УДК 633.112.1"321":631.524.7 **DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-73-79**

ЗНАЧИМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

М. Г. Мясникова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, marina.myasnikova.61@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;
П. Н. Мальчиков, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, sagrs-mal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2141-6836;
Т. В. Чахеева, научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, chakheeva@icloud.com, ORCID ID: 0000-0002-9328-473X
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал СамНЦ РАН,
446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, п. г. т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41;
e-mail: samniish@mail.ru

Адаптивность урожайности сортов зерновых культур формируется в процессе их создания под влиянием условий среды селекционного центра, свойств исходного материала и компонентных признаков, по которым осуществляется отбор в селекционных питомниках. Международная программа «Казахстанско-Сибирское улучшение пшеницы по яровой твердой пшенице» (КАСИБ-ЯТП) использует генотипы семи учреждений из России и Казахстана и их географические пункты в качестве экологических фонов. Изучение двух наборов сортов в составе 25 в 2015–2016 гг. и 26 сортов в 2018 г. в системе КАСИБ позволило распределить селекционные центры по их «специализации» в формировании адаптивных свойств (Мальчиков и др., 2018). В частности, установлено, что в Самарском федеральном исследовательском центре РАН, Самарском НИИСХ (далее – Самарский НИИСХ) созданы сорта широкой адаптации (ареала). Следовательно, признаки, тесно коррелирующие с урожайностью в условиях селекционного поля Самарского НИИСХ, могут быть связаны со свойствами, определяющими широкую адаптацию сортов. Цель исследований – определить признаки, коррелирующие с сортовой изменчивостью урожайности питомников КАСИБ из России и Казахстана в условиях экспериментального поля Самарского НИИСХ. Полевые эксперименты проведены в течение трех лет (2015, 2016, 2018); учетная площадь делянок – 10,0 м^2; повторность – трехкратная; размещение делянок – рендомизированное; снопы для лабораторного анализа были отобраны с каждого повторения (площадки отбора – 0,63 м^2). Методами корреляционного и путевого анализов установлена значимая сопряженность в варьировании урожайности и следующих признаков: хозяйственного коэффициента (К.хозР), натурной массы (Н), массы 1000 зерен (М1000), стерильности колосьев в ценозе (Ст), числа зерен в колоске (ЧЗКК) и количества дней до колошения (КДК).

Ключевые слова: *яровая твердая пшеница, адаптивность, урожайность, компоненты урожайности, корреляции, метод путевых коэффициентов*

Для цитирования: *Мясникова М. Г., Мальчиков П. Н., Чахеева Т. В. Значимость компонентов урожайности сортов яровой твердой пшеницы из России и Казахстана // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 73–79. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-73-79.*

(cc) BY

THE IMPORTANCE OF THE YIELD COMPONENTS OF THE SPRING DURUM WHEAT VARIETIES FROM RUSSIA AND KAZAKHSTAN

M. G. Myasnikova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring durum wheat breeding, marina.myasnikova.61@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;
P. N. Mal'chikov, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for spring durum wheat breeding, sagrs-mal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2141-6836;
T. V. Chakheeva, researcher of the laboratory for spring durum wheat breeding, chakheeva@icloud.com, ORCID ID: 0000-0002-9328-473X
Samara Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov, branch of the SamRC RAS,
446254, Samara region, Bezenchuksky dist., v. of Bezenchuk, K. Marks Str., 41;
e-mail: samniish@mail.ru

The adaptability of grain varieties' productivity is formed in the process of their development under the influence of the environmental conditions of the breeding center, the properties of the initial material and component characteristics due to which the identification of the varieties is carried out. The International Program "Kazakh-Siberian Wheat Improvement for Spring Durum Wheat" (IP KaSibWI SDW) has used the genotypes of seven institutions from Russia and Kazakhstan and their geographic locations as environmental areas. The study of two sets of varieties (25 varieties in 2015–2016 and 26 varieties in 2018) in the KaSib system made it possible to distribute breeding centers according to their "specialization" in the formation of adaptive properties (Malchikov et al., 2018). In particular, there has been found that the staff of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, the Samara Research Institute of Agriculture (hereinafter the Samara Research Institute of Agriculture) developed the varieties of wide adaptation (area). Consequently, the traits closely correlating with the productivity on the plots of the Samara ARI may be associated with properties that determine the wide adaptation of varieties. The purpose of the research was to determine the traits correlating with varietal variability of productivity of the KaSib nurseries from Russia and

Kazakhstan on the experimental plots of the Samara Research Institute of Agriculture. Field trials were carried out for three years (2015, 2016, 2018); the accounting area of the plots was 10.0 m^2, with threefold repetition, with random plot placement; the sheaves for laboratory analysis were taken from each repetition (sampling area of 0.63 m^2). Using the methods of correlation and path analysis, there has been established a significant correlation between variation of yield and such traits as economic coefficient (К.хозР), nature weight (Н), 1000 grain weight (М1000), sterility of heads in the cenosis (Ст), number of grains per spikelet (ЧЗКК) and number of days before tillering (КДК).

Keywords: *spring durum wheat, adaptability, productivity, yield components, correlations, method of path coefficients.*

Введение. Среди сортовых популяций выделяют сорта широкой адаптации (широкого ареала) и локального значения (Кильчевский и Хотылева, 1997). Сорта широкой адаптации приспособлены к значительной вариабельности условий среды, сорта локального значения обладают специфической адаптивностью, т. е. приспособлены к конкретным лимитирующим факторам среды. Это подтверждено в ряде других публикаций. Так, при изучении 65 сортов твердой пшеницы в Италии, представлявших все периоды селекции, начиная от ландрасов, они по адаптивности были разделены на эти группы (De Vita et al., 2010). В системе экологических испытаний КАСИБ (Казахстанско-Сибирская селекция пшеницы), выполненных в 2015, 2016, 2018 гг. сорта яровой твердой пшеницы из России и Казахстана распределены на три кластера: первый образовали сорта локального значения; третий – широкого ареала; второй объединил генотипы с промежуточными свойствами (Мальчиков и др., 2018). Кроме этого результата, было установлено, что селекционные центры ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (ФАНЦА) и ФГБНУ «НИИ сельского хозяйства Юго-Востока» преимущественно продуцируют сорта локального значения, Самарский НИИСХ – сорта широкого ареала. В связи с этим можно предположить, что признаки, влияющие на формирование сортовых различий по урожайности в условиях Самарского НИИСХ, определяют свойства сортов широкого ареала. Это направление селекции в настоящее время особенно актуально, что связано с изменениями климата и нарастанием вредоносности факторов среды.

Цель исследований – определить признаки, коррелирующие с изменчивостью урожайности сортов питомников КАСИБ из России и Казахстана в условиях экспериментального поля Самарского НИИСХ.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований были сорта яровой твердой пшеницы международной программы КАСИБ-ЯТП, поступившие от учреждений соисполнителей. Селекционный и исследовательский цикл 2015–2016 гг. включал 25 сортов и селекционных линий. Учреждения оригинаторы: Актюбинская СХОС, НПЦЗХ, ФГБНУ ФАНЦА, Сибирский АНЦ, Самарский НИИСХ, Карабалыкская СХОС, Казахский НИИЗиС, НИИСХ Юго-Востока.

Поскольку исследуемый набор был представлен сортами разных групп спелости, применялись три стандарта – раннеспелый (Безенчукская 205), среднеспелый (Безенчукская 182) и среднепоздний (Безенчукская нива), что предусмотрено общей методикой программы КАСИБ. Межстанционный стандарт, представленный историческим сортом Безенчукская 139, включен в эксперимент для оценки эволюционных тенденций по урожайности и ее стабильности в селекционных центрах.

Цикл в 2018 г. включал 26 новых генотипов из тех же учреждений и те же стандартные сорта. Посев экспериментальных делянок проводился в оптимальные сроки. Размещение делянок в блоках – рендомизированное; предшественник – чистый пар; учетная площадь делянки – 10,0 м^2; повторность – трехкратная. Фенологические наблюдения проведены в соответствии со шкалой Zadoks (1974). Для определения структуры урожая в период восковой спелости зерна с каждой делянки на трех площадках размером 0,21 м^2 каждая (0,63 м^2 на делянке) отбирались снопы растений, которые в течение двух недель доводились до воздушно-сухого состояния, после чего проводились их разбор и структурный анализ урожайности. Уборка зерна осуществлялась при достижении полной спелости зерна, данные по урожайности пересчитывали на 14,0% влажность. Для изучения были взяты 13 признаков, 11 из которых в соответствии с обоснованием, приведенным в публикации Мальчикова и Мясниковой (2012), распределены по трем группам: а) ценотические – число растений на 1 м^2 (ЧР) и продуктивное кущение (ПК); б) элементы продуктивности колоса и выполненности зерна – натурный вес (Н), число зерен в колосе (ЧЗК), число колосков в колосе (ЧКК), число зерен в колоске (ЧЗКК), масса 1000 зерен (М1000), стерильность колоса (Ст); в) морфофизиологические, влияющие на распределение биомассы, – выход зерна из надземной биомассы (К.хозР), выход зерна из биомассы колоса (К.хозК), длина соломины (ДС). Два признака рассмотрены вне этих групп – количество дней до колошения (КДК) и восприимчивость растений к патогенам (В). Метеорологические и фитопатологические условия внешней среды в годы исследований (2015, 2016, 2018) отличались разнообразием по ритму осадков, динамике температуры по периодам вегетации, составу патогенов и степени их вредоносности (табл. 1).

1. Гидротермический коэффициент и поражение растений патогенами в период вегетации по сорту Безенчукская 139, Самарский НИИСХ (2015, 2016, 2018 гг.)
1. Hydrothermal coefficient and plant damage caused by pathogens during the vegetation period of the variety 'Bezenchukskaya 139', Samara Research Institute of Agriculture (2015, 2016, 2018)

Год	Гидротермический коэффициент по периодам вегетации				Поражение патогенами			
	всходы – кущение	кущение – трубк.	трубк. – колош.	колош. – восков. спелость	альтернариоз, %	фузариоз, %	стеблевая ржавчина, тип/%	мучнистая роса, тип/%
2015	0,90	0,02	0,02	0,85	27,5	–	–	–
2016	0,21	0,56	0,08	0,78	–	25,0	4/7,5	4/30
2018	0,27	0,03	0,02	0,67	35,0	–	–	–

Примечание: трубк. – трубкование; колош. – колошение; воск. – восковая.

В целом формирование урожайности во все годы проходило при значительном давлении стрессовых факторов среды. Наиболее сильное их влияние наблюдалось в 2016 и 2018 гг. В 2016 г. существенными лимитирующими факторам среды были эпифитотии листовых пятнистостей (Fusarium spp.), мучнистой росы (Blumeria graminis) и стеблевой ржавчины (Puccinia graminis). Наиболее благоприятным по гидротермическому режиму с минимальной вредоносностью патогенов был 2015 г. Устойчивость к патогенам оценивали по рекомендованным методикам (Михайлова и др., 2007). Корреляционный и путевой анализы выполнены на основе опубликованных рекомендаций (Паламарчук и др., 2019).

Результаты и их обсуждение. Среди 41 изученного сорта по продуктивности выделены 15 генотипов, в том числе 12 генотипов представляли Самарский НИИСХ, 2 – НИИСХ Юго-Востока и 1 – Сибирский АНЦ (табл. 2).

2. Урожайность наиболее продуктивных сортов в сравнении со стандартами, Самарский НИИСХ (2015, 2016, 2018 гг.)
2. Productivity the most productive varieties in comparison with the standard varieties, Samara Research Institute of Agriculture (2015, 2016, 2018)

Сорт	Учреждение оригинатор	Урожайность, т/га		
		2015	2016	2018
Леукурум 1307д-54	Самарский НИИСХ	**2,66**	**2,05**	–
Леукурум 1469д-21	Самарский НИИСХ	**2,55**	**2,04**	**1,92**
Леукурум 1594д-3	Самарский НИИСХ	**2,23**	**1,85**	–
Гордеиформе 01-115-5	Сибирский АНЦ	**2,24**	1,64	–
Раннеспелый стандарт	Самарский НИИСХ	**2,15**	**1,90**	1,60
Среднеспелый стандарт	Самарский НИИСХ	1,95	1,57	1,71
Среднепоздний стандарт	Самарский НИИСХ	**2,14**	**1,88**	1,73
Безенчукская 139, межстанционный стандарт	Самарский НИИСХ	1,85	1,50	1,68
Валентина	НИИСХ Юго-Востока	1,93	**1,83**	–
Леукурум 1506д-36	Самарский НИИСХ	–	–	**2,09**
Луч-25	НИИСХ Юго-Востока	–	–	**1,83**
$НСР_{0,05}$	–	0,12	0,14	0,13

Примечание: жирным шрифтом выделены наиболее продуктивные сорта.

3. Значения признаков урожайности и их популяционной изменчивости в годы исследований в среднем по всем изученным сортам
3. Values of productivity traits and their variability in the years of research on average for all studied varieties

Год, CV %	КДК	В	Ценотические признаки		Элементы продуктивности колоса и выполненности зерна						Морфофизиологические признаки		
			ЧР	ПК	Н	ЧЗК	ЧКК	ЧЗКК	М1000	Ст	К.хозР	К.хозК	ДС
2015	45,9	13,8	239	1,5	768	26,9	15,5	1,90	41,2	16,9	37,9	64,8	66,7
CV	6,2	38,9	19,0	21,8	2,5	14,4	6,9	13,3	13,9	43,3	14,4	10,1	8,7
2016	45,0	17,2	224	1,01	703	18,5	10,2	1,89	33,8	41,0	37,2	65,6	67,6
CV	8,1	53,8	12,9	0,99	7,1	12,2	16,3	28,8	22,7	62,3	20,3	10,4	9,4
2018	46,2	18,0	254	1,1	784	21,5	12,9	1,70	35,3	10,4	36,8	63,3	64,7
CV	7,6	57,8	13,4	8,7	2,0	9,3	6,3	8,9	12,2	77,1	9,8	6,5	9,2

Примечание: CV – коэффициент вариации; ЧР – число растений на 1 м^2; ПК – продуктивное кущение; Н – натура зерна; ЧЗК – число зерен в колосе; ЧКК – число колосков в колосе; ЧЗКК – число зерен в колоске; М1000 – масса 1000 зерен; Ст – стерильность колосьев; К.хозР – хозяйственный коэффициент растения; К.хозК – хозяйственный коэффициент колоса; ДС – длина соломины.

Доминирование этих же сортов по урожайности в системе эколого-географических испытаний КАСИБ (Мальчиков и др., 2018) позволяет в условиях экспериментального поля

Самарского НИИСХ идентифицировать наиболее значимые для отбора сортов широкого ареала компоненты урожайности. По всем исследуемым признакам во все годы были получены достоверные различия между сортами. Слабая изменчивость наблюдалась только по признаку ПК в 2016 г., когда у большинства сортов продуктивное кущение отсутствовало (табл. 3). Коэффициенты корреляции с урожайностью, значимые на 1,0% и 5,0% уровнях, в относительно благоприятных условиях 2015 г. наблюдались у четырех признаков: Н, М1000, Ст из группы «элементы продуктивности колоса и выполненности зерна» и К.хозР из группы «морфофизиологические признаки» (табл. 4). В 2016 г. в условиях весенне-летней засухи и эпифитотий листовых пятнистостей, мучнистой росы и стеблевой ржавчины только три признака не были достоверно связаны с урожайностью – ЧР, ПК (группа «ценотические признаки») и ДС («морфофизиологические признаки»).

В 2018 г. значимые корреляции с урожайностью имели семь признаков из групп «элементы продуктивности колоса и выполненности зерна» (Н, ЧЗКК, М1000, Ст), «морфофизиологические признаки» (К.хозР, К.хозК) и признак КДК. Отчетливо проявились изменения в составе и количестве признаков, коррелировавших с урожайностью в разные годы.

4. Генотипические корреляции урожайности и ее компонентов, Самарский НИИСХ, чистый пар (2015, 2016, 2018 гг.)
4. Genotypic correlations of yield and its components, Samara Research Institute of Agriculture, 'black' fallow (2015, 2016, 2018)

Год	КДК	В	Группы признаков										
			ценотические		элементы продуктивности колоса и выполненности зерна						морфофизиологические		
			ЧР	ПК	Н	ЧЗК	ЧКК	ЧЗКК	М1000	Ст	К.хозР	К.хозК	ДС
2015	–0,04	–0,20	0,20	0,02	**0,72**	0,31	0,14	0,27	**0,54**	**–0,44**	**0,47**	0,22	0,11
2016	**–0,50**	**–0,51**	–0,25	0,07	**0,95**	**0,48**	**–0,45**	**0,56**	**0,87**	**–0,87**	**0,90**	**0,78**	–0,38
2018	**–0,61**	–0,15	0,03	–0,05	**0,44**	0,38	–0,11	**0,46**	**0,74**	**–0,58**	**0,61**	**0,53**	0,22

Примечание: критические значения коэффициентов корреляции на 5,0% уровне: 2015 г. = 0,40; 2016 г. = 0,40; 2018 г. = 0,39. На 1,0% уровне: 2015 г. = 0,51; 2016 г. = 0,51; 2018 г. = 0,50.

Изменения в корреляционных плеядах в зависимости от условий среды возникают при смене лимитирующих факторов и объясняются переопределением генетической формулы количественных признаков (Новохатин и др., 2019). В настоящее время эти причины вариабельности корреляций подтверждаются изменчивостью ДНК-маркеров локусов количественных признаков (N'Diaye et al., 2018).

Наличие большого числа значимых корреляций признаков с урожайностью в условиях 2016 г. объясняется сильной дифференциацией исследуемой сортовой популяции по общей адаптивности (или гомеостазу процессов формирования урожайности). Уменьшение числа достоверных корреляций с урожаем зерна по градиенту среды от сильного уровня стрессовых факторов в 2016 г. к среднему в 2018 г. и слабому в 2015 г., видимо, связано с ослаблением «контроля» адаптивности за формированием урожайности и признаков.

В благоприятных условиях вклад адаптивности (устойчивости) в вариацию урожайности слабее, чем в условиях стресса. В группе «элементы продуктивности колоса» наиболее часто: в 15 из 18 изученных взаимодействий «признак – среда» наблюдались достоверные значения коэффициента корреляции с урожайностью. Здесь особенно выделяются признаки Н, М1000 и Ст, что объясняется качеством налива зерна, большой массой зерновки и незначительным количеством стерильных колосьев в агроценозах наиболее продуктивных сортов.

Аналогичные свойства проявил признак К.хозР из группы «морфофизиологические признаки». Второй признак из этой группы – К.хозК был достоверно связан с урожайностью в двух средах из трех, а именно в засушливых условиях 2016 и 2018 гг. Длина соломины – третий морфофизиологический признак и признаки, характеризующие агроценоз, – ЧР и ПК во всех средах не были связаны с урожайностью зерна. КДК в условиях 2016, 2018 гг. достоверно и отрицательно коррелировал с урожайностью зерна, показывая на преимущество раноколосящихся сортов. В 2015 г. этот признак был нейтральным по отношению к процессам формирования урожайности. Отрицательный коэффициент корреляции урожайности с уровнем восприимчивости к листовым болезням был отмечен в эпифитотийном 2016 г.

Основные результаты корреляционного анализа были подтверждены путевыми коэффициентами (табл. 5). В 2015 г. из четырех признаков, достоверно коррелировавших с урожайностью, прямые эффекты трех из них (Н, Ст, К.хозР) вносили существенный вклад в эту взаимосвязь, у одного признака (М1000) она полностью обеспечивалась косвенными эффектами других признаков. Косвенные эффекты Н, К.хозР положительно влияли на взаимосвязь с урожайностью всех остальных коррелировавших с ней признаков. Также отмечено существенное опосредованное положительное влияние Ст и ЧЗК на взаимосвязь с урожайностью двух признаков – Н и К.хозР. При этом косвенные эффекты признака ЧЗК проявились

на фоне отсутствия достоверной корреляции этого признака с урожайностью зерна. К.хозК оказывал сильные косвенные эффекты на аналогичные корреляции К.хозР, М1000 и Ст, которые во всех случаях ослабляли взаимосвязь анализируемых признаков с урожайностью.

5. Влияние прямых и косвенных эффектов всего комплекса признаков на формирование значимых корреляций с урожайностью зерна, Самарский НИИСХ (2015, 2016, 2018 гг.)

5. Influence of direct and indirect effects of the whole complex of traits on the formation of significant correlations with grain productivity, Samara Research Institute of Agriculture (2015, 2016, 2018)

Год	Внегрупповые признаки	Группы признаков											
		ценотические			элементы продуктивности колоса и выполненности зерна						морфофизиологические		
	КДК	В	ЧР	ПК	Н	ЧЗК	ЧКК	ЧЗКК	М1000	Ст	К.хозР	К.хозК	ДС
2015	Прямые эффекты признаков с высокой (+), нейтральной или негативной (–) долей вклада в величину их корреляции с урожайностью												
					+				–	+	+		
	Косвенные эффекты признаков со значительным влиянием на величины корреляции с урожайностью других признаков – количество признаков (цифра), эффект (+), (–)												
					3(+)	**2(+)**				**2(+)**	**3(+)**	**3(–)**	
2018	Прямые эффекты признаков с высокой (+), нейтральной или негативной (–) долей вклада в величину их корреляции с урожайностью												
	+				–			+	+	+	+	+	
	Косвенные эффекты признаков со значительным влиянием на величины корреляции с урожайностью других признаков – количество признаков (цифра), эффект (+), (–)												
	2(+)					**6(–)**	**5(–)**	**6(+)**	**6(+)**	**2(+)**	**3(+)**	**5(+)**	
2016	Прямые эффекты признаков с высокой (+), нейтральной или негативной (–) долей вклада в величину их корреляции с урожайностью												
	–	–			+	+	–	–	+	+	+	–	
	Косвенные эффекты признаков со значительным влиянием на величины корреляции с урожайностью других признаков – количество признаков (цифра), эффект (+), (–)												
					9+					**9+**	**9+**	**9–**	

Примечание: (+), (–) показывают положительное или отрицательное влияние прямого или косвенного эффекта на коэффициент корреляции; цифра перед знаком показывает количество существенных косвенных эффектов данного признака на взаимосвязь других признаков с урожайностью зерна.

Таким образом, в условиях 2015 г., кроме признаков, значимо коррелировавших с урожайностью (Н, Ст, М1000, К.хозР), путевые коэффициенты позволили выделить положительный вклад в эти корреляции ЧЗК и отрицательный К.хозК. В 2018 г. из семи признаков, достоверно коррелировавших с урожайностью зерна, прямые эффекты шести из них (КДК, Ст, ЧЗКК, М1000, К.хозР, К.хозК) совпадали по знаку с коэффициентом корреляции, т. е. непосредственно влияли на формирование этой взаимосвязи. Значимый коэффициент корреляции Н с урожайностью полностью определялся косвенными эффектами других признаков.

Наиболее существенное (по количеству признаков) влияние через косвенные эффекты на коэффициенты корреляции с урожайностью зерна оказывали признаки ЧЗКК, М1000, ЧЗК. Косвенные эффекты ЧЗКК усиливали корреляции с урожайностью для шести признаков: КДК, Ст, Н, К.хозР, К.хозК, М1000. Взаимосвязь первых пяти признаков с урожайностью из этого списка с добавлением к нему ЧЗКК усиливалась косвенными эффектами М1000. Отмечены сильные отрицательные косвенные эффекты ЧЗК для следующих признаков: КДК, Ст, ЧЗКК, М1000, К.хозР, К.хозК. Аналогичное влияние косвенных эффектов на эти признаки, за исключением Ст, оказывал ЧКК. Морфофизиологические признаки К.хозР и К.хозК, кроме положительного взаимного влияния косвенных эффектов на их корреляции с урожайностью, оказывали значимые косвенные эффекты на величину аналогичных корреляций Ст и ЧЗКК. Признак К.хозК имел значительный косвенный эффект во взаимосвязи Н с урожайностью. Косвенные эффекты КДК усиливали корреляции с урожайностью зерна Ст и Н, аналогичное влияние оказывал признак Ст на ЧЗКК и М1000. Признаки КДК, Ст, ЧЗКК, М1000, К.хозР, К.хозК коррелировали с урожайностью вследствие не только сильных прямых эффектов, но и взаимных косвенных эффектов. Эта группа образует в данных условиях (2018 г.) взаимосвязанный комплекс признаков, сопряженный с варьированием урожайности зерна.

В 2016 г. из десяти признаков с достоверной корреляцией с урожайностью только два (Н, К.хозР) формировали эту взаимосвязь на основе доминирования прямых эффектов. Прямые эффекты большинства остальных признаков, достоверно коррелировавших с урожайностью, были либо незначительными по вкладу (Ст, ЧКК, ЧЗК, М1000), либо нейтральными, т. е. близкими к нулю (КДК, В), либо их эффект был противоположным знаку корреляции

(ЧЗКК, К.хозК) с существенным влиянием на его величину. Косвенные эффекты трех признаков (К.хозР, Н, Ст) усиливали корреляции с урожайностью всех остальных признаков. Косвенные эффекты К.хозК, напротив, ослабляли ковариации всех признаков с урожаем зерна. Таким образом, в условиях весенне-летней засухи и эпифитотии листовых болезней в период «колошение – созревание» для идентификации адаптированных генотипов достаточно иметь информацию по трем признакам: К.хозР, Н, Ст.

Выводы. В течение трех лет только два признака (К.хозР и Ст) стабильно вносили существенный положительный вклад в систему корреляций в результате как прямых, так и косвенных эффектов. Следовательно, они имеют широкий спектр влияния на взаимосвязь с урожайностью всего комплекса признаков из всех групп, их целесообразно рассматривать в качестве обязательных компонентов в системе селекции на адаптивность сортов широкого ареала. М1000 и Н достоверно коррелировали с урожайностью в течение трех лет; только в один год эти корреляции обеспечивались косвенными эффектами. Их также рекомендуется включить в систему оценок при создании сортов широкого ареала. Неоднозначность эффектов КДК подтверждает целесообразность диверсификации сортовых систем по параметрам продолжительности вегетационного периода и необходимости включения его в систему селекционных оценок. Несмотря на значительную зависимость коррелятивных отношений ЧЗКК с урожайностью от косвенных эффектов других признаков, высокозначимые корреляции с урожайностью в течение двух засушливых лет позволяют включить его в систему наиболее значимых признаков продуктивности. За исключением К.хозР и КДК, наиболее часто урожайность была связана с варьированием признаков из группы «элементы продуктивности колоса и выполненности зерна».

Библиографические ссылки

1. Мальчиков П. Н., Розова М. А., Моргунов А. И., Мясникова М. Г., Зеленский Ю. И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(8). С. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436.

2. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Относительное развитие признаков продуктивности твердой пшеницы в процессе селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т.16, № 4(2). С. 987–957.

3. Михайлова Л. А., Коваленко Н. М., Смурова С. Г., Тернюк И. Г., Митрофанова О. П., Ляпунова О. А., Зуев Е. В., Чикида Н. Н., Лоскутова Н. П., Пюккенен В. П. Устойчивость видов *Triticum* L. и *Aegilops* L. из коллекции ВИР к возбудителям желтой и темно-бурой листовых пятнистостей (каталог). СПб., 2007. 60 с.

4. Новохатин В. В., Драгавцев В. А., Леонова Т. А. Создание сорта мягкой яровой пшеницы Гренада с помощью инновационных технологий селекции на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 5. С. 905–919. DOI: 10.15389/agrobiology 2019.5.905rus.

5. Паламарчук Д. П., Козаченко М. Р., Святченко С. И. Использование метода путевых коэффициентов S. Wright для статистического анализа системы взаимосвязанных признаков риса // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(4). С. 430–438. DOI: 10.18699/VJ19.511.

6. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.

7. De Vita P., Mastrangelo A. M., Matteu L., Mazzucotelli E., Virzì N., Palumboc M., Storto M. L., Rizza F., Cattivelli L. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grownin Italy // Field Crops Res. 2010. T. 119. S. 68–77. DOI: 10.1016/j. fcr.2010.06.016.

8. N'Diaye A., HaileJ. K., NilsenK. T., Walkowiak S., Ruan Y., Singh A. K., Clarke F. R., Clarke J. M., Pozniak C. J. Haplotype loci under selection in Canadian durum wheat germplasm over 60 years of breeding: Association with grain yield, quality traits, protein loss, and plant height // Front. Plant Sci. 2018. Vol. 9, no. 1589. Pp. 1–19. DOI: 10.3389/fpls.2018.01589.

9. Zadoks J., Chang T., Konzak C. A. Decimal code for the growth stages of cereals // Weed research. 1974. No. 14. Pp. 415–421.

References

1. Mal'chikov P. N., Rozova M. A., Morgunov A. I., Myasnikova M. G., Zelenskij Yu. I. Velichina i stabil'nost' urozhajnosti sovremennogo selekcionnogo materiala yarovoj tverdoj pshenicy (*Triticum durum* Desf.) iz Rossii i Kazahstana [The value and stability of productivity of the current breeding material of spring durum wheat (Triticum durum Desf.) from Russia and Kazakhstan] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2018. № 22(8). S. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436.

2. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Otnositel'noe razvitie priznakov produktivnosti tverdoj pshenicy v processe selekcii [Relative development of durum wheat productivity traits in the breeding process] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2012. T.16, № 4(2). S. 987–957.

3. Mihajlova L. A., Kovalenko N. M., Smurova S. G., Ternyuk I. G., Mitrofanova O. P., Lyapunova O. A., Zuev E. V., Chikida N. N., Loskutova N. P., Pyukkenen V. P. Ustojchivost' vidov *Triticum* L. i *Aegilops* L. iz kollekcii VIR k vozbuditelyam zheltoj i temno-buroj listovyh pyatnistostej (katalog) [Resistance of *Triticum* L. and *Aegilops* L. species, taken from the VIR collection, to pathogens of yellow and dark brown leaf spots (catalog)]. SPb., 2007. 60 s.

4. Novohatin V. V., Dragavcev V. A., Leonova T. A. Sozdanie sorta myagkoj yarovoj pshenicy Grenada s pomoshch'yu innovacionnyh tekhnologij selekcii na osnove teorii ekologo-geneticheskoj organizacii kolichestvennyh priznakov [Development the spring common wheat variety 'Grenada' using innovative

breeding technologies based on the theory of ecological and genetic organization of quantitative traits] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 5. S. 905–919. DOI: 10.15389/agrobiology 2019.5.905rus.

5. Palamarchuk D. P., Kozachenko M. R., Svyatchenko S. I. Ispol'zovanie metoda putevyh koefficientov S. Wright dlya statisticheskogo analiza sistemy vzaimosvyazannyh priznakov risa [Using the S. Wright method of travel coefficients for the statistical analysis of the system of interrelated rice traits] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. № 23(4). S. 430–438. DOI: 10.18699/VJ19.511.

6. Kil'chevskij A. V., Hotyleva L. V. Ekologicheskaya selekciya rastenij [Ecological plant breeding] // Minsk: Tekhnalogiya, 1997. 372 s.

7. De Vita P., Mastrangelo A. M., Matteu L., Mazzucotelli E., Virzì N., Palumboc M., Storto M. L., Rizza F., Cattivelli L. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grownin Italy // Field Crops Res. 2010. T. 119. S. 68–77. DOI: 10.1016/j. fcr.2010.06.016.

8. N'Diaye A., HaileJ. K., NilsenK. T., Walkowiak S., Ruan Y., Singh A. K., Clarke F. R., Clarke J. M., Pozniak C. J. Haplotype loci under selection in Canadian durum wheat germplasm over 60 years of breeding: Association with grain yield, quality traits, protein loss, and plant height // Front. Plant Sci. 2018. Vol. 9, no. 1589. Pp. 1–19. DOI: 10.3389/fpls.2018.01589.

9. Zadoks J., Chang T., Konzak C. A. Decimal code for the growth stages of cereals // Weed research. 1974. No. 14. Pp. 415–421.

Поступила: 12.05.20; принята к публикации: 29.07.20.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Мясникова М. Г. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Мальчиков П. Н. – подготовка опыта, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Чахеева Т. А. – выполнение лабораторного анализа растений, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.