

Пребридинговые исследования почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с комбинацией транслокаций от *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. и *Aegilops ventricosa* Tausch.

С.Н. Сибикеев, А.Е. Дружин

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, Россия

Для защиты мягкой пшеницы от патогенов, и в первую очередь от ржавчинных болезней, широко привлекают интрогрессивные гены устойчивости, локализованные в чужеродных транслокациях. Для использования их в практической селекции необходимы пребридинговые исследования, которые определяют влияние транслокаций на адаптационные свойства растений, элементы продуктивности, урожайности зерна и качества конечной продукции. С целью решения этих задач изучались почти изогенные линии Л653 и Л654 сорта яровой мягкой пшеницы Добрыня, устойчивые к листовой ржавчине и несущие комбинацию транслокаций T7DS•7DL-7Ae#1L + T2AL•2AS-2M^V#1 с генами Lr19/Sr25 от *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. и Lr37/Sr38/Yr17 от *Aegilops ventricosa* Tausch. В качестве контролей использовали сорт-реципиент Добрыня и сорт-стандарт Фаворит. Фитопатологические тесты показали, что Л653 и Л654 высокоустойчивы к *Puccinia triticina* и к расе Ug99 + Lr24 (TTKST) *Puccinia graminis*, но умеренно восприимчивы к саратовской популяции патогена. Пребридинговые исследования линий Л653 и Л654 выявили, что комбинация транслокаций T7DS•7DL-7Ae#1L + T2AL•2AS-2M^V#1: 1) увеличивает продолжительность периода всходы – колосшение на 7 дней и высоту растений в среднем на 10 см; 2) не влияет на устойчивость к полеганию, массу 1000 семян и продуктивность зерна как в засушливые годы, так и в годы с эпифитотией листовой ржавчины; 3) уменьшает адаптивность растений к резко меняющимся условиям вегетации; 4) уменьшает количество клейковины, не изменяя ее силу, при этом не влияет на показатели упругости теста, отношение упругости теста к растяжимости, силу муки, объем и пористость хлебцев. Таким образом, комбинация транслокаций T7DS•7DL-7Ae#1L + T2AL•2AS-2M^V#1 в генотипе сорта яровой мягкой пшеницы Добрыня определяет высокую устойчивость к листовой ржавчине и расе Ug99 + Lr24 (TTKST) стеблевой ржавчины и нейтральна в отношении комплекса агрономических показателей.

Ключевые слова: почти изогенные линии мягкой пшеницы; комбинация транслокаций T7DS•7DL-7Ae#1L + T2AL•2AS-2M^V#1; устойчивость к листовой ржавчине; пребридинговые исследования агрономических показателей.

Prebreeding research of near-isogenic lines of spring bread wheat with a combination of translocations from *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. and *Aegilops ventricosa* Tausch.

S.N. Sibikeev, A.E. Druzhin

Agricultural Research Institute for South-East Regions of Russia, Saratov, Russia

To protect bread wheat from pathogens and, in particular, rust diseases, introgressive resistance genes located in alien translocations are commonly used. However, their application in practical breeding demands prebreeding studies. They reveal effects of translocations on the adaptive properties of plants, performance indices, yield, and the quality of the final product. For this purpose, we studied the L653 and L654 near-isogenic lines of spring bread wheat cultivar Dobrynya, resistant to leaf rust and carrying the combination of translocations 7DS•7DL-7Ae#1L + 2AL•2AS-2M^V#1, which host genes Lr19/Sr25 from *Agropyron elongatum* (Host.) P. B. and Lr37/Sr38/Yr17 from *Aegilops ventricosa* Tausch. The recipient cv. Dobrynya and standard cv. Favorite were used as references. Phytopathological tests showed that L653 and L654 were highly resistant to *Puccinia triticina* at all stages of plant development and to *Puccinia graminis* race Ug99 + Lr24 (TTKST), but they were moderately susceptible to the Saratov population of this pathogen. The prebreeding research of lines L653 and L654 showed that the combination of 7DS•7DL-7Ae#1L + 2AL•2AS-2M^V#1 translocations: (1) prolonged the seedling emergence – heading time by 7 days and increased the mean plant height by 10 cm; (2) did not affect lodging resistance or 1000 kernel weight; (3) affected grain yield in neither drought years nor years of leaf rust outbreaks; (4) reduced plant adaptation to abrupt vegetation condition changes; (5) reduced gluten amount without affecting its strength, dough tenacity,

tenacity : extensibility ratio, flour strength, bread volume, or bread porosity. Thus, the combination of 7DS•7DL-7Ae#1L + 2AL•2AS-2M^V#1 translocations in the genotype of spring bread wheat cv. Dobrynya determines high resistance to leaf rust and stem rust race Ug99 + Lr24 (TTKST), being neutral with regard to agronomic performance indices.

Key words: near-isogenic lines of bread wheat; combination of 7DS•7DL-7Ae#1L + 2AL•2AS-2M^V#1 translocations; high leaf rust resistance; prebreeding study of agronomic traits.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ?

Сибикеев С.Н., Дружин А.Е. Пребридинговые исследования почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с комбинацией транслокаций от *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. и *Aegilops ventricosa* Tausch. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(3):310-315.

HOW TO CITE THIS ARTICLE?

Sibikeev S.N., Druzhin A.E. Prebreeding research of near-isogenic lines of spring bread wheat with a combination of translocations from *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. and *Aegilops ventricosa* Tausch. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(3):310-315.

Одним из основных направлений повышения урожайности возделываемых растений является получение форм, устойчивых к биотическим факторам, в число которых входит большая группа фитопатогенов. Для уменьшения экономически значимых потерь от болезней растений необходимо проводить постоянную научно обоснованную селекцию на устойчивость к патогенам, причем она должна базироваться на знании биологии патогена, его вирулентных свойств, генетики устойчивости возделываемых сортов культурных растений и достаточном количестве и разнообразии генов устойчивости к патогенам, т. е. она должна быть опережающей (McIntosh, 1992; McIntosh, Brown, 1997). Вторая половина XX века и первое десятилетие XXI века показали, что наибольшие результаты в защите мягкой пшеницы от патогенов получены при интрогрессии генов устойчивости от родственных видов. В настоящее время из общего количества идентифицированных генов устойчивости к видам ржавчины пшеницы из «дикарей» перенесены: к желтой из 67 – 15 генов, к стеблевой из 58 – 26, к листовой из 74 – 39 (McIntosh et al., 2013). Однако, несмотря на то что получено достаточно большое количество межвидовых и чужеродных переносов генного материала в генофонд мягкой пшеницы, они еще редко успешно используются в коммерческих сортах. Большинство чужеродных транслокаций либо не компенсируют отсутствие пшеничного хроматина, либо содержат нежелательные сцепления. Так, по данным В. Friebe с соавт. (2000), из 29 транслокаций с генами устойчивости к листовой ржавчине (*Lr*-генами), интрогрессированных из видов рода *Aegilops*, а также от *T. timopheevii*, *S. cereale*, *Ag. intermedium* и *Ag. elongatum*, компенсируют отсутствие пшеничного сегмента хромосом – 17, имеют значение для сельского хозяйства – 6 и широко используются в коммерческих сортах – 3. Влияние интрогрессивных транслокаций на агрономически важные признаки (селекционную ценность) определяют в пребридинговых исследованиях, причем наиболее точно – на основе почти изогенных линий. К сожалению, несмотря на их необходимость, таких исследований немного. Как пример можно привести исследования влияния транслокаций 1BL-1R#1S с генами *Pm8/Sr31/*

Lr26/Yr9, 7DS•7DL-7Ae#1L с генами *Lr19/Sr25* (*Lr19*-транслокация), 2AL•2AS-2M^V#1 с генами *Sr38/Lr37/Yr17* (*Lr37*-транслокация), 6DS•6DL-7Ai#2L с геном *Lr38* (Rajaram et al., 1983; Dyck., Fribe, 1993; Villareal., 1995; Singh et al., 1998; Labuschagne et al., 2000; Sibikeev et al., 2000). Отметим, что не во всех исследованиях проведены комплексные оценки показателей зерновой продуктивности мягкой пшеницы совместно с оценками ее хлебопекарных свойств. Недостаточно информации о пребридинговых исследованиях на линиях, несущих комбинации интрогрессивного генного материала, несмотря на то что таким линиям в настоящее время уделяется большое внимание. Известно об изучении у почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы влияния на агрономические показатели комбинаций транслокаций T7DS•7DL-7Ae#1L и 1BL-1R#1S (Singh et al., 1998; Сибикеев и др., 2009). Кроме того, проведены пребридинговые исследования ряда комбинаций транслокаций М. Абдряевым (Абдряев, 2006) и 1BL-1R#1S + 5AS-5RL, а также 1BL-1R#1S + 5R(5D) на наборе идентифицированных линий Т. Ефремовой с соавт. (Efremova et al., 2014). К числу чужеродных транслокаций, имеющих значение для сельского хозяйства, относятся *Lr19*- и *Lr37*-транслокации. Причем набор сортов с первой транслокацией в основном сосредоточен в европейской части России (Коваленко и др., 2003), а со второй – в странах Западной Европы (Sumikova et al., 2010). Влияние на агрономические признаки обеих транслокаций оценивалось как положительное (Sibikeev et al., 2000; Labuschagne et al., 2002). К положительным свойствам этих транслокаций, значительно увеличивающих их привлекательность для селекционеров, надо отнести то, что они несут сцепленные блоки генов устойчивости к стеблевой, листовой и желтой ржавчинам – *Lr19/Sr25* и *Sr38/Lr37/Yr17* (McIntosh et al., 2013). Однако в этих транслокациях гены устойчивости к листовой ржавчине были преодолены патогеном (Sibikeev et al., 1996; Bayles et al., 2000). Тем не менее, как показали исследования лаборатории генетики и цитологии ФБГНУ НИИСХ Юго-Востока, комбинация этих транслокаций обуславливает устойчивость к возбудителю листовой ржавчины с типом реакции на патоген IT = 0;. Исходя из этого, а также

с учетом положительного влияния на агрономические признаки *Lr19*- и *Lr37*- транслокаций в лаборатории генетики и цитологии был получен набор почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы, несущих комбинацию этих транслокаций. Результаты пребридинговых исследований, проводимых в течение 2011–2014 гг. на наборе этих линий, представлены в данной статье.

Материал и методы

Используемый материал включал следующие генотипы: сорта яровой мягкой пшеницы Добрыня (как сорт-реципиент) и Фаворит (как официальный сорт-стандарт при Государственном сортоиспытании для Нижневолжского региона); почти изогенные линии яровой мягкой пшеницы Л653 и Л654 = Добрыня * 5//Milan/Prinia, устойчивые к листовой ржавчине, несущие комбинацию транслокаций 7DS•7DL-7Ae#1L с генами *Lr19/Sr25* и 2AL•2AS-2MV#1 с генами *Sr38/Lr37/Yr17*, у которых донором *Lr19*-транслокации и сортом-реципиентом яровой мягкой пшеницы был сорт Добрыня, а донором *Lr37*-транслокации являлась линия яровой мягкой пшеницы Milan/Prinia селекции международного центра СИММИТ.

Присутствие комбинации чужеродных транслокаций у изучаемых почти изогенных линий определяли по наличию у них маркерных признаков транслокаций: желтого цвета муки, тесно сцепленного с геном *Lr19* (Prins et al., 1996), а также по реакции на саратовскую популяцию возбудителя листовой ржавчины пшеницы *Puccinia triticina* IT = 0. Так как ген *Lr19* преодолен патогеном с 1994 г. (Sibikeev et al., 1996), одновременное наличие типа реакции на патоген IT = 0 и желтого цвета муки обуславливалось только комбинацией чужеродных транслокаций. Кроме того, наличие комбинации *Lr19* + *Lr37*-транслокаций было подтверждено ПЦР анализом с использованием праймеров VENTRIUP и LN2, предложенных для идентификации гена *Lr37*, и STS-маркера Gb *Lr19* для идентификации гена *Lr19*. Характерные фрагменты амплификации были выявлены у почти изогенных линий Л653 и Л654 (Гультяева и др., 2012). Оценка устойчивости растений к листовой ржавчине проводилась в поле при естественном заражении и в теплице при искусственном инокулировании патотипами, содержащими ген вирулентности к гену *Lr19-pp19*, собранными с сортов Л503 и Добрыня.

Оценку интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы селекции ФБГНУ НИИСХ Юго-Востока, среди которых были линии Л653 и Л654, на устойчивость к расе возбудителя стеблевой ржавчины Ug99 + Lr24 (ТТКСТ) проводили в инфекционном питомнике KARI в Njogo, Кения. Материал испытывали в 2012 г. Линии сеяли двухрядковыми деланками метровой длины, перпендикулярно которым размещали рядки из смеси восприимчивых линий с генами *Sr31* и *Sr24*. Оценку проводили дважды по модифицированной шкале Cobba и реакции хозяина на внедрение патогена (Roelfs et al., 1992): R = устойчивый – 1 балл; TR = единичные пустулы, некротичные пятна, устойчивый – 1 балл; MR = умеренно устойчивый – 2 балла; MS = умеренно восприимчивый – 2–3 балла; M = промежуточный между устойчивым и восприимчивым – 2–3 балла; MSS = от умеренно воспри-

имчивого до восприимчивого – 4 балла; TS = единичные пустулы, восприимчивый – 3–4 балла; S = восприимчивый – 4 балла.

Пребридинговые исследования включали оценку продуктивности зерна и ее элементов, а также оценку физических свойства теста и хлебопекарных показателей. Исследования проводились в 2011–2014 гг. Периоды вегетации в эти годы характеризовались разнообразием температурного и водного режимов. Наиболее благоприятным был 2014 г., жесткой жарой и засухой выделялся 2012 г. Эпифитотии листовой ржавчины от слабой до сильной степени отмечались во все годы исследований. Экспериментальный материал высевался в семирядковые деланки длиной 7 м, с междурядьем 15 см, рендомизированно, в четырехкратной повторности. Полученные данные подвергли соответствующему статистическому анализу с использованием программ «Agros-2.10».

Результаты и обсуждение

Оценка устойчивости почти изогенных линий Л653 и Л654 к возбудителю листовой ржавчины

Исследования лаборатории генетики и цитологии ФБГНУ НИИСХ Юго-Востока 2008–2014 гг. состава саратовской популяции *Puccinia triticina* Eriks по генам вирулентности показали, что популяцию можно охарактеризовать как высоковирулентную. Количество генов вирулентности достигало 32, а постоянно высокоэффективными генами устойчивости были *Lr9*, *24*, *28*, *29*, *40*, *41*, *42*, *43*, при этом у растений с геном *Lr19* тип реакции на патоген (IT) менялся по годам: в 2008, 2013 и 2014 наблюдался IT = 3–3, а в 2009 и 2011 гг. – 0,0. У растений с геном *Lr37* все годы наблюдался IT = 3 в стадии как проростков, так и взрослых растений, однако степень поражения была в пределах 10%. Линии Л653 и Л654 с комбинацией *Lr*-генов (*Lr19*+37) проявляли IT = 0,0; во всех стадиях развития растения как при естественном заражении, так и при искусственном в условиях теплицы. Тем не менее необходимо уточнить, что ген *Lr37* характеризуется в основном как возрастной (устойчивость к патогену экспрессируется со стадии флага-листа), редко проявляет IT = 1,2^N в стадии проростков, при этом наблюдается температурочувствительность (большая экспрессия при температуре 17 °С) (Bariana, McIntosh., 1993). По данным ряда авторов, ген *Lr37* в стадии проростков устойчив лишь к некоторым редким патотипам *P. triticina* (Ambrozova et al., 2002). Ген *Lr19* – ювенильный, температурочувствительность отсутствует (McIntosh et al., 1995). При инокулировании патотипами *P. triticina*, вирулентными как к *Lr19*, так и к *Lr37* в стадии проростков (3–4 листа) в условиях теплицы, линии Л653 и Л654 проявляли IT = 0, 0. При температуре воздуха от 17 до 22 °С изменение типа реакции на патоген не наблюдалось. В полевых условиях в стадии молочной спелости при температуре выше 25 °С линии Л653 и Л654 были устойчивыми, с IT = 0, 0. Есть основания предполагать, что при комбинировании *Lr19*+37 возникает новое качество устойчивости к патогену, эффективной на всех стадиях развития растений без температурочувствительности. Отметим, что данный эффект наблюдался, когда в качестве донора *Lr37* исполь-

зовалась не только линия Milan/Prinia, но и сорт Trident и почти изогенная линия сорта Thatcher с геном *Lr37* (McIntosh et al., 2013), а донором *Lr19* служил не только сорт Добрыня, но и Л503. Таким образом, влияние искажающих факторов родителей линий Л653 и Л654 (Добрыня и Milan/Prinia) на проявление устойчивости к листовой ржавчине в комбинации *Lr19+37* маловероятно.

Оценка устойчивости почти изогенных линий Л653 и Л654 к расе Ug99 + Lr24 (ТТКСТ) и саратовской популяции возбудителя стеблевой ржавчины

В 2012 г. в фитопитомнике Njого KARI, Кения, эпифитотия стеблевой ржавчины оценивалась как сильная, степень поражения сортов-контролей, содержащих гены *Sr31* и *Sr24*, достигала 80 %. На этом фоне степень устойчивости Л653 и Л654 в 2012 г. оценивалась как 1RMR. Таким образом, обе линии устойчивы к расе стеблевой ржавчины Ug99 + Lr24 (ТТКСТ). Эти линии несут комбинацию *Sr*-генов – *Sr25+38*. Однако известно, что ген *Sr25* эффективен против ТТКСТ, а *Sr38* – нет (Singh et al., 2008). В связи с этим вероятно, что в комбинации *Sr25+38* защитное действие к данной расе стеблевой ржавчины обуславливает лишь ген *Sr25*. При оценке линий Л653 и Л654 на устойчивость к местной саратовской популяции *P. graminis* Pers. в 2008 и 2013 гг. на фоне естественной эпифитотии последние показали тип реакции IT = 3•3 и степень поражения 15–20 %, при этом сорт-контроль Саратовская 68 проявил тип реакции IT = 3 и степень поражения 50 %. Сорт-реципиент Добрыня с геном *Sr25* проявил IT = 3•3 и степень поражения 20 %. Таким образом, комбинация *Sr*-генов – *Sr25+38* в линиях Л653 и Л654 высокоэффективна к расе Ug99 + Lr24 (ТТКСТ), однако к саратовской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы оценивается как умеренно восприимчивая.

Влияние комбинации Lr19+37-транслокаций у почти изогенных линий Л653 и Л654

на элементы продуктивности и урожайность зерна
Период исследований влияния комбинаций транслокаций 7DS•7DL-7Ae#1L + 2AL•2AS-2M^V#1 (*Lr19+37*-транслокации) на агрономические признаки можно разделить на годы с эпифитотиями листовой ржавчины (2013 и 2014 гг.) и годы с засухой средней (2011 г.) и сильной (2012 г.) степени. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, комбинация *Lr19+37*-транслокаций увеличила продолжительность периода «всходы–колошение», различие составило более 7 сут. Отметим, что влияние *Lr19*-транслокации на этот признак неоднозначно. Так, по данным Singh с соавт. (1998), присутствие этой транслокации увеличивает срок выколашивания на 7 дней, а созревания – на 5 дней, в то же время имеется информация, что *Lr19*-транслокация не влияет на эти признаки (Sibikeev et al., 2000; Miralles et al., 2007). По-видимому, в данном случае наблюдается генотип-зависимая реакция. К сожалению, из доступной нам литературы неизвестно о влиянии *Lr37*-транслокации на период «всходы–колошение». Таким образом, можно предполагать, что увеличение срока выколашивания у почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с ком-

бинацией *Lr19+37*-транслокаций является результатом не прямого действия *Lr19*-транслокации в генотипах линий Л653 и Л654, а взаимодействия двух транслокаций, так как после пяти беккроссов генотип сорта Добрыня теоретически восстановлен более чем на 98 %. Из табл. 1 видно, что комбинация *Lr19+37*-транслокаций значительно увеличивает высоту растений, не влияет на устойчивость к полеганию растений и не изменяет массу 1 000 зерен.

Как видно из табл. 2, по продуктивности зерна линии Л653 и Л654 в среднем за период 2011–2014 гг. значительно не отличаются от сорта-реципиента Добрыня и сорта-стандарта для Саратовской области Фаворит.

Анализ урожайности зерна по годам показывает, что Л653 и Л654 не уступили сорту-реципиенту и сорту Фаворит в условиях средней и сильной засухи 2011 и 2012 гг. Таким образом, наличие комбинации *Lr19+37*-транслокаций в генотипе сорта Добрыня не приводит к снижению засухоустойчивости, что имеет важное значение в условиях юго-восточной зоны России. Урожайность зерна линий Л653 и Л654 в годы эпифитотий листовой ржавчины (2013 и 2014 гг.) была неоднозначной. Если в 2013 г. линии значительно не отличались от сортов Добрыня и Фаворит, то в 2014 г. – уступили как сорту-реципиенту, так и сорту-стандарту. Отметим, что эпифитотии листовой ржавчины в 2013 и 2014 гг. оценивались как средние. Условия вегетации 2014 г. отличались от таковых в 2013 г. прохладным и дождливым июнем, на который пришлись стадии трубкования, выколашивания и цветения растений пшеницы, но с начала июля наблюдались резкий подъем температуры воздуха и дефицит осадков, следовательно, налив зерна проходил в жестких условиях. В 2013 г. распределение осадков и температурный режим были более равномерными в течение вегетативного периода. Таким образом, комбинация *Lr19+37*-транслокаций уменьшает адаптивность яровой мягкой пшеницы к резко меняющимся условиям – от избытка влаги и нормальной температуры воздуха к жаре и дефициту влаги.

Влияние комбинации Lr19+37-транслокаций у почти изогенных линий Л653 и Л654 на физические и хлебопекарные свойства муки и хлеба

Одним из наиболее важных агрономических признаков возделываемых растений является качество конечной продукции, у мягкой пшеницы это качество муки и хлеба. Линии Л653, Л654, а также сорт-реципиент Добрыня и сорт Фаворит оценивались по физическим свойствам муки и хлебопекарным показателям с 2011 по 2013 гг. По данным ряда авторов, *Lr19*-транслокация повышает содержание в зерне белка (Сайфуллин, 1990; Singh et al., 1998; Sibikeev et al., 2000) и клейковины (Sibikeev et al., 2000), а *Lr37*-транслокация увеличивает содержание белка в зерне, объем хлеба, не влияет на показатели седиментации и уменьшает отношение упругости теста к растяжимости (P/L) (Labuschagne et al., 2002). Таким образом, исходя из вышеперечисленных факторов влияния *Lr19* и *Lr37* транслокаций на показатели качества в отдельности, есть основания предполагать, что у линий Л653 и Л654 наблюдается взаимодействие двух транслокаций (табл. 3). Как видно из табл. 3, присутствие комбинации *Lr19+37*-транслокаций значительно понизило

Таблица 1. Влияние комбинации *Lr19+37*-транслокаций на элементы продуктивности, среднее за 2011–2014 гг.

Сорт, изолиния	Продолжительность периода «всходы – колошение», сутки	Высота, см	Устойчивость к полеганию, балл	Масса 1000 зерен, г
Добрыня	45 а*	89,1а	4,73b	36,9
Л653	52,75 с	99,2bc	4,9b	35,4
Л654	52,50 bc	100,0с	4,85b	36,4
Фаворит	47,25 а	91,4а	4,4а	33,4
НСР	3,34	6,4	0,17	NS**

*Здесь и далее в табл. 2–3 числа внутри колонок, сопровождаемые разными буквами, значимо различаются при $p > 0,5$; ** NS – значимые различия отсутствуют.

Таблица 2. Продуктивность зерна у сортов и линий Л653 и Л654 за период 2011–2014 гг.

Сорт, изолиния	Урожайность, кг/га				
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	в среднем
Добрыня	2 694	2 053	2 988	4 451 bc	3 046,5
Л653	2 646	2 077	2 941	3 980 а	2 911
Л654	2 864	2 099	3 009	4 132 а	3 026
Фаворит	2 571	2 104	2 997	4 731 с	3 095,8
НСР	NS	NS	NS	281	NS

Таблица 3. Физические свойства муки и хлебопекарные показатели сортов и почти изогенных линий мягкой пшеницы, среднее за 2011–2013 гг.

Сорт, изолиния	Клейковина		P***	P/L***	W***, ед	V***, см ³	Пористость
	%	ИДК-1					
Добрыня	40,17 с	74,7	138,67	2,27	302 b	827	5,0
Л653	35,43 а	73,7	128,33	2,27	288 b	797	4,7
Л654	36,63 ab	70,3	137,00	2,63	303 b	803	4,7
Фаворит	39,33 bc	79,3	102,00	1,63	244 а	790	4,9
НСР	2,97	NS	NS	NS	40,50	NS	NS

*** P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки; V – объем хлебцев.

содержание клейковины, при этом не изменив ее свойств. Кроме того, эти транслокации не влияли на упругость теста (P), отношение упругости теста к растяжимости (P/L), а также силу муки (W). По последнему показателю сорт Добрыня и его почти изогенные линии значимо превосходили сорт Фаворит. Не было обнаружено различий между сортом Добрыня и линиями Л653 и Л654 по хлебопекарным показателям: объему хлебцев (V) и пористости. Однако необходимо отметить, что по этим показателям у Л653 и Л654 было некоторое снижение по сравнению с сортом-реципиентом. Таким образом, показатели качества муки и хлеба при взаимодействии *Lr19 + Lr37*-транслокаций в генотипе сорта Добрыня отличались от таковых при простом аддитивном эффекте каждой транслокации в отдельности.

В целом исследования комбинации транслокаций *7DS•7DL-7Ac#1L + 2AL•2AS-2M^V#1* в генотипе сорта яровой мягкой пшеницы Добрыня показали, что комбинация *Lr19/Sr25 + Lr37/Sr38/Yr17* блоков генов определяет высокую устойчивость к листовой ржавчине и расе

Ug99 + Lr24 (ТТКСТ) стеблевой ржавчины и нейтральна по отношению к комплексу показателей продуктивности зерна и качества муки и хлеба. С учетом установленных эффектов данная комбинация транслокаций может использоваться в практической селекции мягкой пшеницы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Абдраев М.Р. Селекционная ценность интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы в Поволжье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2006.
- Гулятьева Е.И., Иванова О.В., Маркелова Т.С., Сибикеев С.Н. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у интрогрессивных сортов и линий мягкой пшеницы, созданных в НИИСХ Юго-Востока. Вестник защиты растений. 2012;(1):38-44.
- Коваленко Е.Д., Макаров А.А., Жемчужина М.И., Коломиец Т.М., Соломатин Д.А., Киселева М.И. Современная стратегия иммуногенетической защиты зерновых культур от болезней. Современные системы защиты растений от болезней и перспективы

- использования достижений биотехнологии и генной инженерии. Голицыно, 2003;52-54.
- Сайфуллин Р.Г. Генетический контроль содержания белка в зерне яровой мягкой пшеницы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Одесса, 1990.
- Сибикеев С.Н., Воронина С.А., Крупнов В.А., Дружин А.Е. Влияние *Lr19+Lr26*-транслокаций на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы. Сб. науч. тр. ГНУ НИИСХ Юго-Востока РАСХН. Саратов, 2009;122-125.
- Ambrozova M., Dedryver F., Dumalaso V., Hanzalova A., Bartos P. Determination of the cluster of wheat rust resistance genes *Yr17*, *Lr37* and *Sr38* by molecular marker. *Plant Protection Sci.* 2002;38:41-45.
- Bariana H.S., McIntosh R.A. Cytogenetic studies in wheat. XV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes chromosome 2A. *Genome.* 1993;36:476-482.
- Bayles R.A., Flath K., Hovmoller M.S., Vallavielle-Porta C. Breakdown of the *Yr17* resistance to yellow rust of wheat in northern Europe. *Agronomie.* 2000;20:805-811.
- Dyck P.L., Friebe B. Evaluation of leaf rust resistance from wheat chromosomal translocation lines. *Crop Sci.* 1993;33:687-690.
- Efremova T., Trubacheeva N., Chumanova E., Badaeva E., Rosseeva L., Arbuzova V., Pershina L. Development and characterization of wheat-rye lines combining T1RS·1BL translocation and 5R(5D) chromosome substitution or T1RS·1BL and T5AS·5RL translocations. *Cereal Res. Commun.* 2014. DOI 10.1556/CRC.2014.0013
- Friebe B., Raupp W.J., Gill B.S. Wheat – alien translocation lines. *Annu. Wheat Newsltt. Kansas State University, USA.* 2000;46:191.
- Labuschagne M.T., Pretorius Z.A., Grobbelaar B. The influence of leaf rust resistance genes *Lr29*, *Lr34*, *Lr35* and *Lr37* on bread making quality in wheat. *Euphytica.* 2002;124:65-70.
- McIntosh R.A. Preemptive breeding to control wheat rusts. *Euphytica.* 1992;63:103-113.
- McIntosh R.A., Brown G.N. Anticipatory breeding for resistance to rust diseases in wheat. *Annu. Rev. Phytopatol.* 1997;35:311-326.
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat Rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO, Australia, 1995.
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Proc. of the 12th Intern. Wheat Genet. Symp., 8–13 September 2013. Yokohama, Japan.
- Miralles D.J., Resnicoff E., Carretero R. Yield improvement associated with *Lr19* translocation in wheat. Scale and complexity in plant systems research: Gene-Plant-Crop Relations. Eds J.H.J. Spiertz, P.C. Struik, H.H. van Laar. 2007;171-178.
- Prins R., Marais G.F., Janse B.J.H., Pretorius Z.A., Marais A.S. A physical map of the *Thinopyrum* – derived *Lr19* translocation. *Genome.* 1996;39:1013-1019.
- Rajaram S., Mann C.E., Ortis Ferrara G., Mujeeb-Kazi A. Adaptation, stability and high yield potential of certain 1B/1R CIMMYT wheats. Proc. of Intern. Wheat Genet. Symp., Kyoto, Japan. 1983:613-621.
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat. Concepts and Methods of Disease Management. Mexico.1992. DF: CIMMYT.
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E. The agronomic performance of *Lr19+Lr37* translocations in the set of NILs in the genetic background of the spring bread wheat cultivar Dobrynya. *Annu. Wheat Newsltt. Kansas State University (USA).* 2013;58:208.
- Sibikeev S.N., Voronina S.A., Krupnov V.A. Effects from 7DL-7Ae#1 translocation on resistance to environmental factors and grain quality of bread wheat. Proc. of the 11th EWAC Intern. Conf. Novosibirsk, Russia. 2000;188-189.
- Sibikeev S.N., Krupnov V.A., Voronina S.A., Elesin V.A. First report of leaf rust pathotypes virulent to highly effective *Lr*-genes transferred from *Agropyron* species to bread wheat. *Plant Breeding.* 1996;115:276-278.
- Singh R.P., Huerta-Espino J., Rajaram S., Crosa J. Agronomic effects from chromosome translocations 7DL – 7AG and 1BL – 1RS in spring wheat. *Crop Sci.* 1998;38:27-33.
- Singh R.P., Huerta-Espino J.H., Jin Y., Herrera-Foessel S., Njau P., Wanyera R., Ward R.W. Current resistance sources and breeding strategies to mitigate Ug99 threat. Proc. of the 11th Intern. Wheat Genet. Symp., Brisbane, QLD, Australia. 2008.
- Sumikova T., Hanzalova A. Multiplex PCR assay to detect rust resistance genes *Lr26* and *Lr37* in wheat. *Czech. J. Genet. Plant Breeding.* 2010;46:85-89.
- Villareal R.L., del Toro E., Mujeeb-Kazia., Rajaram S. The 1BL/1RS chromosome translocation effect on yield characteristics in a *Triticum aestivum* L. cross. *Plant Breeding.* 1995;114:497-500.