

Влияние 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1 комбинации транслокаций на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы

Александр Евгеньевич Дружин¹, Сергей Николаевич Сибикеев¹, Ольга Александровна Баранова²

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», г. Саратов, Россия

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», г. Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Аннотация. Гены Lr19/Sr25 в 7DS-7DL-7Ae#1L-транслокации (от *Thinopyrum ponticum* Podp) и Lr37/Sr38/Yr17/Cre5/Rkn3 в 2AL-2AS-2M^V#1-транслокации (от *Aegilops ventricosa* Tausch) привлекают внимание селекционеров мягкой пшеницы устойчивостью к возбудителям листовой и стеблевой ржавчины, а также положительным влиянием на агрономически важные признаки. Комбинация этих транслокаций изучалась на линии яровой мягкой пшеницы L42 = Добрыня/Trident*3//Добрыня в течение 2017–2022 гг. У линии L42 с помощью ДНК-маркеров Gb для Lr19/Sr25 и VENTRIUP-LN2 для Lr37/Sr38 установлено наличие комбинации Sr25 и Sr38-генов, то есть 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1 транслокаций. Эта комбинация транслокаций определяет устойчивость к саратовской популяции возбудителей листовой и стеблевой ржавчины, а также имеет дифференцированную реакцию на патотипы этих патогенов из других регионов России. Выявлено, что у линии L42 период всходы – колошения в среднем за годы изучения был значительно короче, чем у сорта-стандарта Фаворит, на уровне сорта Добрыня. По высоте растений и устойчивости к полеганию линия L42 не отличалась от сортов Фаворит и Добрыня. По показателю массы 1000 зерен линия L42 значительно превосходила сорт Фаворит, но уступала сорту Добрыня. По продуктивности зерна в среднем за 2017–2022 гг. линия L42 уступала сорту Фаворит и Добрыня, но значительно только последнему. Изучение линии L42 по показателям качества муки и хлеба показало, что она значительно уступает по содержанию клейковины сорту Добрыня, но не значительно превосходила сорт Фаворит. По показателям SDS, крепость клейковины по единицам прибора ИДК-3, упругости теста (P) линия L42 значительно отличалась только от сорта Фаворит. Не было выявлено различий между сортами и линией по отношению упругости теста к растяжимости (P/L). По силе муки (W) и объему хлеба линия L42 значительно превосходила сорт-стандарт Фаворит, но значительно уступала сорту-реципиенту Добрыня. Не выявлено значимых различий между линией L42 и сортами Фаворит и Добрыня по оценке пористости хлеба.

Ключевые слова: мягкая пшеница; почти изогенная линия; 7DS-7DL-7Ae#1L + 2AL-2AS-2M^V#1 комбинация транслокаций; продуктивность зерна; качество муки и хлеба.

Для цитирования: Дружин А. Е., Сибикеев С. Н., Баранова О. А. Влияние 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1 комбинации транслокаций на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 34–38. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp34-38>.

AGRONOMY

Original article

Effect of 7DS-7DL-7Ae#1L AND 2AL-2AS-2M^V#1 combinations of translocations on productivity and grain quality of spring bread wheat

Alexander E. Druzhin¹, Sergey N. Sibikeev¹, Olga A. Baranova²

¹Federal Agrarian Scientific Center of the South-East., Saratov, Russia

²All-Russian Institute of Plant Protection, Pushkin, St. Petersburg, Russia

e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Abstract. The Lr19/Sr25 genes in 7DS-7DL-7Ae#1L translocation (from *Thinopyrum ponticum* Podp) and Lr37/Sr38/Yr17/Cre5/Rkn3 (from *Aegilops ventricosa* Tausch) attract the attention of bread wheat breeders by their resistance to leaf and stem rust pathogens, as well as a positive effect on agronomical important traits. However, the combination of these translocations is poorly understood. In the presented study, agronomic performance these translocations were studied on a spring bread wheat line L42= Dobrynya/Trident*3//Dobrynya during 2017–2021. The presence of a combination of Lr19/Sr25 and Lr37/Sr38 genes in 7DS-7DL-7Ae#1L and 2AL-2AS-2M^V#1 translocations was found in the L42 line with the help of DNA markers – Gb and VENTRIUP-LN2. This combination of translocations determines the resistance to the saratov population of leaf and stem rust pathogens, and also has a differentiated reaction to the pathotypes of these pathogens from other regions of Russia. It was revealed that in the L42 line, the germination - heading period, on average over the years of study, was significantly shorter than that of the standard cultivar Favorit, but did not significantly differ in this trait from the cultivar-recipient Dobrynya. The L42 line did not significantly differ from the Favorit and Dobrynya cultivars in terms of plant height and lodging resistance. By weight of 1000 grains, the L42 line significantly exceeded the Favorit cultivar, but was inferior to the Dobrynya cultivar. In terms of grain productivity on average for 2017–2022, the L42 line was inferior to the Favorit and Dobrynya cultivars, but significantly only to the latter. The study of the L42 line in terms of the quality of flour and bread showed that it was significantly inferior in terms of the gluten content than Dobrynya cultivar, but not significantly superior to the Favorite cultivar. According to SDS indicators, the gluten strength according to the units of the IDK-3 device, the elasticity of the dough (P), the L42 line significantly differed only from the Favorit cultivar, and did not differ from the Dobrynya cultivar. There were no differences between the cultivar and L42 for the ratio of the elasticity of the dough to the extensibility (P/L). In terms of the strength of flour (W) and the volume of bread, the L42 line was significantly superior to the standard Favorite cultivar, but significantly inferior to the cultivar-recipient Dobrynya. There were no significant differences between the L42 line and the Favorite and Dobrynya cultivar, according to the porosity of bread.

Keywords: bread wheat; line L42 with 7DS-7DL-7Ae#1L + 2AL-2AS-2M^V#1 combination of translocations; resistance to leaf and stem rusts; grain productivity; bread making quality.

For citation: Druzhin A. E., Sibikeev S. N., Baranova O. A. Effect of 7DS-7DL-7Ae#1L AND 2AL-2AS-2M^V#1 combinations of translocations on productivity and grain quality of spring bread wheat. Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(10):34–38. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp34-38>.





Введение. Виды рода *Aegilops* внесли значительный вклад в селекцию мягкой пшеницы. Из них в геномы *Triticum aestivum* L. был перенесен ряд генов устойчивости к болезням, а также гены, улучшающие урожайность и устойчивость к засухе и жаре. Диплоидные виды *Aegilops tauschii* Coss (D-геном) и *Aegilops speltoides* Tauch (S-геном) чаще всего привлекаются в селекционную программу по улучшению пшеницы. Другие виды рода *Aegilops* вторичного и третичного генпулов меньше используются в селекции из-за более низкой частоты мейотической рекомбинации. Как правило, они могут быть использованы только после длительных и трудоемких работ в виде линий, несущих транслокации. Одним из наиболее привлекательных переносов считается 2AL-2AS-2M^V#1 – транслокация, полученная от *Aegilops ventricosum* Tausch ($2n = 4x = 28$) с N^VN^VDD геномами. Фрагмент 2M^V#1 хромосомы впервые был перенесен во Франции гомеологичной рекомбинацией в сорт пшеницы VPM1, а затем использовался в других коммерческих сортах [13]. Характерная особенность данной транслокации заключается в том, что она несет комплекс генов устойчивости к болезням: *Lr37* (устойчивость к листовому ржавчине), *Sr38* (устойчивость к стеблевой ржавчине), *Yr17* (устойчивость к желтой ржавчине), *Cre5* (устойчивость к кистовидной нематоде), *Rkn3* (устойчивость к нематоде корневого узла) [14]. Кроме того, 2AL-2AS-2M^V#1-транслокация обеспечивает устойчивость против пирикулярриоза пшеницы, вызываемого грибом *Pyricularia oryzae* (*Magnaporthe oryzae*) [12]. Следует отметить, что эта транслокация присутствует почти в 90 % перспективных линий мягкой пшеницы CIMMYT. Это указывает на то, что она оказывает большое влияние на продуктивность пшеницы.

Кроме видов рода *Aegilops* в селекционной работе широко используются виды пырея, в частности *Thinopyrum ponticum* (syn. *Lophopyrum ponticum*, *Elytrigia pontica*, *Agropyron elongatum*) с геномом JJJJ^SJ^S или E^SE^bE^SStSt, ($2n = 70$), который обладает рядом хозяйственно полезных признаков. Одним из известных примеров успешного использования хроматина от этого вида пырея считается транслокация 7DS-7DL-7Ae#1L, которая была получена от линии Agrus с замещением 7Ag (7D). Путем γ -облучения и *phl*c-индуцированной рекомбинации был создан ряд линий с разным размером хроматина пырея в хромосоме 7D. Среди них линия T4 (Agatha) с транслокацией 7DS-7DL-7Ae#1L. Гены в этой транслокации расположены в следующем порядке (от центромеры к теломерному концу) – *Sdl-Xpsr165-Xpsr105- α Amy-D2-Xpsr129-Lr19-Wsp-D1-Sr25-Y-Ep-D1* [19]. Она широко используется в селекции пшеницы в Мексике, Украине, Индии, но наиболее широко она была использована в России, особенно в европейской части. Исследования этой транслокации показали, что она в одних случаях нейтрально влияет на показатели продуктивности и качества [6], в других – повышает продуктивность и содержание белка в зерне [3]. Учитывая, что эти транслокации по отдельности довольно успешно используются в селекции пшеницы в лаборатории генетики и цитологии ФБГНУ «ФАНЦ Юго-Востока», то были созданы линии с комбинацией этих транслокаций.

Целью нашего исследования было изучение влияния комбинации транслокаций 7DS-7DL-7Ae#1L (от *Th. ponticum*) и 2AL-2AS-2M^V#1 (от *Ae. ventricosa*) на хозяйственно полезные признаки (пребридинговые исследования).

Методика исследований. В качестве объектов исследования были взяты сорта яровой мягкой пшеницы Добрыня (как сорт-реципиент) и Фаворит (как сорт-стандарт при Государственном сортоиспытании для Нижневолжского региона); линия яровой мягкой пшеницы Л42 = Добрыня/Trident*3//Добрыня, с комбинацией транслокаций 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1, несущая гены устойчивости к ржавчинам *Lr19/Sr25 + Lr37/Sr38/Yr17*, где донором 7DS-7DL-7Ae#1L-транслокации (*Lr19*-транслокация) и сортом-реципиентом яровой мягкой пшеницы был сорт Добрыня, а донором 2AL-2AS-2M^V#1-транслокации (*Lr37*-транслокация) являлся сорт яровой мягкой пшеницы Trident.

Для подтверждения наличия комбинации генов *Lr19/Sr25 + Lr37/Sr38* у линии Л42 была проведена идентификация *Lr/Sr*-генов с использованием молекулярных маркеров *Lr19/Sr25* (Gb), *Lr37/Sr38* (VENTRIUP-LN2) [19, 15]. Амплификацию проводили на амплификаторах C1000 Thermal Cycler (BioRad), разделение продуктов амплификации проводили в 2%-х агарозных гелях, окрашенных бромистым этидием. В качестве положительного контроля использовали линии LC-Sr25-ARS, содержащие ген *Lr19/Sr25*, и RL 6081 (*Lr37/Sr38*). Негативным контролем служил восприимчивый сорт Саратовская 29, контролем на контаминацию – ПЦР смесь без добавления ДНК. В качестве маркера молекулярного веса использовали GeneRulerTM 50bp DNA Ladder (Fementas). Визуализацию продуктов амплификации проводили с помощью геледокументирующей системы ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad). ПЦР ставили в 2 повторностях.

Оценку на устойчивость линии Л42, сорта-реципиента Добрыня, сорта-стандарта Фаворит к возбудителю листовой ржавчины проводили в условиях средних эпифитотий патогена в 2017 и 2022 гг. в ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов). К возбудителю стеблевой ржавчины исследуемые образцы оценивались в поле в условиях сильной эпифитотии 2020 г. и средней эпифитотии 2021 г. – фаза молочно-восковой спелости. Кроме того, устойчивость к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & Henn оценивали в лабораторных условиях – в фазу проростков (первого листа) в ВИЗР по стандартной методике. Десятидневные проростки с полностью развернутым первым листом инокулировали суспензией урединиоспор популяции патогена 2018 г., собранных в Омской области, а также в Лысогорском районе Саратовской области с сорта Фаворит, который несет замещение 6Ag1 (6D), а также двумя изолятами гриба – PgtZ1 (TKSTF) с генами вирулентности: 5, 21, 9e, 7b, 6, 8a, 9g, 36, 9b, 30, 9a, 9d, 10, Tmp, 38, McN и PgtF18.6 (TKSTF + *Sr33*) с генами вирулентности: 12, 15, 20, 25, 27, 28, 29, 32, 33, 39, 7a + 12, 7b + 18, 17 + 13. Инфекционная нагрузка составляла 1 мг спор в 1 мл. Результаты учитывали по шкале Stakman et al. [24]. Растения с типом реакции (IT) – 0, 0; 1, 2 считались устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми. При полевых оценках на устойчивость к листовой и стеблевой ржавчине использовали шкалу Roelfs et al. (1992), где R – устойчивость, MR – умеренная устойчивость, MS – умеренная восприимчивость и S – восприимчивость [21]. Степень поражения ржавчиной (%) оценивали по шкале Peterson et al. (1948) [17].

Пребридинговые исследования включали в себя оценку показателей продуктивности зерна и ее элементов, физические свойства теста и хлебопекарные показатели (ИДК-3, SDS, P – упругость теста, P/L – коэффициент отношения упругости теста к его растяжимости, W – сила муки, объем хлеба, пористость, цвет мякиша). В период исследований наиболее благоприятными по температурным и водным режимам были вегетационные сезоны 2017 и 2022 гг., из них наиболее оптимальным был 2017 г. Жесткой жарой и засухой выделялся 2019 г. Посев проводили в оптимальные сроки, рендомизированно, в 3-кратной повторности сеялками ССФК-7 в семирядковые делянки. Площадь делянок – 7 м². Норма высева – 400 семян/м². Полученные данные подвергали дисперсионному анализу, используя пакет селекционно-генетических программ Agros-2.10.

Результаты исследований. Идентификация генов устойчивости.

Для идентификации генов *Lr19/Sr25* и *Lr37/Sr38* и соответственно 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1- транслокаций у почти изогенной линии Л42 была проведена ПЦР с маркерами Gb и VENTRIUP и LN2 соответственно. Были выявлены характерные продукты амплификации: для маркера Gb – диагностический фрагмент с молекулярным весом 130 п.о.; для маркера VENTRIUP и LN2 – диагностический фрагмент с молекулярным весом 259 п.о. Таким образом, подтверждено наличие у линии Л42 генов *Lr19/Sr25* и *Lr37/Sr38* и соответственно 7DS-7DL-7Ae#1L и 2AL-2AS-2M^V#1 (*Lr19 + Lr37*)-транслокаций.

Фитопатологический анализ устойчивости к возбудителям листовой и стеблевой ржавчины. Исследования саратовской популяции возбудителя листовой ржавчины *Puccinia triticina* Eriks. в течение 2017–2019 гг. показали, что она является динамичной и высоковирулентной. Количество генов вирулентности в некоторые годы достигало 41–50, при этом постоянно высокоэффективными генами устойчивости были *Lr9*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr43+Lr24*, *Lr53* [9].

Анализ реакции сортов Добрыня, Фаворит и линии Л42 на саратовскую популяцию *Puccinia triticina* Eriks. в условиях средней эпифитотии патогена 2017 г. показал, что линия Л42 и сорт Фаворит устойчивы к этой популяции – тип R, степень поражения – 0 %, а сорт-реципиент Добрыня – MS, степень поражения 5 %. При этом восприимчивый сорт Саратовская 29 – S/60. Отличие оценки на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины в 2022 г. было в незначительном присутствии в популяции *P. triticina* патотипа *pp19*, вирулентного к *Lr19*. Таким образом, наблюдалась устойчивость к патогену у сортов Фаворит, Добрыня и линии Л42 (степень поражения – 0 %), при этом восприимчивый сорт Саратовская 29 поражался на 40 %. Ранее при искусственном заражении линии Л42 клонами и популяциями *P. triticina* из разных мест России была установлена дифференцированная реакция на патоген, а именно в фазу проростков у линии Л42 на патотип с геном вирулентности *pp9* тип реакции (IT) – 0 (иммунный), на патотип с *pp19* – IT = 3 (восприимчивый), на патотип с *pp26* – IT = 2 (среднеустойчивый). Также наблюдался различный тип реакции на популяции 2018 г. *P. triticina* разного происхождения: на саратовскую популяцию – IT = 0, краснодарскую популяцию – IT = 3, челябинскую популяцию – IT = 0 и дагестанскую – IT = 1–2 [1].

Необходимо отметить, что изучаемые гены *Lr19* с ювенильной устойчивостью и ген *Lr37* с возрастной устойчивостью преодолены патогеном [5, 22]. Учитывая разный период включения защитных механизмов у этих генов и разный патотипный состав популяций гриба, может происходить дифференцированное заражение растений на ранних стадиях их развития.

Полевые оценки (стадия молочно-восковой спелости) линии Л42 на устойчивость к *P. graminis* f. sp. *tritici* показали, что за весь период изучения эта линия была практически устойчива к саратовской популяции этого патогена. Тип реакции – R. В то же время при оценке в фазе проростков (первого листа) эта линия оказалась средневосприимчива к лысогогорской популяции, восприимчива к изолятам PgtZ1 и PgtF18.6, но устойчива к омской популяции (табл. 1).

Таблица 1

Реакция сортов и линий яровой мягкой пшеницы на возбудителя стеблевой ржавчины

Сорт, линия	естественный инфекционный фон (поле, Саратов)		Тип реакции, балл			
			искусственный инфекционный фон			
	2020	2021	1*	2*	PgtZ1	PgtF18.6
Фаворит	MS	MS	3	3*	3+X14	3
Добрыня	MS	MS	3-X2/3+	0;2	3–4	4
Л42	R	R	2	1–2	4	3

* 1 – лысогогорская популяция *P. graminis*; 2 – омская популяция.

Устойчивость к этому заболеванию у Л42 обеспечивается комбинацией генов *Sr25+Sr38*. Следует отметить, что ген *Sr38* не эффективен против популяций *P. graminis* в странах Азии, Северной Африки и на большей части России. Также он не эффективен и против агрессивной расы Ug99 [18]. Установлено, что ген *Sr38* является температурочувствительным, наиболее эффективен при низких температурах [15]. Ген *Sr25* малоэффективен против популяций патогена в большинстве регионов России, но эффективен против расы Ug99 [18]. Есть основания предполагать следующее: защитное действие генов *Sr25+Sr38* у Л42 на стадии взрослых растений определяется их аддитивным действием, а также экспрессией этих генов на стадии молочно-восковой спелости; у проростков тип реакции на патогена выше из-за отсутствия экспрессии гена *Sr38* на стадии первого листа. В целом линия Л42 показала устойчивость к возбудителям листовой и стеблевой ржавчины, особенно к саратовским популяциям этих грибов.

Оценка показателей продуктивности зерна, физических свойств теста и качества хлеба. Исследования линии Л42 показали, что у нее период всходы – колошение значимо короче по сравнению с сортом-стандартом Фаворит в среднем на 3 суток, но на уровне сорта Добрыня. По устойчивости к полеганию и высоте растений линия Л42 была на уровне сортов Фаворит и Добрыня (табл. 2).

Таблица 2

Хозяйственно ценные показатели сортообразцов яровой мягкой пшеницы (в среднем за 2017–2022 гг.)

Сорт, линия	Всходы – колошение, дней	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, балл	Масса 1000 зерен	Урожайность, кг/га
Фаворит	46,3	85,7	4,18	32,9	2127
Добрыня	44,2	86,7	4,66	35,5	2350
Л42	43,3	84,0	4,49	34,4	2033
НСР	2,0	NS	NS	0,8	288

Установлено, что по массе 1000 зерен линия Л42 в среднем за 2017–2022 гг. превышала сорт Фаворит (см. табл. 2), однако значимо уступала сорту Добрыня. По литературным данным, транслокация 2AL-2AS-2M^V#1 уменьшает массу 1000 зерен [16], что согласуется с нашими результатами. Можно утверждать, что наличие у линии Л42 7DS-7DL-7Ae#1L-транслокации не смогло компенсировать негативное влияние 2AL-2AS-2M^V#1-транслокации. По продуктивности зерна Л42 в среднем за 2017–2022 гг. уступила сорту Добрыня, а с сортом Фаворит разница оказалась статистически не значимой.

Оценка качества муки и хлеба является важным этапом в селекционной работе с мягкой пшеницей. Особенно это важно при создании сортов, несущих интрогрессивный генетический материал. Как известно, чужеродная гене-





тическая изменчивость помимо положительных качеств может нести и отрицательные. Примером может служить транслокация 1BL-1R#1S от *S. cereale*, которая негативно влияет на хлебопекарные качества [8, 10, 11].

Исследования, проведенные с целью выявить влияние транслокации 7DS-7DL-7Ae#1L от *Ag. elongatum* на признаки качества, показали, что она не оказывает негативного влияния на показатели муки и хлеба [2, 7, 23], даже положительно влияет на содержание белка в зерне [3]. Исследования по влиянию 2AL-2AS-2M^V#1-транслокации на показатели качества выявили, что в большинстве случаев она не влияет на содержание белка в зерне и муке, выход муки, объем хлеба и индекс хлебопекарной прочности [16].

Оценка физических свойств муки и хлебопекарных показателей линии Л42 в сравнении с сортами Фаворит и Добрыня, проведенная в ФАНЦ Юго-Востока, показала, что по содержанию клейковины в среднем за период исследований она значимо уступила сорту Добрыня, но статистически не значимо превосходила сорт Фаворит. По показателям SDS, крепости клейковины по показаниям прибора ИДК-3, упругости теста (Р) линия Л42 значимо отличалась только от сорта Фаворит и была на уровне сорта Добрыня. Не было выявлено значимых различий между сортами и линией по такому показателю, как отношение упругости теста к растяжимости (P/L). Сила муки (W) и объем хлеба у линии Л42 были значимо выше, чем у сорта-стандарта Фаворит, но значимо уступали сорту-реципиенту Добрыня. Не выявлено значимых различий между линией Л42 и сортами Фаворит и Добрыня по оценке пористости хлеба (табл. 3).

Таблица 3

Показатели качества муки и хлеба у сортообразцов яровой мягкой пшеницы (в среднем за 2017–2021 гг.)

Сорт, линия	Упругость теста (Р), мм	P/L	Сила муки, е.а. (W)	Объем хлеба, см ³ (V)	Клейковина, %	ИДК-3, ед.п	SDS, мл	Пористость, балл
Фаворит	75,9	1,20	192	780,0	36,33	81,68	68,0	4,8
Добрыня	100,1	1,64	277	883,3	39,00	76,15	79,5	4,9
Л42	104,1	2,15	229	826,7	37,73	73,28	79,0	4,8
НСР	13,71	NS	35,2	40,3	1,82	4,62	5,61	NS

Заключение. С помощью ДНК-маркеров установлено, что линия Л42 несет *Lr19/Sr25* и *Lr37/Sr38*-гены в 7DS-7DL-7Ae#1L + 2AL-2AS-2M^V#1 комбинации транслокаций. Благодаря этой комбинации транслокаций линия устойчива к саратовским популяциям возбудителей листовой и стеблевой ржавчины, а также проявляет дифференцируемую реакцию на патотипы этих патогенов из других регионов России. Выявлено, что у линии Л42 период всходы – колошение в среднем за годы изучения значимо короче, чем у сорта-стандарта Фаворит, но на уровне сорта Добрыня.

Линия Л42 по высоте растений и устойчивости к полеганию значимо не отличалась от сортов Фаворит и Добрыня. По массе 1000 зерен она значимо превосходила сорт Фаворит, но уступала сорту Добрыня. По продуктивности зерна в среднем за 2017–2022 гг. линия Л42 уступала сорту Фаворит и Добрыня, но значимо только последнему.

Изучение линии Л42 по показателям качества муки и хлеба выявило, что она значимо уступала по содержанию клейковины сорту Добрыня, но не значимо превосходила сорт Фаворит. По показателям SDS, крепости клейковины по единицам прибора ИДК-3, упругости теста (Р) линия Л42 значимо отличалась только от сорта Фаворит. Не было выявлено различий между сортами и линией по отношению упругости теста к растяжимости (P/L). По силе муки (W) и объему хлеба линия Л42 значимо превосходила сорт-стандарт Фаворит, но уступала сорту-реципиенту Добрыня. Не выявлено значимых различий между линией Л42 и сортами Фаворит и Добрыня по оценке пористости хлебцев.

В целом, учитывая полученные результаты, следует отметить, что комбинация 7DS-7DL-7Ae#1L + 2AL-2AS-2M^V#1-транслокаций в генотипе-реципиенте сорта Добрыня приводила к ухудшению ряда хозяйственно важных показателей, либо влияние транслокаций было нейтральным. Однако в сравнении с сортом-стандартом Фаворит по большинству агрономически важных признаков линия Л42 значимо не отличалась.

Следует отметить, что экспрессия генов, локализованных в транслокациях, а также их комбинаций во многом определяется сортом-реципиентом. Поэтому для полных объективных выводов о влиянии изучаемой комбинации транслокаций на хозяйственно важные показатели следует изучить их действие в нескольких генотипах-реципиентах мягкой пшеницы. Это необходимо для поиска пути снижения негативного влияния чужеродного хроматина на будущие сорта.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00172, <https://rscf.ru/project/22-26-00172>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расширение генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Erik.) в Нижнем Поволжье / Е. И. Гуляева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 1. С. 27–44.
2. Особенности хозяйственно ценных признаков линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL / И. А. Белан [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2010. № 14(4). С. 632–640.
3. Создание сортов яровой мягкой пшеницы с устойчивостью к комплексу патогенов методом интрогрессивной селекции / А. Е. Дружин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 22–24.
4. Захаренко В. А. Методика по оценке устойчивости сортов полевых культур к болезням на инфекционных и провокационных фонах. М.: Россельхозакадемия, 2000. 88 с.
5. Конькова Э. А. Характеристика вирулентности возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в условиях Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 23–27.
6. Леонова И. Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(3). С. 321–328.
7. Сибикеев С. Н. Чужеродные гены в селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листовой ржавчине: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 2002. 42 с.
8. Сибикеев С. Н., Дружин А. Е., Андреева Л. В. Анализ влияния комбинации 7DS-7DL-7Ae#1L + 1BL-1RS транслокаций на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Успехи современного естествознания. 2018. № 6. С. 49–53.
9. Сибикеев С. Н., Конькова Э. А., Салмова М. Ф. Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 40–44.
10. Особенности сортов яровой мягкой пшеницы Западной Сибири, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL / Н. В. Трубацеева [и др.] // Генетика. 2011. Т. 47. С. 18–24.
11. Chromosome composition of wheat-rye lines and the influence of rye chromosomes on disease resistance and agronomic traits / E. V. Chumanova et al. // Rus. J. Genet. 2014, Vol. 50(11). P.1169–1178. DOI 10.7868/S0016675814110034.



12. Cruz C. D., Valent B. Wheat blast disease: danger on the move // *Trop Plant Pathol.* 2017. No. 42. P. 210–222.
13. Doussinault G., Dosba F., Jahier J. Use of a hybrid between *Triticum aestivum* L. and *Aegilops ventricosa* Tausch in wheat breeding. In 'Proceedings of the Seventh International Wheat Genetics Symposium'. (Eds TE Miller and RMD Koebner.). 1988. P. 253–258. (Institute of Plant Science Research: Cambridge, UK).
14. The *Aegilops ventricosa* 2NvS segment in bread wheat: cytology, genomics and breeding / L. Gao et al. // *Theor Appl Genet.* 2021. No. 134. P. 529–542.
15. PCR assays for the Lr37-Yr17-Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines / M. Helguera et al. // *Crop Sci.* 2003. Vol. 43. P. 1839–1847.
16. Field evaluation of leaf rust severity, yield loss and quality characteristics in near-isogenic wheat lines with Lr29, Lr35 or Lr37 / F. J. Klopppers et al. // *South African Journal of Plant and Soil.* 1995. Vol. 12. Is. 2. P. 55–58.
17. Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // *Canad J Res.* 1948. No. 26(5). P. 496–500. DOI:10.1139/cjr48c-033.
18. Detection of virulence to wheat stem rust resistance genes Sr31 in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda / Z. A. Pretorius et al. // *Plant Disease.* 2000. Vol. 84. P. 203.
19. A physical map of the *Thinopyrum*-derived Lr19 translocation / R. Prins et al. // *Genome.* 1996. No. 39. P.1013–1019.
20. AFLP and STS tagging of *Lr19*, a gene conferring resistance to leaf rust in wheat / R. Prins et al. // *Theor Appl Genet.* 2000. No. 103(4). P. 618–624. DOI:10.1007/PL00002918.
21. Roelfs A. P., Singh R. P. Rust diseases of wheat concepts and methods of management. Mexico: CIMMIT, 1992.
22. First report of leaf rust pathotypes virulent to highly effective Lr- genes transferred from *Agropyron* species to bread wheat / S. N. Sibikeev et al. // *Plant Breeding.* 1996. Vol. 115. P. 276–278.
23. Šliková S., Gregová E., Bartoš P., Kraic J. Marker-assisted selection for leaf rust resistance in wheat by transfer of gene Lr19 // *Plant Protect. Sci.* 2003. Vol. 39. P.13–17.
24. Stakman E. C., Stewart D. M., Loegering W. Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service. 1962. E-617 (rev).

REFERENCES

1. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in lower Volga region / E. I. Gulyaev et al. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2020;55(1):27–44 (In Russ.)
2. Some agronomic important features of spring wheat cultivar Omskaya 37 lines containing wheat-rye translocation 1RS.1BL / I. A. Belan et al. *Vavilov journal of genetics and breeding.* 2010;14(4):632–640. (In Russ.)
3. Creation of spring common wheat and resistant to a complex pathogen by introgressive selection / A. E. Druzhin et al. *Achievements of science and technology of agriculture.* 2011;(1): 22–24. (In Russ.)
4. Zakharenko V. A. Methodology for assessing the resistance of varieties of field crops to diseases on infectious and provocative backgrounds. Moscow: Russian Agricultural Academy; 2000. 88 p. (In Russ.)
5. Konkova E. A. Characteristics of the virulence of the wheat stem rust pathogen in the conditions of the Saratov region. *The Agrarian scientific journal.* 2021;(8):23–27. (In Russ.)
6. Leonova I. N. Influence of alien genetic material on the manifestation of agronomically important traits of common wheat (*T. aestivum* L.). *Vavilov journal of genetics and breeding.* 2018;22(3):321–328. (In Russ.)
7. Sibikeev S. N. Foreign genes in the breeding of spring soft wheat for resistance to leaf rust: abstract. diss. ... doctor of medical Sciences. Saratov; 2002. 42 p. (In Russ.)
8. Sibikeev S. N., Druzhin A. E., Andreeva L. V. The study of the effects of reducing the negative influence of 1bl-1rs translocation on the bread making quality in spring bread wheat lines. *The Agrarian scientific journal.* 2021;(6):27–33. (In Russ.)
9. Sibikeev S. N., Konkova E. A., Salmova M.F. Characteristic of the bread wheat leaf rust pathogen virulence in the Saratov region conditions. *The Agrarian scientific journal.* 2020;(9):40–44. (In Russ.)
10. Characteristics of Common Wheat Cultivars of West Siberia Carrying the Wheat–Rye 1RS.1BL translocation / N. V. Trubacheeva et al. *Rus. J. Genet.* 2011;47:18–24. (In Russ.)
11. Chromosome composition of wheat-rye lines and the influence of rye chromosomes on disease resistance and agronomic traits / E. V. Chumanova et al. *Rus. J. Genet.* 2014;50(11):1169–1178. DOI 10.7868/ S0016675814110034.
12. Cruz C. D., Valent B. Wheat blast disease: danger on the move. *Trop Plant Pathol.* 2017;(42):210–222.
13. Doussinault G., Dosba F., Jahier J. Use of a hybrid between *Triticum aestivum* L. and *Aegilops ventricosa* Tausch in wheat breeding. In 'Proceedings of the Seventh International Wheat Genetics Symposium'. (Eds TE Miller and RMD Koebner.). 1988. P. 253–258. (Institute of Plant Science Research: Cambridge, UK).
14. The *Aegilops ventricosa* 2NvS segment in bread wheat: cytology, genomics and breeding / L. Gao et al. *Theor Appl Genet.* 2021;(134):529–542.
15. PCR assays for the Lr37-Yr17-Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines / M. Helguera et al. *Crop Sci.* 2003; 43:1839–1847.
16. Field evaluation of leaf rust severity, yield loss and quality characteristics in near-isogenic wheat lines with Lr29, Lr35 or Lr37 / F. J. Klopppers et al. *South African Journal of Plant and Soil.* 1995;12(2):55–58.
17. Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canad J Res.* 1948;26(5): 496–500. DOI:10.1139/cjr48c-033.
18. Detection of virulence to wheat stem rust resistance genes Sr31 in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda / Z. A. Pretorius et al. *Plant Disease.* 2000;84:203.
19. A physical map of the *Thinopyrum*-derived Lr19 translocation / R. Prins et al. *Genome.* 1996;(39):1013–1019.
20. AFLP and STS tagging of *Lr19*, a gene conferring resistance to leaf rust in wheat / R. Prins et al. *Theor Appl Genet.* 2000;103(4): 618–624. DOI:10.1007/PL00002918.
21. Roelfs A. P., Singh R. P. Rust diseases of wheat concepts and methods of management. Mexico: CIMMIT; 1992.
22. First report of leaf rust pathotypes virulent to highly effective Lr- genes transferred from *Agropyron* species to bread wheat / S. N. Sibikeev et al. *Plant Breeding.* 1996;115:276–278.
23. Šliková S., Gregová E., Bartoš P., Kraic J. Marker-assisted selection for leaf rust resistance in wheat by transfer of gene Lr19. *Plant Protect. Sci.* 2003;39:13–17.
24. Stakman E. C., Stewart D. M., Loegering W. Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service. 1962. E-617 (rev).

Статья поступила в редакцию 28.08.2022; одобрена после рецензирования 08.09.2022; принята к публикации 15.09.2022.
The article was submitted 28.08.2022; approved after reviewing 08.09.2022; accepted for publication 15.09.2022.