

	<i>Pi-1</i>	2	0	0
	<i>Pi-2</i>	0	2	0
Алмаз×Магнат	<i>Pi-1</i>	2	1	0
	<i>Pi-2</i>	0	2	1
Дубрава×Виола	<i>Pi-ta²</i>	0	0	2
	<i>Pi-1</i>	1	0	1
	<i>Pi-2</i>	0	0	2
Ханкайский 52×242-01	<i>Pi-1</i>	0	2	0
	<i>Pi-2</i>	2	0	0
Долинный×Дон 4237	<i>Pi-ta²</i>	5	0	1
Рассвет×Окси 2х	<i>Pi-b</i>	7	10	4
Доля каллусных линий, %		40	34	26

Анализ каллусных линий, полученных с гибридов Д×М и Дб×В, которые обладают аллелями устойчивости трех генов, выявил не более двух комбинаций аллелей среди удвоенных гаплоидов одной каллусной линии из возможных восьми. Так, например, на каллусной линии 610.2.1 сформировалось семь удвоенных гаплоидов. У шести растений идентифицированы аллели устойчивости генов *Pi-1* и *Pi-2*, и у одного регенеранта – аллели устойчивости генов *Pi-1* и *Pi-ta²*. С одинаковой комбинацией аллелей устойчивости двух генов сформировалось до 28 растений, а с одинаковой комбинацией трех генов – до 18 растений.

Выводы. Выявлена внутрикалусная генетическая изменчивость удвоенных гаплоидов риса в андрогенезе *in vitro*, обусловленная гаметоклональной вариабельностью. Частота появления вариабельных каллусных линий составляет четверть (26%) от всех изученных каллусов. На одной каллусной линии представлена одна или две комбинации аллелей генов устойчивости к пирикулярриозу риса. Существует истинное клонирование удвоенных гаплоидов риса в пределах каллусной линии в андрогенезе *in vitro*.

Список литературы

1. Илюшко, М.В. Идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу в сортах риса дальневосточной селекции с использованием ДНК-маркеров / М.В. Илюшко, П.В. Фисенко, Т.В. Суницкая, С.С. Гученко, Ц.-М. Чжан, Л.-В. Дэн, П.И. Костылев // *Зерновое хозяйство России*, 2017. – № 4 (52). – С. 41-45.
2. Evans, D.A. Somaclonal and gametoclonal variation / D.A. Evans, W.R. Sharp, H.P. Medina-Filho // *Amer. J. Bot.*, 1984. – Vol. 71 (2). – P. 759-774. DOI: 10.2307/2443467.
3. Germana, M.A. Gametic embryogenesis and haploid technology as valuable support to plant breeding / M.A. Germana // *Plant Cell. Rep.*, 2011. – Vol. 30. – P. 839-857. DOI: 10.1007/s00299-011-1061-7.
4. Pyushko, M.V. Effect of growing conditions of rice donor plants on anther culture *in vitro* / M.V. Pyushko // *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 2015. – No 5. – P. 686-694. DOI: 10.17265/2161-6256/2015.08.007.
5. Tripathy, S.K. Exploring factors affecting anther culture in rice (*Oryza sativa* L.) / S.K. Tripathy, D. Swain, P.M. Mohapatra, A.M. Prusti, B. Sahoo, S. Panda, M. Dash, B. Chakma, S. Behera // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 2019. – Vol. 7 (02). – P. 87-92. DOI: 10.7324/JABB.2019.70216.

УДК:633.11:632.4

Результаты генетических исследований по повышению устойчивости мягкой пшеницы к грибным заболеваниям в Нечерноземной зоне

***Инна Федоровна Лапочкина¹, Ирина Юрьевна Макарова¹,
Наиль Рифкатович Гайнуллин¹, Андрей Васильевич Нардит,***

**Наталья Алексеевна Яшина¹, Марина Ивановна Киселева²,
Ольга Александровна Баранова³, Надежда Михайловна Коваленко³,
Галина Владимировна Волкова⁴**

1 - ФИЦ «Немчиновка», 143026, Московская область, р/п Новоивановское, Россия;

2- ФГБНУ ВНИИФ, 143050, Московская область, Большие Вяземы, Россия;

3-ФГБНУ ВИЗР,196608, Пушкин, Россия;

4- ФГБНУ ФНЦБЗР, 350039, Краснодар, Россия

Аннотация. В статье приводятся этапы создания источников и доноров устойчивости мягкой пшеницы к грибным болезням (мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчинам) с чужеродными транслокациями сородичей пшеницы (*Ae. speltoides*, *Ae. triuncialis*, *T. kiharae*, *S. cereale*). Последующее использование доноров с идентифицированными генами устойчивости *Pm*, *Lr*, *Sr* и линий с высокой устойчивостью к грибным заболеваниям при гибридизации с другими сортообразцами позволило создать конкурентоспособный материал яровой и озимой пшеницы с комплексом хозяйственно-ценных признаков и расширенной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды.

Ключевые слова: мягкая пшеница, сородичи пшеницы, грибные болезни, доноры и гены устойчивости

RESULTS OF GENETIC STUDIES ON INCREASING THE RESISTANCE OF COMMON WHEAT TO FUNGAL DISEASES IN THE NON-CHERNOZEM ZONE

***Inna Fedorovna Lapochkina¹, Irina Yurievna Makarova¹,
Nail Rifkatovich Gainullin¹, Andrey Vasilievich Nardit¹,
Natalia Alekseevna Yashina¹, Marina Ivanovna Kiseleva²,
Olga Aleksandrovna Baranova³, Nadezhda Mikhailovna Kovalenko³,
Galina Vladimirovna Volkova⁴***

1 - FRC "Nemchinovka", 143026, Moscow region, Novoivanovskoe, Russia;

2- FSBSI ARRIP, 143050, Moscow region, Bolshie Vyazemy, Russia;

3- FSBSI VIZR, 196608, Pushkin, Russia;

4- FRCBPP, 350039, Krasnodar, Russia

Abstract. The article presents the stages of development of common wheat sources and donors of resistance to fungal diseases (powdery mildew, leaf and stem rust) with alien translocations of wheat relatives (*Ae. speltoides*, *Ae. triuncialis*, *T. kiharae*, *S. cereale*). The subsequent use of donors with identified resistance genes *Pm*, *Lr*, *Sr* and of lines with high resistance to fungal diseases in hybridization with other varieties was instrumental in making competitive material of spring and winter wheat with a complex of economically valuable characters and with extended resistance to biotic and abiotic environmental factors.

Key words: common wheat, wheat relatives, pollen irradiation, fungal diseases, donors of resistance, genes of resistance

Введение. Современные сорта яровой и озимой пшеницы, выведенные в ФИЦ «Немчиновка», реализуют свою продуктивность в 8-10 т/га только при возделывании по интенсивным технологиям, которые предусматривают протравливание семян перед посевом и трехкратное применение фунгицидов, гербицидов и инсектицидов за сезон. Такая ситуация складывается из-за отсутствия сортов с эффективной генетической защитой к грибным заболеваниям в Нечерноземной зоне, спектр которых расширяется, а расовый состав изменяется под воздействием климатических факторов. Наряду с поражениями мучнистой

росой и бурой ржавчиной, участились случаи поражения стеблевой ржавчиной (2014, 2016 годы), желтой и темно-бурой пятнистостями, а также септориозами. Создание исходного материала яровой и озимой пшеницы с эффективными генами устойчивости или их «пирамидой» остается актуальным направлением исследований в лаборатории генетики и пребридинга более 40 лет.

Цель исследования создание конкурентоспособных продуктивных линий мягкой пшеницы с расширенной генетической устойчивостью к грибным заболеваниям на основе новых доноров устойчивости с чужеродным генетическим материалом.

Материал и методы. Исследования базируются на поиске и использовании доноров устойчивости к грибным болезням из коллекции «Арсенал» [1], которая представлена образцами яровой и озимой пшеницы с множественными транслокациями от чужеродных видов (*Aegilops speltoides*, *Ae. triuncialis*, *T. kiharae*, *S. cereale*). Получение таких линий стало возможным благодаря новым подходам, которые применяли при отдаленной гибридизации мягкой пшеницы с дикорастущими сорочидками. А именно: генотипов, стимулирующих гомеологичную конъюгацию хромосом у гибридов F1 (*ph1b*-мутант, образцов *Ae. speltoides*) и гамма-облучения пыльцы малыми, средними и высокими дозами радиации. Выделение доноров из сформированной коллекции включало следующие этапы исследований: определение цитогенетической стабильности и идентификацию типа хромосомных перестроек; проведение иммунологических оценок устойчивости к бурой ржавчине на инфекционном фоне заражения с использованием всех рас характерных для Московской области и мучнистой росе на провокационном фоне в полевых условиях. Параллельно устанавливали эффективные гены устойчивости для Нечерноземной зоны с использованием коллекции моногенных линий пшеницы с генами *Lr* и *Pm*. Идентификацию генов устойчивости проводили с использованием двух методов: с использованием тест-патотипов *Puccinia tritici* при заражении растений на стадии проростков и взрослого растения, а также с использованием доступных SSR и STS-маркеров. Выявление селекционной ценности и донорских способностей устанавливали при гибридизации с другими генотипами мягкой пшеницы и отборе вторичных рекомбинантных линий с хозяйственно-ценными признаками.

Результаты. По результатам проведенных исследований выделены доноры устойчивости к мучнистой росе с генами *Pm2*, *Pm13*, *Pm16*, *Pm2+Pm16*, а также с новым геном устойчивости, переданным от *Ae. speltoides*, обозначенным как *Pm32*, и локализованным на 1В хромосоме [2].

Установлены причины длительной устойчивости созданных линий яровой и озимой мягкой пшеницы к бурой ржавчине. Устойчивость обусловлена наличием генов устойчивости эффективных в Нечерноземной зоне и сочетанием нескольких генов в генотипе, в том числе генов ювенильной устойчивости, генов устойчивости взрослого растения и генов «slow rusting» и носит полигенный характер [3].

С использованием донора озимой пшеницы с несколькими эффективными генами устойчивости (*Lr37+Lr46*), сорта Немчиновская 24 (*Lr9+Lr46*) и линии с коротким стеблем получены рекомбинантные растения с двумя (*Lr9+Lr37*) и тремя генами устойчивости в одном генотипе (*Lr9+Lr37+Lr46*). Исходный материал, созданный на основе индивидуальных растений передан на испытания в лабораторию селекции озимой пшеницы [4].

Среди образцов коллекции «Арсенал» выделено семь генотипов - источников устойчивости к карантинному заболеванию стеблевой ржавчине расы Ug99 с типом реакции на проникновение патогена от 0; до 2. Использование молекулярных маркеров позволило идентифицировать у источников несколько эффективных (*Sr2*, *Sr22*, *Sr32*, *Sr36*, *Sr39*, *Sr40*, *Sr47*) и неэффективных генов (*Sr9a*, *Sr15*, *Sr19*, *Sr31*) к расе Ug99, которые, однако, могут быть эффективными к популяциям стеблевой ржавчины в других регионах РФ [5]. С использованием этих доноров из коллекции «Арсенал», а также селекционной линии из Болгарии (GT96/90) и сорта Донская полукарликовая методом сложной ступенчатой гибридизации и беккроссирования с использованием молекулярных маркеров к

эффективным генам Sg за период с 2010-2019 создаются константные линии яровой и озимой мягкой пшеницы с пирамидой генов устойчивости. После испытаний этих линий на инфекционных участках бурой и стеблевой ржавчины на Северном Кавказе, эпифитотийном развитии этих же болезней в Московской области и Западной Сибири выделили линии с групповой устойчивостью к этим заболеваниям. То есть, создан исходный материал с одновременной устойчивостью к популяциям бурой и стеблевой ржавчины (европейской, северо-кавказской и западно-сибирской) [6,7]. Эти линии испытывались несколько лет в контрольном питомнике ФИЦ «Немчиновка» в сравнении со стандартными сортами по следующим признакам: высота растений и устойчивость к полеганию, продуктивность колоса, масса 1000 зерен, урожайность/м², число продуктивных стеблей/м², число дней до колошения, содержание белка и клейковины в зерне, качество клейковины. По результатам тестирования отобрано около 70 линий яровой пшеницы и более 100 озимых линий с комплексом хозяйственно ценных признаков.

Некоторые из этих линий были оценены в лабораторных условиях по устойчивости к темно-бурой (*Cochliobolus sativus*) и желтой (*Perenophora tritici-repentis*) пятнистостям листьев, прогрессирующим грибным заболеваниям в Нечерноземной зоне. Были выделены устойчивые образцы яровой пшеницы (16-16i, 17-16i, 48-16i) к желтой пятнистости листьев, а среди озимых линий обнаружены генотипы с групповой устойчивостью к обоим патогенам (9-19w, 31-19w) [8]. Высокая устойчивость созданного материала подтверждена в 2023 году по результатам испытаний линий озимой пшеницы в питомниках ФГБНУ ФНЦБЗР. Сотрудниками института выделены образцы с групповой устойчивостью к нескольким заболеваниям. Образцы 18-19w и 86-19w оказались устойчивы к бурой и желтой ржавчинам; 8-19w, 10-19w, 20-19w, 31-19w, 36-19w – к желтой и стеблевой ржавчинам. Выявлено 7 образцов, обладающих устойчивостью к трем видам ржавчины: 11-19w, 22-19w, 61-19w, 62-19w, 65-19w, 77-19w, 99-19w, а также образец, устойчивый к бурой и желтой ржавчинам и желтой пятнистости – 25-19w. С учетом полученных данных, а также учтенной продуктивности линий за три года были отобраны прототипы сортов для конкурсного сортоиспытания в следующем году.

Список литературы.

1. Lapochkina I.F. Genetic Diversity of “Arsenal” collection and its Utilization in Wheat Breeding. // Proc. Int. Research Conference “Genetic Resources of Cultivated Plants”. St.Petersburg, 2001, p.133-135.
2. Hsam S.L.K., Lapochkina I.F., Zeller F.J. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). 8. Gene Pm32 in a wheat–*Aegilops speltoides* translocation line.//Euphytica.2003.v133.p.367-370.
3. Лапочкина И.Ф. Чужеродная генетическая изменчивость и ее роль в селекции пшеницы. //в книге: «Идентифицированный генофонд растений и селекция» под редакцией Ригина Б.В. изд ВИР. 2005. с.684-740.
4. Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., Дженин С.В., Руденко М.И., Макарова И.Ю., Иорданская И.В., Кызласов В.Г., Коваленко Е.Д., Жемчужина А.И., Куркова Н.Н. Идентификация генотипа устойчивости к бурой ржавчине у доноров мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом сородичей для целенаправленного использования в селекции на иммунитет.//Материалы конференции «Ориентированные фундаментальные исследования и их реализация в АПК России», С-Петербург, 2008, с. 31-32.
5. Баранова О.А., Лапочкина И.Ф., Анисимова А.В., Гайнуллин Н.Р., Иорданская И.В., Макарова И.Ю. Идентификация генов Sg у новых источников устойчивости мягкой пшеницы к расе стеблевой ржавчины Ug99 с использованием молекулярных маркеров. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015:19(3):316-322.

6. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А, Шаманин В.П., Волкова Г.В., Гайнуллин Н.Р., Анисимова А.В., Галингер Д.Н., Лазарева Е.Н., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе Ug99, в России. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016:20(3):320-328.

7. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А, Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.А., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018:22(6):676-684.

8. Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., Баранова О.А., Коваленко Н.М., Марченкова Л.А., Павлова О.В., Митрошина О.В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам.//Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021:25(7):721-729.

УДК 631.524.01

Идентификация аллельного разнообразия генов короткостебельности у образцов ярового ячменя коллекции ВИР.

Лукина К.А., Поротников И.В., Антонова О.Ю., Ковалева О.Н.

Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: ячмень, короткостебельность, устойчивость к полеганию.

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из важнейших зерновых культур, которая активно высевается в РФ и других странах мира на кормовые, производственные и пищевые цели. Однако ее потенциал не реализуется в полной мере из-за полегания растений. Низкая устойчивость к полеганию может значительно снизить урожайность и качество зерна в результате развития болезней и прорастания зерна на корню, а также приводит к затруднению механизированной уборки [1].

Одно из направлений селекции ячменя – создание устойчивых к полеганию сортов. Определяющее значение для неполегающих сортов имеет длина стебля. У ячменя обнаружено более 10 генов, приводящих к уменьшению высоты растений, однако, из-за негативного плейотропного эффекта лишь немногие из них используются в селекции [2].

Наиболее изучены и широко используются в селекционных программах гены *sdw1/denso* (*HvGA20ox2*), *uzu1* (*HvBR11*) и *ari-e* (*HvDep1*). Для гена *sdw1/denso* описано 4 различных аллеля, приводящих к редукции высоты растений: *sdw1.d*, *sdw1.a*, *sdw1.e* и *sdw1.c* [2, 3]. Для гена *ari-e* наиболее известен аллель *ari-e.GP*, обнаруженный в английском сорте Golden Promise [4]. Для гена *uzu1* (*HvBR11*) в селекции используется аллель *uzu1.a*, распространенный в японских сортах [5, 6].

Уникальные образцы ячменя с укороченной соломиной и с идентифицированными аллелями короткостебельности хранятся и изучаются в различных генетических банках, в том числе и в Мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. (ВИР).

Цель данного исследования: проведение молекулярного скрининга мировой коллекции ячменя ВИР для идентификации аллелей генов *sdw1/denso*, *uzu1* и *ari-e*.

Материалы и методы. Для скрининга отобрано 40 образцов ячменя, преимущественно с укороченной соломиной. В качестве контролей использовали ранее составленный набор сортов и почти изогенных линий, характеризующихся наличием аллелей *sdw1.a*, *sdw1.c*, *sdw1.d* гена *HvGA20ox2*, аллеля *uzu1.a* гена *HvBR11* и аллеля *ari-e.GP* гена *HvDep1*. Фенотипирование образцов проводилось в соответствии с «Методическими указаниями по