

Классификация сред на основе коэффициентов корреляции урожайности сортов мягкой яровой пшеницы

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-14-21



УДК 633.111.1

Поступление/Received: 06.07.2020

Принято/Accepted: 23.12.2020

С. Б. ЛЕПЕХОВ

Федеральный Алтайский научный центр
агробиотехнологий,
656910 Россия, г. Барнаул, Научный городок, 35
✉ sergei.lepehov@yandex.ru

Classification of environments based on correlations of yield in spring bread wheat

S. B. LEPEKHOV

Federal Altai Scientific Centre
of Agro-BioTechnologies,
35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia
✉ sergei.lepehov@yandex.ru

Актуальность. Взаимодействие факторов «генотип – среда» затрудняет отбор селекционного материала. Для уменьшения его влияния исследователи разработали различные способы классификации сред. Ранее было предложено использовать коэффициенты корреляции между урожайностью одних и тех же сортов, выращенных в ряде сред, для классификации этих сред. Цель работы заключалась в классификации лет на основе корреляции урожайности специально подобранного набора сортов яровой мягкой пшеницы и проверке применимости данной группировки для селекционного материала в питомниках. **Материалы и методы.** Материалом исследования являлись сорта, линии и селекционные образцы коллекционного питомника, конкурсного испытания и гибридных популяций соответственно. Исследование проведено с 2010 по 2017 г. В качестве основы для классификации лет использован корреляционный анализ урожайности 19 маркерных сортов различного эколого-географического происхождения. Полученные коэффициенты корреляции для урожайности маркерных сортов и урожайности селекционных образцов в питомниках для тех же пар лет сравнивали с помощью U-критерия Манна – Уитни. **Результаты.** Рассматриваемые годы классифицированы на три группы: 1) 2010, 2013 г.; 2) 2011, 2012 и 2014 г.; 3) 2015, 2016 и 2017 г. Коэффициенты корреляции урожайности маркерных сортов и урожайности образцов из остальных питомников для рассматриваемых лет достоверно не различались. Следовательно, типизация лет на основе реакций маркерных сортов может быть справедливо применена к остальному селекционному материалу. **Заключение.** Предлагается формировать и использовать набор маркерных сортов в экологическом испытании для получения дополнительной информации о целевых средах и более надежного принятия решений о браковке селекционного материала.

Ключевые слова: экологическое испытание, корреляционный анализ, селекция растений.

Background. Genotype–environment interaction complicates selection of lines in plant breeding. Researchers have developed different ways to classify environments to mitigate its effect. The use of correlation analysis between yields of cultivars grown in different environments was earlier proposed for classification of these environments. The aim of this research was to classify years on the basis of correlations of the yields in a specially selected set of spring bread wheat cultivars and to verify the application of such classification to breeding material in different nurseries. **Materials and methods.** The material for the experiment included cultivars, lines and breeding samples from the collection nursery, competitive variety trials, and the nursery for segregating populations, respectively. The experiments were conducted from 2010 through 2017. The correlation analysis between the yields of 19 marker cultivars of different ecogeographic origin was used as the basis for the classification of years. The calculated correlation parameters for the yields of marker cultivars and those of the breeding material in nurseries for the same pairs of years were compared using the Mann–Whitney U-test. **Results.** The years under consideration were classified into three groups: 1) 2010 and 2013; 2) 2011, 2012 and 2014; 3) 2015, 2016 and 2017. Correlations between the yields of the marker cultivars showed no significant differences from those of the genotypes from other nurseries across the analyzed years. Consequently, the classification of years based on the reactions of marker cultivars can be justifiably extended onto other breeding material. **Conclusion.** It is suggested to select and use a set of marker cultivars in multi-environment trials to obtain additional information about target environments and make more informed decisions on culling plant breeding materials.

Key words: multi-environment trial, correlation analysis, plant breeding.

Введение

Взаимодействие «генотип – среда» является существенным фактором снижения точности оценок селекционного материала в ранних поколениях (Knott, 1994) и причиной того, что перспективные линии не подтверждают своих преимуществ перед стандартом при испытании в различных экологических условиях (Hill, 1975).

Суть этого взаимодействия заключается в смене рангов количественных признаков сортов в нескольких экологических или географических точках либо в изменении абсолютных разностей между генотипами без изменения рангов.

Селекционеры используют различные методы для группировки сред с целью снижения влияния взаимодействий «генотип – среда». Наиболее распространен-

ный метод классификации сред или генотипов в однородные группы – это кластерный анализ. Н. А. Abou-El-Fittouh et al. (1969) использовали кластерный анализ как инструмент для классификации сред с целью минимизации внутрикластерных взаимодействий «генотип – среда». Хотя кластерный анализ выделяет однородные группы, было показано, что внутри кластеров сохраняется разнообразие (Malhotra, Singh, 1991).

Использование кластерного анализа базируется на различных подходах: классификации сред, основанной на нетрансформированных и трансформированных данных (Fox, Rosielle, 1982a; Ouyang et al., 1995), классификации географических точек на основе взаимодействий «генотип – географическая точка – год» (Lawrence, DeLacu, 1993), взаимосвязи между средами и группировке сред при помощи регрессионного анализа, метода главных компонент, корреляций и ранжирования (Fox, Rathjen, 1981). Классификация сред, полученная методами кластерного анализа, позволяет существенно снизить количество географических точек при испытании (Huhn, Truberg, 2002). М. Cooper et al. (1993) сравнили четыре способа преобразования исходных данных и установили, что стандартизация и ранжирование по урожайности 40 линий пшеницы лучше подходят для классификации сред, чем использование неизменных показателей и данных с поправкой на эффект года. Использование разных способов мер сходства и способов кластеризации приводит к различным результатам кластерного анализа. По этой причине данный метод подвергается критике (Westcott, 1986).

Для классификации сред J. Hamblin et al. (1980) предложили использовать коэффициенты корреляции между урожайностью одних и тех же сортов, выращенных в ряде географических точек. Существенная корреляция между средами означает, что урожайность генотипов в конкретной точке хорошо соотносится с урожайностью всего набора сред. Однако не было обнаружено ни одной географической точки, которая бы ежегодно имела тесную корреляцию со всеми средами. Выход из данной ситуации был найден путем нахождения среднего значения для различных сочетаний трех географических точек и последующего расчета коэффициентов корреляции со всей совокупностью сред.

А. В. Кильчевский (Kilchevskij, 1986) ввел понятие коэффициента типичности среды t_r , представляющего собой коэффициент корреляции между значениями признака для одних и тех же сортов в конкретной среде и его средними значениями в нескольких средах, который дает возможность оценить способность сохранять ранги генотипов, полученные в результате их усредненной оценки во всей совокупности сред. Когда урожайность генотипов в двух географических точках положительно коррелирует, отбор высокоурожайных сортов в одной среде способен идентифицировать аналогичные сортообразцы для второй природно-климатической зоны (Cooper et al., 1993; Ortiz et al., 2007).

Если испытание сортов осуществляется в различных географических точках, то шанс идентификации генотипов, адаптированных к различным средам, увеличивается (Allard, Bradshaw, 1964). В целом рекомендуется вести отбор в тех условиях, для которых предназначается новый сорт (Atlin, Frey, 1990; Seccarelli et al., 1992; Ud-Din et al., 1992). Трудность нахождения таких условий, учитывая высокую изменчивость целевых сред, также может осложнять идентификацию лучших генотипов (Blum, 1979).

Коэффициенты корреляции между двумя контрастными по водному обеспечению фонами используются в работах по изучению засухоустойчивости растений. В одних исследованиях установлена положительная корреляция между урожайностью сортов на фоне засухи и при орошении (Farshadfar et al., 2012; Abdolshahiet al., 2013), что свидетельствует о возможности косвенной оценки засухоустойчивости сортов при отсутствии засухи. В других работах сообщается об отсутствии положительной корреляции между средами (Sio-Se Mardeh et al., 2006; Zebajadi et al., 2012; Yasir et al., 2013).

В отличие от идеального исследования взаимодействия «генотип – географическая точка – год», где генотипы остаются неизменными в течение всего времени, анализ взаимодействия «генотип – среда» для практической селекции затруднен, поскольку селекционный материал меняется каждый год. Для решения этой проблемы применительно к многолетнему экологическому испытанию были разработаны другие подходы (Lawrence, DeLacu, 1993). Важное допущение состоит в том, что генотипы, используемые в любой год, являются репрезентативными по отношению ко всему имеющемуся набору образцов.

Практическая селекция сталкивается с невозможностью создания массовой системы провокационных фонов, массового экологического испытания всего селекционного материала. Зачастую селекционер вынужден оценивать материал здесь и сейчас в условиях конкретного года и экстраполировать результат отбора на среды, в которых предстоит возделывать новый сорт. В условиях Сибири, характеризующейся континентальностью климата, данная проблема стоит особенно остро, поскольку высока вероятность нетипичных лет.

В научной литературе имеются сведения об агроэкологической биоиндикации территорий методом, предложенным J. Hamblin et al. (1980), на основе данных экологического испытания линий и сортов (Fakorede, 1986; Mišević, Dumanović, 1989; Dyakov et al., 2011; Eroshenko et al., 2019), но нет данных о справедливости применения этой классификации к питомникам, находящимся на более ранних стадиях селекционного процесса.

Мы предполагаем, что корреляционный анализ урожайности ежегодно высеваемого набора разнообразных сортов пшеницы позволит сравнивать годы и данное сравнение будет справедливо для селекционного материала в остальных питомниках. Цель работы заключалась в классификации лет на основе корреляции урожайности набора маркерных сортов яровой мягкой пшеницы и проверке применимости данной классификации для селекционного материала в питомниках.

Материалы и методы

Материалом исследования являлись данные об урожайности сортов, линий и селекционного материала, размещенных в коллекционном питомнике, конкурсном испытании (КСИ) и питомнике гибридных популяций (ГП) лаборатории селекции мягкой пшеницы ФГБНУ Федерального Алтайского научного центра агроботаники (ФАНЦА) с 2010 по 2017 г. Целесообразность включения в анализ гибридных популяций вызвана тем, что самые урожайные линии возникают в комбинациях скрещивания с изначально более высокой среднепопуляционной урожайностью (Lalić et al., 2003), поэтому важно отслеживать и пересевать такие популяции для повторного отбора. Коллекция и гибридные популяции F_2-F_6

высевались в однократной повторности на делянках площадью 10 м² с нормой высева 500 зерен/м². Питомник конкурсного испытания закладывался в четырехкратной повторности на делянках площадью 25 м² с той же нормой высева. В коллекционном питомнике отдельным блоком ежегодно на протяжении 8 лет высевался набор из 28 сортов яровой мягкой пшеницы. Их выбор был обусловлен стремлением охватить максимальное разнообразие реакций генотипов на условия лет испытания. После проведения кластерного анализа количество генотипов было уменьшено с 28 до 19 путем сокращения сортов, входящих в один кластер. Итоговый набор сортов включал следующие генотипы: 'Алтайская 100', 'Алтайская 105', 'Баганская 95', 'Дуэт', 'Ершовская 33', 'Ершовская 34', 'Кинельская краса', 'Кинельская отрада', 'Новосибирская 31', 'Омская 24', 'Омская 36', 'Саратовская 73', 'Сибирская 12', 'Тарская 10', 'Тулайковская золотистая', 'Фитон 41', 'Челяба 2', 'Челяба юбилейная', 'Экада 53'. На основании урожайности этих маркерных сортов рассчитывали коэффициенты корреляции между годами с целью классификации последних. В качестве дополнительного инструмента классификации выступал кластерный анализ, проведенный в программе Statistica 12. Мерой дистанции служили коэффициенты корреляции Пирсона, способом кластеризации – метод Варда.

В пределах выделенных групп лет рассчитывали среднюю урожайность для каждого сорта. Поскольку в коллекционном питомнике сорта высевали в бесповторном опыте, то для подсчета наименьшей существенной разности в качестве повторностей были использованы годы.

Хотя каждый год происходила частичная смена сортообразцов во всех питомниках, наибольшее количество образцов одного генетического происхождения (сорт в коллекции, линия в КСИ и комбинация скрещивания в ГП) оставалось постоянным на протяжении двух лет, следующих друг за другом. На основании данных, полученных в результате оценки этих образцов, были рассчитаны коэффициенты корреляции для двух, следовавших друг за другом, лет (2010–2011, 2011–2012, 2012–2013, 2013–2014, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017). Количество изученных образцов представлено в таблице 1.

Полученные на основе оценки данных урожайности маркерных сортов и генотипов в питомниках коэффициенты корреляции для вышеуказанных пар лет сравнивали при помощи U-критерия Манна – Уитни.

В 2010 и 2015 годах наблюдалась раннелетняя засуха при достаточном количестве осадков во второй половине вегетации. Год 2011 характеризовался дефицитом осадков с мая по август. В первой половине вегетации 2012 и 2014 г. наблюдалась нарастающая к колошению жесткая почвенная засуха. Вторая половина вегетации характеризовалась достаточным количеством осадков. Погодные условия 2013 г. сложились в целом благоприятно для роста и развития растений. Почвенная засуха средней интенсивности проявлялась на протяжении двух декад, предшествовавших колошению, а период налива зерна протекал на фоне обилия осадков. Годы 2016 и 2017 характеризовались достаточным и избыточным увлажнением.

Результаты

Коэффициенты корреляции урожайности маркерных сортов яровой мягкой пшеницы, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что относительно однотипные реакции сортов (с достоверными положительными коэффициентами корреляции) отмечены в 2010 и 2013, 2011 и 2012, 2011 и 2014, а также в 2015–2017 гг. Данный результат позволяет выделить три группы среди рассматриваемых лет: 1) 2010, 2013 г., 2) 2011, 2012 и 2014 г., 3) 2015, 2016 и 2017 г.

Графическое выражение данной классификации представлено на рисунке.

В первой группе лет (2010, 2013 г.) высокую урожайность сформировали сорта 'Новосибирская 31' и 'Омская 24', низкую – 'Омская 36' и 'Тулайковская золотистая'. Во второй группе лет (2011, 2012 и 2014 г.) к высокоурожайным относились сорта 'Омская 36' и 'Омская 24', к низкоурожайным – 'Новосибирская 31', 'Тулайковская золотистая' и 'Экада 53'. В третьей группе лет (2015, 2016 и 2017 г.) наибольшую зерновую продуктивность имели сорта 'Тулайковская золотистая' и 'Экада 53', наименьшую – 'Омская 36' и 'Омская 24' (табл. 3).

Таблица 1. Количество образцов яровой мягкой пшеницы, включенных в анализ (Барнаул, 2010–2017 гг.)

Table 1. Number of spring bread wheat genotypes taken into analysis (Barnaul, 2010–2017)

Питомник / Nursery	Пары лет / Pairs of years						
	2010– 2011	2011– 2012	2012– 2013	2013– 2014	2014– 2015	2015– 2016	2016– 2017
маркерные сорта / marker cultivars	19	19	19	19	19	19	19
коллекция / collection	87	96	73	94	85	43	57
гибридные популяции / segregating populations	62	87	106	126	43	94	87
конкурсное испытание / competitive variety trials	60	61	51	59	65	45	58

Таблица 2. Средняя урожайность и коэффициенты корреляции между урожайностью маркерных сортов яровой мягкой пшеницы (Барнаул, 2010–2017 гг.)**Table 2.** Average yield and correlations between yields of marker cultivars of spring bread wheat (Barnaul, 2010–2017)

Год Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Средняя урожайность, т/га Average yield, t/ha	3,31	2,84	2,13	2,86	3,28	2,86	2,17	2,38
2011	0,366							
2012	0,409	0,651						
2013	0,539	0,256	0,331					
2014	0,374	0,470	0,365	0,358				
2015	0,153	-0,114	0,393	0,272	0,306			
2016	0,139	0,000	0,246	0,280	0,119	0,659		
2017	-0,037	-0,283	0,068	0,336	-0,109	0,490	0,476	

Примечание: $r_{\text{табл.}} = 0,456$, при $\alpha = 5\%$, НСР_{05} для средней урожайности = 0,25 т/га
 Note: $r_{\text{table}} = 0.456$, $\alpha = 5\%$, LSD_{05} for average yield = 0.25 t/ha

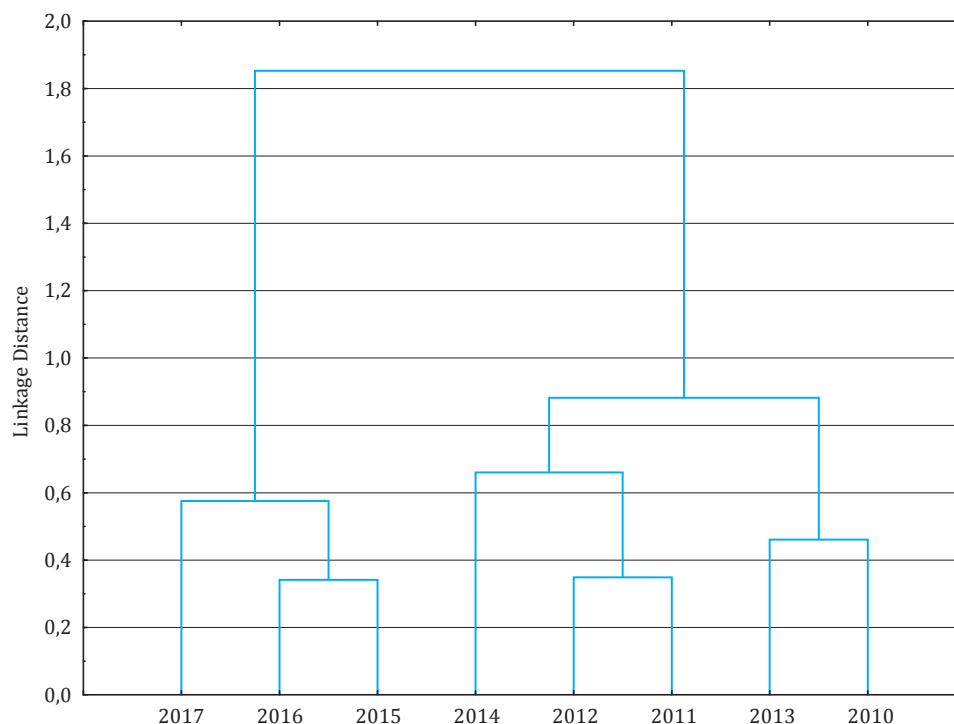
**Рисунок.** Кластеризация лет на основе коэффициентов корреляции урожайности маркерных сортов яровой мягкой пшеницы**Figure.** Clustering of years based on correlation coefficients of yields in marker cultivars of spring bread wheat

Таблица 3. Средняя урожайность маркерных сортов яровой мягкой пшеницы в рассматриваемых группах лет (т/га)**Table 3. Average yield for marker cultivars of spring bread wheat in the analyzed groups of years (t/ha)**

Сорт / Cultivar	Группа лет / Group of years		
	2010, 2013	2011, 2012, 2014	2015, 2016, 2017
Омская 36 / Omskaya 36	2,39 ^L	3,13 ^H	2,04 ^L
Челяба 2 / Chelyaba 2	2,38 ^L	2,65	2,56
Фитон 41 / Fiton 41	2,40 ^L	2,29 ^L	2,00 ^L
Тулайковская золотистая / Tulaykovskaya zolotistaya	2,51 ^L	2,39 ^L	2,97 ^H
Кинельская краса / Kinelskaya krasa	2,61	2,45 ^L	2,58
Сибирская 12 / Sibirskaya 12	2,74	2,24 ^L	2,11 ^L
Баганская 95 / Baganskaya 95	2,83	2,70	1,94 ^L
Кинельская отрада / Kinelskaya otrada	2,96	2,60	3,03 ^H
Экада 53 / Ekada 53	3,11	2,52 ^L	2,73 ^H
Саратовская 73 / Saratovskaya 73	3,13	2,89	2,43
Ершовская 33 / Yerшовskaya 33	3,19	3,06 ^H	2,64
Алтайская 100 / Altayskaya 100	3,26	2,65	2,34
Челяба юбилейная / Chelyaba yubileynaya	3,38 ^H	3,10 ^H	2,53
Тарская 10 / Tarskaya 10	3,40 ^H	2,86	2,42
Омская 24 / Omskaya 24	3,41 ^H	3,10 ^H	2,00 ^L
Ершовская 34 / Yerшовskaya 34	3,42 ^H	2,92	2,95 ^H
Дуэт / Duet	3,75 ^H	3,19 ^H	2,93 ^H
Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	3,78 ^H	2,41 ^L	2,37
Алтайская 105 / Altayskaya 105	3,93 ^H	3,11 ^H	2,47
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,86	0,46	0,51

Примечание: Индексами H и L обозначены высоко- (H) и низкоурожайные (L) сорта. Различия между любым сортом с индексом H и L статистически значимы при $\alpha = 5\%$

Note: Indices H and L denote high- (H) and low-yielding (L) cultivars. Differences for any cultivar with index H and L are statistically significant at $\alpha = 5\%$

Сравнение лет на основе среднесортовой урожайности позволяет разделить рассматриваемые годы на три достоверно различающиеся группы: 1) 2010 и 2014 г. (3,28–3,31 т/га), 2) 2011, 2013 и 2015 г. (2,84–2,86 т/га), 3) 2012, 2016 и 2017 г. (2,13–2,38 т/га). Однако в пределах такой классификации не представляется возможным выделить высоко- и низкоурожайные сорта для 1 и 2 групп ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$).

Коэффициенты корреляции урожайности маркерных сортов для следующих друг за другом лет не имели достоверных отличий от коэффициентов корреляции урожайности образцов из остальных питомников для тех же пар лет (табл. 4). Следовательно, сравнение лет на основе урожайности 19 маркерных сортов репрезентативно по отношению к селекционному материалу из других питомников.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между урожайностью генотипов яровой мягкой пшеницы в различных питомниках (2010–2017 гг.) и их сравнение с коэффициентами корреляции для маркерных сортов по U-критерию Манна – Уитни

Table 4. Correlations between the yields of spring bread wheat genotypes in different nurseries (2010–2017) and their comparison with the correlations of marker cultivars using Mann–Whitney U-test

Питомник / Nursery	Пары лет / Pairs of years							U-критерий / U-test
	2010– 2011	2011– 2012	2012– 2013	2013– 2014	2014– 2015	2015– 2016	2016– 2017	
маркерные сорта / marker cultivars	0,366	0,651*	0,331	0,358	0,306	0,659*	0,476*	–
коллекция / collection	0,344*	0,525*	0,423*	0,331*	0,471*	0,432*	0,647*	24
гибридные популяции / segregating populations	0,465*	0,466*	-0,006	0,388*	0,282	0,468*	0,194	16
конкурсное испытание / competitive variety trials	0,381*	0,728*	0,180	0,500*	0,564*	0,513*	0,641*	18

* – существенно при $\alpha = 5\%$; табличное значение U-критерия Манна – Уитни ($p < 0,05$) = 11

* – significant at $\alpha = 5\%$; critical values of the Mann–Whitney U-test ($p < 0.05$) = 11

Обсуждение результатов

Полученные нами средние или статистически незначимые коэффициенты корреляции урожайности маркерных сортов для рассматриваемых лет свидетельствуют о разнообразии реакций сортов на факторы окружающей среды. А. Б. Дьяков и др. при испытании подсолнечника в пяти географических пунктах обнаружили только положительные коэффициенты корреляции урожайности, что свидетельствует о сравнительно невысокой степени агроэкологической разнотипности районов испытания (Dyakov et al., 2011).

Хотя исследователи предпочитают классифицировать среды на основе средней урожайности (Atlin, Frey, 1990), реакции отдельных генотипов даже в средах с близким уровнем продуктивности могут отличаться. В нашем случае это можно отметить на примере 2011 и 2015, а также 2012 и 2017 г. И наоборот: в разных по средней продуктивности средах реакции генотипов могут быть схожими (2015, 2016 г.). Причина такого несоответствия заключается в том, что снижение урожайности определяется различными лимитирующими факторами. Так, в 2010 и 2013 г. отмечалась мягкая засуха до колошения и обилие осадков после колошения без развития болезней. Вторую группу лет (2011, 2012 и 2014 г.) объединяет жесткий дефицит осадков. Главным лимитирующим фактором 2015–2017 гг. было интенсивное развитие листостебельных болезней во второй половине вегетации. Классификация лет на основе среднесортной урожайности этого не учитывает.

Так как отсутствуют значимые различия между коэффициентами корреляции урожайности маркерных сортов и корреляциями урожайности генотипов в рассматриваемых питомниках для тех же пар лет, то сравнение лет на основе корреляционного анализа урожайности

маркерных сортов справедливо и для всех остальных питомников. Можно ожидать, что генотипы из этих питомников, имевшие прибавки к стандартам по урожайности, например в 2011 году, утратят свое преимущество при испытании в 2015–2017 гг. Данная закономерность драматичным образом отразится на селекционном процессе, так как на протяжении серии лет будут отобраны и включены в гибридизацию образцы с нежелательными для целевых сред реакциями.

Ранее исследователи создавали классификации сред, используя основные климатические особенности местности. Например, на основе преобладающих погодных условий и закономерностей взаимодействия «генотип – среда» были определены основные классы сред для кукурузы (Löffler et al., 2005; Bänziger et al., 2006). Однако для селекционеров предпочтительна классификация сред на основе сходства реакций сортов в испытаниях, поскольку если известно поведение сорта в ряде сред, то поведение другого генетически близкого сорта может быть спрогнозировано (Ghaderi et al., 1982). Об отсутствии взаимосвязи между классификацией сред на основе урожайности сортов и погодных условий вегетационного периода сообщали P. N. Fox и A. J. Rathjen (1981). L. Gusmão et al. (1989) с помощью использования регрессионного анализа урожайности сортов тритикале обнаружили, что в четырех природно-климатических зонах Португалии можно выделить только две зоны. В. Westcott (1986) отмечает, что даже если имеется информация об экологических факторах среды (система земледелия, эдафические факторы, метеорологические данные), она не может быть использована, поскольку потребуются дополнительные работы, чтобы понять, как лучше всего проанализировать такие данные.

P. N. Fox, A. A. Rosielle (1982b) считают, что для повышения надежности классификации сред селекционер мо-

жет формировать набор конкретных генотипов. Выше мы продемонстрировали, что сравнение лет на основе корреляционного анализа урожайности маркерных сортов справедливо для остальных питомников, поэтому может быть применено в практической селекции. Однако мы отмечаем, что принцип формирования набора маркерных сортов остается слабо обоснованным. Некоторые сорта ('Новосибирская 31', 'Омская 24', 'Омская 36', 'Тулайковская золотистая', 'Экада 53') меняли свой ранг в различные годы, другие сорта оставались на всем протяжении эксперимента высоко- ('Дуэт') или низкоурожайными ('Фитон 41'). Существует опасность получения смещенной оценки не только по причине включения в набор экзотических сортов или большого/малого количества сортов с однотипной реакцией на факторы среды, но также из-за ежегодного обновления селекционного материала. Л. М. Ерошенко и др. (Eroshenko et al., 2019) для расчета t_k в Центральном регионе России выделили лишь 10 сортов ячменя, показавших в среднем за годы изучения как максимальную, так и минимальную устойчивость к болезням.

В каждом селекцентре может быть сформирована своя коллекция маркерных сортов, которая будет ежегодно высеваться в повторностях как в самом селекцентре, так и в тех средах, для которых планируется создание нового сорта. Мы предлагаем анализировать урожайность не менее 30 маркерных сортов для снижения ошибки коэффициентов корреляции. Используя критерий типичности среды t_k Кильчевского (Kilchevskij, 1986), рекомендуется выделить конкретный год в месте ведения селекции, наиболее близкий к совокупности лет целевой среды. Весь селекционный материал, имеющий преимущество над стандартом по урожайности в данном году, будет представлять ценность при создании сортов для целевой среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства № 0790-2014-0007 «Создание принципиально новых стрессоустойчивых сортов и гибридов зерновых, зернобобовых, масличных, просовидных и сорговых культур, обладающих высокой и стабильной урожайностью, повышенным качеством зерна и продуктов его переработки, на основе комплексного изучения генофонда, использования инфекционных и провокационных фонов оценки селекционного материала».

Автор выражает признательность руководителю отдела АНИИСХ ФГБНУ ФАНЦА А. И. Зиборову и заведующему лабораторией селекции мягкой пшеницы ФГБНУ ФАНЦА Н. И. Коробейникову за ценные рекомендации при подготовке статьи к публикации.

The research was implemented within the framework of the State Task for the Altai Research Institute of Agriculture No. 0790-2014-0007 "Development of fundamentally new stress-resistant cultivars and hybrids of cereal, legume, oilseed, millet and sorghum crops with high and stable yields, improved quality of grain and its processed products, based on a complex study of the gene pools, and the use of infectious and provocative backgrounds for evaluation of breeding material".

The author is grateful to A. I. Ziborov, ARIA Division Head, Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, and N. I. Korobeynikov, Head of the Bread Wheat Breeding Laboratory, Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, for their advice and helpful comments to this publication.

References/Литература

- Abdolshahi R., Safarian A., Nazari M., Pourseyedi S., Mohamadi-Nejad G. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2013;59(5):685-704. DOI: 10.1080/03650340.2012.667080
- Abou-El-Fittouh H.A., Rawlings J.O., Miller P.A. Classification of environments to control genotype by environment interactions with an application to cotton. *Crop Science*. 1969;9(2):135-140. DOI: 10.2135/cropsci1969.0011183X000900020006x
- Allard R.W., Bradshaw A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*. 1964;4:503-508.
- Atlin G.N., Frey K.J. Selecting oat lines for yield in low-productivity environments. *Crop Science*. 1990;30(3):556-561. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000030017x
- Bänziger M., Setimela P.S., Hodson D., Vivek B. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agricultural Water Management*. 2006;80(1-3):212-224. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.07.014
- Blum A. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: a case for sorghum. In: H. Mussell, R.C. Staple (eds). *Stress Physiology in Crop Plants*. New York: Wiley Interscience; 1979. p.429-445.
- Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J. Relationship between barley grain yield measured in low- and high-yielding environments. *Euphytica*. 1992;64(1-2):49-58. DOI: 10.1007/BF00023537
- Cooper M., Byth D.E., DeLacy I.H. A procedure to assess the relative merit of classification strategies for grouping environments to assist selection in plant breeding regional evaluation trials. *Field Crops Research*. 1993;35(1):63-74. DOI: 10.1016/0378-4290(93)90137-C
- Dyakov A.B., Gronin V.V., Borsukov A.A. Parameters of genotypic variability of a yield evaluation as the criteria of agricultural and ecological bioindication of territories. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2011;1:3-15 [in Russian] (Дьяков А.Б., Гронин В.В., Борсуков А.А. Параметры генотипической изменчивости оценок урожайности как критерии агроэкологической биоиндикации территорий. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2011;1:3-15).
- Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N., Dedushchev I.A., Romakhina V.V., Eroshenko N.A. Selection for spring barley pathological leaf spot resistance adaptive potential increase in Russia central region. *Agrarian Science*. 2019;51:66-70. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Дедушев И.А., Ромахина В.В., Ерошенко Н.А. Селекция на повышение адаптивного потенциала ярового ячменя по устойчивости к листовым пятнистостям в Центральном регионе России. *Аграрная наука*. 2019;51:66-70). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-66-70
- Fakorede M.A.B. Selection of sites for preliminary maize yield trials in the rainforest zone of South-Western Nigeria. *Euphytica*. 1986;35(2):441-447. DOI: 10.1007/BF00021852
- Farshadfar E., Poursiahbidi M.M., Abooghadareh A.R.P. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2012;4(13):891-903.

- Fox P.N., Rathjen A.J. Relationships between sites used in the interstate wheat variety trials. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1981;32(5):691-702. DOI: 10.1071/AR9810691
- Fox P.N., Rosielle A.A. Reducing the influence of environmental main-effects on pattern analysis of plant breeding environments. *Euphytica*. 1982a;31(3):645-656. DOI: 10.1007/BF00039203
- Fox P.N., Rosielle A.A. Reference sets of genotypes and selection for yield in unpredictable environments. *Crop Science*. 1982b;22(6):1171-1175. DOI: 10.2135/cropsci1982.0011183X002200060020x
- Ghaderi A., Adams M.W., Saettler A.W. Environmental response patterns in commercial classes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 1982;63(1):17-22. DOI: 10.1007/BF00303484
- Gusmão L., Mexia J.T., Gomes M.L. Mapping of Equipotential Zones for Cultivar Yield Pattern Evaluation. *Plant Breeding*. 1989;103(4):293-298. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00388.x
- Hamblin J., Fisher H.M., Ridings H.I. The choice of locality for plant breeding when selecting for high yield and general adaptation. *Euphytica*. 1980;29(1):161-168. DOI: 10.1007/BF00037262
- Hill J. Genotype-environment interactions – a challenge for plant breeding. *The Journal of Agricultural Science*. 1975;85(3):477-493. DOI: 10.1017/S0021859600062365
- Huhn M., Truberg B. Contributions to the analysis of genotype × environment interactions: Theoretical results of the application and comparison of clustering techniques for the stratification of field test sites. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2002;188(2):65-72. DOI: 10.1046/j.1439-037X.2002.00549.x
- Kilchevskij A.V. Comprehensive assessment of the environment as a background for selection in the breeding process (Kompleksnaya otsenka sredy kak fona dlya otbora v selektsionnom protsesse). *Doklady AN BSSR = Reports of the BSSR Academy of Sciences*. 1986;30(9):846-849 [in Russian] (Кильчевский А.В. Комплексная оценка среды как фона для отбора в селекционном процессе. *Доклады АН БССР*. 1986;30(9):846-849).
- Knott D.R. The use of bulk F_2 and F_3 yield tests to predict the performance of durum wheat crosses. *Canadian Journal of Plant Science*. 1994;74(2):241-245. DOI: 10.4141/cjps94-049
- Lalić A., Kovačević J., Novoselović D., Drezner G., Babić D. Comparison of pedigree and single seed descent method (SSD) in early generation of barley. *Poljoprivreda*. 2003;9(2):33-37.
- Lawrence P.K., DeLacy I.H. Classification of locations in regional cotton variety trials where trial entries change over years. *Field Crops Research*. 1993;34(2):195-207. DOI: 10.1016/0378-4290(93)90007-A
- Löffler C.M., Wei J., Fast T., Gogerty J., Langton S., Bergman M. et al. Classification of maize environments using crop simulation and geographic information systems. *Crop Science*. 2005;45(5):1708-1716. DOI: 10.2135/cropsci2004.0370
- Malhotra R.S., Singh K.B. Classification of chickpea growing environments to control genotype by environment interaction. *Euphytica*. 1991;58(1):5-12. DOI: 10.1007/BF00035334
- Mišević D., Dumanović J. Examination of methods for choosing locations for preliminary maize yield testing. *Euphytica*. 1989;44(1-2):173-180. DOI: 10.1007/BF00022614
- Ortiz R., Trethowan R., Ferrara G.O., Iwanaga M., Dodds J.H., Crouch J.H. et al. High yield potential, shuttle breeding, genetic diversity, and a new international wheat improvement strategy. *Euphytica*. 2007;157(3):365-384. DOI: 10.1007/s10681-007-9375-9
- Ouyang Z., Mowers R.P., Jensen A., Wang S., Zheng S. Cluster analysis for genotype × environment interaction with unbalanced data. *Crop Science*. 1995;35(5):1300-1305. DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500050008x
- Sio-Se Mardeh A., Ahmadi A., Poustini K., Mohammadi V. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 2006;98(2-3):222-229. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.02.001
- Ud-Din N., Carver B.F., Clutter A.C. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. *Euphytica*. 1992;62(2):89-96. DOI: 10.1007/BF00037933
- Westcott B. Some methods of analysing genotype–environment interaction. *Heredity*. 1986;56:243-253. DOI: 10.1038/hdy.1986.37
- Yasir T.A., Chen X., Tian L., Condon A.G., Hu Y.-G. Screening of Chinese bread wheat genotypes under two water regimes by various drought tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science*. 2013;7(13):2005-2013.
- Zebarjadi A., Mirany T., Kahrizi D., Ghobadi M., Nikose-resht R. Assessment of drought tolerance in some bread wheat genotypes using drought resistance indices. *Biharian Biologist*. 2012;6(2):94-98.

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Лепехов С.Б. Классификация сред на основе коэффициентов корреляции урожайности сортов мягкой яровой пшеницы. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):14-21. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-14-21

Lepekhov S.B. Classification of environments based on correlations of yield in spring bread wheat. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(4):14-21. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-14-21

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-14-21>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Lepekhov S.B. <https://orcid.org/0000-0003-1561-6345>