

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.111:631.524.86.532.285(571.14)

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-235-244

**Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia triticina***

Л. П. Сочалова, Н. И. Бойко, А. А. Потешкина, В. В. Пискарев

*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции, Новосибирская обл., Россия***Автор, ответственный за переписку:** Вячеслав Васильевич Пискарев, [piskaryov\\_v@mail.ru](mailto:piskaryov_v@mail.ru)

**Актуальность.** Для выявления источников эффективных генов устойчивости к бурой ржавчине необходимы сведения о расовом составе популяции возбудителя болезни – *Puccinia triticina* Erikss. Целью исследования являлся мониторинг изменчивости структуры популяции *P. triticina* в условиях лесостепи Приобья Новосибирской области, поиск эффективных генов резистентности.

**Материалы и методы.** В 2015–2019 гг. в лабораторных и полевых условиях оценивали поражение почти изогенных *Lr*-линий серии Thatcher и сортов пшеницы с известными генами устойчивости популяцией гриба из Новосибирской области. Расы патогена определяли по североамериканской системе. Дополнительно использовали образцы с генами устойчивости *Lr19*, *Lr20*, *Lr28*, *Lr39*, *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu* и *LrSp2*.

**Результаты.** Высокие частоты вирулентности отмечены к генам *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr30* и *LrB* (от 66,7 до 100%). Определено 27 рас, среди которых часто встречались TGTT GB, TGTR GB, TQTT GB, TQTR GB, TGPT GB, THFR GB, KHTT GB, RHKT GB, PQTT GB, THTP BV, PGFR GB, SGPR GB. На искусственном инфекционном фоне устойчивостью к грибу характеризовались образцы с генами *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu*, *Lr24*, *Lr28*, *Lr35*, *Lr12*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr50*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr52*, *LrSp2*, *Lr6Agi1+Lr19*, *Lr6Agi2+Lr10+Lr34*, *Lr11+Lr13+Lr22a*, *Lr13+LrTb*, *Lr24+Lr26*, *Lr37+Lr13*, *Lr37+Lr1*, *Lr34+Lr13*, *Lr43+Lr24*, *Lr49+Lr34*. Поражение линий Thatcher, несущих гены *Lr29* и *Lr21*, варьировало от 0 до 5%, образца CSP 44 (*Lr48+Lr34*) и Thatcher *Lr44* – от 0 до 10%, Thatcher *Lr13* – от 0 до 20%, Thatcher *Lr37* – от 1 до 30%, образца Pavon F76 – от 15% до 80%.

**Заключение.** Расовый состав популяции *P. triticina* характеризовался незначительной изменчивостью (утратили устойчивость образцы с генами *Lr18* и *Lr38*). Выявлены доноры эффективных генов устойчивости к бурой ржавчине пшеницы – сорта и линии, несущие гены *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu*, *Lr24*, *Lr28*, *Lr35*, *Lr12*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr50*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr52*, *LrSp2*.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, мониторинг устойчивости, *Lr*-гены, расы

**Благодарности:** полевые эксперименты выполнялись при поддержке бюджетного проекта FWNR-2022-0008; лабораторное изучение расового состава и оформление результатов выполнено при поддержке гранта РФФИ № 20-016-00093 А.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Сочалова Л.П., Бойко Н.И., Потешкина А.А., Пискарев В.В. Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia triticina*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(2):235-244. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-235-244

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-235-244

### Effective leaf rust resistance genes of wheat in Novosibirsk Province in connection with the variability of the *Puccinia triticina* population

Lyubov P. Sochalova, Natalya I. Boyko, Alina A. Poteshkina, Vyacheslav V. Piskarev

*Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, Novosibirsk Province, Russia*

**Corresponding author:** Vyacheslav V. Piskarev, piskaryov\_v@mail.ru

**Background.** Information on the races of *Puccinia triticina* Erikss. in Novosibirsk Province is needed to identify sources of effective genes for leaf rust resistance. The goal hereof was monitoring genetic variability of the *P. triticina* population in the Ob riverside forest-steppe, Novosibirsk Province, and detecting effective resistance genes to develop wheat cultivars resistant to the disease.

**Materials and methods.** In 2015–2019, affliction of Thatcher lines (Tc) and cultivars under the disease pressure was assessed, and *P. triticina* structure in the Ob forest-steppe of Novosibirsk Province was monitored. *P. triticina* genotypes were identified using the Long–Kolmer system. Additionally, a set of cultivars with the *Lr19*, *Lr20*, *Lr28*, *Lr39*; 6 – *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu*, and *LrSp2* genes was employed.

**Results.** A high frequency of virulence was detected for cultivars with the *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr11*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr30*, *Lr16*, *Lr17*, and *LrB* genes (66.7–100%). The *P. triticina* structure consisted of 27 races, including 12 common ones: TGTT GB, TGTR GB, TQTT GB, TQTR GB, TGPT GB, THFR GB, KHTT GB, PHKT GB, PQTT GB, THTP BB, PGFR GB, and SGPR GB. Genotypes with the *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr12*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr35*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr52*, *LrSp2*, *Lr6Agi1+Lr19*, *Lr6Agi2+Lr10+Lr34*, *Lr11+Lr13+Lr22a*, *Lr13+LrTb*, *Lr24+Lr26*, *Lr37+Lr13*, *Lr37+Lr1*, *Lr34+Lr13*, *Lr43+Lr24*, and *Lr49+Lr34* genes were resistant to *P. triticina* under the infection pressure. Some wheat genotypes varied in leaf rust resistance across the years (0–5% for TcLr29 and TcLr21, 0–10% for CSP 44 and TcLr44, 0–20% for TcLr13, 1–30% for TcLr37, and 15–80% for Pavon F 76).

**Conclusion.** The local leaf rust population has changed slightly over the years of study (the *Lr18* and *Lr38* genes have lost resistance), and was very different from the population before 2010.

**Keywords:** bread wheat, resistance monitoring, *Lr* genes, races

**Acknowledgements:** field experiments were supported by Budget Project No. FWNR-2022-0008, while laboratory research and the analysis of results by Grant No. 20-016-00093 A from the Russian Foundation for Basic Research.

**For citation:** Sochalova L.P., Boyko N.I., Poteshkina A.A., Piskarev V.V. Effective leaf rust resistance genes of wheat in Novosibirsk Province in connection with the variability of the *Puccinia triticina* population. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):235-244. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-235-244

## Введение

Эволюция популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia triticina* Erikss. происходит сопряженно с эволюцией растения-хозяина во времени и пространстве (Bianchin et al., 2012). Популяция гриба состоит из групп клонов, которые являются генетически однородными, могут достигать большой численности и в результате высоких миграционных способностей занимать большие территории (Bianchin et al., 2012). Основными факторами возникновения внутривидовой изменчивости гриба являются мутации и генетические рекомбинации, а миграции спор, генетические особенности возделываемых в производстве сортов и условия среды, в которых развивается популяция паразита, могут способствовать накоплению и широкому распространению некоторых рас (Liu et al., 2018).

В регионах Западной Сибири, к которой относится Новосибирская область, часто происходят серьезные эпидемии листовой ржавчины с ежегодными потерями урожая 15–30% (Morgounov et al., 2011). Изменения состава популяции *P. triticina* на территории Новосибирской области происходят под влиянием широкого возделывания в сельскохозяйственном производстве сортов яровой и озимой мягкой пшеницы с ограниченным числом генов устойчивости (*Lr1*, *Lr3a*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr26* и *Lr34*). Массовое использование в селекционных программах России источников этих генов привело к появлению рас, поражающих несущие их сорта, за исключением сортов с геном *Lr9* (Gulyaeva, 2012), которые поражались лишь в Западной Сибири (Meshkova et al., 2008; Sochalova, Khrisov, 2009) с 2007 по 2008 г.

В связи с заносом спор в Западную Сибирь из юго-западных регионов России и Казахстана (Gulyaeva et al., 2018), выращиванием сортов, несущих ряд генов устойчивости (*Lr20*, *Lr26*, *Lr9*, *Lr19* и др.), а также произрастанием в березовых колках на полях и в лесах промежуточного хозяина (василистник малый *Thalictrum minus* L.), могут происходить изменения в структуре популяции *P. triticina*. Следовательно, ежегодный мониторинг расового состава патогена является актуальным, а результаты изучения изменчивости гриба представляют собой полезные для селекции знания. Кроме того, сведения по устойчивости линий и сортов с известными генами в разные фазы вегетации пшеницы, динамике частот вирулентности, расовом составе *P. triticina* в Новосибирской области необходимы для координирования стратегии использования новых доноров устойчивости.

*Цель нашего исследования* – мониторинг изменчивости структуры популяции *P. triticina* в условиях лесостепи Приобья Новосибирской области, поиск эффективных генов резистентности для создания устойчивых сортов пшеницы.

## Материал и методики исследования

Эксперименты проводили в 2015–2019 гг. в лесостепи Приобья Новосибирской области. Поражение взрослых растений оценивали в условиях искусственного инфекционного фона (пос. Мичуринский) по шкале Петерсона (Peterson et al., 1948). Для устройства инфекционного фона с осени высевали полосами шириной 1 м озимую мягкую пшеницу сорта 'Альбидум 12' (универсально восприимчивый). В фазу колошения, при начале проявления бурой ржавчины, проводили опрыскивание водой в ранние утренние или вечерние часы и осуществляли

дополнительную инокуляцию растений спорами патогена. Восприимчивым контролем для яровых сортов являлся сорт 'Скала' (поражение 100% во все годы изучения), который высевали в один ряд вдоль тропинок с каждой стороны ярусов изучаемых сортов. На яровых сортах также проводили опрыскивание водой и дополнительную инокуляцию спорами, собранными в год изучения патогена.

Почва опытного участка – выщелоченный чернозем средней мощности. Климат резко континентальный, с низкими температурами зимой и высокими летом, при этом часты резкие изменения суточных температур в течение вегетационного периода (Voronina, Gritsenko, 2011). Среднегодовое количество осадков и температура по месяцам было неравномерное, при этом значения ГТК за вегетационный период характеризовали погодные условия в сравнении со среднегодовыми в основном как избыточно увлажненные (ГТК в 2015 г. – 1,78, в 2017 – 1,78; в 2018 – 1,67); 2016 год характеризовался как недостаточно увлажненный (ГТК = 1,06); 2019 год был близким к среднегодовому значению (ГТК = 1,32).

В лаборатории по методике Л. А. Михайловой и К. В. Квитко (Mikhailova, Kvitko, 1970) оценивали поражение почти изогенных линий и сортов с известными генами устойчивости при заражении 184 монопустульными изолятами гриба (2015 г. – 36 изолятов, 2016 – 40, 2017 – 36, 2018 – 37, 2019 – 35). Споры собирали на коллекционных и селекционных посевах пшеницы Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН) в период сильного проявления болезни. Инокулюм (популяцию и клоны гриба) возобновляли и культивировали на отрезках листьев восприимчивого сорта 'Скала'. Семена линий и сортов-дифференциаторов проращивали в чашках Петри на вате, на 10–14 день после посева нарезали отрезки листьев длиной 3–5 см., раскладывали в полипропиленовые контейнеры с прозрачной крышкой на смоченные 0,04-процентным раствором бензимидазола ватные маты (по 2 повторения каждого дифференциатора) и проводили инокуляцию спорами размноженных монопустульных изолятов. Споры наносили в виде водной суспензии мелкодисперсным распылителем. После инокуляции контейнер закрывали и помещали в темноту на ночь при температуре 18–22°C. Утром контейнеры извлекали и помещали на светоустановку с регулируемой длиной дня (16 ч) и температурой (18–22°C). Тип реакции на заражение учитывали на 8-й день по шкале Майнса и Джексона (Mains, Jackson, 1926), где 0–2 балла – устойчивость (R), 3–4 – восприимчивость (S). Расы в местной популяции *P. triticina* определяли по североамериканской системе Лонга и Колмера (Long, Kolmer, 1989) на четырех наборах почти изогенных *Lr*-линий серии Thatcher (Tc) и сортов, несущих гены: 1 – *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3a*; 2 – *Lr9*, *Lr16*, *Lr24*, *Lr26*; 3 – *Lr3ka*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr30*; 4 – *LrB*, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr18*. Дополнительно в исследование были включены два набора линий и сортов с генами устойчивости: 5 – *Lr19*, *Lr20*, *Lr28*, *Lr39*; 6 – *Lr6Agi2*, *Lr6Agi1*, *LrKu*, *LrSp2*.

## Результаты исследования

В 2015–2019 гг. в условиях искусственного инфекционного фона популяцией *P. triticina* сильно (70–100%) по-

ражались линии и сорта пшеницы, несущие гены *LrB*, *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2d*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr15*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr22b*, *Lr20*, *Lr26*, *Lr33*, *Lr30*, *Lr32*, *Lr34*, *Lr48* (табл. 1). В 2017 г. линия Thatcher, несущая ген *Lr38*, утратила устойчивость к патогену, а максимальное поражение (90%) отмечено в 2018 г.

Ряд образцов в стадии молочно-восковой спелости зерна различались по уровню устойчивости к популяции гриба в годы изучения. Высокоустойчивыми были линии Thatcher и сорта с генами *Lr29*, *Lr21* (0–5% поражения), *Lr48+Lr34* (0–10%) и *Lr44* (0–10%), среднеустойчива линия *TcLr13* (0–20%), умеренно поражалась

**Таблица 1.** Пораженность почти изогенных линий Thatcher (Tc) и сортов мягкой пшеницы на искусственном инфекционном фоне, 2015–2019 гг.

**Table 1.** Development of leaf rust on near-monogenic Thatcher (Tc) lines and cultivars under the conditions of artificial infection pressure, 2015–2019

Линия, сорт с <i>Lr</i> -геном	Степень поражения, %				
	2015	2016	2017	2018	2019
TcLr1	100	100	90	100	100
TcLr2b	100	100	80	100	100
TcLr2c	100	100	90	100	100
TcLr3a	100	90	80	100	100
TcLr3bg	100	90	90	90	100
TcLr3ka	100	90	90	90	90
TcLr9	100	80	60	100	60
TcLr10	100	90	80	100	90
TcLr11	100	80	80	100	80
TcLr12	1	0	0	1	0
TcLr13	1	0	20	1	5
TcLr14a	100	100	80	100	90
TcLr14b	–	60	40	80	100
TcLr15	100	90	80	100	100
TcLr16	100	100	80	100	100
TcLr17	–	100	70	100	100
TcLr18	10	1	50	90	40
TcLr19	0	0	0	0	0
TcLr20	100	80	80	90	100
TcLr25	0	0	0	0	0
TcLr26	80	90	80	100	90
TcLr29	0	1	5	0	1
TcLr30	80	90	80	100	90
TcLr32	100	100	90	100	90
TcLr33	100	80	90	100	70
TcLr34	100	80	40	80	80
TcLr35	0	0	0	0	0
TcLr37	20	1	30	20	20
TcLr38	0	0	60	90	60
TcLr44	1	0	1	0	10

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Линия, сорт с Lr-геном	Степень поражения, %				
	2015	2016	2017	2018	2019
TcLr45	0	0	0	0	0
TcLr52	0	0	0	0	0
TcLrB	100	90	70	100	80
Webster (Lr2a)	100	90	100	100	100
Agatha (Lr19)	0	0	0	0	0
Thatcher (Lr22b)	100	100	90	100	100
Marguis (Lr23)	0	0	0	0	0
Thew (Lr23)	-	-	0	0	0
Agent (Lr24)	0	0	0	0	0
CS2A/2M (Lr28)	0	0	0	0	0
Pavon F 76 (Lr46)	50	15	30	60	80
Pavon (Lr47)	0	0	0	0	0
Condor (Lr48)	-	90	80	100	100
KS 89 WGRC 07 (Lr21)	0	0	10	1	5
KS 90 WGRC 10 (Lr39)	0	0	0	0	0
KS 91 WGRC 11 (Lr42)	0	0	0	0	0
KS 96 WGRC 36 (Lr50)	0	0	0	0	0
Тулайковская 10 (Lr6Agi2)	0	0	0	0	0
Фаворит (Lr6Agi1)	0	0	0	0	0
Лютесценс 13 (LrKu)	0	0	0	0	0
Челяба 75 (LrSp2)	0	0	0	0	0
Алтайская 110 (Lr9+Lr10+Lr1)	100	80	70	100	80
Ac Minto (Lr11+Lr13+Lr22a)	0	0	0	0	0
AC Taber (Lr13+ LrTb)	0	0	0	0	0
Етюд (Lr24+Lr26)	0	0	0	0	0
WL 711 (Lr34+Lr13)	0	0	0	0	0
Ellison (Lr37+Lr13)	0	0	0	0	0
Septima (Lr37+Lr1)	0	0	0	0	0
Anza (Lr37+Lr-супрессор)	-	-	70	100	100
KS 91 WGRC 16 (Lr43+Lr24)	0	0	0	0	0
CSP 44 (Lr48+Lr34)	0	0	0	1	10
VL 404 (Lr49+Lr34)	0	0	0	0	0
Тулайковская 110 (Lr6Agi1+Lr19)	0	0	0	0	0
Тулайковская 5 (Lr6Agi2+Lr10+ Lr34)	0	0	0	0	0
Скала (восприимчивый контроль)	100	100	100	100	100

линия TcLr37 (1–30%). Поражение патогеном образца Ravon F 76 (ген Lr46) варьировало по годам от 15% (2016 г.) до 80% (2019 г.). Следует отметить, что гены Lr13, Lr34, Lr37 и Lr46 определяют устойчивость взрослых растений.

Высокую устойчивость (0–1%) к болезни в условиях искусственного инфекционного фона проявили почти изогенные линии и образцы пшеницы с генами Lr12 (TcLr12), Lr19 ('Agatha', 'Добрыня'), Lr24 ('КВС Аквилон', 'Agent'), Lr25 (TcLr25), Lr28 (CS2A/2M), Lr35 (TcLr35), Lr39 (KS 90 WGRC 10), Lr42 (KS 91 WGRC 11), Lr45 (TcLr45), Lr47 ('Ravon'), Lr50 (KS 96 WGRC 36), Lr52 (TcLr52), Lr6Agi1 ('Фаворит'), Lr6Agi2 ('Тулайковская 10'), LrKu (Лютесценс 13), LrSp2 ('Челяба 75') и их сочетанием – Lr6Agi1+Lr19 ('Тулайковская 110'), Lr6Agi2+Lr10+Lr34 ('Тулайковская 5'), Lr11+Lr13+Lr22a ('Ac Minto'), Lr13+LrTb ('AC Taber'), Lr24+Lr26 ('Етюд'), Lr37+Lr1 ('Septima'), Lr34+Lr13 (WL711), Lr37+Lr13 ('Ellison'), Lr49+Lr34 (VL 404), Lr43+Lr24 (KS 91 WGRC 16).

При анализе монопустьных изолятов урединиопуляции *P. tritricina* из лесостепи Приобья Новосибирской области ежегодно высокие частоты вирулентности отмечали на линиях с генами Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr30 и LrB (от 66,7 до 100%). Все изоляты были авирулентны к образцам с генами Lr24 (основной набор), Lr28, Lr39, Lr19, Lr25, Lr6Agi2, Lr6Agi1, LrKu и LrSp2 (дополнительные наборы). Частота клонов, поражающих линию TcLr26, варьировала по годам от 14,3% (2018 г.) до 62,5% (2019 г.), к TcLr9 – от 28,1% (2019 г.) до 51,0% (2017 г.). Частота клонов, вирулентных к TcLr14b, варьировала от средней (42,0%) в 2017 г. до высокой (81,3–96,3%) в остальные годы (табл. 2).

В лесостепи Приобья Новосибирской области в популяции *P. tritricina* выявлено 27 рас, из них 12 широко представленных (табл. 3) и 8 редких (табл. 4), которые наблюдали в отдельные годы. Все выявленные расы не поражали линии и сорта, несущие гены Lr24, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu и LrSp2.

**Таблица 2.** Частота изолятов *Puccinia tritricina* Erikss., вирулентных к линиям Thatcher (Tc) и сортам, 2015–2019 гг.  
**Table 2.** Frequencies of *Puccinia tritricina* Erikss. virulent to Thatcher (Tc) lines and cultivars, 2015–2019

Линия, сорт с Lr-геном	Частота вирулентных клонов, %				
	2015	2016	2017	2018	2019
TcLr1	96,3	96,9	90,4	100	93,8
Webster (Lr2a)	88,2	96,3	96,9	85,7	90,6
TcLr2c	100	100	92,2	90,5	96,9
TcLr3a	100	100	88,2	71,4	84,4
TcLr3ka	100	100	86,3	81,0	68,8
TcLr9	48,2	43,8	51,0	33,3	28,1
TcLr10	100	98,4	78,4	98,3	95,2
TcLr11	100	98,4	90,2	66,7	71,9
TcLr14b	96,3	95,3	42,0	95,8	81,3
TcLr16	100	100	86,5	95,2	84,4
TcLr17	96,3	96,3	88,5	100	87,5
TcLr18	–	–	88,2	88,2	84,4
TcLr19	0	0	0	0	0
TcLr20	92,5	92,5	89,2	95,2	68,8
Agent (Lr24)	0	0	0	0	0
TcLr26	29,6	29,6	31,4	14,3	62,5
CS2A/2M (Lr28)	0	0	0	0	0
TcLr30	100	100	90,2	100	65,6
TcLrB	–	–	90,2	100	95,2
KS 90 WGRC 10 (Lr39)	0	0	0	0	0
Тулайковская 10 (Lr6Agi2)	0	0	0	0	0
Фаворит (Lr6Agi1)	0	0	0	0	0
Лютесценс 13 (LrKu)	0	0	0	0	0
Челяба 75 (LrSp2)	0	0	0	0	0
Скала (восприимчивый контроль)	100	100	100	100	100

**Таблица 3. Характеристика фенотипов, широко представленных в новосибирской популяции *Puccinia triticina* Erikss. (2015–2019 гг.)****Table 3. Virulence characteristics of phenotypes widely represented in the Novosibirsk population of *Puccinia triticina* Erikss. (2015–2019)**

Вирулентность к образцам, несущим гены	Авирулентность к образцам, несущим гены	Фенотип	Средняя частота, %
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr9, Lr24, Lr26, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TGTT GB	7,1
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr9, Lr24, Lr26, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TGTR GB	6,5
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr24, Lr26, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TQTT GB	6,5
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr24, Lr26, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TQTR GB	6,5
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr3ka, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr9, Lr24, Lr26, Lr11, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TGPT GB	6,5
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr26, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr9, Lr24, Lr3ka, Lr11, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	THFR GB	5,4
<i>Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr1, Lr9, Lr24, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	KHTT GB	5,4
<i>Lr1, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr26, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr24, Lr3ka, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	PHKT GB	5,4
<i>Lr1, Lr2c, Lr3a, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr2a, Lr24, Lr26, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	PQTT GB	4,9
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr14b, Lr18</i>	<i>Lr9, Lr24, Lr10, Lr19, Lr20, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	THTP BB	4,9
<i>Lr1, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	PGFR GB	4,9
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr16, Lr3ka, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr3a, Lr9, Lr24, Lr26, Lr11, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	SGPR GB	4,9

**Таблица 4. Характеристика вирулентности фенотипов *Puccinia triticina* Erikss., редко встречающихся в новосибирской популяции (2015–2019 гг.)****Table 4. Virulence characteristics of phenotypes rarely found in the Novosibirsk population of *Puccinia triticina* Erikss. (2015–2019)**

Вирулентность к образцам, несущим гены	Авирулентность к образцам, несущим гены	Фенотип	Средняя частота, %
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr9, Lr16, Lr24, Lr26, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TBTT GB	1,6
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr9, Lr16, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr24, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TRTT GB	1,6
<i>Lr2a, Lr2c, Lr9, Lr16, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr1, Lr3a, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr17, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	JQHT GB	1,1
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18</i>	<i>Lr3a, Lr24, Lr26, Lr19, Lr20, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	SQTT BB	1,1

Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

Вирулентность к образцам, несущим гены	Авирулентность к образцам, несущим гены	Фенотип	Средняя частота, %
<i>Lr1, Lr2a, Lr3a, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr2c, Lr24, Lr26, LrB, Lr10, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	RQTC GB	1,1
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr9, Lr16, Lr3ka, Lr17, Lr30, Lr10, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr3a, Lr24, Lr26, Lr11, LrB, Lr14b, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	SQPH GB	0,5
<i>Lr1, Lr3a, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr2a, Lr2c, Lr9, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	MBKT GB	0,5
<i>Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr9, Lr3ka, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14b, Lr18, Lr20</i>	<i>Lr16, Lr24, Lr26, Lr17, Lr19, Lr28, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2</i>	TLRT GB	0,5

### Обсуждение

Наши результаты указывают на отсутствие в новосибирской популяции *P. triticina* клонов, поражающих линии и сорта с генами *Lr24, Lr28, Lr19, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu* и *LrSp2*. Наиболее агрессивная, редкая раса TRTT поражала весь набор, кроме сортов и линий с генами *Lr24, Lr28, Lr19, Lr39, Lr6Agi1, Lr6Agi2, LrKu, LrSp2*, в том числе линии с широко распространенными в сортах российской селекции генами *Lr9* и *Lr26* (Gulyaeva et al., 2009). В отношении гена *Lr24* есть резкие расхождения с результатами мониторинга популяции *P. triticina* в Западной Сибири. Согласно данным Л. В. Мешковой с соавторами (Meshkova et al., 2018), на территории Омской области в популяции *P. triticina* клоны, вирулентные к сортам, несущим ген *Lr24*, выявлялись с частотой 46,6–74,2%; сходные результаты получены и в Красноярском крае (Восточная Сибирь) (Meshkova et al., 2019). В то же время, по данным Е. И. Гульяевой с соавторами (Gulyaeva et al., 2015; Gulyaeva et al., 2018), вирулентность к образцам с геном *Lr24* в регионах России не выявлена, то есть ген высокоэффективен против российских популяций *P. triticina*. Рассматривая популяции патогена в мире, можно отметить, что в Китайской Народной Республике не поражают сорта и линии, несущие гены *Lr9, Lr19, Lr28, Lr47, Lr51* и *Lr53* (Gao et al., 2018). На территории государств Южной Африки эффективны гены *Lr45, Lr47, Lr9, Lr19, Lr28, Lr29, Lr35, Lr25, Lr38, Lr51* и *Lr52* (Boshoff et al., 2018). В Индии сохраняют устойчивость сорта с генами *Lr24, Lr9, Lr10, Lr19* и *Lr28* (Prasad et al., 2017), а на территории Ирана в 2011 г. отсутствовали факторы вирулентности к сортам с генами *Lr19, Lr25, Lr28* (Farid et al., 2013).

Можно отметить, что расы (TGT<sub>-</sub>, THT<sub>-</sub>, RQT<sub>-</sub>) были выявлены на различных сортах яровой мягкой пшеницы в Омской области в 2016 г. (Gulyaeva et al., 2018), при этом самыми распространенными являлись расы TGT<sub>-</sub>, что согласуется с нашими данными. Состав рас в Западной Сибири значительно изменился в сравнении с 2010 г. В 2006–2010 гг. в Западной Сибири, по данным Дж. Колмера, наиболее распространенной была раса ТВР<sub>-</sub> (38,6%) (Kolmer et al., 2015), однако данная раса не выявлена в исследованиях Е. А. Гульяевой с соавторами (Gulyaeva et al., 2018). Наши данные подтвердили эти результаты. Раса ТВТ<sub>-</sub>, выявленная в 2006–2010 гг. с частотой 12,9%, в нашем исследовании обнаружена с частотой

1,6%. В сравнении с результатами 2006–2010 гг. (Kolmer et al., 2015) увеличилась частота клонов, вирулентных к образцам с генами устойчивости *Lr9* (с 23,1% до 28,1–51,0%), *Lr11* (с 28,2% до 66,7–100%), *Lr16* (с 2,6% до 84,4–100%), *Lr18* (с 5,1% до 84,4–88,2%), *LrB* (с 59,0% до 90,2–100%) и *Lr26* (с 12,8% до 14,3–62,5%).

### Заключение

В 2015–2019 гг. в лесостепи Приобья Новосибирской области высокую устойчивость к бурой ржавчине проявили сорта и линии яровой мягкой пшеницы с генами устойчивости *Lr19* (ТсLr19 и 'Добрыня'), *Lr24* ('Agent', 'КВС Аквилон'), *Lr28* (CS2A/2M), *Lr25* (ТсLr25), *Lr39* (KS 90 WGRC 10), *Lr42* (KS 91 WGRC 11), *Lr6Agi2* ('Тулайковская 10'), *Lr6Agi1* ('Фаворит'), *LrKu* (Лютесценс 13), *Lr52* (ТсLr52), *Lr50* (KS 96 WGRC 36), *Lr47* ('Pavon'), *Lr45* (ТсLr45), *Lr35* (ТсLr35), *Lr23* ('Marguis', 'Thew') и *LrSp2* ('Челяба 75'). Выявлено 12 широко распространенных рас *P. triticina*: TGTT GB, TGTR GB, TQTT GB, TQTR GB, TGPT GB, THFR GB, KH TT GB, PHKT GB, PQTT GB, TH TP BB, PGFR GB, SGPR GB. Выявлена высокая частота изолятов (66,7–100%), вирулентных к генам *Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr30* и *LrB*. Все изученные изоляты были авирулентны к образцам с генами *Lr24* ('Agent', 'КВС Аквилон'), *Lr19, Lr25, Lr6Agi2* ('Тулайковская 10'), *Lr28* (CS2A/2M), *Lr39* (KS 90 WGRC 10), *Lr6Agi1* ('Фаворит'), *LrKu* (Лютесценс 13) и *LrSp2* ('Челяба 75').

### References / Литература

- Bianchin V., Barcellos A.L., Reis E.M., Turra C. Genetic variability of *Puccinia triticina* Eriks. in Brazil. *Summa Phytopathologica*. 2012;38(2):113-118. DOI: 10.1590/S0100-54052012000200001
- Boshoff W.H.P., Labuschagne R., Terefe T., Pretorius Z.A., Visser B. New *Puccinia triticina* races on wheat in South Africa. *Australasian Plant Pathology*. 2018;47(3):325-334. DOI: 10.1007/s13313-018-0560-1
- Farid M., Afshari F., Khodarahmi M., Mohamadi M. Analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) brown rust (*Puccinia triticina*) disease factor and identification of resistance genes in wheat germ plasms in Iran. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2013;46(12):1417-1429. DOI: 10.1080/03235408.2013.769314

- Gao P., Zhou Yu., Gebrewahid T.W., Zhang P., Yan X., Li X. et al. Identification of known leaf rust resistance genes in common wheat cultivars from Sichuan province in China. *Crop Protection*. 2019;115:122-129. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.09.012
- Gulyaeva E.I. Methods of identification of wheat resistance genes to leaf rust using DNA markers and characterization of the effectiveness of *Lr* genes (Metody identifikatsii genov ustoychivosti pshenitsy k buroy rzhavchine s ispolzovaniyem DNK-markeroi i kharakteristika effektivnosti *Lr*-genov). St. Petersburg: VIZR; 2012. [in Russian] (Гультьева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2012).
- Gulyaeva E.I., Kanyuka I.A., Alpat'eva 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;35(5):316-319. DOI: 10.3103/S1068367409050085
- Gulyaeva E.I., Shaidayuk E.L., Kazartsev I.A., Aristova M.K. Structure of Russian populations of *Puccinia triticina*. *Plant Protection News*. 2015;3(85):5-10. [in Russian] (Гультьева Е.И., Шайдаук Е.Л., Казарцев И.А., Аристова М.К. Структура российских популяций гриба *Puccinia triticina* Erikss. *Вестник защиты растений*. 2015;3(85):5-10).
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Shamanin V.P., Akhmetova A.K., Tyunin V.A., Shreyder E.R. et al. Genetic structure of Russian and Kazakhstani leaf rust causative agent *Puccinia triticina* Erikss. populations as assessed by virulence profiles and SSR markers. *Agricultural Biology*. 2018;53(1):85-95. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.85eng
- Kolmer J.A. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* in Canada in 1998. *Plant Disease*. 2001;85(2):155-158. DOI: 10.1094/PDIS.2001.85.2.155
- Kolmer J.A., Kabdulova M.G., Mustafina M.A., Zhemchuzhina N.S., Dubovoy V. Russian populations of *Puccinia triticina* in distant regions are not differentiated for virulence and molecular genotype. *Plant Pathology*. 2015;64(2):328-336. DOI: 10.1111/ppa.12248
- Krivchenko V.I., Odintsova I.G., Makarova N.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 453. Cereal crop cultivars with known genes of resistance to fungal diseases (Sorta zernovykh kultur s izvestnyimi genami ustoychivosti k gribnym bolezniam). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Кривченко В.И., Одицова И.Г., Макарова Н.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 453. Сорты зерновых культур с известными генами устойчивости к грибным болезням. Ленинград: ВИР; 1988).
- Liu T., Ge R., Ma Y., Liu B., Gao L., Chen W. Population genetic structure of Chinese *Puccinia triticina* races based on multi-locus sequences. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018;17(8):1779-1789. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61923-9
- Long D.L., Kolmer J.A. A North American system of nomenclature for *Puccinia triticina* f. sp. *trilici*. *Phytopathology*. 1989;79(5):525-529. DOI: 10.1094/Phyto-79-525
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16(2):89-120.
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shreyder E.R., Sidorov A.V. Virulence of wheat leaf rust pathogen pathotypes to Thatcher Lr 9 in the regions of Siberia and the Urals (Virulentnost patotipov возбуdivatelya buroy rzhavchiny pshenitsy k ThLr9 v regionakh Sibiri i Urala). In: *Modern Problems of Plant Immunity to Harmful Organisms: Collection of papers for the Second All-Russian Conference (Sovremennye problemy immuniteta rasteniy k vrednym organizmam: Sbornik statey vtoroy Vserossiyskoy konferentsii)*. St. Petersburg: VIZR; 2008. p.70-73. [in Russian] (Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Шрейдер Е.Р., Сидоров А.В. Вирулентность патотипов возбуdivatelya бурой ржавчины пшеницы к ThLr9 в регионах Сибири и Урала. *Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам: Сборник статей второй Всероссийской конференции*. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2008. С.70-73).
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Sidorov A.V., Sabaeva O.V., Zverovskaya T.S., Belan I.A. Physiological specialization of brown rust pathogen on the wheat in Krasnoyarsk Region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2019;1(142):29-36. [in Russian] (Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Сидоров А.В., Сабеева О.В., Зверовская Т.С., Белан И.А. Физиологическая специализация возбуdivatelya бурой ржавчины в Красноярском крае. *Вестник КрасГАУ*. 2019;1(142):29-36).
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Zverovskaya T.S., Sabaeva O.B., Belan I.A. Virulence of natural population of the pathogen brown rust wheat in the Omsk region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(11-2):279-283. [in Russian] (Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Зверовская Т.С., Сабеева О.В., Белан И.А. Вирулентность природной популяции возбуdivatelya бурой ржавчины пшеницы в Омской области. *Успехи современного естествознания*. 2018;(11-2):279-283).
- Mikhailova L.A., Kvitko K.V. Laboratory methods of wheat leaf rust pathogen cultivation (Laboratornye metody kultivirovaniya возбуdivatelya buroy rzhavchiny pshenitsy). *Mycology and Phytopathology*. 1970;4(4):269-273. [in Russian] (Михайлова Л.А., Квитко К.В. Лабораторные методы культивирования возбуdivatelya бурой ржавчины пшеницы. *Микология и фитопатология*. 1970;4(4):269-273).
- Morgounov A., Ablova I., Babayants O., Babayants L., Bespalova L., Khudokormov Zh. et al. Genetic protection of wheat from rusts and development of resistant varieties in Russia and Ukraine. *Euphytica*. 2011;179(2):297-311. DOI: 10.1007/s10681-010-0326-5
- Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*. 1948;26(5):496-500. DOI: 10.1139/cjr48c-033
- Prasad P., Bhardwaj S.C., Gangwar O.P., Kumar S., Khan H., Kumar S. et al. Population differentiation of wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* in South Asia. *Current Science*. 2017;112(10):2073-2084. DOI: 10.18520/cs/v112/i10/2073-2084
- Sochalova L.P., Khristov Yu.A. The effect of a variety genotype on the population structure of *Puccinia recondite*, the casual agent of brown rust in wheat. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2009;10(202):61-67. [in Russian] (Сочалова Л.П., Христов Ю.А. Влияние генотипа сорта на структуру популяции возбуdivatelya бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondite*. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009;10(202):61-67).
- Voronina L.V., Gritsenko A.G. Climate and ecology of Novosibirsk Province (Klimat i ekologiya Novosibirskoy oblasti). Novosibirsk: SSGA; 2011. [in Russian] (Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА; 2011).

### *Информация об авторах*

**Любовь Павловна Сочалова**, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, sochalova@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4674-6639>

**Наталья Ивановна Бойко**, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, n.bojko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5026-4907>

**Алина Александровна Потешкина**, агроном 1 категории, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, poteshkina@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2468-4975>

**Вячеслав Васильевич Пискарев**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, piskaryov\_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9225-5227>

### *Information about the authors*

**Lyubov P. Sochalova**, Senior Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, sochalova@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4674-6639>

**Natalya I. Boyko**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, n.bojko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5026-4907>

**Alina A. Poteshkina**, Associate Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, poteshkina@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2468-4975>

**Vyacheslav V. Piskarev**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, piskaryov\_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9225-5227>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.01.2022; одобрена после рецензирования 20.12.2022; принята к публикации 01.06.2023. The article was submitted on 12.01.2022; approved after reviewing on 20.12.2022; accepted for publication on 01.06.2023.