УДК 631.527.8:631.524.84/.86:633.111.1«321»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ 4AS.4AL-7S#2S ТРАНСЛОКАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

¹Сибикеев С.Н., ¹Дружин А.Е., ²Гультяева Е.И., ¹Андреева Л.В.¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока»,
Саратов, e-mail: sibikeev_sergey@mail.ru;²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
Санкт-Петербург – Пушкин, e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Транслокация 4AS.4AL-7S#2S с геном *Lr28* от эгилопс спельтоидес привлекает внимание селекционеров мягкой пшеницы эффективностью против возбудителя листовой ржавчины. Тем не менее эта транслокация мало используется в российской селекции. Одна из причин – недостаточная изученность её влияния на хозяйственно полезные показатели. В представленном исследовании агрономическая ценность 4AS.4AL-7S#2S – транслокации изучалась на почти изогенных линиях яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 68 в течение 2016–2018 гг. Вегетационные сезоны 2016 и 2017 гг. были благоприятными по температурным и водным режимам, но отмечались эпифитотии стеблевой и листовой ржавчин соответственно. 2018 г. характеризовался острой засухой с повышенными температурами. Экспериментальный материал высевался в 7 м² деланки рендомизировано в 4-кратной повторности. В исследованиях определяли продуктивность и качество зерна, которое оценивали по содержанию сырой клейковины, показателям прибора ИДК-1, а физические свойства теста устанавливали на альвеографе Шопена. Полученные данные подвергли дисперсионному анализу. Наличие гена *Lr28* у исследуемого материала было подтверждено с помощью ПЦР-анализа ДНК маркером SCS421. Показана эффективность гена *Lr28* в Нижнем Поволжье на фоне естественной эпифитотии *P. tritricina*, а также к её патотипам вирулентным к генам *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*. Сравнение влияния 4AS.4AL-7S#2S – транслокации на продуктивность зерна показало отсутствие отличий от сорта-реципиента в 2016 г., и значимое повышение в 2017 и 2018 гг. В среднем за период 2016–2018 гг. значимых различий по продуктивности зерна нет, но отмечено понижение массы 1000 зёрен у изолиний. Исследования качества муки и хлеба у линии с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией выявили нейтральные эффекты на показатели клейковины, упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости, силу муки, пористость хлеба. По объёму хлебцев выявлено значимое снижение у линий с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией.

Ключевые слова: мягкая пшеница, 4AS.4AL-7S#2S-транслокация, почти изогенные линии, эффективность *Lr28*-гена, влияние на продуктивность и качество зерна

ANALYSING EFFECTS OF 4AS.4AL-7S#2S TRANSLOCATION UPON YIELDS AND GRAIN QUALITY OF SPRING MILLING WHEAT

¹Sibikeev S.N., ¹Druzhin A.E., ²Gulyaeva E.I., ¹Andreeva L.V.¹Agricultural Research Institute for South-East Regions, Saratov, e-mail: sibikeev_sergey@mail.ru;²All Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg – Pushkin, e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Translocation of 4AS.4AL-7S#2S with gene *Lr28* from *Aegilops speltoides* draws attention of milling wheat breeders due to its efficiency against *P. tritricina* that causes leaf rust. Nevertheless, such translocation is rarely used in Russian selection. One of the reasons is insufficient study of its influence upon agronomic indicators. In the presented research agronomic value of 4AS.4AL-7S#2S – translocation was studied on practically isogenic lines on spring milling wheat of type Saratovskaya 68 over the period from 2016 to 2018. Vegetation seasons 2016 and 2017 were favourable in temperature and water regimes, but were defined by epiphytomy of stem and leaf rust respectively. 2018 was characterized by severe draught and increased temperatures. Experimental material was sown randomly in 7m² plots and 4 repetitions. Within our research we defined productivity and quality of grain that was defined by content of wet gluten, indications of IDG-1, and physical traits of dough were determined on alveograph of Chopin. The received data was subjected to dispersion analysis. Presence of gene *Lr28* in the studied material was confirmed by PCR analysis with DNA marker SCS421. The efficiency of the *Lr28* gene was demonstrated in Lower By-Volga region at the background of natural *P. tritricina* epiphytomy as well its pathotypes, virulent to genes *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*. Comparing effects of 4AS.4AL-7S#2S – translocation upon productivity of grain showed no difference to the recipient type in 2016, and a significant increase in 2017 and 2018. On average during the period of 2016–2018 no significant differences were registered in terms of grain productivity, but decrease in mass of 1000 grains in isolate was outlined. Studying quality of flour and bread in line of 4AS.4AL-7S#2S – translocation revealed neutral effects upon indexes of gluten, dough elasticity, ratio dough elasticity against extensibility, flour strength, porosity of bread. By the volume of breads a significant decrease was registered for the line with 4AS.4AL-7S#2S-translocation.

Keywords: milling wheat, 4AS.4AL-7S#2S-translocation, practically isogenic lines, effectiveness of *Lr28*-gene, effect upon productivity and quality of grain

Дикие родственники мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) обладают многими генами, представляющими агрономический интерес, и могут быть ценными источни-

ками устойчивости к болезням, насекомым и экстремальным факторам окружающей среды. В первую очередь это касается видов близко родственных мягкой пшенице,

к которым относится *Aegilops speltoides* Tausch $2n = 14$, геном S. В Каталоге генных символов пшеницы зарегистрировано 11 генов, перенесенных из данного вида, из них 6 генов устойчивости к листовой ржавчине (*Lr28*, 35, 36, 47, 51, 66), 3 к стеблевой ржавчине (*Sr32*, 39, 47) и два к мучнистой росе (*Pm12*, 32) [1]. Транслокация 4AS.4AL-7S#2S с геном *Lr28* была получена при использовании *Aegilops speltoides* как супрессора гена *Ph*-гомеологичной конъюгации для индукции рекомбинагена хромосомы 2M *Aegilops commosum* и второй группы хромосом мягкой пшеницы [2]. С момента идентификации *Lr28* прошло более 35 лет, однако он сохраняет высокую эффективность в Индии и других странах полуострова Индостан, а также на территории России [3, 4]. Необходимо отметить, что имеются патотипы возбудителя листовой ржавчины, вирулентные к этому гену, в Северной Америке, Австралии, Египте [2, 5]. В связи с этим проводятся работы (в основном в Индии) по комбинированию с другими генами устойчивости к возбудителю листовой ржавчины, в частности с *Lr24* [6]. В настоящее время известно о присутствии данного гена в сорте Sunland в Австралии, наборе почти изогенных линий в Индии [2, 7], кроме того, идентифицирован данный ген в наборе сортов Египта [5], однако в России в настоящее время нет коммерческих сортов с этим геном устойчивости к листовой ржавчине [4]. Использование гена *Lr28*, а точнее транслокации 4AS.4AL-7S#2S, в практической селекции невозможно без изучения эффектов на агрономические показатели. Такие работы с данной транслокацией проводились лишь на наборе почти изогенных линий в Индии [7]. Не было выявлено от-

рицательных эффектов на урожайность зерна, массу 1000 зёрен, показатели качества муки. Несмотря на высокую эффективность гена *Lr28* в России, такие исследования не проводились и нет информации на эффекты транслокации 4AS.4AL-7S#2S, как в условиях нормального увлажнения, так и в засушливых условиях. Это побудило нас создать для этих целей соответствующую изолинию на генотипе широко распространенного сорта Саратовская 68.

Цель исследования: по результатам изучения почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы определить влияние транслокации 4AS.4AL-7S#2S на агрономически важные признаки, в том числе продуктивность зерна и показатели качества муки и хлеба.

Материалы и методы исследования

Используемый материал включал следующие генотипы:

сорт-реципиент яровой мягкой пшеницы Саратовская 68;

почти изогенные линии яровой мягкой пшеницы: Саратовская 68*4//Tc *Lr28*, где Tc *Lr28* – почти изогенная линия сорта Thatcher с геном *Lr28*, то есть с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S.

Исследования включали три этапа: первый этап – для подтверждения наличия чужеродного материала у исследуемых почти изогенных линий Саратовская 68*4//Tc *Lr28* (C68 *Lr28*) была проведена идентификация *Lr*-генов с использованием молекулярного маркера *Lr28* (SCS421) [8]. ПЦР-анализ был выполнен по ранее опубликованной методике [9]. Продукты амплификации были выявлены в ультрафиолетовом свете на 1,5 % агарозном геле, содержащем этидиум бромид.

Таблица 1

Характеристика вирулентности у популяций и клонов *Puccinia triticina*, используемых для инокуляции интрогрессивных линий в фазе проростков

Популяции и изоляты	Происхождение	Вирулентность	Авирулентность
		к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i>	
Тест-клон 1	Челябинская обл., 2017	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 30	19, 23, 24, 26, 28, 29, 44
Тест-клон 2	Тамбовская обл., 2016	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 14a, 14b, 15, 17, 18, 19, 20, 30, 44	9, 11, 16, 23, 24, 26, 28, 29
Тест-клон 3	Краснодарский край, 2017	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 23, 26, 30, 44	9, 16, 19, 24, 28, 29
Поп_Сар	Саратовская обл., 2018	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 30	9, 24, 26, 28, 29, 44

Второй этап – оценка на устойчивость линий к листовой ржавчине в полевых условиях – фаза молочно-восковая спелость (селекционный посев НИИСХ Юго-Востока, условия средней эпифитотии патогена в 2017 г.) и в лабораторных условиях – в фазе проростков (первого листа) в ВИЗРе. Инокуляцию растений в фазе проростков проводили саратовской популяцией *Puccinia triticina* Erikss, собранной в 2018 г., и тремя тест-клонами, маркированными вирулентностью к *Lr9*, *Lr19* и *Lr26* (табл. 1). Результаты учитывали на 10-е сутки по шкале E.B. Mains и H.S. Jackson [2] Растения с типом реакции 0, 0; 1, 2 считались устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми.

Третий этап – оценка показателей продуктивности зерна, физических свойств теста и хлебопекарных показателей у почти изогенной линии С68 *Lr28* в сравнении с сортом-реципиентом. Исследования проводились в 2016–2018 гг., из которых наиболее благоприятными были 2016 и 2017 гг., но 2016 г. выделялся повышенным количеством осадков и сильной эпифитотией стеблевой ржавчины и жёлтой пятнистости, а в 2017 г. отмечалась эпифитотия листовой ржавчины. Кроме того, в начале вегетации в 2017 г. (до стадии трубкования) отмечалась эпифитотия септориоза листьев. 2018 г. характеризовался сильной засухой. Экспериментальный материал рендомизированно высевался в 7 м² делянки в 4-кратной повторности. Норма посева 400 зёрен на 1 м². Качество зерна и теста оценивали по содержанию сырой клейковины и показателям прибора ИДК-1 и альвеографа Шопена с выпечкой опытных образцов хлебцев. Полученные данные подвергли соответствующему статистическому анализу с использованием программ «Agros-2.10». Сравнения были проведены в пределах почти изогенной пары и соответствующим сортом-реципиентом.

Результаты исследования и их обсуждение

Для подтверждения наличия гена *Lr28* у С68 *Lr28* были взяты четыре почти изогенные линии и проведён ДНК-маркёрный анализ на ген *Lr28*. ПЦР-анализ показал наличие исследуемого гена у всех линий. Таким образом, доказано, что почти изогенные линии несут ген *Lr28*, а значит, и транслокацию 4AS.4AL-7S#2S, следовательно, приводимые результаты фитопатологических и пребридинговых исследований являются корректными.

Сорт яровой мягкой пшеницы Саратовская 68, используемой в качестве реципиента в данных исследованиях, относится к группе высокопродуктивных и широко возделываемых в Нижнем и Среднем Поволжье. ПЦР-анализ с помощью ДНК-маркёров *Lr*-генов показал наличие у Саратовской 68 гена *Lr10*. Этот ген неэффективен в зоне Поволжья [4]. Оценка сорта Саратовская 68 тремя тест-клонами, различающимися по вирулентности к *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*, а также саратовской популяцией возбудителя листовой ржавчины, собранной в Саратове в 2018, показала тип реакции на патоген (IT) равный 3, то есть восприимчивость. В тоже время почти изогенная линия С68 *Lr28* показала IT = 0 ко всем тест клонам и саратовской популяции патогена. Это подтвердило оценку на устойчивость к *P. triticina* проведённую на фоне средней эпифитотии *P. triticina* в 2017 г. – Саратовская 68 – IT = 3 и С68 *Lr28* – IT = 0. Таким образом, показана эффективность гена *Lr28* в Саратовской области (Нижнее Поволжье РФ) и перспективность селекционной работы с ним на устойчивость к *P. triticina*. Е.И. Гульяевой была показана эффективность гена *Lr28* против поволжской, северо-кавказской, уральской и западно-сибирской популяций *P. triticina*. К северо-западной популяции возбудителя листовой ржавчины эффективность оценивается как среднеустойчивая [4].

Результаты изучения продуктивности зерна у почти изогенной линии С68 *Lr28* показали, что в среднем за период с 2016 по 2018 г. отмечено незначимое повышение урожайности у линии по сравнению с сортом-реципиентом Саратовская 68 (табл. 2). Анализ урожайности зерна по годам показал, что в 2016 г. на фоне достаточного увлажнения и сильной эпифитотии возбудителя стеблевой ржавчины, продуктивность зерна была одинаковой. При этом как сорт-реципиент, так и С68 *Lr28* поразились *Puccinia graminis* Erikss IT = 3. В 2017 г. на фоне достаточного увлажнения и средней эпифитотии *P. triticina* линия С68 *Lr28* достоверно превысила сорт-реципиент Саратовская 68 на 200 кг/га. В данном случае проявилось прямое негативное влияние поражения сорта-реципиента листовой ржавчиной. Схожее защитное действие гена *Lr28* на почти изогенных линиях яровой мягкой пшеницы по сравнению с сортами-реципиентами наблюдалось в Индии, где превышение продуктивности зерна на фоне эпифитотии

листовой ржавчины колебалось от 100 до 150 кг/га [7]. Наиболее интересен был 2018 г., который характеризовался сильной засухой в течение всего вегетационного периода. Как показали результаты, C68Lr28 значительно превысила сорт Саратовская 68 по продуктивности зерна. Это превышение составило 300 кг/га (табл. 2). Таким образом, есть основание утверждать, что транслокация 4AS.4AL-7S#2S не понижает засухоустойчивость. В целом ряд образцов вида *Aegilops speltoides* Tausch из Турции, Ирака, Сирии, Израиля и Италии обладают высокой жаро- и засухоустойчивостью [10]. Таким образом, возможны переносы чужеродного материала из данного вида положительно влияющего на засухоустойчивость.

Анализ массы 1000 зёрен, как одного из важных элементов продуктивности зерна, показал значимое понижение у линии с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S, причём это понижение наблюдалось все три года исследований. Данный эффект проявился даже в 2017 г. на фоне эпифитотии листовой ржавчины. Эти данные не согласуются с данными Kumar et al. (2004), которые определили повышение массы 1000 зёрен у почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с геном *Lr28* по двухлетним исследованиям. Причём линии и реципиенты изучались как при обработке фунгицидом от *P. trititica*, так и при воздействии патогена [7]. Полученное разное влияние на массу 1000 зёрен может быть вызвано различиями в сортах-реципиентах и разными условиями вегетации. Схожее снижение массы 1000 зёрен наблюдали Petrash et al. (2016) [11]. Они наблюдали снижение массы 1000 зёрен у трёх транслокаций 5BS.5BL-5SL, 6BS.6BL-6SL, 7DS-7SS.7SL в яровой мягкой пшенице, полученных с использованием эгилопс спельтоидес. Необходимо отметить, что одна из используемых ими транслокаций также имеет перенос из хромосомы 7S, как и в транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28*. По показателям период всходы – колошение, высота растений и устойчивость к полеганию различий между сортом-реципиентом Саратовская 68 и линией C68 *Lr28* не было (табл. 2). Таким образом транслокация 4AS.4AL-7S#2S не удлиняет сроки колошения и высоту растений и не ухудшает устойчивость к полеганию, что важно в практической селекции.

Важным этапом в создании сортов мягкой пшеницы является качество конечной продукции – муки и хлеба. К сожалению, нередко вовлечение чужеродной генети-

ческой изменчивости в генофонд мягкой пшеницы ухудшает ряд показателей качества муки и хлеба. Широко известно отрицательное влияние 1BL-1RS-транслокации на хлебопекарные свойства и жёлтый цвет муки у линий с транслокацией 7DS-7DL-7Ae#1L [12]. В наших исследованиях было выявлено, что транслокация 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* не влияет на показатели клейковины – содержание и показатель прибора ИДК-1, а также упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости (P/L), силы муки, пористости мякиша. Однако было выявлено значимое понижение объёма хлеба (табл. 2). К похожим результатам пришли Kumar с соавт. [7]. По полученными ими данным фаринографа не выявлено различий по стабильности теста, но выявлено различие (снижение) по времени образования теста. По данным альвеографа на созданных ими почти изогенных линиях по P/L был неоднозначный эффект – в зависимости от сорта-реципиента у части изолиний не выявлено различий, а у части изменения как в сторону увеличения, так и уменьшения. В данном случае проявился чёткий эффект сорта-реципиента. В целом можно констатировать незначительное влияние транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* на показатели муки и хлеба, что делает применение этой транслокации в селекции на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины ещё более привлекательным.

Выводы

Анализ влияния транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* на продуктивность зерна у почти изогенной линии яровой мягкой пшеницы за период с 2016 по 2018 г. показал положительное влияние (превышение) в 2017 г. (эпифитотия листовой ржавчины) и 2018 г. (сильная засуха). В среднем по урожайности зерна за три года существенных различий нет. Тем не менее есть незначительное превышение по продуктивности зерна у линии с *Lr28* над сортом-реципиентом Саратовская 68. Важным моментом является выявленное положительное влияние в засушливый период.

Исследования влияния 4AS.4AL-7S#2S – транслокации на показатели качества муки и хлеба (содержание клейковины, упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости, сила муки, пористость хлеба) не выявили существенных отличий от сорта-реципиента. Обнаружено лишь значимое уменьшение объёма хлебцев.

Таблица 2

Показатели продуктивности зерна и качества у почти изогенной линии яровой мягкой пшеницы с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S и сорта-реципиента, среднее за 2016–2018 гг.

Сорта, линия	Период всходы – коло- шение, дней	Высота, см	УП*, балл	Масса 1000 зёрен, г	Продуктивность зерна, кг/га			
					2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее
Саратовская 68	44,7	86,6	3,9	31,7 b ***	2412	4864a	1427a	2901
C68 <i>Lr28</i>	45,0	86,1	3,9	28,4 a	2453	5072b	1729b	3085
	ns	ns	ns		ns			ns
Показатели качества муки и хлеба								
	Клейковина		P**, мм	P/L **	W**, е.а	V**, см³	Пористость, балл	
	%	ИДК-1						
Саратовская 68	33,1	71	127	2,2	301	780a	4,7	
C68 <i>Lr28</i>	34	72	117	1,8	307	683b	4,3	
	ns	ns	ns	ns	ns		ns	

Примечание. * – УП – устойчивость к полеганию (оценка по пятибалльной шкале); **P – упругость теста, P/L – отношение упругости теста к растяжимости, W – сила муки, V – объём хлеба; *** – числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, значимо различаются на уровне P₀₀₅.

Исходя из выявленных эффектов транслокация 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* в зоне Поволжья России является привлекательной для селекции мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины. В связи с тем, что в части регионов России имеются вирулентные к *Lr28* патотипы *P. tritricina* рекомендуется комбинировать его с другими генами устойчивости к листовой ржавчине.

Список литературы / References

- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium (Yokohama, September 8–13, 2013). Japan, 2013. 123 p.
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands, 1995. 200 p.
- Bipinraj A., Honrao B., Prashar M., Bhardwaj S., Rao S., Tamhankar S. Validation and identification of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. J. Appl. Genetics. 2011. Vol. 52. P. 171–175. DOI: 10.1007/s13353-010-0026-9.
- Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia tritricina* в России и её изменчивость под влиянием растения-хозяина: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пушкин – Санкт-Петербург, 2018. 42 с.
- Gulyaeva E.I. Genetic structure of *Puccinia tritricina* populations in Russia and its variability under the influence of host plant: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Pushkin – St. Petersburg, 2018. 42 p. (in Russian).
- Abdelbacki A.M.M., Omara R.I., Najeeb M.A., Soliman N.E.K. Identification of leaf rust resistant genes *Lr9*,

Lr25, *Lr28*, *Lr29* and *Lr67* in ten Egyptian wheat cultivars using molecular markers. International Journal of Biotechnology Research. 2014. Vol. 2. № 7. P. 89–96.

6. Kumar A., Hanchinal R.R., Desai S., Biradar S. Marker assisted gene pyramiding of leaf rust resistance genes *Lr24* and *Lr28* in the background of wheat variety DWR 162 (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017. Vol. 6. № 9. P. 1883–1893. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.609.232

7. Kumar A.A., Raghavaiah P. Effect of the leaf rust resistance gene *Lr28* on grain yield and bread-making quality of wheat. Plant Breeding. 2004. Vol. 123. P. 35–38.

8. Cherukuri D.P., Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Singh R.B., Haq Q. Molecular mapping of *Aegilops speltoides* derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. Euphytica. 2005. Vol. 143. P. 19–26. DOI: 10.1007/s10681-005-1680-6.

9. Gulyaeva E.I., Kanyuka I.A., Alpatova N.V., Baranova O.A., Dmitriev A.P., Pavlyushin V.A. Molecular approaches in identifying leaf rust resistance genes in Russian wheat varieties. Russian Agricultural Sciences. 2009. Vol. 35. P. 316–319. DOI: 10.3103/S1068367409050085.

10. Pradhan G.P., Prasad P.V.V., Fritz A.K., Kirkham M.B., Gill B.S. High temperature tolerance in *Aegilops* species and its potential transfer to wheat. Crop Sci. 2012. Vol. 52. P. 292–304. DOI: 10.2135/cropsci2011.04.0186.

11. Petrash N.V., Leonova I.N., Adonina I.G., Salina E.A. Effect of translocations from *Aegilops speltoides* Tausch on resistance to fungal diseases and productivity in common wheat. Russian Journal of Genetics. 2016. Vol. 52. № 12. P. 1253–1262. DOI: 10.1134/S1022795416120097.

12. 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. DOI: 10.17513/use.36780.

Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Andreeva L.V. Influence analysis of combination 7DS-7DL-7Ae#1L + 1BL-1RS translocations on spring wheat yield and grain quality // Advances in current natural sciences. 2018. № 6. P. 49–53 (in Russian).