Научная статья
УДК 631.5212:633.11
doi: 10.55186/25876740_2022_65_3_282

МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ СЕКЦИИ BOEOTICUM, УСТОЙЧИВЫХ К КОМПЛЕКСУ ЛИСТОВЫХ БОЛЕЗНЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦРНЗ

В.С. Рубец[1], К.О. Шилова[1], А.А. Лаппо[1], В.А. Пухальский[2], И.Н. Ворончихина[3], В.В. Ворончихин[3]

[1]Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2]Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова, Москва, Россия
[3]Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина, Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты изучения 47 замещенных линий, отобранных из поздних поколений отдаленных гибридов пшеницы мягкой с представителями секции *Boeoticum — Triticum timopheevii, Triticum militinae и Triticum kiharae*, характеризующихся иммунитетом или высокой устойчивостью к комплексу грибных заболеваний, в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. Работа выполнена в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2021 г. на естественном инфекционном фоне. Проведено определение разновидностей, отмечено время наступления основных фенологических фаз. Показана пригодность линий к скрещиваниям с селекционными образцами яровой мягкой пшеницы. Не выявлено линий, достоверно превышающих стандарт по продуктивности. Среди линий, отобранных из гибридных комбинаций (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum militinae*), (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) и (В1 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) х Родина), большинство было низкопродуктивными. Большая часть замещенных линий в условиях ЦРНЗ характеризовалось иммунитетом или высокой устойчивостью к бурой ржавчине и мучнистой росе. Выделены линии, иммунные к септориозу. Выявлены наиболее урожайные замещенные линии с комплексом хозяйственно-полезных признаков: № 3, № 9, № 16, № 20, № 23. № 30, № 32, № 33, № 37, № 39, № 45, № 46 и № 47. Однако у линий № 20, № 32 и № 45 фаза колошения не совпадает с одноименной фазой у сортов яровой пшеницы, поэтому следует применять специальные приемы для синхронизации их фенофаз при гибридизации. Линии № 20, № 23, № 30, № 32, № 39, № 45, № 46 и № 47 являются очень позднеспелыми. Они нуждаются в дальнейшем изучении и улучшении для использования в селекционном процессе новых высокоурожайных сортов яровой пшеницы, устойчивых к основным грибным болезням в ЦРНЗ.

Ключевые слова: пшеница, отдаленная гибридизация, замещенные линии, продуктивность, устойчивость к листовой ржавчине, устойчивость к мучнистой росе

Original article

MORPHO-BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SUBSTITUTED SPRING WHEAT LINES BASED ON THE SECTION BOEOTICUM, RESISTANT TO A COMPLEX OF LEAF DISEASES IN THE CONDITIONS OF CRNZ

V.S. Rubets[1], K.O. Shilova[1], A.A. Lappo[1], V.A. Pukhalskiy[2], I.N. Voronchikhina[3], V.V. Voronchikhin[3]

[1]Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia
[2]Vavilov Institute of General Genetics, Moscow, Russia
[3]Tsitsin Main Botanical Garden, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of 47 substituted lines selected from late generations of distant hybrids of common wheat with representatives of the *Boeoticum* section — *Triticum timopheevii*, *Triticum militinae* and *Triticum kiharae*, characterized by immunity or high resistance to a complex of fungal diseases, in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone. The work was carried out at the RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev in 2021 against a natural infectious background. The identification of varieties was carried out, the time of the onset of the main phenological phases was noted. The suitability of lines for crosses with breeding samples of spring soft wheat is shown. No lines were found that significantly exceeded the standard in terms of productivity. Among the lines selected from hybrid combinations (♀ Line 353 x ♂ *Triticum militinae*), (♀ Line 353 x ♂ *Triticum kiharae*) and (B1 (♀ Line 353 x ♂ *Triticum kiharae*) x Rodina), the majority were low-productive. Most of the substituted lines under CRNC conditions were characterized by immunity or high resistance to leaf rust and powdery mildew. Lines immune to septoria have been identified. The most productive replaced lines with a complex of economically useful traits were identified: № 3, № 9, № 16, № 20, № 23, № 30, № 32, № 33, № 37, № 39, № 45, № 46 and № 47. However, in lines № 20, № 32 and № 45, the heading phase does not coincide with the phase of the same name in spring wheat varieties, so special techniques should be used to synchronize their phenophases during hybridization. Lines № 20, № 23, № 30, № 32, № 39, № 45, № 46 and № 47 are very late maturing. These lines need further study and improvement for use in the breeding process of new high-yielding varieties of spring wheat that are resistant to major fungal diseases in the CRNC.

Keywords: wheat, distant hybridization, substituted lines, productivity, leaf rust resistance, powdery mildew resistance

Введение. Мягкая пшеница является одной из ведущих сельскохозяйственных культур во всем мире. Приоритетной задачей селекции данной культуры является повышение урожайности продукции, которая в свою очередь во многом зависит от устойчивости растений к различным абиотическим и биотическим факторам окружающей среды. Создание сортов, объединяющих в своем генотипе высокую продуктивность и длительную устойчивость к неблагоприятным условиям среды, зачастую сильно ограничено противоречивостью этих признаков. Работа, ведущаяся в этом направлении, крайне осложнена темпами эволюции патогенов, вызывающих различные заболевания растений пшеницы.

© Рубец В.С., Шилова К.О., Лаппо А.А., Пухальский В.А., Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В., 2022

Однако, использование в производстве сортов, обладающих генетической устойчивостью к патогенному началу, остаётся наиболее эффективным и экологически безопасным способом борьбы с ним [1].

В настоящее время генофонд мягкой пшеницы, в особенности по генам, обусловливающими устойчивость к болезням, в значительной мере оскуднён [2]. К этой ситуации привела широко применяемая стратегия селекции, заключающаяся в объединении небольшого числа лучших генотипов, имеющих перекрывающиеся родословные. Активное обеднение генофонда культуры началось ещё во второй половине 20-го века с динамичным внедрением идей Зеленой революции [3]. Массовое распространение однотипных «супер-сортов», занимающих большие площади, вызвало снижение генетического разнообразия культуры [4] и повлекло за собой быструю потерю имеющейся у них устойчивости. Показательным примером можно считать широкое возделывание на территории Поволжья в 70-х годах высокопродуктивных сортов «Аврора» и «Кавказ», ведущих общую родословную от сорта Безостая 1 [5]. Быстрое расширение площадей, занятых этими сортами, привело к возникновению на эпифитотий бурой ржавчины и значительным потерям урожая.

Решить проблему обеднения генофонда позволяет интрогрессивная гибридизация мягкой пшеницы с её дикими сородичами и реликтовыми формами, обладающими большим полиморфизмом. Для этих целей привлекают культурную однозернянку (*T. monococcum*), полбу (*T. dicoccum*), пшеницу твердую (*T. durum*) и персидскую (*T. persicum*). Так, например, в 2021-м году в Белоруссии были изучены устойчивые к грибным фитопатогенам формы, полученные от гибридизации мягкой пшеницы с видами *T. dicoccoides*, *T. dicoccum*, *T. durum* и *T. kiharae* [6, 7].

Уникальные в отношении болезнеустойчивости виды были обнаружены в пределах Закавказья. Это, как правило, эндемичные пшеницы с геномом G: пшеница Тимофеева (*T. timopheevii*), пшеница араратская (*T. araraticum*), пшеница Милитины (*T. militinae*) и пшеница Жуковского (*T. zhukovskyi*) [6]. Их длительная обособленная эволюция привела к генетической несовместимости со многими другими видами пшениц, и, как следствие, сложности передачи от них хозяйственно-ценных признаков. Гибриды, полученные от скрещивания этих видов с культурными, часто являются стерильными из-за проблем хода мейоза и нарушений жизнедеятельности женского гаметофита. Селекционеры могут преодолеть эти проблемы путем тщательного подбора пар для скрещивания, использованием различных физических и химических мутагенов [8-10] и культивированием изолированных гибридных зародышей.

К сложностям использования интрогрессивных гибридов в селекции также можно отнести перенос нежелательных генов от донора улучшаемому сорту-реципиенту. Передача генов от одного вида другому сопряжена с переносом целых сегментов хромосом. Часто для индуцирования этого процесса применяют различные источники радиации. В 60-х годах 20 века в Германии получили гексаплоидные формы пшеницы с устойчивостью к бурой ржавчине путем облучения межродовых пшеничных гибридов [10, 11].

Все вышеупомянутое показывает, что отдаленная гибридизация позволяет получать генотипы культурных растений с включениями генов устойчивости к болезням от других видов. При этом получаются формы, далеки от идеала и требуют всестороннего изучения с точки зрения цитологической стабильности, хозяйственной полезности, способности передавать признаки гибридам. Такие формы можно считать предбридинговыми. Представленные в работе замещенные линии яровой пшеницы были отобраны по признакам устойчивости к бурой ржавчине и мучнистой росе. Дальнейшее их использование предполагает наличие комплекса хозяйственно-полезных признаков. Поэтому требуется изучить их продуктивность, устойчивость к полеганию и болезням, описать их морфологические признаки, определить разновидность. Этой цели посвящено настоящее исследование. В нашем распоряжении было небольшое количество семян, полученных от авторов. Поэтому мы были вынуждены ограничиться минимальным размером делянки (1 погонный метр) и двукратной повторностью. Работа являлась рекогносцировочной, для получения представления о пригодности линий к использованию в селекционном процессе в условиях ЦРНЗ.

Материал, методы и условия проведения исследований. Материалом для исследования послужили замещенные линии яровой пшеницы, отобранные из поздних гибридных популяций (F_{10} — F_{11}), полученных путем отдаленной гибридизации мягкой пшеницы (*T. aestivum*) с видами секции *Boeoticum*: *T. timopheevi* (геном A^tA^tGG, 2n = 28), *T. militinae* (геном A^tA^tGG, 2n = 28) и *T. kiharae* (геном A^tA^tGGDD, 2n = 42). Материнскими формами в скрещиваниях выступали сорт мягкой яровой пшеницы Родина и Линия 353 озимой мягкой пшеницы, поражаемые бурой ржавчиной [12]. Происхождение замещенных линий представлено в таблице 1. Поскольку из одной гибридной комбинации было отобрано несколько линий, в таблице они приведены в одной графе.

Линия 353 озимой мягкой пшеницы была получена воздействием гамма-излучения Cs^{137} в дозе 150 Гр на семена сорта Мироновская 808 [13].

В качестве контроля использовали сорт яровой пшеницы Злата.

Эксперимент проведен на Полевой опытной станции, лабораторные оценки — на кафедре генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Делянка однорядковая, норма высева 40 шт./погонный метр, повторность двукратная. Агротехника общепринятая для зоны. В процессе вегетации обработки фунгицидами не проводились. В течение вегетации проводили описание морфологических признаков растений, оценку наступления фенологических фаз, устойчивости к болезням по 9-балльной шкале, где 1 — восприимчивость, 9 — иммунитет, а 3 ,5, 7 — различные степени устойчивости [14]. Уборку и обмолот растений по вариантам и повторностям проводили вручную. Для установления разновидностей [15] описывали их признаки (опушение и цвет колоса, остистость, окраску остей, цвет зерна).

Статистическую обработку полученных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа посредством программы «DIANA».

В 2021 году посев яровых был проведен поздно (11 мая) в связи с переувлажнением почвы и пониженной температурой (рис. 1). Метеорологические условия 2021 г. характеризовались повышенными среднесуточными температурами в течение почти всего вегетационного периода. Избыток осадков наблюдался в первой половине вегетации, недостаток — во второй.

Таблица 1. **Происхождение замещенных линий яровой пшеницы**
Table 1. **Origin of substituted spring wheat lines**

Линии	Гибридная комбинация
Линии 1 — 4	♀ Родина x ♂ *Triticum kiharae*
Линии 5 — 17	B1 (♀ Родина x ♂ *Triticum kiharae*) x Родина
Линии 18 — 20	♀ Линия 353 x ♂ *Triticum timopheevii*
Линии 21 — 30	♀ Линия 353 x ♂ *Triticum militinae*
Линии 31 — 38	♀ Линия 353 x ♂ *Triticum kiharae*
Линии 39 — 47	B1 (♀ Линия 353 x ♂ *Triticum kiharae*) x Родина
Злата (стандарт)	ФИЦ «Немчиновка», Верхневолжский ФАНЦ

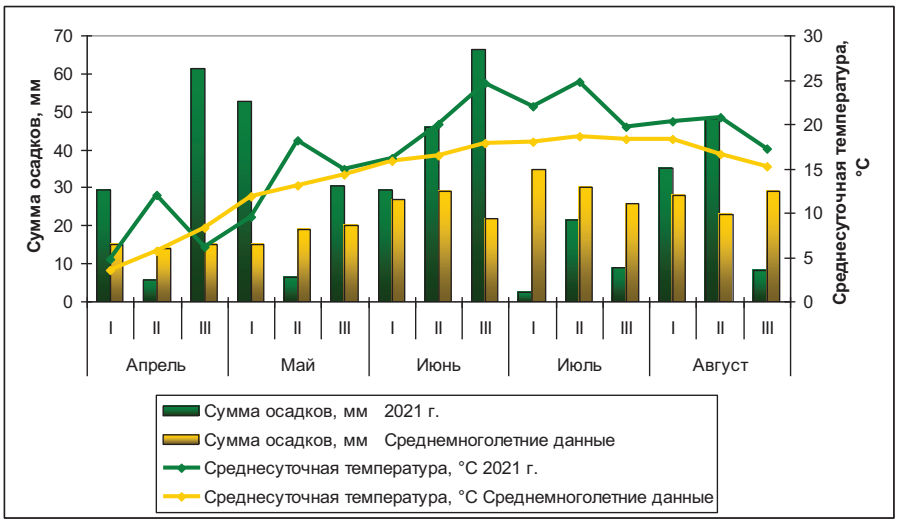

Рисунок 1. **Метеорологические условия 2021 г.**
Figure 1. **Meteorological conditions in 2021**

Поздний посев привел к ускорению развития растений вследствие высоких температур, что сократило межфазный период от всходов до колошения. Цветение большинства линий проходило в положенное время — в конце июня. Период от формирования зерна до его созревания совпал с засухой на фоне высоких температур. Это привело к пониженной урожайности яровой пшеницы.

Бурая ржавчина пшеницы, устойчивость к которой оценивалась у замещенных линий, способна поражать растения на протяжении всего вегетационного периода, но пика своего развития болезнь достигает в фазу цветения или молочной спелости зерна. Наиболее благоприятными условиями для этого патогена являются среднесуточные температуры в пределах 15-25^0 С и наличие капельной влаги [16]. Инкубационный период возбудителя бурой ржавчины составляет в среднем 8-15 дней, благодаря чему возможно формирование нескольких генераций патогена за вегетационный сезон и возникновение эпифитотии на посевах восприимчивых сортов. На протяжении мая и июня 2021 г. складывались исключительно благоприятные условия для проникновения и развития гриба, в то время как засушливые условия июля не были для него подходящими (рис. 1).

Мучнистая роса имеет схожие требования к оптимальным погодным условиям. Инкубационный период ее короче, чем у бурой ржавчины, в пределах 3-11 дней, в зависимости от температуры. Для его развития крайне важна повышенная влажность воздуха и среднесуточные температуры в пределах 15-20 ºС. Такие метеоусловия в 2021 г. наблюдались до второй декады июня включительно. В дальнейшем высокие июльские температуры в сочетании с малым количеством осадков существенно ограничивали темпы нарастания болезни.

В 2021 году сложился естественный инфекционный фон по данным заболеваниям вследствие близко расположенного поля озимой пшеницы, на котором отмечалось массовое поражение растений.

Результаты и обсуждение. В зоне рискованного земледелия, к которой принадлежит Московская область, для яровых зерновых большое значение имеет продолжительность вегетационного периода. Сорт стандарт Злата относится к среднеранним сортам. У него фазы колошения и восковой спелости наступили 22 июня и 19 июля соответственно. Только линии № 4, 21 и 38 вступили в фазу колошения наравне со стандартом. Большинство оставшихся выколосились примерно на неделю позднее. И только у линий № 20, 27, 32 и 45 фаза наступила существенно позднее — 10 июля (на 18 дней). Наступление фазы восковой спелости у линий № 4 и 38 соответствовало стандарту. Большинство линий созрели на неделю позже и соответствовали среднеспелой группе. Однако многие линии (№ 18, 19, 20, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 45, 46, 47) оказались позднеспелыми — восковая спелость наступила только к 10 августа (на 22 дня позднее стандарта). Результаты изучения наступления фенологических фаз показывают возможность проведения скрещиваний селекционных образцов с изученными линиями, поскольку фазы колошения почти совпадают. Однако позднеспелость линий — признак отрицательный, который придется преодолевать беккроссами и отбором.

Описание морфологических признаков замещенных линий следует проводить с оглядкой на родительские формы. Можно предположить комбинирование признаков рекуррентных сортов пшеницы мягкой и видов секции *Boeoticum*. Рекуррентный сорт яровой мягкой пшеницы Родина относится к разновидности *lutescens* (колос белый, безостый, неопушенный, зерно красное). Сорт является интенсивным, и характеризуется высоким потенциалом урожайности зерна (до 70 ц/га) и высокой устойчивостью к полеганию [16]. Линия 353 является радиационным мутантом сорта озимой мягкой пшеницы Мироновская 808 [13], поэтому сохраняет ее морфологические признаки — высокорослость, разновидность *lutescens* или *suberythrospermum* вследствие наличия остевидных отростков в верхней части колоса. Пшеница Тимофеева не отличается разнообразием морфологических признаков вследствие узкой локализации вида (Западная Грузия). Она высокоросла (120-140 см), имеет короткий, плотный, короткоостистый колос с ломким колосовым стержнем. Колосковые чешуи могут быть белыми или черными, опушенными и нет, ости — белыми или черными, зерно — красное. На листьях имеется щетинистое опушение.

Таблица 2. **Морфобиологическая характеристика замещенных линий яровой пшеницы**
Table 2. **Morphobiological characteristics of substituted spring wheat lines**

№ линии	Высота растений, см	Разновидность	Урожайность		Устойчивость, балл		
			Масса зерна с делянки, г	ц/га	к бурой ржавчине	к мучнистой росе	к септориозу
1	80	?	49,4	29,6	9	9	5
2	85	?	53,5	32,1	7-9	7	3
3	110	*erythrospermum*	65,1	39,1	9	9	7
4	80	*erythrospermum*	46,2	27,7	5-7	9	3
5	90	*pseudohostianum*	46,0	27,6	9	9	7
6	90	*pseudohostianum*	47,7	28,6	9	9	7-9
7	90	*pseudohostianum*	58,9	35,3	9	9	7-9
8	100	*pseudohostianum*	58,3	35,0	9	9	7
9	100	*pseudohostianum*	61,0	36,6	9	9	5
10	90	*pseudohostianum*	53,3	32,0	9	9	5
11	90	*pseudohostianum*	53,1	31,9	9	9	5
12	100	*velutinum*	58,0	34,7	9	9	7
13	95	*pseudohostianum*	58,6	35,2	9	9	7
14	90	*velutinum*	54,9	33,0	9	9	7-9
15	90	*velutinum*	53,2	31,9	9	9	7
16	95	*pseudohostianum*	65,0	39,0	9	9	7
17	95	*velutinum*	55,6	33,4	9	9	7
18	90	*lutescens*	52,4	31,4	9	9	9
19	100	*lutescens*	50,0	30,0	9	9	7-9
20	85	*lutescens*	62,4	37,4	9	9	7-9
21	65	*lutescens*	12,0	7,2	1-5	1-5	5
22	85	*ferrugineum*	19,9	11,9	9	9	3
23	90	*ferrugineum*	41,5	24,9	9	9	5
24	90	*ferrugineum*	20,0	12,0	9	9	5
25	85	*ferrugineum*	18,5	11,1	7-9	9	5
26	85	*ferrugineum*	20,2	12,1	7-9	9	5
27	55	*pseudocoeruleo-velutinum*	11,0	6,6	7-9	9	7
28	65	*nigrum*	14,6	8,8	7-9	9	7
29	70	*nigrum*	10,7	6,4	9	9	7
30	70	*nigrum*	45,9	27,6	9	9	9
31	95	*ferrugineum*	37,2	22,3	9	7-9	7
32	90	*lutescens*	52,0	31,2	9	9	9
33	90	*albidum*	46,0	27,6	9	7-9	7
34	80	*albidum*	35,3	21,2	9	9	7
35	85	*albidum*	37,4	22,4	9	7	5
36	80	*albidum*	33,3	20,0	5-7	7	7
37	75	*albidum*	41,8	25,1	7	7	7
38	80	*ferrugineum*	27,1	16,3	5-7	7	5
39	85	*pseudohostianum*	47,8	28,7	9	9	7
40	75	*erythrospermum*	18,5	11,1	9	9	3
41	75	*erythrospermum*	27,6	16,3	9	9	3
42	70	*erythrospermum*	31,2	18,7	7-9	9	5
43	65	*erythrospermum*	33,4	20,0	7-9	9	5
44	65	*erythrospermum*	27,1	16,3	9	9	3
45	75	*lutescens*	47,3	28,4	9	9	7
46	85	*pseudohostianum*	44,2	26,5	9	9	7
47	85	*pseudohostianum*	52,2	31,3	9	9	7
Злата	85	*lutescens*	58,6	35,1	5	5	5

а б

Рисунок 2. **Колосья образца № 28 замещенной линии яровой мягкой пшеницы: а — фаза цветения, б — полная спелость**

Figure 2. **Ears of sample No. 28 of the substituted spring soft wheat line: a — flowering phase, b — full ripeness**

Пшеница позднеспела и влаголюбива, устойчива к комплексу грибных болезней [18]. Пшеница Милитины является естественным голозерным мутантом пшеницы Тимофеева. Поэтому эти виды очень похожи морфологически. Этот вид обладает высокой степенью устойчивости к грибным болезням [18]. Пшеница Кихары — искусственный вид, полученный от объединения геномов пшеницы Тимофеева и эгилопса Тауши (*Aegilops Taushii*). Высота растений 125 см, листья опушены щетинистыми волосками. Колос рыхлый, очень жесткий, ломкий, белый, остистый, опушенный. Ости белые или черные, зерно красное. Не поражается бурой ржавчиной, но восприимчива к мучнистой росе [18].

Проведем описание изученных замещенных линий по группам, соответствующим гибридным комбинациям (табл. 1). У всех линий и стандарта Златы в 2021 году высота растений варьировала в пределах 65-100 см. Только линия № 3 оказалась более высокой — 110 см. Все линии оказались устойчивыми к полеганию. У всех — колосья были относительно короткими и плотными.

Линии № 1-4 (♀ Родина х ♂ *Triticum kiharae*) характеризовались изумрудной окраской вегетативных частей, лишенных воскового налета. У линий № 1 и № 2 при белом неопушенном безостом колосе окраска зерна была красной с фиолетовыми пятнами. В «Определителе разновидностей мягкой и твердой пшениц» Н.П. Гончарова [15] такое сочетание признаков отсутствует. Поэтому разновидность этих линий установить не удалось. Разновидности линий № 3 и № 4 сочетают признаки родительских форм — *erythrospermum* (табл. 2). По урожайности эти линии не отличались от стандарта. Наиболее урожайной из них оказалась линия № 3 (111 % от st.).

Линии № 5-17 (B1 (♀ Родина х ♂ *Triticum kiharae*) х Родина) характеризовались близкими морфологическими признаками — плотным булавовидным белым опушенным колосом, у большинства образцов — с черными остями, красным зерном. Их разновидности были определены как *pseudohostianum* и *velutinum* (табл. 2). Следует отметить, что среди всходов линий № 11 и № 15 были отмечены альбиносы, что говорит об их цитологической нестабильности. Урожайность этих линий не отличалось от стандарта. Самые высокие значения отмечены у линий № 9 (104 % от st.) и № 16 (111 % от st.).

Растения линий № 18-20 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum timopheevii*) характеризовались отсутствием воскового налета, изумрудной окраской вегетативных частей. Разновидности были определены как *lutescens*, соответствующие материнской форме (табл. 2). Их урожайность была на уровне стандарта. Максимальное значение отмечено у линии № 20 (106 % от st.).

Линии № 21-30 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum militinae*) имели морфологические признаки, отсутствующие у родительских форм — красный цвет колоса (разновидность *ferrugineum*) (табл. 2). Очевидно, имело место спонтанное перекрестное опыление, обычное явление у отдаленных гибридов. У линий № 21 и № 22 были отмечены альбиносы. Линии № 28, № 29 и № 30 характеризовались необычным черным безостым опушенным колосом (рис. 2). Большинство замещенных линий, отобранных из данной гибридной комбинации, имели очень низкую урожайность. Только линии № 23 и № 30 были на уровне стандарта.

Линии № 31-38 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) также имели нехарактерные для родительских форм красную окраску колоса (разновидность *ferrugineum*) и белую окраску зерна (разновидность *albidum*) (табл. 2). У линии № 32 отмечена вторичная хазмогамия, что говорит о стерильности пыльцы и возможности спонтанного перекрестного опыления. У этой линии на колосе имелись остевидные отростки, как у Мироновской 808. Большинство замещенных линий, отобранных из этой гибридной комбинации, имели очень низкую урожайность (табл. 2). На уровне стандарта были только линии № 32, № 33 и № 37.

Большинство из линий № 39-47 (B1 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) х Родина) были остистыми и имели щетинистое опушение листьев, как у пшеницы Кихары. У линии № 45 была отмечена вторичная хазмогамия. Большинство линий имели урожайность, достоверно ниже стандарта (табл. 2). Только линии № 39, № 45, № 46 и № 47 не отличались от него.

Практически все изученные изогенные лини в условиях 2021 года были иммунными или высокоустойчивыми к бурой ржавчине и мучнистой росе (табл. 2). Только линия 21 оказалась восприимчивой ко всем болезням. Особый интерес представляет устойчивость этих линий к септориозу. Поздний посев яровых в 2021 году и сухая жаркая погода второй половины вегетации спровоцировали развитие болезни, вызываемой факультативным паразитическим грибом из рода *Septoria*. Высокоустойчивых к этой болезни коммерческих сортов пшеницы нет [16, 19, 20]. Поэтому так важен поиск источников устойчивости для создания новых, более совершенных сортов. Изученные изогенные линии яровой пшеницы поражались в той или иной степени (табл. 2). Однако отдельные линии продемонстрировали иммунитет — линии № 18, № 30 и № 32. Достаточно много линий оказалось высокоустойчивыми (7 баллов).

Заключение.

1. Проведено описание морфологических признаков замещенных линий пшеницы, определены разновидности, время наступления основных фенологических фаз. Показана пригодность большинства линий к скрещиваниям с селекционными образцами яровой мягкой пшеницы.

2. Не выявлено замещенных линий пшеницы, достоверно превышающих стандарт по продуктивности. Среди линий, отобранных из гибридных комбинаций (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum militinae*), (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) и (B1 (♀ Линия 353 х ♂ *Triticum kiharae*) х Родина), большинство было низкопродуктивными.

3. Большинство замещенных линий в условиях ЦРНЗ характеризовалось иммунитетом или высокой устойчивостью к бурой ржавчине и мучнистой росе. Выделены линии, иммунные к септориозу.

4. Выделены наиболее урожайные замещенные линии с комплексом хозяйственно-полезных признаков: № 3, № 9, № 16, № 20, № 23, № 30, № 32, № 33, № 37, № 39, № 45, № 46 и № 47. Однако у линий № 20, № 32 и № 45 фаза колошения не совпадает с одноименной фазой у сортов яровой пшеницы, поэтому следует применять специальные приемы для синхронизации их фенофаз при гибридизации. Линии № 20, № 23, № 30, № 32, № 39, № 45, № 46 и № 47 являются очень позднеспелыми. Эти лини нуждаются в дальнейшем изучении и улучшении для использования в селекционном процессе новых высокоурожайных сортов яровой пшеницы, устойчивых к основным грибным болезням в ЦРНЗ.

Список источников

1. Маркелова Т.С., Нарышкина Е.А. Мировая коллекция — основной источник доноров устойчивости пшеницы к бурой ржавчине и другим болезням // Защита и карантин растений. 2015. № 9. С. 28-30.

2. Давоян Р.О. Использование генофонда дикорастущих сородичей в улучшении мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Краснодар, 2006. 160 с.

3. Крупин П.Ю., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 3. С. 409-425. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus.

4. Семенов В.И. Обогащение генофондов культурных видов — магистральное направление улучшения их в настоящем и будущем. Отдаленная гибридизация. Теория и практика. М.: Изд-во МСХА, 2002. С. 5 — 31.

5. Крупин П.Ю., Груздев И.В., Дивашук М.Г. Анализ коллекции яровой тритикале по генам устойчивости к листовой ржавчине с помощью ПЦР-маркеров // Генетика. 2019. Т. 55. № 8. С. 893-903. DOI: 10.1134/S0016675819080083.

6. Орловская О.А., Вакула С.И., Хотылева Л.В. Устойчивость линий мягкой пшеницы с генетическим материалом видов рода Triticum к грибным болезням // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 171-182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.171rus.

7. Sodkiewicz W., Strzembicka A. Application of *Triticum monococcum* for the improvement of triticale resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*) // Plant Breeding. 2004. № 123. Pp. 39-42.

8. Кузьмина Н.П., Ворончихина И.Н., Щуклина О.А., Ворончихин В.В., Квитко В.Е. Комплексная оценка линий озимых пшенично-пырейных гибридов в питомнике конкурсного сортоиспытания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 8. С. 67-74.

9. Лапочкина И.Ф. Пухальский В.А. Создание исходного материала яровой пшеницы методом отдаленной гибридизации с использование облученной пыльцы. Доклад научно-практической конференции «Ученые Нечерноземья — развитию сельского хозяйства зоны». М., 1991. С. 150-156.

10. Цицин Н.В. Теория и практика отдаленной гибридизации. М.: Наука, 1981. 160 с.

11. Груздев И.В., Захарова Е.В., Большакова Л.С., Соловьев А.А. Оценка сортообразцов яровой тритикале (×*Triticosecale* Wittm.) по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Erikss.) в полевых условиях Московской области // Известия ТСХА. 2017. № 3. С. 5-18.

12. Пухальский В.А. Использование молекулярно-генетических подходов при изучении устойчивости растений к фитопатогенам (материалы научного семинара) // Типы устойчивости растений к болезням. СПб., 2003. С. 10-16.

13. Бадаева Е.Д., Будашкина Е.Б., Билинская Е.Н., Пухальский В.А. Закономерности межгеномных замещений хромосом у межвидовых гибридов пшеницы и их использование для создания генетической номенклатуры хромосом // Генетика. 2010. Т. 10. № 7. С. 869-886.

14. Пыльнев В.В., Коновалов Ю.Б., Хупацария Т.И. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2014. 448 с.

15. Определитель разновидностей мягкой и твердой пшениц. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 67 с.

16. Пересыпкин В.Ф. Сельскохозяйственная фитопатология. М.: Агропромиздат, 1989. 480 с.

17. Неттевич Э.Д. Избранные труды. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур. М.: Немчиновка, 2008. 347 с.

18. Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушова Э.Ф., Удачин Р.А., Якубцинер М.М. Культурная флора СССР. Пшеница. Л.: Колос, 1979. 347 с.

19. Kwiatek M., Majka, H. Wiśniewska, B. Apolinarska, J. Belter Effective transfer of chromosomes carrying leaf rust resistance genes from Aegilops tauschii, Coss. into hexaploid triticale (×*Triticosecale*, Witt.) using Ae. tauschii× Secale cereale amphiploid forms // Journal of Applied Genetics. 2015. № 56(2). P. 1–6.

20. Гультяева Е.И., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Шайдаюк Е.Л. Расширение генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Eriks.) в Нижнем Поволжье // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 1. С. 27-44. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.27rus.

References

1. Markelova T.S., Naryshkina E.A. (2015). *Mirovaya kollekciya — osnovnoj istochnik donorov ustojchivosti pshenicy k buroj rzhavchine i drugim boleznyam* [The world collection is the main source of donors of wheat resistance to brown rust and other diseases]. *Zashchita i karantin rastenij,* no. 9. pp. 28-30.

2. Davoyan R.O. (2006). Ispol'zovanie genofonda dikorastushchih sorodichej v uluchshenii myagkoj pshenicy (*T. aestivum* L.) [The use of the gene pool of wild relatives in the improvement of soft wheat (*T. aestivum* L.)]. Krasnodar. 160 p.

3. Krupin P.Y, Divashuk M.G., Karlov G.I. (2019). *Ispol'zovanie geneticheskogo potenciala mnogoletnih dikorastushchih zlakov v selekcionnom uluchshenii pshenicy* [The use of the genetic potential of perennial wild cereals in the breeding improvement of wheat]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, vol. 54, no. 3, pp. 409-425. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus.

4. Semenov V.I. (2002). *Obogashchenie genofondov kul'turnyh vidov — magistral'noe napravlenie uluchsheniya ih v nastoyashchem i budushchem. Otdalennaya gibridizaciya. Teoriya i praktika* [Enrichment of gene pools of cultural species — the main direction of their improvement in the present and future. Distant hybridization. Theory and practice]. Moscow: Izd-vo MSKHA, pp. 5-31.

5. Krupin P.Y., Gruzdev I.V., Divashuk M.G. (2019). Analiz kollekcii yarovoj tritikale po genam ustojchivosti k listovoj rzhavchine s pomoshch'yu PCR-markerov [Analysis of the spring triticale collection by genes of resistance to leaf rust using PCR markers]. *Genetika,* vol. 55, no. 8, pp. 893-903. DOI: 10.1134/S0016675819080083.

6. Orlovskaya O.A., Vakula S.I., Hotyleva L.V. (2021). *Ustojchivost' linij myagkoj pshenicy s geneticheskim materialom vidov roda Triticum k gribnym boleznyam* [Resistance of soft wheat lines with genetic material of species of the genus Triticum to fungal diseases]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, vol. 56, no. 1, pp. 171-182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.171rus.

7. Sodkiewicz W. & Strzembicka A. (2004). Application of *Triticum monococcum* for the improvement of triticale resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*). *Plant Breeding,* no. 123, pp. 39-42.

8. Kuz'mina N.P., Voronchihina I.N., Shchuklina O.A., Voronchihin V.V., Kvitko V.E. (2021). Kompleksnaya ocenka linij ozimyh pshenichno-pyrejnyh gibridov v pitomnike konkursnogo sortoispytaniya [Comprehensive assessment of lines of winter wheat-wheatgrass hybrids in the nursery of competitive variety testing]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii,* no. 8, pp. 67-74.

9. Lapochkina I.F. Puhal'skij V.A. (1991). *Sozdanie iskhodnogo materiala yarovoj pshenicy metodom otdalennoj gibridizacii s ispol'zovanie obluchennoj pyl'cy* [Creation of spring wheat source material by remote hybridization with the use of irradiated pollen]. *Dokl. nauch.-prakt. konf. «Uchenye Nechernozem'ya — razvitiyu sel'skogo hozyajstva zony»*. scientific-practical conference «Scientists of the Non-Chernozem region — development of agriculture of the zone»], Moscow, pp. 150-156.

10. Cicin N.V. (1989). *Teoriya i praktika otdalennoj gibridizacii* [Theory and practice of distant hybridization]. Moscow: Nauka. 160 p.

11. Gruzdev I.V., Zaharova E.V., Bol'shakova L.S., Solov'ev A.A. (2017). Ocenka sortoobrazcov yarovoj tritikale (×*Triticosecale* Wittm.) po ustojchivosti k buroj rzhavchine (Puccinia triticina Erikss.) v polevyh usloviyah Moskovskoj oblasti [Evaluation of varieties of spring triticale (×*Triticosecale* Wittm.) for resistance to brown rust (*Puccinia triticina* Erikss.) in the field of the Moscow region]. *Izvestiya TSKH,* no. 3, pp. 5-18

12. Puhal'skij V.A. (2003). *Ispol'zovanie molekulyarno-geneticheskih podhodov pri izuchenii ustojchivosti rastenij k fitopatogenam (materialy nauchnogo seminara)* [The use of molecular genetic approaches in the study of plant resistance to phytopathogens (materials of the scientific seminar)]. *Tipy ustojchivosti rastenij k boleznyam* [Types of plant resistance to diseases], pp. 10-16.

13. Badaeva E.D., Budashkina E.B., Bilinskaya E.N., Puhal'skij V.A. (2010). *Zakonomernosti mezhgenomnyh zameshchenij hromosom u mezhvidovyh gibridov pshenicy i ih ispol'zovanie dlya sozdaniya geneticheskoj nomenklatury hromosom* [Regularities of intergenomic chromosome substitutions in interspecific wheat hybrids and their use to create a genetic nomenclature of chromosomes]. *Genetika*, vol. 10, no. 7, pp. 869-886.

14. Pyl'nev V.V., Konovalov Y.B., Hupacariya T.I. (2014). *Praktikum po selekcii i semenovodstvu polevyh kul'tur: uchebnoe posobie* [Workshop on breeding and seed production of field crops: textbook.]. Sankt-Peterburg: Lan'. 448 p.

15. Opredelitel' raznovidnostej myagkoj i tverdoj pshenic (2009). [The determinant of varieties of soft and durum wheat]. Novosibirsk: SO RAN, 67 p.

16. Peresypkin V.F. (1989). *Sel'skohozyajstvennaya fitopatologiya* [Agricultural phytopathology]. Moscow: Agropromizdat, 480 p.

17. Nettevich E.D. (2008). *Izbrannye trudy. Selekciya i semenovodstvo yarovyh zernovyh kul'tur* [Selected works. Breeding and seed production of spring grain crops]. Moscow: Nemchinovka, 347 p.

18. Dorofeev V.F., Filatenko A.A., Migushova E.F., Udachin R.A., Ykubciner M.M. (1979). *Kul'turnaya flora SSSR. Pshenica* [Cultural flora of the USSR. Wheat.]. Leningrad: Kolos, 347 p.

19. Kwiatek M., Majka, H. Wiśniewska, B. Apolinarska, J. (2015). Belter Effective transfer of chromosomes carrying leaf rust resistance genes from Aegilops tauschii, Coss. into hexaploid triticale (×*Triticosecale*, Witt.) using Ae. tauschii× Secale cereale amphiploid forms. *Journal of Applied Genetics*, no 56(2), pp. 1-6.

20. Gul'tyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., SHajdayuk E.L. (2020). *Rasshirenie geneticheskogo raznoobraziya sortov yarovoj myagkoj pshenicy po ustojchivosti k buroj rzhavchine (Puccinia triticina Eriks.) v Nizhnem Povolzh'e* [Expansion of the genetic diversity of spring soft wheat varieties for resistance to brown rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in the Lower Volga region]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, vol. 55, no. 1, pp. 27-44. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.27rus.

Информация об авторах:

Рубец Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры генетики, селекции и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1870-7242.
Шилова Ксения Олеговна, студенка, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева.
Лаппо Анастасия Андреевна, студентка, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева.
Пухальский Виталий Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории генетики растений, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова.
Ворончихина Ирина Николаевна, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9569-2852, yarinkapanfilova@gmail.com.
Ворончихин Виктор Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5763-0877, vitya.voronchihin@gmail.com.

Information about the authors:

Valentina S. Rubets, doctor of biological sciences, associate professor, the department of genetics, plant breeding and seed production, Russian Timiryazev State Agrarian University, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1870-7242.
Ksenia O. Shilova, student, Russian Timiryazev State Agrarian University.
Anastasia A. Lappo, student, Russian Timiryazev State Agrarian University.
Vitaly A. Puhalsky, doctor of biological sciences, professor, chief researcher of the laboratory of plant genetics, Vavilov Institute of General Genetics.
Irina N. Voronchikhina, researcher in distant hybridization department, Tsitsin Main Botanical Garden, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9569-2852, yarinkapanfilova@gmail.com.
Viktor V. Voronchikhin, candidate of agricultural sciences, researcher in distant hybridization department, Tsitsin Main Botanical Garden, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5763-0877, vitya.voronchihin@gmail.com.

✉ **yarinkapanfilova@gmail.com**