	13,96	0,48	0,0029	8,44
Сирс 57 х Укро	11,00	42,55	0,79	0,0002	1,61
Укро	15,13	15,34	1,08	0,0034	4,44
Kissa п/о	17,11	10,41	1,66	0,0010	6,36

Вычисления по данным экспериментальных исследований выявили большие различия между селекционными образцами по их реакции на изменения условий среды от $b_i = 0,48$ (К-3992) до $b_i = 1,66$ (Kissa п/о), что характеризует специфику адаптивности образцов, принадлежащих различным эколого-географическим группам. Регрессионный подход к оценке параметров стабильности яровой тритикале позволил определить, что сорт Укро ($b_i=1,08$) с коэффициентом регрессии наиболее близким к единице, имеет среднюю отзывчивость на изменение условий среды. Такая оценка генотипов свидетельствует об их агрономической (динамической) стабильности, то есть о проявлении средней реакции на изменения условий среды. Изменение показателей у сорта соответствует изменению условий: на хорошем агрофоне – они высокие, на низком – имеют тенденцию к уменьшению.

Из литературных данных известно, что значение $b_i \gg 1$ может положительно характеризовать сорт, если это обусловлено высокой отзывчивостью на благоприятные условия, но являться отрицательным показателем, если причина этого – восприимчивость к стрессам [13]. Таким образом, для характеристики адаптивности сортов условием правильного использования оценок b_i является необходимость рассмотрения величин этого параметра с учетом уровней урожайности [14]. Величина средней урожайности интегрально описывает уровень потенциалов продуктивности и адаптивности изучаемых генотипов.

Анализ значений урожайности, приведенный в таблице 3, показал высокую вариабельность продуктивности образцов тритикале в разные годы и сроки сева. Проявления взаимодействий генотип-среда значительно усложняет процесс отбора образцов на адаптивность к непредсказуемым изменениям внешних условий и выбор наиболее продуктивных сортов для возделывания в данных условиях. Высокая степень таких взаимодействий приводит к смене рангов урожайности генотипов.

Таблица 3

Средние значения урожайности (ц/га) трех сортов яровой пшеницы и четырех форм яровой тритикале при трех сроках сева, 2018-2020 гг.

Сорт	2018			2019			2020			среднее	ранг
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Новосибирская 15	18,8	36,5	28,5	41,7	31,0	31,2	39,8	34,3	29,3	32,4	7
Новосибирская 31	28,5	55,1	29,9	56,0	47,2	40,2	75,4	58,1	44,2	48,3	4
Сибирская 12	31,8	54,4	45,9	62,4	45,9	38,9	61,8	57,5	45,0	49,3	3
К-3992	40,6	36,9	17,3	45,4	37,0	28,6	43,8	28,7	17,8	32,9	6
Сирс 57 х Укро	25,9	26,2	19,2	53,3	53,1	39,4	57,1	46,5	34,8	39,5	5
Укро	41,2	94,0	32,0	46,3	57,1	41,5	70,2	56,8	49,0	54,2	2
Kissa п/о	38,3	78,0	27,3	74,6	50,8	26,1	79,3	59,8	55,9	54,5	1
Среднее ($\bar{X}_i$, ц/га)	32,2	54,5	28,6	54,3	46,0	35,1	61,1	48,8	39,4	44,4	

По совокупности полученных результатов среднеспелые образцы Укро и Kissa п/о показали высокую устойчивость процессов формирования урожая при неблагоприятных погодных условиях. Большая урожайность формировалась, в основном, за счет большего количества зерна и массы семян с колоса. Урожайность Kissa п/о в среднем выше, чем у всех остальных изучаемых образцов, с том числе и скороспелого К-3992. Образцы Укро и Kissa п/о могут сочетать повышенную реализацию потенциала в оптимальных условиях и толерантность к стрессам и, следовательно, отличаются оптимальным сочетанием генетических систем потенциальной продуктивности и экологической устойчивости, которые по данным Жученко А.А. контролируются различными комплексами генов и наследуются относительно независимо, что свидетельствует о принципиальной возможности сочетания их в одном сорте в процессе селекции [1].

Скороспелый сорт К-3992 имеет низкий потенциал урожайности и наименьшее значение параметра индекса среды ($b_i=0,48$), что обусловлено его слабой отзывчивостью на благоприятные условия.

Второй показатель стабильности – варианса отклонения от линии регрессии – характеризует гибридную форму Сирс 57хУкро как наиболее стабильную в опыте, а сорт Укро – как наименее стабильный. Непараметрический показатель S_2 дал аналогичную оценку стабильности.

Результаты проведенной серии испытаний показали, что хотя в зависимости от погодных условий все изученные сорта сменяют свои ранги по сравнению со средними за период исследования оценками, однако тритикале характеризуется лучшей адаптивностью и способна давать больший урожай по сравнению с пшеницей.

На основе многолетних данных селекционных исследований были рассчитаны парные корреляции 10 признаков: длина стебля, длина колоса, число колосков в колосе, плотность колоса, число зерен в колосе, масса зерна колоса, масса 1000 зерен, число стеблей с делянки, урожайность, число дней всходов-колошения. Анализ корреляций позволил сделать вывод, что признаки «длина колоса», «число зерен в колосе», «число колосков в колосе», «масса зерна колоса» и «число дней всходов-колошения» образуют корреляционную группу, как для пшеницы, так и для тритикале. Между всеми парами признаков данной группы наблюдается высокий уровень корреляционных зависимостей ($0,46 < r_{ij} < 0,91$). Средняя линейная зависимость наблюдается между признаками «масса 1000 зерен» и «плотность колоса» у пшеницы ($r = 0,31$) и между признаками «масса 1000 зерен» и «длина стебля» у тритикале ($r = 0,5$). Урожайность показала высокий уровень корреляции с признаком «число стеблей с делянки» для обеих культур ($r = 0,68$; $r = 0,71$) (рисунок 1а).

Для наглядного представления корреляционных групп был выполнен кластерный анализ на основе корреляционной матрицы сходства. Проведенный анализ по пшенице и тритикале позволил сгруппировать признаки и, объединив их, выделить наиболее близкие (рисунок 1б).

В результате выявлены три кластера взаимосвязанных признаков, имеющих схожий набор признаков внутри кластера и достоверные различия с другими кластерами.

Рисунок 1. Выявленные взаимосвязи количественных признаков селекционных образцов яровой тритикале при трех сроках сева за период исследования:

а) корреляционным анализом, б) кластерным анализом

Анализ матрицы корреляций и дендрограмм распределения количественных признаков показали, что на урожайность зерна образцов яровых тритикале из изученных нами элементов структуры урожая наибольшее влияние оказывали число стеблей с делянки, масса зерна с колоса, длина колоса, число зерен в колосе и число колосков в колосе. Параметры высоты растений и массы 1000 зерен в меньшей степени оказывают влияние на продуктивность растений. Данные исследований показывают, что при разных сроках сева критические этапы развития растения проходят в различных режимах по обеспечению светом, теплом и влагой, что изменяет метамерность всего растения, а в итоге значительно влияет на продуктивность растения. В целом, все исследуемые образцы показали высокую способность развиваться при различных условиях внешней среды. Результаты исследований позволили определить вектор отбора сорта для включения в гибридизацию, применительно к сложным климатическим условиям Западной Сибири.

Использованные источники:

1. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В трех томах. – М.: Изд-во Агрорус, 2009.
2. Brzozowska I., Brzozowski J., Cymes I. 2018. Effect of weather conditions on spring triticale yield and content of macroelements in grain. J. Elem., 23(4): 1387-1397. DOI: 10.5601/jelem.2018.23.1.1589.
3. Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 241. – P. 468-479.
4. Feng Z., Qi Z., Du D. et al Characterization of a new hexaploid triticale 6D(6A) substitution line with increased grain weight and decreased spikelet number // The Crop Journal. – 2019. – Vol. 7(5). – P. 598-607.
5. Dogan R., Senyigit E. Correlation and path coefficient analysis of yield and yield components in hexaploid triticale (x Triticosecale Wittmack) genotypes under mediterranean conditions//J. Biol. Environ. Sci. –2016. – Vol. 10(28). – P. 21-27.
6. Lin C.S., Binns M.R., Lefkovitch L.P. Stability analysis: where do we stand? // Crop Science. – 1986. – Vol. 26. – № 5. – P. 894-900.
7. Коваль С.Ф., Коваль В.С., Чернаков В.М. Что такое модель сорта.– Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 277с.
8. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties // Crop Sci. 1966. – Vol. 6. – № 1. – P. 36-40.
9. Nassar R., Huhn M. Studies on Estimation of Phenotypic Stability: Tests of Significance for Nonparametric Measures of Phenotypic Stability // Biometrics. 1987. – Vol. 43. – № 1. – P. 45-53.
10. Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 416 с.

11. Ефимов В.М., Ковалева В.Ю. Многомерный анализ биологических данных. – СПб, 2008. – 98 с.
12. Cheshkova A.F., Stepanov P.I., Aleynikov A.F., Grebennikova I.G., Ponomarenko V.I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability// Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii=Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2020. – Vol. 24(3). – P. 267-275. DOI 10.18699/VJ20.619.
13. Habgood, R.M. Estimation of genetic diversity of self-fertilizing cereal cultivars based on genotype-environment interactions // Euphytica. – 1997. – Vol. 26 (2). – P. 485-489.
14. Мартынов С.П. Оценка экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур // С.-х. биология. – 1989. – № 3. – С. 124-128.

УДК 632.4.01/08:535.37

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-60-64

Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская область, р.п. Краснообск

КРОСС-АДАПТАЦИЯ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ГИПЕРТЕРМИИ И ИНФИЦИРОВАНИИ *Bipolaris sorokiniana* Shoem.

В статье приводятся результаты исследований адаптивных реакций 10-суточных проростков сортов пшеницы Новосибирская 18, Новосибирская 44, Сибирская 21 и Омская 18 при комбинированном стрессе. Установлено, что предварительная гипертермия семян повышала устойчивость проростков по типу кросс-адаптации к последующему действию *B. sorokiniana* (снижение УЭП до 71,9 %, ИРБ до 29,7 %, ингибирования накопления биомассы и роста до 95,4 %). Выявлена сортовая специфика формирования адаптивных реакций при совместном действии стрессоров. Протекторный эффект гипертермии наиболее выражен у сортов Новосибирская 18 и Омская 18.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, кросс-адаптация, обыкновенная корневая гниль злаков, гипертермия.

Введение. В селекции и растениеводстве необходимо изучение адаптивного потенциала сорта одновременно к нескольким стрессовым факторам среды. В Сибирском регионе одними из лимитирующих урожайность пшеницы факторов являются резкие колебания температур, особенно в ранневесенний период вегетации, и различного вида инфекции. Одним из наиболее распространенных заболеваний является обыкновенная корневая гниль злаков, возбудителем которой *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (сокр. *B. sorokiniana*) заселено 70-75 % пахотных черноземов Западной Сибири, что на 10-15 % снижает урожай и ухудшает его качество [1]. В последние годы появились сообщения об усилении вредоносности болезни в лесостепи Западной Сибири [2].

Известно о неоднозначной реакции растений на комбинированный биотический и абиотический стресс – от усиления до компенсации негативного влияния стрессоров, возникающего при их одновременном действии [3, 4]. При последовательном действии стрессоров возникает кросс-адаптация – процесс повышения устойчивости организма к конкретному стрессовому фактору в результате адаптации к фактору иной природы. По современным представлениям кросс-адаптация базируется в первую очередь на функционировании в растениях общих (неспецифических) механизмов устойчивости к двум или нескольким факторам различной природы. Эти механизмы направлены на экономию энергетических и структурных ресурсов растительных организмов в стрессовых условиях [5]. Предполагается, что индуцирование кросс-адаптации обусловлено перекрытием сигнальных путей и систем растений, в первую очередь антиоксидантной защитной системы [6, 7].

Цель исследований – изучить адаптивные реакции сортов мягкой яровой пшеницы при раздельном и совместном действии возбудителя обыкновенной корневой гнили и повышенной температуры для оценки их устойчивости.

Материалы и методы. Экспериментальная работа выполнена в лаборатории изучения физических процессов в агрофитоценозах Сибирского физико-технического института СФНЦА РАН.