

АГРОНОМИЯ

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Научная статья

УДК 631.527.8 + 631.524.84

doi: 10.28983/asj.y2024i8pp46-55

**Мультилокационные исследования влияния транслокации
4AS.4AL-7S#2S на продуктивность и качество зерна
яровой мягкой пшеницы**

**Сергей Николаевич Сибикеев, Гульнара Адиятовна Бекетова, Тамара Фёдоровна Ильина,
Валерий Вениаминович Сергеев, Зульфия Ерназаровна Фитилева, Александр Евгеньевич
Дружин, Любовь Владимировна Андреева**

ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия, e-mail: sibikeev_servey@mail.ru

Аннотация. Одной из проблем в селекции мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины является недостаток эффективных генов резистентности. Одним из таких является ген *Lr28*, перенесенный из *Aegilops speltoides* в транслокацию 4AS.4AL-7S#2S (*Lr28*-транслокации). Несмотря на его эффективность, он редко используется в практической селекции. Основная причина этого – недостаток пребридинговых исследований и выявления влияния транслокации *Lr28* на урожайность зерна и качество муки и хлеба. Представлены результаты изучения агрономической ценности транслокации 4AS.4AL-7S#2S на почти изогенных линиях яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 68 в 2021–2023 гг. в четырех географических точках. К ним относятся поля институтского селекционного севооборота ФАНЦ Юго-Востока, экспериментальное хозяйство ФАНЦ Юго-Востока, поля селекционного севооборота Краснокутской селекционной опытной станции (филиал ФАНЦ Юго-Востока) и поля селекционного севооборота Ершовской опытной станции орошаемого земледелия (филиал ФАНЦ Юго-Востока). В ходе исследований изучали элементы продуктивности главного колоса, урожайность и качество зерна. Результаты исследований подвергали статистической обработке. Результаты исследований показали, что на продуктивность зерна транслокация *Lr28* оказывает либо нейтральное влияние, либо положительное. При этом отмечается достаточный уровень засухоустойчивости. Для растений мягкой пшеницы с изучаемой транслокацией критическим является период налива зерна. При жестких засухах в это время (ГТК 0,1; 0,2; 0,5) линия с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S понижает продуктивность зерна. Линия-аналог С68*Lr28* с транслокацией *Lr28* по содержанию белка в зерне не отличалась от сорта-реципиента Саратовская 68. По количеству клейковины во всех точках исследований линия С68*Lr28* была одного уровня как с сортом-реципиентом Саратовская 68, так и сортом-стандартом Саратовская 76. По показателям альвеографа (P, P/L, W) линия с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S понижала упругость P, отношение упругости к растяжимости P/L, повышала силу муки W. По объему экспериментальных хлебцев и по общей хлебопекарной оценке линия С68*Lr28* превысила сорт-реципиент С68.

Ключевые слова: мягкая пшеница; 4AS.4AL-7S#2S-транслокация; линия-аналог; мультилокационные исследования; влияние на продуктивность и качество зерна

Для цитирования: Сибикеев С. Н., Бекетова Г. А., Ильина Т. Ф., Сергеев В. В., Фитилева З. Е., Дружин А. Е., Андреева Л. В. Мультилокационные исследования влияния транслокации 4AS.4AL-7S#2S на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2024. № 8. С. 46–55. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i8pp46-55>.

AGRONOMY

Original article

**Multilocation studies of the effect translocation 4AS.4AL-7S#2S
on productivity and grain quality of spring bread wheat**

**Sergey N. Sibikeev, Gulnara A. Beketova, Tamara F. Ilyina, Valeryi V. Sergeev, Zulfiya E. Fitileva,
Alexandr E. Druzhin, Lyubov V. Andreeva**

Federal State Budgetary Scientific Organization “Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region”, Saratov, Russia, e-mail: sibikeev_servey@mail.ru





Abstract. One of the problems in the breeding of bread wheat for resistance to the causative agent of leaf rust is the lack of effective resistance genes. One of these genes is the *Lr28* gene transferred from *Aegilops speltoides* to translocation 4AS.4AL-7S#2S (*Lr28*- translocation). Despite its effectiveness, it is rarely used in practical breeding. The main reason for this is the lack of prebreeding studies and identification of the *Lr28* translocation effect on grain yield and the bread making quality. This article presents the results of studying the agronomic value of 4AS.4AL-7S#2S translocation on spring bread wheat line-analogous cultivar Saratovskaya 68 during 2021-2023 in four geographical locations: fields at the Institute in the breeding crop rotation of the FCAR of the South-East in Saratov, experimental farm of the FCAR of the South-East in Saratov, fields of breeding crop rotation of the Krasnokutsk breeding experimental stations branch of the FCAR of the South-East and fields of breeding crop rotation of the Ershovskaya experimental station of irrigated agriculture branch of the FCAR of the South-East. The research included the study of the elements of productivity of the main ear, yield and grain quality. The obtained data were subjected to ANOVA analysis. The results of studies on the effect of *Lr28* translocation show that this translocation has either a neutral or positive effect on grain productivity. At the same time, there is a sufficient level of drought resistance. For bread wheat plants with the translocation under study, the critical period is the period of grain filling. In severe droughts during this period (GTC 0.1; 0.2; 0.5) the line with 4AS.4AL-7S#2S translocation reduces grain productivity. The line analogous C68*Lr28* with *Lr28* translocation did not differ for grain protein content from the cultivar-recipient Saratovskaya 68. For gluten content at all points of the research, the C68*Lr28* line was on the same level as both the cultivar-recipient Saratovskaya 68 and the cultivar-standard Saratovskaya 76. According to the indicators of the alveograph (P, P/L, W), the line with 4AS.4AL-7S#2S translocation decreased elasticity (P), the ratio of elasticity to extensibility (P/L), an increase in the strength of flour (W) was noted. In terms of the volume of experimental loaves and according to the general baking assessment, the C68*Lr28* line exceeded the Saratovskaya 68 recipient cultivar.

Keywords: spring bread wheat; 4AS.4AL-7S#2S-translocation; line-analogous; multilocation studies; impact on grain productivity and quality

For citation Sibikeev S. N., Beketova G. A., Ilyina T. F., Sergeev V. V., Fitileva Z. E., Druzhin A. E., Andreeva L. V. Multilocation studies of the effect translocation 4AS.4AL-7S#2S on productivity and grain quality of spring bread wheat. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(8):46–55. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i8pp46-55>.

Введение. В России грибные заболевания, в первую очередь, листовая, стеблевая ржавчина и мучнистая роса, оказывают огромное негативное влияние на посеы яровой мягкой пшеницы, снижая продуктивность и качество зерна. Многочисленные научные и производственные исследования показали, что использование в производстве сортов с генетически обусловленной устойчивостью является наиболее эффективным, экономически выгодным и экологически безопасным методом борьбы с патогенами. На данный момент эффективная устойчивость к патогенам у основной массы сортов пшеницы обусловлена не собственными генами резистентности, а наличием генов устойчивости, интродуцированных от диких и культурных сородичей мягкой пшеницы.

Известно, что довольно часто интрогрессивный генетический материал, обуславливающий устойчивость к патогенам, может негативно влиять на продуктивность и качество зерна. В этой связи, прежде чем рекомендовать их к использованию в производстве, следует провести ряд генетических, цитогенетических и селекционных исследований, то есть пребридинговое изучение [8]. Различные виды эгилопсов являются источниками устойчивости к болезням мягкой пшеницы. Особо следует выделить вид *Aegilops speltoides* Tausch. $2n = 14$, геном S [5]. Известно об 11 генах, перенесенных из данного вида, из них 6 генов устойчивости к листовой ржавчине (*Lr28*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr66*), 3 – к стеблевой ржавчине (*Sr32*, *Sr39*, *Sr47*) и два – к мучнистой росе (*Pm12*, *Pm32*) [9]. Среди них следует отметить ген *Lr28*. Транслокация 4AS.4AL-7S#2S с геном *Lr28* была получена путем использования *Aegilops speltoides* в качестве супрессора гена *Ph*-гомеологичной конъюгации для стимуляции рекомбиногенеза хромосомы 2M *Aegilops commosum* Smith in Sibthorp et Smith и второй группы хромосом мягкой пшеницы [16]. Эффективность гена *Lr28* против листовой ржавчины в Индии и других странах полуострова Индостан сохраняется более 35 лет [15]. Установлена эффективность этого гена в различных регионах России [3, 12], также он эффективен в Казахстане [11]. Однако следует отметить наличие в популяции возбудителя листовой ржавчины патотипов, вирулентных к этому гену, в Северной Америке, Австралии, Египте и России [3, 14, 16]. В настоящее время ген *Lr28* идентифицирован у сорта Sunland в Австралии, а также присутствует в наборе линий в Индии [9,15] и в некоторых сортах в Египте [14]. В России пока нет коммерческих сортов с этим геном [3, 4, 7]. Для широкого использования гена *Lr28*, а именно транслокации



4AS.4AL-7S#2S, в селекции необходимо оценить его влияния на агрономические характеристики. Такие исследования проводились на наборе изогенных линий в Индии [15] и в России [1, 6]. Несмотря на то что, ген *Lr28* имеет высокую эффективность как в России, так и за рубежом, информации об многолетних мультилокационных исследованиях линий с этим геном и о его влиянии в условиях как достаточного, так и засушливого увлажнения крайне мало.

Цель исследований: по результатам трехлетнего мультилокационного изучения линии – аналога яровой мягкой пшеницы с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией – выявить влияние транслокации на агрономические важные признаки, продуктивность зерна и показатели качества муки и хлеба; определить ее селекционную ценность.

Материалы и методы. Для изучения был взят следующий набор сортов и линий яровой мягкой пшеницы. Сорт Саратовская 68 (С68) относится к группе высокопродуктивных и широко возделываемых в Нижнем и Среднем Поволжье, содержит ген *Lr10*. Этот ген мало эффективен в зоне Поволжья [3]. Сорт Фаворит – официальный стандарт для испытания сортов яровой мягкой пшеницы для Саратовской области до 2021 г. Сорт Саратовская 76 (С76) – официальный стандарт для испытания сортов яровой мягкой пшеницы для Саратовской области после 2022 г. Сорт Фаворит несет замещение 6D(6Agⁱ) с эффективными генами *Lr6Agⁱ/Sr6Agⁱ* [3, 10]; Саратовская 76 имеет гены *Lr3*, *Lr10*, которые не эффективны в Поволжье [7]. Линия-аналог яровой мягкой пшеницы Саратовская 68 – Саратовская 68*4//Tc *Lr28* (С68*Lr28*), где Tc *Lr28* почти изогенная линия сорта Thatcher с геном *Lr28*, то есть с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S (*Lr28*-транслокация). Линия С68*Lr28* получена после четырех возвратных скрещиваний с сортом С68. Наличие гена *Lr28*, а значит и *Lr28* транслокации у С68*Lr28* было ранее подтверждено с помощью ДНК маркера SCS421 [1].

Изучение включало в себя оценку элементов продуктивности главного колоса, урожайности зерна, физических свойства теста и хлебопекарных показателей у линии и сортов. Исследования проводили в вегетационные сезоны 2021–2023 гг. в четырех географических точках: 1) поля институтского селекционного севооборота ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов ФАНЦ Юго-Востока), предшественник озимая пшеница, почва – чернозем выщелоченный, географические координаты – широта 51.57263507165322, долгота 45.999824757949774; 2) поля экспериментального хозяйства ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов, ЭХ ФАНЦ Юго-Востока), предшественник черный пар, почва – чернозем выщелоченный, географические координаты – широта 51.59900008646535, долгота 46.04333992791582; 3) поля селекционного севооборота Краснокутской селекционной опытной станции – филиал ФАНЦ Юго-Востока (Краснокутская СОС, г. Красный Кут, пос. Семенной), предшественник черный пар, почвы каштановые, географические координаты – широта 50.91215019883384, долгота 47.06522404368326; 4) поля селекционного севооборота Ершовской опытной станции орошаемого земледелия – филиал ФАНЦ Юго-Востока (Ершовская ОСОЗ, г. Ершов, пос. Тулайково), предшественник соя, почвы темно-каштановые, географические координаты – широта 51.37273344738129, долгота 48.21909687159729. Метеорологическая характеристика лет выращивания по ГТК Селянинова по месяцам вегетационного периода приведена в таблице 1. Из трех лет исследований по метеоусловиям наиболее благоприятным был 2021 г. Эпифитотии листовой ржавчины отмечали в 2022 и 2023 гг.; в вегетационный сезон 2021 г. в экспериментальном хозяйстве ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) наблюдали высокую заселенность злаковой тлей. Линия и сорта высевали в деланки (400 семян на 1 м²), на площади 7 м², в 3-кратной повторности.

Таблица 1 – Гидротермические коэффициенты по метеостанциям (2021–2023 гг.)

Table 1 – Hydrothermal coefficients for the weather stations (2021–2023)

M/C*	2021 г.**				2022 г.				2023 г.			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Саратов (ФАНЦ Юго-Востока)	0,7	1,1	0,6	0,04	0,8	0,55	1,1	0,2	0,8	1,1	0,6	0,4
Ершов	0,3	1,2	0,1	0,06	1,1	1,0	1,3	0,01	1,2	0,5	1,4	0,1
Красный Кут	0,3	1,3	0,2	0,01	0,9	0,6	2,2	0,03	0,3	0,6	0,8	0,3

* M/C – метеостанция; ** месяцы V, VI, VII, VIII (май, июнь, июль, август)

Элементы продуктивности главного колоса определяли по 10 колосьям по показателям длины колоса, количеству колосков и зерен, массе зерна с колоса, плотности колоса и озерненности колоска как обобщенного показателя фертильности. Анализ качества муки и хлеба проводили в лаборатории качества зерна ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Содержание белка в зерне определяли на приборе Infratec TM 1241. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Agros-2.10.

Результаты исследований. При изучении урожайности зерна у линии-аналога C68Lr28 было установлено незначимое понижение по сравнению с реципиентом C68 и незначимое превышение над стандартом Фаворит в среднем за 2021–2023 гг. по четырем точкам исследований. Кроме того, дополнительно проводили средние сравнения по изучаемым сортам и линии за 2022–2023 гг., так как сравнения с сортом-стандартом C76 возможны были только за эти года. Продуктивность зерна линии-аналога C68Lr28 незначимо уступала как сорту-стандарту Фаворит, так и C76, но была одного уровня с сортом-реципиентом C68 (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность зерна линии C68Lr28 и сортов яровой мягкой пшеницы в вегетационные сезоны 2021–2023 гг., кг/га

Table 2 – Grain yield of the line C68Lr28 and cultivar of spring bread wheat in the growing seasons 2021–2023, kg/ha

Сорт, линия	Саратов, ФАНЦ Юго-Востока*				ЭХ ФАНЦ Юго-Востока**				Краснокутская СОС				Ершовская ОСОЗ				x***
	2021	2022	2023	x***	2021	2022	2023	x***	2021	2022	2023	x***	2021	2022	2023	x***	
C68	1109	3355	2626	2363 2991	819	2906	2961	2229 2934	1530	1650	1193	1457 1421	565	1770	1643	1326 1707	1844 2263
C76 (St)	–	3447	2684	– 3066	–	2884	2721	– 2803	–	1760	1550	– 1655	–	2080	1747	– 1914	– 2359
Фаворит (St)	950	3415	2420	2262 2918	476	2973	3004	2151 2989	1090	1560	1610	1420 1585	483	2260	1410	1384 1835	1804 2332
C68Lr28	1063	3342	2383	2263 2863	920	3047	2959	2299 3003	1320	1600	1365	1428 1483	440	1920	1497	1286 1709	1824 2267
HCP ₀₅	NS	NS	212	NS	244	NS	252	NS	210	200	170	NS	132	200	250	NS	NS

* Саратов, ФАНЦ Юго-Востока – поля при институтского севооборота; ** ЭХ ФАНЦ Юго-Востока – экспериментальное хозяйство ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов; x*** – средняя продуктивность зерна за 2021–2023 гг., верхняя цифра значение за 2021–2023 гг., нижняя – за 2022–2023 гг.

Анализ продуктивности по годам и точкам исследований оказался наиболее информативным. В вегетационный сезон 2021 г. во всех четырех точках исследований были благоприятные условия для цветения и образования зерен, согласно ГТК за июнь (вариация от 1,1 до 1,3, достаточно влажно). Однако налив зерна проходил в неблагоприятных засушливых условиях, ГТК варьировал от 0,6 (средняя засуха) до 0,2 и 0,1 (сильная и очень сильная засуха), см. таблицу 1. В таких погодных условиях линия-аналог C68Lr28 незначимо уступала сорту-реципиенту C68 в севообороте при ФАНЦ Юго-Востока (предшественник озимая пшеница, почва чернозем), на Краснокутской СОС (предшественник черный пар, каштановая почва), Ершовской ОСОЗ (предшественник соя, темно-каштановая почва) и незначимо превосходила реципиент в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока (предшественник черный пар, почва чернозем). При этом незначимо уступала по урожайности зерна сорту-стандарту Фаворит (Ершовская ОСОЗ) и превосходила во всех остальных точках исследований, причем в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока и на Краснокутской СОС превышение было значимым (см. таблицу 2).

На следующий вегетационный сезон 2022 г. в при институтском севообороте, г. Саратов, ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов, Краснокутской СОС наблюдалась обратная ситуация: засушливые условия в период цветения и образования зерен (июнь ГТК 0,55 и 0,6) и благоприятные условия во время налива зерна в июле (ГТК 1,1 и 2,2). В этих условиях линия-аналог C68Lr28 по продуктивности зерна не уступала сорту-реципиенту в точке г. Саратов (ФАНЦ Юго-Востока), незначимо уступала на Краснокутской СОС и незначимо превосходила в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока. На Ершовской ОСОЗ в этот вегетационный сезон как в июне, так и июле были благоприятные для развития растений мягкой пшеницы условия (ГТК 1 и 1,3). В этих условиях C68Lr28 превзошла C68, но уступила обоим сортам-стандартам, причем сорту Фаворит значимо. В веге-



тационный сезон 2023 г. в при институтском севообороте, г. Саратов и ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов наблюдались благоприятные условия для цветения и образования зерен (июнь ГТК 1,1) и засушливые условия для налива зерна в июле (ГТК 0,6). Урожайность зерна С68Lr28 в первой точке исследования значимо уступала как сорту-реципиенту С68, так и сорту-стандарту С76. По сравнению с сортом Фаворит понижение продуктивности зерна было незначимое. Однако в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока при тех же климатических условиях С68Lr28 по продуктивности зерна была равной как С68, так и сорту Фаворит, но значимо превосходила сорт С76. Очевидно, что определяющее влияние в различиях по урожайности зерна С68Lr28 в указанных условиях сыграли разные предшественники.

В ЭХ ФАНЦ Юго-Востока после черного пара было достаточно запаса влаги, напротив, в при институтском севообороте после озимой пшеницы наблюдался ее недостаток. В вегетационный сезон 2023 г. на Ершовской ОСОЗ и Краснокутской СОС наблюдались засушливые условия в период цветения и образования зерен, ГТК 0,5 и 0,6 соответственно. Однако условия для налива зерна были различными, если на Ершовской ОСОЗ они были благоприятными (ГТК 1,4), то на Краснокутской СОС засушливыми (ГТК 0,8). Линия С68Lr28 на Краснокутской СОС значимо превосходила по урожайности зерна С68 и уступала стандартам С76 и Фаворит. На Ершовской ОСОЗ С68Lr28 уступала по продуктивности зерна реципиенту С68, стандарту С76 (значимо) и была на уровне сорта Фаворит.

Анализ элементов продуктивности главного колоса по четырем точкам исследований в 2023 г. показал, что длина колоса С68Lr28 по сравнению с сортом-реципиентом была одного уровня в точках Саратов (ФАНЦ Юго-Востока) и Ершовская ОСОЗ, в то время как в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока и Краснокутская СОС значимо превысила сорт-реципиент (таблица 3). Следует обратить внимание на два момента. Первый, во всех точках исследований отмечали абсолютное повышение длины колоса. Второй, превышение было значимым только в точках, где предшественником был черный пар, то есть достаточные запасы, как влаги, так и элементов питания. По сравнению со стандартом С76 линия С68Lr28 по этому показателю не отличалась от него по всем точкам исследований, кроме точки Саратов (ФАНЦ Юго-Востока), где она значимо уступала. По количеству колосков в колосе С68Lr28 во всех точках, кроме ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, была одного уровня с С68. В ЭХ ФАНЦ Юго-Востока линия с Lr28-транслокацией по этому показателю значимо превышала С68. По сравнению с сортом-стандартом С76 линия С68Lr28 по количеству колосков в колосе не отличалась от него (см. таблицу 3).

При сравнении С68Lr28 и С68 по такому важному показателю, как число зерен с колоса результаты были схожие, как и по длине колоса. Это означает, что С68Lr28 была одного уровня с С68 в точках Саратов (ФАНЦ Юго-Востока) и Ершовская ОСОЗ, в то время как в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока и Краснокутская СОС значимо превышала сорт-реципиент. По сравнению с сортом-стандартом С76 по этому показателю различий не было. По массе зерна с колоса между С68Lr28 и С68 не было различий во всех точках исследований. Тем не менее, при сравнении С68Lr28 и С76 наблюдали значимое превышение по массе зерна с колоса у С68Lr28 на Краснокутской СОС (см. таблицу 3).

О наливе зерна у растений мягкой пшеницы можно судить по массе 1000 зерен. В экспериментальном хозяйстве ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и на Ершовской ОСОЗ линия-аналог С68Lr28 значимо уступала сорту С68 по массе 1000 зерен, в остальных точках С68Lr28 снизила показатели по этому признаку незначимо. По сравнению со стандартом С76 линия С68Lr28 по массе 1000 зерен уступала лишь на Ершовской ОСОЗ, в остальных точках различия были не значимые, однако также наблюдался тренд к снижению этого показателя у линии с изучаемой транслокацией (см. таблицу 3).

По плотности колоса (количество колосков на 1 см колоса) линия С68Lr28 уступала С68 лишь на Краснокутской СОС и превышала сорт С76 в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов. В остальных точках исследований различий как с сортом-реципиентом С68, так и со стандартом С76 не было (см. таблицу 3).

Обобщенным показателем фертильности растений мягкой пшеницы (результат совместного функционирования женских и мужских половых гамет) является средняя озерненность колоска в колосе. По этому показателю линия-аналог С68Lr28 с Lr28-транслокацией не уступала сорту-реципиенту С68 и сорту-стандарту С76 во всех точках исследований. Более того, в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов С68Lr28 по озерненности колоска значимо превзошла сорт С76 (см. таблицу 3).



Таблица 3 – Элементы продуктивности главного колоса у линии-аналога яровой мягкой пшеницы с *Lr28*-транслокацией, сорта-реципиента и сорта-стандарта в вегетационный сезон 2023 г.

Table 3 – Elements of productivity of the main ear of the lines-analogue of spring bread wheat with *Lr28*-translocation, cultivar-recipient and cultivar-standard in the growing season 2023

Сорт, линия	Длина колоса, мм	Число колосков, шт.	Число зерен, шт.	Плотность	Масса зерна, г	Озерненность колоска	Масса 1000 зерен, г
г. Саратов, ФАНЦ Юго-Востока							
C68	92,5	18,4	53,4	1,8	2,1	2,9	39,5
C68 <i>Lr28</i>	95,0	18,1	51,3	1,8	1,9	2,8	37,7
<i>HCP</i> ₀₅ *	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C76	104,0	18,7	50,8	1,7	2,0	2,7	40,0
<i>HCP</i> ₀₅ **	7,7	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Экспериментальное хозяйство ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов							
C68	97,9	18,1	51,3	1,8	2,1	2,8	40,3
C68 <i>Lr28</i>	105,7	19,5	57,9	1,8	2,1	3,0	36,5
<i>HCP</i> ₀₅ *	5,5	0,7	5,1	NS	NS	NS	2,1
C76	110,3	19,1	51,8	1,6	2,0	2,7	39,0
<i>HCP</i> ₀₅ **	NS	NS	4,5	0,1	NS	0,2	NS
Краснокутская СОС							
C68	103,0	19,5	52,6	1,8	2,0	2,7	37,9
C68 <i>Lr28</i>	121,6	20,8	64,8	1,6	2,5	3,1	38,2
<i>HCP</i> ₀₅ *	6,7	NS	11,2	0,1	NS	NS	NS
C76	116,0	19,4	54,0	1,6	2,0	2,8	36,3
<i>HCP</i> ₀₅ **	NS	NS	10,0	NS	0,4	NS	NS
Ершовская ОСОЗ							
C68	96,0	18,9	55,2	1,9	2,0	2,9	36,0
C68 <i>Lr28</i>	101,1	18,8	55,9	1,8	1,9	2,9	33,5
<i>HCP</i> ₀₅ *	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C76	111,8	20,2	52,6	1,7	2,0	2,6	38,3
<i>HCP</i> ₀₅ **	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,4

* сравнения между C68 и C68*Lr28*; ** сравнения между C76 и C68*Lr28*

Важным элементом, который учитывается при создании сортов пшеницы, является качество конечной продукции. В ряде случаев вовлечение чужеродного генетического материала в генофонд мягкой пшеницы ухудшает показатели качества муки и хлеба. Как показывают результаты испытаний, линия-аналог C68*Lr28* и сорт-реципиент C68 не различались между собой по содержанию белка в зерне. Однако при сравнении с сортом-стандартом C76 по этому показателю линия C68*Lr28* уступала в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и на Ершовской ОСОЗ (таблица 4).

По количеству клейковины во всех точках исследований линия C68*Lr28* была одного уровня как с реципиентом C68, так и со стандартом C76, кроме Ершовской ОСОЗ, где C76 превзошла C68*Lr28* на 4 %. Качество клейковины, определяемое на приборе ИДК 3М, у линии C68*Lr28* было первой и второй группы, как и у сортов C68 и C76. Разнонаправленные различия по крепости клейковины наблюдались лишь в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов. В первой точке испытания линия C68*Lr28* имела клейковину более крепкую, чем C68 и C76. Во второй точке линия C68*Lr28* имела клейковину более слабую, чем C68 и C76 (см. таблицу 4). По показателям альвеографа линия C68*Lr28* по сравнению с C68 понизила упругость теста (P) из зерна урожая в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и была одного уровня на Краснокутской СОС. По сравнению с сортом-стандартом C76 линия C68*Lr28* понизила упругость (P) в трех точках исследований. Отношение упругости к растяжимости теста (P/L) было ниже в урожае зерна при институтского селекционного севооборота ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и Краснокутской СОС, из ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов это отношение было одинаково как у C68*Lr28* так и C68. Показатель P/L был выше у сорта-стандарта C76, чем у C68*Lr28* в трех точках исследований. По силе муки (W) линия C68*Lr28* превышала сорт-





реципиент С68 в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и Краснокутском СОС, при этом удовлетворяла требованиям класса сильных пшениц. Однако по этому показателю линия С68Lr28, выращенная в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока уступала сорту-реципиенту С68. По сравнению с сортом С76 линия С68Lr28 по силе муки W превышала в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов, но уступала на Краснокутской СОС (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Показатели качества муки и теста у линии-аналога яровой мягкой пшеницы С68/Lr28 с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S, сорта-реципиента и сорта-стандарта, 2023 г.

Table 4 – Quality traits of flour and dough in a line analogous spring bread wheat С68/Lr28 with translocation 4AS.4AL-7S#2S, cultivar-recipient and cultivar-standard, 2023 year

Сорт, линия	Содержание белка в зерне, %	Количество клейковины, %	ИДК 3 ед. п.	Показатель альвеографа			V*, мл	Оценка, балл	SDS,* мл
				P,* мм	P/L*	W,* ед.п			
г. Саратов, ФАНЦ Юго-Востока									
С68	10,9	20,5	72,7	132,0	3,07	229	590	4,4	59
С76	10,8	17,3	74,5	157,3	3,93	249	585	4,7	56
С68Lr28	10,9	19,4	60,3	124,3	2,14	281	700	4,9	60
Экспериментальное хозяйство ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов									
С68	15,0	29,4	80,5	123,2	1,96	275	755	4,8	72
С76	15,4	35,5	88,6	147,4	2,59	337	730	4,7	74
С68Lr28	14,6	32,5	91,5	92,4	1,97	164	720	4,2	62
Краснокутская СОС									
С68	16,2	32,2	75,6	124,3	2,89	235	755	4,6	66
С76	16,5	34,1	76,4	165,0	3,0	412	800	5,0	75
С68Lr28	16,1	30,1	71,8	129,8	2,2	314	770	4,8	73
Ершовская ОСОЗ									
С68	15,4	35,1	78,0						63
С76	15,8	38,6	79,8						52
С68Lr28	15,2	36,5	78,2						56

* P – упругость; P/L – отношение упругости к растяжимости; W – сила муки; V – объем хлеба; SDS – показатель седиментации

По показателям качества хлеба линия-аналог С68Lr28 превышала по объему хлебцев V сорт-реципиент С68 из зерна, выращенного в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и на Краснокутской СОС, но уступала ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов. Схожие результаты были по общей хлебопекарной оценке. Линия С68Lr28 превышала сорт-реципиент С68 из зерна, выращенного в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов и на Краснокутской СОС, но уступала ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов. По сравнению с сортом-стандартом С76 линия-аналог С68Lr28 превышала его по хлебопекарным показателям лишь в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока в остальных случаях уступала (см. таблицу 4).

SDS-седиментация – комплексный показатель, значимо коррелирующий с характеристиками физических свойств теста и клейковины, и очень информативный на ранних этапах селекции [1]. По результатам оценки по SDS-седиментации линия-аналог С68Lr28 была одного уровня с сортами С68 и С76 в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока и Краснокутской СОС, но уступала в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока г. Саратов (см. таблицу 4).

При анализе 4AS.4AL-7S#2S-транслокации следует учитывать ее размер. Она включает в себя почти полную хромосому 4AS.4AL мягкой пшеницы и часть короткого плеча хромосомы 7S#2 *Aegilops speltoides*. Точка разрыва указывается в субтерминальной части 4AL, точнее 4AL.2.6 [13]. На основании этих данных можно ожидать незначительное влияние этой транслокации на ряд агрономических показателей, в том числе на продуктивность зерна, качество муки и хлеба.

К сожалению, очень мало исследований, посвященных влиянию изучаемой транслокации (ген Lr28) на хозяйственно ценные признаки (пребридинговое изучение) [1, 6, 15]. По данным R.A. McIntosh et al., у 4AS.4AL-7S#2S-транслокации отсутствуют отрицательные эффекты [16]. Другие исследователи сообщают о повышенной продуктивности пяти почти изогенных линий



с *Lr28*-транслокацией в условиях эпифитотии листовой ржавчины. У этих же линий была выявлена повышенная масса 1000 зерен [15]. По мнению авторов, у линий с *Lr28*-транслокацией и без нее не отмечено различий по стабильности теста, но они различались по времени образования теста (отмечено уменьшение). Данные альвеографа по P/L показали, что этот признак сильно зависит от сорта-реципиента, так у одних линий не отмечено различий, а у других наблюдались изменения, как в сторону увеличения, так и уменьшения [15].

Исследования на линиях сорта Thatcher с *Lr28*, проведенных в 2021–2022 гг. в Федеральном Алтайском научном центре агро-биотехнологий, показали, что эта транслокация снижает урожайность зерна, уменьшает количество колосков и зерен в колосе, массу зерна с колоса, увеличивает содержание белка в зерне и оказывает нейтральное воздействие на количество клейковины [6]. В наших более ранних исследованиях, проведенных в 2016–2018 гг. в Экспериментальном хозяйстве ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) на линии-аналоге сорта Саратовская 68 с *Lr28*-транслокацией (С68*Lr28*), было выявлено, что чужеродная транслокация в среднем не влияла на продуктивность, но в условиях засухи 2018 г. значительно повысила урожайность зерна. Линия С68*Lr28* понижала массу 1000 зерен, не влияла на показатели альвеографа, но снизила объем хлебцев [1]. Представленные в этом сообщении результаты продуктивности зерна, качества муки и хлеба были получены на основе мультилокационных исследований, проведенных как в разных географических точках, так и на разных типах почвы, после различных предшественников, в различных метеоусловиях в течение трех лет изучения. Таким образом, нам удалось выявить и сравнить влияние *Lr28*-транслокации в различных комплексах условий.

Установлено, что в среднем по четырем точкам исследований за 2021–2023 гг. линия С68*Lr28* по продуктивности зерна была одного уровня с сортом-стандартом С68. Однако наблюдалось значимое понижение урожайности зерна в вегетационный сезон 2023 г. в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов (ГТК июня –1,1 и июля 0,6, предшественник озимая пшеница), но на Краснокутской СОС отмечали значимое повышение (ГТК июня 0,6 и июля 0,8, предшественник черный пар). Кроме того, в 2021 г. на Краснокутской СОС наблюдали значимое понижение продуктивности зерна (ГТК июня 1,3 и июля 0,2, предшественник черный пар). В целом сопоставление урожайности зерна у линии С68*Lr28* с реципиентом в различных географических точках в вегетационные сезоны 2021–2023 гг. с ГТК по этим точкам в критические месяцы цветения (июнь) и налива зерна (июль) позволяет сделать следующее предположение. Для линии С68*Lr28* по сравнению с сортом-реципиентом С68 критическими являются условия налива зерна (июль). При ухудшении условий (повышенная температура и дефицит осадков) в период налива зерна линия С68*Lr28* снижала продуктивность зерна, не всегда оно было значимым, но в абсолютных цифрах наблюдалось. Ухудшение условий во время цветения (июнь) оказалось менее критично.

Анализ элементов продуктивности главного колоса показал, что в основном различий между линией С68*Lr28* и сортом-реципиентом С68 не было. Как положительный момент необходимо отметить высокую озерненность колоска – комплексного показателя фертильности у линии С68*Lr28*, как по сравнению с реципиентом С68, так и со стандартом С76. Это указывает на то, что изучаемая транслокация не вносит нарушений ни в мужскую, ни в женскую фертильность. Однако налив зерна по показателю масса 1000 зерен у линии С68*Lr28* был ниже в трех точках из четырех, причем в двух из них значимо.

При оценке линий пшеницы, несущих чужеродный генетический материал, большое значение имеют показатели качества. Исследования показали, что у линии С68*Lr28* по сравнению с сортом-реципиентом С68 содержание белка в зерне и клейковины в муке одинаковое во всех точках. Однако наблюдался не однозначный результат по крепости клейковины по показаниям прибора ИДК-3. Линия С68*Lr28* имела более крепкую клейковину, чем реципиент в при институтском селекционном севообороте ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов (предшественник озимая пшеница, почва выщелочный чернозем) и на Краснокутской СОС (предшественник черный пар, почва каштановая). На Ершовской ОСОЗ (предшественник соя, почва темно-каштановая) наблюдали одинаковый показатель ИДК-3 и более слабую клейковину в ЭХ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов (предшественник черный пар, почва чернозем выщелоченный). Требуется дополнительные исследования для выявления причин этого явления.

По показаниям альвеографа, у линии С68*Lr28* по сравнению с реципиентом было установлено понижение значений для упругости Р, кроме муки из зерна из Краснокутской СОС. По отноше-

нию упругости к растяжимости P/L отмечали понижение в двух точках из трех и повышение силы муки также в двух точках из трех. По объему хлебцев линия C68Lr28 превысила сорт-реципиент C68 в двух точках из трех. В этих же точках линия с изучаемой транслокацией превышала реципиент по общей хлебопекарной оценке.

Наши данные, как по продуктивности зерна, так и по качеству муки и хлеба, различаются с результатами других исследователей, что объясняется различными условиями выращивания. Кроме того, во всех исследованиях использовались либо линии-аналоги, либо изогенные линии. Однако в наших и индийских экспериментах выращивались адаптированные к местным условиям экспериментальные линии, а в исследованиях в Федеральном Алтайском научном центре агро-биотехнологий – изогенные линии яровой мягкой пшеницы канадского сорта Thatcher. Это могло привести к различиям в выявленных эффектах 4AS.4AL-7S#2S-транслокации на продуктивность зерна и качество конечной продукции.

Заключение. Изучение влияния Lr28-транслокации на продуктивность зерна показало, что она оказывает либо нейтральное влияние, либо положительное. При этом отмечается достаточный уровень засухоустойчивости. Однако для растений мягкой пшеницы с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией критическим является период налива зерна. При жестких засухах в этот период (ГТК 0,1; 0,2; 0,5) у линии C68Lr28 по сравнению с сортом-реципиентом отмечено уменьшение продуктивности зерна. По показателям качества муки и хлеба было выявлено, что линия-аналог C68Lr28 по содержанию белка в зерне не отличается от сорта-реципиента C68. По количеству клейковины во всех точках исследований линия C68Lr28 была одного уровня как с сортом-реципиентом C68, так и сортом-стандартом C76. По показателям альвеографа (P, P/L, W) линия с Lr28-транслокацией понижала упругость, отношение упругости к растяжимости, но отмечалось повышение силы муки. По объему хлебцев линия C68Lr28 превысила сорт-реципиент C68 и превысила реципиент по общей хлебопекарной оценке.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNWF-2022-0003 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) с/х культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ влияния 4AS.4AL-7S#2S транслокации на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы / С. Н. Сибикеев [и др.] // Успехи современного естествознания. 2019. № 8. С. 34–38. DOI: 10.17513/use.3717.
2. Бебякин В. М., Крупнова О. В. Оценка качества зерна яровой мягкой пшеницы по показателям седиментации // Сельскохозяйственная биология. 1994. Т. 29. № 5. С. 52–56.
3. Гулятьева Е. И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и её изменчивость под влиянием растения-хозяина: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пушкин – Санкт-Петербург, 2018. 42 с.
4. Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4. № 2. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02.
5. Использование синтетической формы Авродес для передачи устойчивости к листовой ржавчине от *Aegilops speltoides* мягкой пшенице / Р. О. Давоян [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 6. С. 663–670. DOI 10.18699/VJ17.284.
6. Петин В. А., Лепехов С. Б. Влияние эффективных Lr-генов на признаки продуктивности сорта Thatcher в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 6. С. 5–10. DOI: 10.53083/1996-4277-2023-224-6-5-10.
7. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине / Е. И. Гулятьева [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т.183. № 4. С. 208–218. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-21.
8. Ступина Н. В. Интрогрессивные линии в селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к грибным заболеваниям: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2006. 24 с.
9. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium (Yokohama, September 8–13, 2013) / R. A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubcovsky, W. J. Rogers, C. Morris, R. Appels, X. C. Xia. 2013. P. 123.
10. Comparative analysis of Agropyron intermedium (HOST) BEAUV 6AGI and 6AGI2 chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheat–wheatgrass substitutions / S. N. Sibikееv, A. E. Druzhin, E. D. Badaeva, A. A. Shishkina, A. Y. Dragovich, E. I. Gulyaeva, P. Y. Kroupin, G. I. Karlov, T. M. Khuat, M. G. Divashuk // Russian Journal of Genetics. 2017. Vol. 53. No. 3. P. 314–324. DOI 10.1134/S1022795417030115.
11. Genetic variability of perspective breeding material of spring bread wheat for resistance to leaf rust in Russia and Kazakhstan / E. I. Gulyaeva, A. M. Kokhmetova, E. R. Shreyder, E. L. Shaydayuk, M. N. Atishova, A. Madenova, A. Maly-



sheva, K. Galymbek // Bulletin the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. 2020. Vol. 3. No. 385. P. 60–68. DOI 10.32014/2020.2518-1467.70.

12. Gulyaeva E., Gannibal P., Shaydayuk E. Long-Term Studies of Wheat Leaf Rust in the North-Western Region of Russia // Agriculture. 2023. No. 13 P. 255. DOI 10.3390/agriculture13020255.

13. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests current status / B. Friebe, J. Jiang, W. J. Raupp, R. A. McIntosh, B. S. Gill // Euphytica. 1996. Vol. 91. P. 59–87. DOI:10.1007/BF00035277.

14. Identification of leaf rust resistant genes *Lr9*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29* and *Lr67* in ten Egyptian wheat cultivars using molecular markers / A. M. M. Abdelbacki, R. I. Omara, M. A. Najeeb, N. E .K. Soliman // International Journal of Biotechnology Research. 2014. Vol. 2. No. 7. P. 89-96.

15. 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.

16. 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.

17. Validation and identification of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat / A. Bipinraj, B. Honrao, M. Prashar, S. Bhardwaj, S. Rao, S. Tamhankar // J Appl Genetics. 2011. Vol. 52. P. 171–175. DOI 10.1007/s13353-010-0026-9.

REFERENCES

1. Bebyakin V. M., Krupnova O. V. Evaluation of the grain quality of spring bread wheat by sedimentation indicators. *Agricultural Biology*. 1994;29(5):52–56. (In Russ.)

2. Gulyaeva E. I. The genetic structure of *Puccinia triticina* populations in Russia and its variability under the influence of the host plant: Abstract... Doct. Biol. sciences. Pushkin-St. Petersburg; 2018. 42 p. (In Russ.)

3. Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L. Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian varieties of common wheat. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):15–27. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2.

4. Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes. Proceedings on applied botany, genetics and breeding E. I. Gulyaeva, E. L. Shaydayuk, V. V. Veselova, R. E. Smirnova E. V. Zuev, A. G. Khakimova, O. P. Mitrofanova. 2022;183(4):208–218. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218.

5. Use of a syntheticform Avrodes for transfer of leaf rust resistance from *Aegilops speltoides* to common wheat / R. O. Davoyan, I. V. Bebyakina, E. R. Davoyan, D. S. Mikov, E. D. Badaeva, I. G. Adonina, E. A. Salina, A. N. Zinchenco, Y. S. Zubanova. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(6):663–670. (In Russ.). DOI: 10.18699/VJ17.284.

6. Petin V. A., Lepekhov S. B. Influence of effective *Lr*-genes on productivity characters of the Thatcher variety under forest-steppe conditions of the Altai Regions Ob river area. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2023;(6): 5–10. (In Russ.). DOI: 10.53083/1996-4277-2023-224-6-5-10.

7. Analysing effects of 4AS.4AL-7S#2S translocations upon yields and grain quality of spring milling wheat / S. N. Sibikeev, A. E. Druzhin, E. I. Gulyaeva, L. V. Andreeva. *Advances in Current Natural Sciences*. 2019;(8):34–38. (In Russ.). DOI: 10.17513/use.37179.

8. Stupina N. V. Introgressive lines in the breeding of spring bread wheat for resistance to fungal diseases: Abstract of the dissertation of the Candidate of Agricultural Sciences. Saratov; 2006. 24 p. (In Russ.).

9. Identification of leaf rust resistant genes *Lr9*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29* and *Lr67* in ten Egyptian wheat cultivars using molecular markers / A. M. M. Abdelbacki, R. I. Omara, M. A. Najeeb, N. E .K. Soliman. *International Journal of Biotechnology Research*. 2014;2(7):89–96.

10. Validation and identification of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat / A. Bipinraj, B. Honrao, M. Prashar, S. Bhardwaj, S. Rao, S. Tamhankar. *J Appl Genetics*. 2011;52:171–175. DOI: 10.1007/s13353-010-0026-9.

11. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests current status / B. Friebe, J. Jiang, W. J. Raupp, R. A. McIntosh, B. S. Gill. *Euphytica*. 1996;91:59-87. DOI:10.1007/BF00035277.

12. Genetic variability of perspective breeding material of spring bread wheat for resistance to leaf rust in Russia and Kazakhstan / E. I. Gulyaeva, A. M. Kokhmetova, E. R. Shreyder, E. L. Shaydayuk, M. N. Atishova, A. Madenova, A. Malyshva, K. Galymbek. *Bulletin the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020;3(385):60–68. DOI 10.32014/2020.2518-1467.70.

13. Gulyaeva E., Gannibal P., Shaydayuk E. Long-Term Studies of Wheat Leaf Rust in the North-Western Region of Russia. *Agriculture*. 2023;(13):255. DOI: 10.3390/agriculture13020255.

14. 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;123:35–38.

15. 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.

16. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium (Yokohama, September 8-13, 2013) / R. A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubcovsky, W. J. Rogers, C. Morris, R. Appels, X. C. Xia. 2013. P. 123.

17. Comparative analysis of Agropyron intermedium (HOST) BEAUV 6AGI and 6AGI2 chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheat–wheatgrass substitutions / S. N. Sibikeev, A. E. Druzhin, E. D. Badaeva, A. A. Shishkina, A. Y. Dragovich, E. I. Gulyaeva, P. Y. Kroupin, G. I. Karlov, T. M. Khuat, M. G. Divashuk. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53(3):314–324. DOI: 10.1134/S1022795417030115.

Статья поступила в редакцию 24.04.2024; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.
The article was submitted 24.04.2024; approved after reviewing 27.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.

