



ISSN 1727-1320 (Print),  
ISSN 2308-6459 (Online)

# ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2020 ТОМ **103** ВЫПУСК **2**  
VOLUME ISSUE



**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ У НОВЫХ ДОПУЩЕННЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ****О.А. Баранова**

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

e-mail: baranova\_oa@mail.ru

В связи с увеличением вредоносности стеблевой ржавчины (возбудитель – *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) на территории Российской Федерации и угрозой распространения вирулентных рас гриба, в том числе расы Ug99, особое значение приобретает анализ разнообразия по генам устойчивости к патогену (*Sr* генам) российских, допущенных к использованию сортов пшеницы. В данной работе были оценены 32 новых сорта мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2017–2018 гг., по устойчивости к стеблевой ржавчине на стадии проростков и проведена идентификация *Sr* генов с использованием молекулярных маркеров. Для анализа устойчивости сортов была взята омская популяция возбудителя стеблевой ржавчины 2018 г., а также монопустульные изоляты PgtF1 и PgtZ1, выделенные из саратовской и ростовской популяций патогена. Фитопатологическую оценку проводили по стандартной лабораторной методике на интактных проростках. Анализ вирулентности *P. graminis* f. sp. *tritici* был выполнен на наборе из 20 дифференциаторов (North American differential set) и 35 добавочных *Sr* линиях. Для идентификации генов устойчивости (*Sr2*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr38*, *Sr57* и *Sr1A1R*) использовали специфичные праймеры. Выделены высокоустойчивые к стеблевой ржавчине сорта мягкой пшеницы с идентифицированными генами устойчивости: Астарта (*Sr31*), Веха (*Sr31*), Обская озимая (*Sr31*), Леонида (*Sr31*), Караван (*Sr31*), Алексеич (*Sr31*), Степь (*Sr31*), Безостая 100 (*Sr31*+*Sr57*), Жива (*Sr31*+*Sr57*), Ваня (*Sr31*+*Sr57*) и Велена (*Sr31*+*Sr28*). Сорта Велена, Жива, Ваня и Безостая 100 имеют сочетания гена *Sr31*, эффективного против российских популяций *P. graminis* f. sp. *tritici*, и генов *Sr28* и *Sr57*, эффективных против расы Ug99 и ее биотипов, что обуславливает перспективность этих сортов для возделывания в условиях эпифитотийного развития болезни.

**Ключевые слова:** пшеница, устойчивость, стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), *Sr* гены, молекулярные маркеры

Поступила в редакцию: 10.03.2020

Принята к печати: 29.05.2020

**Введение**

Устойчивость к биотическим и абиотическим факторам – одно из важнейших требований, предъявляемых к современным сортам сельскохозяйственных растений, в том числе к пшенице. Устойчивый сорт – основа интегрированной системы защиты растений. Ржавчинные заболевания (бурая, желтая и стеблевая ржавчины) – особо опасные заболевания пшеницы. Среди них стеблевая ржавчина (возбудитель – биотрофный гриб *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. & Henning) наиболее вредоносна. Появление в Уганде в 1999 г. новой высоко агрессивной расы Ug99 (ТТКСК), поразившей сорта пшеницы с геном *Sr31*, сохранявшим эффективность на протяжении более 30 лет, поставило под угрозу производство пшеницы во всем мире. При эпифитотийном развитии болезни на восприимчивых сортах потери урожая могут достигать от 50 до 100% (Hailu et al., 2015). Позднее появились биотипы расы Ug99, поражающие также сорта с генами *Sr24* (раса ТТКСТ) и *Sr36* (ТТТСК). К 2018 г. насчитывается уже 13 биотипов этой расы (СИММУТ). На настоящий момент раса Ug99 распространилась в страны Африки и Ближнего Востока и мигрирует в направлении Средней и Юго-Восточной Азии. Возможен ее занос и на территорию Российской Федерации. С другой стороны, в последние годы наблюдается усиление вредоносности стеблевой ржавчины

и на территории России: эпифитотийное развитие болезни отмечалось в 2015–2018 гг. в Западной Сибири и Нижнем Поволжье. (Sibikeev et al., 2017; Сколотнева и др., 2020). В 2016 г. распространение стеблевой ржавчины отмечалось на посевах яровой мягкой пшеницы в период колошения на всей территории Республики Татарстан. Все сорта пшеницы, рекомендованные для возделывания в Татарстане, были восприимчивы, кроме сортов Тулайковская 5 и Белка, а также образцов *Triticum dicoccum* Schrank (Василова и др., 2017). По данным Росгидромета на территории нашей страны происходит изменение климата в сторону увеличения температуры и влажности, что создает благоприятные условия для развития возбудителя стеблевой ржавчины. В результате селекции, направленной на продуктивность и качество зерна, произошло сильное обеднение генофонда пшеницы по многим признакам, в том числе и по устойчивости к грибным болезням. Большинство современных сортов пшеницы восприимчивы к возбудителю стеблевой ржавчины, а устойчивые российские сорта в основном защищены генами *Sr31* и *Sr25* (Волкова, Синяк, 2011).

Целью работы был анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация *Sr* генов у новых сортов пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2017–2018 гг.

**Материалы и методы**

В работе использовали 32 сорта мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2017–2018 гг. Для анализа устойчивости растений к стеблевой ржавчине использовали монопустульные

изоляты, выделенные из популяций *P. graminis* f. sp. *tritici*, собранных в Лысогорском районе Саратовской области и Зерноградском районе Ростовской области в 2017 г., а также омскую популяцию патогена 2018 г.

Фитопатологическую оценку проводили по стандартной лабораторной методике на проростках (Jin et al., 2007). Образцы, взятые в анализ, выращивали в пластиковых кюветах 11×15×6 см, наполненных почвоторфяным грунтом «Терра Вита» на светоустановках при 21–23 °С с 14-часовым фотопериодом. В каждую кювету высаживали по 10 образцов (по три растения на образец) плюс восприимчивый контроль – сорт Хакасская. Десятидневные проростки с полностью развернутым первым листом инокулировали суспензией спор *P. graminis* (концентрация 1 мг/мл). Инокулированные растения помещали во влажную камеру в темноту на 16 ч. при 24 °С и относительной влажности 100%, а затем возвращали на светоустановку при 26 °С. Реакцию проростков образцов пшеницы на инокуляцию суспензией спор возбудителя стеблевой ржавчины учитывали на 10–12-е сутки после заражения по 4-балльной шкале Е.С. Stakman и М.Н. Levine (1962): «0» – отсутствие видимых симптомов (иммунная реакция); «0;» – мелкие некротические пятна, урединиопустулы отсутствуют; «1» – мельчайшие урединиопустулы, окруженные некротическими областями; «2» – небольшие урединиопустулы, окруженные некрозом или хлорозом; «3» – средние урединиопустулы, некроз отсутствует, могут быть окружены хлорозом; «4» – большие, часто сливающиеся урединиопустулы, как правило, без хлороза. Знаки «+» или «-», связанные с типом реакции, обозначают урединиопустулы, которые, соответственно, больше или меньше, чем классически описанные размеры. Типы реакции от «0» до «2» соответствуют устойчивости, «3» и «4» – восприимчивости образца. Оценка на устойчивость проводили в двух повторностях.

Анализ вирулентности *P. graminis* f. sp. *tritici* был выполнен на наборе из 20 почти изогенных линий-дифференциаторов (North American differential set: *Sr5*, *Sr21*, *Sr9e*, *Sr7b*, *Sr11*, *Sr6*, *Sr8a*, *Sr9g*, *Sr36*, *Sr9b*, *Sr30*, *Sr17*,

*Sr9a*, *Sr9b*, *Sr10*, *SrTmp*, *Sr24*, *Sr31*, *Sr38*, *SrMcN*), других линиях с *Sr* генами (*Sr2compl*, *Sr8b*, *Sr11*, *Sr12*, *Sr13*, *Sr15*, *Sr17+13*, *Sr20*, *Sr22*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr27*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr32*, *Sr33+5*, *Sr33*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr39*, *Sr40*, *Sr44*, *SrDb*, *SrWLD*, *SrWLD-1*, *Sr24+31*, *Sr36+31*, *Sr24+31*, *Sr31+36*, *Sr24+36*, *Sr2+23*, *Sr7a+12*, *Sr7b+18*, *Sr26+9g*), сортах Аврора (*Sr31*) и Хакасская (восприимчивый контроль).

ДНК выделяли из 5-дневных проростков растений пшеницы СТАВ методом (Murray, Thompson, 1980). Для идентификации генов устойчивости использовали тесно сцепленные с ними маркеры, которые выявляют в ПЦР со специфичными праймерами: маркер *csSr2* для гена *Sr2* (Mago et al., 2011); *Gb* для *Sr25/Lr19* (Ayala-Navarrete et al., 2007); *Sr26#43* для *Sr26* (Mago et al., 2005); *scm9* для *Sr31/Lr26* (Weng et al., 2007); *csSr32#1* и *csSr32#2* для гена *Sr32* (Mago et al., 2013); *Xcfa2071* и *XBF485004* для *Sr35* (Zhang et al., 2010); *Xcmwg682* для *Sr38* (Helguera et al., 2003); *Xwmc477* и *Xstm773-2* для *Sr36* (Tsilo et al., 2008); *wPt-7004-PCR* и *Xwmc332* для *Sr28* (Rouse et al., 2012); *csLV34* для *Sr57/Lr34* (Lagudah et al., 2006). В качестве положительного контроля реакции использовали изогенные линии или сорта, несущие анализируемые гены, в качестве отрицательного контроля – восприимчивый сорт Хакасская. ПЦР проводили в амплификаторе C1000 Thermal Cycler (Bio-Rad). Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 2% агарозных гелях, окрашенных бромистым этидием, при напряженности 100 В в 0,5× ТБЕ буфере. В качестве маркера молекулярной массы использовали GeneRuler™ 50kb DNA Ladder (Fermentas). Все ПЦР для анализируемых образцов пшеницы со всеми праймерами проводили не менее, чем в двух повторностях. Наличие или отсутствие искомого *Sr* гена определяли по наличию или отсутствию соответствующего диагностического фрагмента для маркера, сцепленного с этим геном.

## Результаты

### Фитопатологический анализ устойчивости к возбудителю стеблевой ржавчины

Для анализа устойчивости сортов были взяты омская популяция возбудителя стеблевой ржавчины 2018 г. и монопустульные изоляты PgtF1 и PgtZ1, выделенные из саратовской и ростовской популяций патогена. Против омской популяции гриба эффективны гены *Sr2*, *Sr9e*, *Sr30*, *Sr13*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr20*, *Sr27*, *Sr37*, *Sr31* и сочетания генов *Sr24+Sr31*, *Sr36+Sr31*, *Sr26+Sr9g*. Расы монопустульных изолятов представлены в таблице 1. Нужно отметить, что ген *Sr31* пока сохраняет эффективность на территории Российской Федерации.

Результаты лабораторной оценки устойчивости сортов к стеблевой ржавчине на стадии проростков представлены в таблице 2. Из 32 сортов пшеницы, 11 сортов (34.4%) были устойчивы как к монопустульным изолятам гриба, так и к омской популяции патогена. Это сорта озимой мягкой пшеницы Обская озимая, Астартга, Леонида, Веха, Велена, Караван, Безостая 100, Алексеич, Степь, Жива и Ваня.

Сорта Прииртышская, Везелка, Базис, Универсиада, Дуплет и Граф были восприимчивы. Сорта Даная, Поволжская нива, Дарина, Туранус, Клавдия 2, Стрелецкая 12, Вид и Сварог устойчивы к омской популяции патогена.

Сорт Италмас устойчив к омской популяции гриба и монопустульному изоляту PgtZ1.

Все шесть изученных яровых сортов мягкой пшеницы были восприимчивы к монопустульному изоляту PgtZ1. Сорт Арабелла был устойчив к монопустульному изоляту, выделенному из лысогорской популяции патогена, и к омской популяции *P. graminis*. Сорта Каликсо и Сонетт устойчивы к омской популяции патогена, а сорт Рима средне устойчив (тип реакции 2+) к монопустульному изоляту PgtF1. Сорта Воронежская 18 и Ликамеро были восприимчивы.

### Идентификация генов устойчивости

У изученных сортов идентифицирован ген *Sr31*, который обуславливает устойчивость к местным популяциям *P. graminis*, но неэффективен к расе Ug99 (табл. 2). Для его идентификации был использован маркер *scm9*, выявляющий ржаную транслокацию 1BL.1RS, несущую кластер генов устойчивости к стеблевой (*Sr31*), бурой (*Lr26*), желтой (*Yr9*) ржавчинам и мучнистой росе (*Pm8*). С использованием молекулярного маркера *scm9* транслокация 1RS.1BL идентифицирована у 14 сортов (43.75%). Все сорта, устойчивые ко всем, взятым в анализ изолятам гриба и омской популяции патогена, имели транслокацию 1RS.1BL (*Sr31*). У сортов Дуплет, Сварог, Стрелецкая 12 также была выявлена транслокация 1RS.1BL (*Sr31*),

однако эти сорта были восприимчивы к стеблевой ржавчине, что указывает на их гетерогенность по транслокации 1RS.1BL (*Sr31*). Для подтверждения гетерогенности образцов каждого из трех сортов было взято по 10 зерен, из каждого выделена ДНК и поставлена ПЦР с праймерами на маркер scm9. Результаты ПЦР анализа подтвердили гетерогенность данных сортов по гену *Sr31* (рис.).

Ген возрастной устойчивости *Sr57(Lr34/Yr18/Pm38)* идентифицирован у пяти озимых сортов с использованием маркера csLV34. С использованием маркеров wPt-7004-PCR и wmc332 у сорта Велена идентифицирован ген *Sr28*, не эффективный против российских популяций стеблевой ржавчины, но эффективный против расы Ug99. Гены *Sr2*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr38*, *Sr1AIR* в анализируемом материале обнаружены не были.

Таблица 1. Вирулентность монопустульных изолятов *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Изолят	Паса	Вирулентность к линиям с <i>Sr</i> -генами (20 линий – дифференциаторов)	Количество генов вирулентности
PgtF1	SGDTF	5,21,9e,6, 30, 9a, 9d,10,Tmp,38,McN	11
PgtZ1	TKTTF	5,21,9e,7b,6,8a,9g,36,9b,30,17,9a,9d,10,Tmp,38, McN	17

Таблица 2. Результаты фитопатологического анализа сортов пшеницы и идентификации *Sr*-генов

Сорт	Оригинатор	Устойчивость к <i>P. graminis</i> (типы реакции растений на заражение)			<i>Sr</i> гены
		PgtF1	омская популяция	PgtZ1	
<i>яровая пшеница</i>					
Арабелла	Danko Hodowla Roslin sp. ZO.O. Poland	2	1-2	4	-*
Воронежская 18	НИИСХ Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева	3-	3+	4	-
Каликсо	Secobra Recherches S.A.S France	3	1	3+	-
Лицамеро		3-	3	3	-
Сонетт	Lantmannen SW seed AB Sweden	4	1	4	-
Рима	Федеральный Научный Агроинженерный Центр ВИМ	2++	3	3	-
<i>озимая пшеница</i>					
Прииртышская	Омский Аграрный Научный Центр	4	3	3	-
Даная	Федеральный Научный Агроинженерный Центр ВИМ	4	3	3+	-
Обская озимая	Федеральный Исследовательский Центр Институт Цитологии и Генетики Сибирского Отделения РАН	1	1	1	<i>Sr31</i>
Астарта	Институт Физиологии Растений и Генетики НАН Украины	10;	0;	0	<i>Sr31</i>
Везелка	Белгородский Федеральный Аграрный Научный Центр РАН	3	3	3	-
Поволжская нива	Поволжский НИИ Селекции и Семеноводства им. П.Н. Константинова	4	1	4	-
Дарина	Федеральный Исследовательский Центр Казанский Научный	3	2	4	-
Универсиада	Центр Российской Академии Наук	3	3	3	-
Базис	Самарский НИИСХ	3	3	3+	<i>Sr57/Lr34</i>
Леонида	крестьянское хозяйство Ивашова Александра Дмитриевича	2-	1	2	<i>Sr31</i>
Туранус	Saatzucht Donau GMBH & CO KG Austria	4	1	1	-
Клавдия 2	Пензенский Научно-Исследовательский Институт Сельского Хозяйства	3	1;	3+	-
Стрелецкая 12	ООО Зернобобовые культуры-Центр	3	1	4	<i>Sr31</i>
Италмас	Удмуртский Научно-Исследовательский Институт Сельского Хозяйства	3	2	3	-
Веха		0;	1=	0	<i>Sr31</i>
Вид		3-	1	4	-
Сварог	Национальный Центр Зерна имени П.П. Лукьяненко	4	0;	4	<i>Sr31</i>
Безостая 100	ООО НПО Кубаньзерно	1-	1	0;	<i>Sr31+Sr57</i>
Алексеич		1-	0;	1	<i>Sr31</i>
Жива		1=	1	0;	<i>Sr31+Sr57</i>
Велена		0;	0;	0;	<i>Sr31+Sr28</i>
Караван		0	1;	2	<i>Sr31</i>
Дуплет		4	3	4	<i>Sr31+Sr57</i>
Степь	Национальный Центр Зерна Имени П.П. Лукьяненко	1-	1-	1	<i>Sr31</i>
Граф		4	3	4	-
Ваня		1=	0;	0;	<i>Sr31+Sr57</i>
Хакасская**		4	4	4	-

\*“-“ – гены не идентифицированы; \*\* – восприимчивый контроль

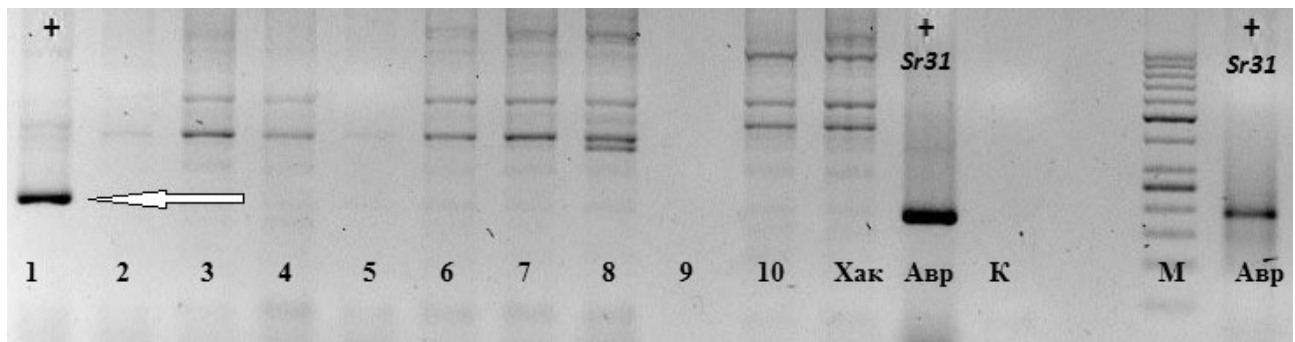


Рисунок. Подтверждение гетерогенности сорта Стрелецкая 12 по транслокации 1BL.1RS (*Sr31*), маркер *scm9*. М – маркер молекулярного веса (50 п.н.), 1–10 образцы зерна Стрелецкая 12, «Хак» – сорт Хакасская (отрицательный контроль), «Авр» – сорт Аврора (*Sr31*), «К» – контроль без ДНК. Стрелкой показан диагностический фрагмент 207 п.н.

### Обсуждение

В связи с усилением вредоносности стеблевой ржавчины, во всем мире проводится молекулярный скрининг генов устойчивости к болезни (*Sr* генов) у яровых и озимых сортов мягкой пшеницы. В США гены устойчивости *Sr2*, *Sr6*, *Sr17*, *Sr24*, *Sr31*, *Sr36* и *SrTmp* распространены в сортах озимой пшеницы, а в сортах яровой пшеницы – *Sr6*, *Sr9b*, *Sr11* и *Sr17* (Kolmer et al., 2007). При анализе китайских сортов пшеницы идентифицированы гены *Sr2*, *Sr31*, *Sr25* и *Sr38* (Xu et al., 2018), а также *Sr28* (Li et al., 2016). В последние годы гены устойчивости к стеблевой ржавчине идентифицируют и у европейских сортов пшеницы. Так, например, в хорватских сортах были выявлены гены *Sr8a*, *Sr31*, *Sr36* и *Sr38* (Spanic et al., 2015), а в немецких сортах широко распространен *Sr38* и несколько реже встречаются *Sr31* и *Sr24* (Flath et al., 2018).

У новых российских сортов пшеницы в основном были идентифицированы гены *Sr31* и *Sr57*. Ген *Sr31* на настоящий момент – единственный эффективный ген против всех российских популяций возбудителя стеблевой ржавчины (Baranova et al., 2019). Как упоминалось выше, он интрогрессирован в пшеницу от ржи (*Secale cereale* L.), локализован в транслокации 1BL.1RS и тесно сцеплен с генами устойчивости к бурой (*Lr26*) и желтой (*Yr9*) ржавчинам, а также к мучнистой росе (*Pm8*). К настоящему времени транслокация 1BL/1RS присутствует более чем в 650 сортах мягкой пшеницы в Европе, Азии, Австралии и Америке (Булойчик, Долматович, 2015). Сорта Аврора и Кавказ – носители 1BL/1RS, долгое время использовались в качестве родительских форм при создании устойчивых к стеблевой ржавчине сортов. Среди российских сортов пшеницы транслокация 1BL/1RS представлена, например, в озимых сортах пшеницы, селекции Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко (Беспалова и др., 2012,

2019, Давоян и др., 2014). Так, в настоящей работе из 14 сортов с геном *Sr31* девять оказались сортами озимой пшеницы селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П.П.Лукьяненко». Из проанализированных 32 новых сортов пшеницы в пяти (Базис, Безостая 100, Жива, Дуплет и Ваня) идентифицирован ген *Sr57(Lr34/Yr18/Pm38)*. Локус *Lr34/Sr57/Yr18//Pm38* широко распространен в сортах российской селекции, в основном Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах (Гультяева, 2012; Вожжова, 2018; Шишкин и др., 2018). Сорта пшеницы, содержащие локус *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38*, детерминирующий возрастную устойчивость по типу “slow rusting” часто восприимчивы к стеблевой ржавчине (Волуевич, 2016). Однако показано, что STS маркер гена *Lr34* – *csLV34* тесно ассоциирован с устойчивостью к Ug99 в озимых и яровых сортах СИММУТ (Yu et al., 2014). И, кроме того, показано взаимодействие *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* с другими генами устойчивости. Так, при сочетании *Lr34* с геном устойчивости к стеблевой ржавчине *SrCad* наблюдался аддитивный эффект – значительное повышение устойчивости к расе возбудителя стеблевой ржавчины Ug99 (Hiebert et al., 2010).

Надо отметить, что сорта озимой мягкой пшеницы Обская озимая, Астарта, Леонида, Велена, выделенные как устойчивые к стеблевой ржавчине на стадии проростков в настоящей работе, по данным оригинаторов также устойчивы в полевых условиях к бурой ржавчине (Госорткомиссия). Сорт Караван устойчив к желтой ржавчине, а сорта Степь и Ваня – к бурой и желтой ржавчинам. Сорта Веха и Алексеич по данным оригинатора (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П.Лукьяненко») и сорта Безостая 100 и Жива по данным И.П.Матвеевой с соавторами (2019) высокоустойчивы ко всем трем видам ржавчины (бурой, желтой и стеблевой) в полевых условиях.

### Заключение

Таким образом, среди российских сортов, внесенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2017–2018 гг., выделены высокоустойчивые к стеблевой ржавчине сорта с идентифицированными генами устойчивости: Астарта, Веха, Обская озимая, Леонида, Караван, Алексеич и Степь с геном *Sr31*, Велена (*Sr31+Sr28*) и сорта Безостая 100, Жива и Ваня с сочетанием генов

*Sr31+Sr57*. Следует отметить, что сорта Велена, Жива, Ваня и Безостая 100 имеют сочетания гена *Sr31*, эффективного против российских популяций *P. graminis* f. sp. *tritici*, и генов *Sr28* и *Sr57*, эффективных против биотипов расы Ug99, что делает их перспективными для возделывания в условиях эпифитотийного развития болезни.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за предоставленный семенной материал доктору с.-х. наук, заведующему лабораторией селекции пшеницы на устойчивость к болезням ФГБНУ «НЦЗ им П.П. Лукьяненко» Абловой Ирине Борисовне и начальнику отдела развития продуктов, АО Фирма «Август» Белову Дмитрию Александровичу.

## Библиографический список (References)

- Беспалова ЛА, Аблова ИБ, Худокормова ЖН, Пузырная ОЮ и др. (2019) Генетическая защищенность сортов озимой пшеницы от ржавчинных болезней. *Рисоводство*. 4(45):30–37
- Беспалова ЛА, Васильев АВ, Аблова ИБ, Филобок ВА и др. (2012) Применение молекулярных маркеров селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. *Вавиловский журнал генетики и селекции* 16(1):37–43
- Булойчик АА, Долматович ТВ (2015) Молекулярная идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине в озимых сортах пшеницы, выращиваемых в Беларуси. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі Серыя біялагічных навук* 3:46–50
- Василова НЗ, Асхадуллин ДФ, Асхадуллин ДФ (2017) Эпифитотия стеблевой ржавчины на яровой пшенице в Татарстане. *Защита и карантин растений* 2:27–28
- Вожжова НН (2018) Идентификация гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr34* в сортах и коллекционных образцах озимой мягкой пшеницы Аграрного научного центра «Донской». *Вавиловский журнал генетики и селекции* 22(3):329–332. <https://doi.org/10.18699/VJ18.368>
- Волкова ГВ, Синяк ЕВ (2011) Эффективные гены устойчивости пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы на юге России. *Наука Кубани* 2:34–36
- Волуевич ЕА (2016) Плейотропные эффекты генов устойчивости мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к биотрофным грибным патогенам. *Весті нацыянальнай акадэміі навук беларусі Серыя біялагічных навук* 2:115–125
- Госсоркомиссия. Электронный ресурс: <http://gossortrf.ru/> (просмотрено 29 мая 2020).
- Гулятьева ЕИ (2012) Генетическое разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины. *Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук* 2:29–32
- Давоян ЭР, Беспалова ЛА, Давоян РО, Зубанова ЮС и др. (2014) Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. *Вавиловский журнал генетики и селекции* 18(4/1):732–738
- Матвеева ИП, Ким ЮС, Ваганова ОФ, Мирошниченко ОО и др. (2019) Устойчивость широко районированных сортов озимой пшеницы различной селекции к эпифитотийно опасным заболеваниям: бурой, желтой, стеблевой ржавчине и желтой пятнистости листьев пшеницы в Краснодарском крае. *Международный научно-исследовательский журнал* 12(78):40–44. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>
- Сколотнева ЕС, Кельбин ВН, Моргунов АИ, Бойко НИ, и др. (2020) Расовый состав новосибирской популяции *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Микология и фитопатология* 54(1):49–58. <https://doi.org/10.31857/S0026364820010092>
- Шишкин НВ, Дерова ТГ, Гулятьева ЕИ, Шайдаюк ЕЛ (2018) Определение генов устойчивости к бурой ржавчине у сортов озимой мягкой пшеницы с использованием традиционных и современных методов исследований. *Зерновое хозяйство России* 5(59):63–67. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-59-5-63-67>
- Ayala-Navarrete L, Bariana HS, Singh RP, Gibson JM *et al.* (2007) Trigenomic chromosomes by recombination of *Thinopyrum intermedium* and *Th. ponticum* translocations in wheat. *Theor Appl Genet* 116:63–75. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0647-5>
- Baranova OA, Sibikeev SN, Druzhin A E (2019) Molecular identification of the stem rust resistance genes in the introgression lines of spring bread wheat. *Vavilov J of Genet and Breeding* 23(3):296–303. <https://doi.org/10.18699/VJ19.494>
- CIMMYT. Available online: [https://rusttracker.cimmyt.org/?page\\_id=22](https://rusttracker.cimmyt.org/?page_id=22) (просмотрено 29 мая 2020).
- Flath K, Miedaner T, Olivera P, Matthew N *et al.* (2018) Genes for wheat stem rust resistance postulated in German cultivars and their efficacy in seedling and adult-plant field tests. *Plant Breeding* 1–12. <https://doi.org/10.1111/pbr.12591>
- Hailu A, Woldeab G, Dawit W, Hailu E (2015) Distribution of Wheat Stem Rust (*Puccinia Graminis* F. Sp. *Tritici*) in West and Southwest Shewa Zones and Identification of its Physiological Races. *Adv Crop Sci Tech* 3:189. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000189>
- Helguera M, Khan IA, Kolmer J, Lijavetzky D *et al.* (2003) PCR assays for the Lr37-Yr17-Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines. *Crop Sci* 43:1839–1847
- Hiebert CW, Fetch TG, Zegeye T, Thomas JB *et al.* (2011) Genetics and mapping of seedling resistance to Ug99 stem rust in Canadian wheat cultivars ‘Peace’ and ‘AC Cadillac’. *Theor Appl Genet* 122:143–149. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1430-6>
- Jin Y, Singh RP, Ward RW, Wanyera R *et al.* (2007) Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic Sr gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 91:1096–1099
- Kolmer JA, Jin Y, and Long D L (2007) Wheat leaf and stem rust in the United States. *Australian J of Agricultural Research* 58:631–638
- Lagudah ES, McFadden H, Singh RP, Huerta-Espino J *et al.* (2006) Molecular genetic characterization of the Lr34/Yr18 slow rusting resistance gene region in wheat. *Theor Appl Genet* 114:21–30
- Li TY, Cao YY, Wu XX, Xu XF *et al.* (2016) Seedling Resistance to Stem Rust and Molecular Marker Analysis of Resistance Genes in Wheat Cultivars of Yunnan, China. *PLOS ONE* 11(10) e0165640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165640>
- Mago R, Bariana HS, Dundas IS, Spielmeier W *et al.* (2005) Development of PCR markers for the selection on wheat stem rust resistance genes Sr24 and Sr26 in diverse wheat germplasm. *Theor Appl Genet* 111:496–504. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-2039-z>
- Mago R, Simkova H, Brown-Guedira G, Dreisigacker S, *et al.* (2011) An accurate DNA marker assay for stem rust resistance gene *Sr2* in wheat. *Theor Appl Genet* 122:735–744. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1482-7>
- Mago R, Verlin D, Zhang P, Bansal U *et al.* (2013) Development of wheat–*Aegilops speltoides* recombinants and simple PCR-based markers for *Sr32* and a new stem rust resistance gene on the 2S#1 chromosome. *Theor Appl Genet* 126:2943–2955. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2184-8>
- Murray MG, Thompson WF (1980) Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 4321–4325.
- Rouse MN, Nava IC, Chao S, Anderson JA *et al.* (2012) Identification of markers linked to the race Ug99 effective stem rust resistance gene *Sr28* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet* 125:877–885. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1879-6>
- Sibikeev SN, Druzhin AE, Vlasovec LT, Golubeva TD *et al.* (2017) The reaction of introgression lines of spring bread wheat to leaf rust, stem rust and tan spot in 2016. *Annual Wheat Newsletter KSU USA* 63:57–58.
- Spanic V, Rouse MN, Kolmer JA, Anderson JA (2015) Leaf and stem seedling rust resistance in wheat cultivars grown in Croatia. *Euphytica* 203:437–448. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1312-0>
- Stakman EC, Stewart DM, Loegering WQ (1962) Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. *United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service* E-617 (rev).
- Tsilo TJ, Jin Y, Anderson JA (2008) Diagnostic microsatellite markers for detection of stem rust resistance gene *Sr36* in diverse genetic backgrounds of wheat. *Crop Sci* 48:253–261. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0204>
- Weng Y, Azhaguel P, Devkota RN, Rudd JC (2007) PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat–rye translocations in wheat background. *Plant Breeding* 126:482–486. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x>

- Xu X, Yuan D, Li D, Gao Y *et al.* (2018) Identification of stem rust resistance genes in wheat cultivars in China using molecular markers. *PeerJ*. 6:e4882. <https://doi.org/10.7717/peerj.4882>
- Yu L-X, Barbier H, Rouse MN, Singh S *et al.* (2014) A consensus map for Ug99 stem rust resistance loci in wheat. *Theor Appl Genet* 127:1561-1581. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2326-7>
- Zhang W, Olson E, Saintenac C, Rouse M *et al.* (2010) Genetic maps of stem rust resistance gene *Sr35* in diploid and hexaploid wheat. *Crop Sci* 50:2464–2474. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.04.0202>

#### Translation of Russian References

- Bespalova LA, Ablova IB, Khudokormova ZhN, Puzyrnaya OYu *et al.* (2019) [Genetic protection of winter wheat varieties from rust diseases]. *Risovodstvo*. 4(45):30–37 (In Russian)
- Bespalova LA, Vasilyev AV, Ablova IB, Filobok VA *et al.* (2012) [The use of molecular markers in wheat breeding at the Lukyanenko Agricultural Research Institute]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* 16(1):37–43 (In Russian)
- Buloychik AA, Dolmatovich TV (2015) [Molecular identification of resistance genes to leaf rust of winter wheat varieties released in the areas of the republic of Belarus]. *Vesti Natsyonalnay akademii navuk Belarusi Seryya byalagichnykh navuk* 3:46–50 (In Russian)
- Vasilova NZ, Askhadullin DF, Askhadullin DF (2017) [Stem rust epiphytotic on soft spring wheat in Tatarstan]. *Zashchita i karantiny rasteniy* 2:27–28 (In Russian)
- Vozhzhova NN (2018) [Identification of the Lr34 gene for resistance to leaf rust in varieties and collection samples of winter soft wheat from the Agricultural Research Center “Donskoy”]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* 22(3):329–332. <https://doi.org/10.18699/VJ18.368> (In Russian)
- Volkova GV, Sinyak YEV (2011) [Effective resistance genes to the causative agent of stem rust of wheat in southern Russia]. *Nauka Kubani* 2:34–36 (In Russian)
- Voluyevich YEA (2016) [Pleiotropic effects of resistance genes of common wheat (*Triticum aestivum* L.) to biotrophic fungal pathogens]. *Vesti natsyonalnay akademii navuk belarusi Seryya byalagichnykh navuk* 2:115–125 (In Russian)
- Gulyayeva YEI (2012) [Genetic diversity of Russian varieties in common wheat by resistance to stem rust exciter]. *Doklady Rossiyskoy Akademii selskokhozyaystvennykh nauk* 2:29–32 (In Russian)
- Davoyan ER, Bespalova LA, Davoyan RO, Zubanova YUS *et al.* (2014) [Use of molecular markers in wheat breeding for resistance to leaf rust at the Lukyanenko Research Institute of Agriculture]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* 18(4/1):732–738 (In Russian)
- Matveyeva IP, Kim YuS, Vaganova OF, Miroshnichenko OO *et al.* (2019) [Stability of widely distributed varieties of winter wheat of different selection to epiphytotically dangerous diseases: brown, yellow, stem rust, and yellow spots of wheat leaves in Krasnodar Region]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* 12(78):40–44. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044> (In Russian)
- Skolotneva YES, Kelbin VN, Morgunov AI, Boyko NI *et al.* (2020) [Races Composition of the Novosibirsk Population of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*]. *Mikologiya i fitopatologiya* 54(1):49–58. <https://doi.org/10.31857/S0026364820010092> (In Russian)
- SHishkin NV, Derova TG, Gulyayeva YEI, SHaydayuk YEL (2018) [Identification of the genes resistant to brown rust in winter soft wheat varieties with the use of conventional and modern research methods]. *Zernovoye khozyaystvo Rossii* 5(59):63–67. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-59-5-63-67> (In Russian)

Plant Protection News, 2020, 103(2), p. 113–118

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936>

Full-text article

## MOLECULAR IDENTIFICATION OF STEM RUST RESISTANCE GENES IN NEW REGIONAL WHEAT VARIETIES

O.A. Baranova

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

e-mail: [baranova\\_oa@mail.ru](mailto:baranova_oa@mail.ru)

Harmfulness of stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) constantly increases and virulent races, including Ug99 group, are spreading on the territory of Russian Federation. Analysis of diversity in resistance genes (*Sr* genes) of Russian wheat varieties is therefore of great importance. In this study, 32 new soft wheat varieties, included in the State Register of Breeding Achievements in 2017–2018, were evaluated for resistance to stem rust at the seedling stage, and *Sr* genes were identified using molecular markers. To analyze the resistance of the varieties, the Omsk stem rust pathogen population 2018 years was used, as well as monopustule isolates PgtF1 and PgtZ1 from Saratov and Rostov pathogen populations. Phytopathological analysis was carried out using standard laboratory methods. The virulence analysis of the *P. graminis* f. sp. *tritici* was performed against a set of 20 differentiators (North American differential set) and 35 additional *Sr* lines. To identify the resistance genes (*Sr2*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr38*, *Sr57*, and *Sr1A1R*), specific primers were used. Among the bread wheat varieties analyzed, those with high resistance to stem rust and known resistance genes were identified: Astarta (*Sr31*), Vekha (*Sr31*), Obskaya Ozimaya (*Sr31*), Leonida (*Sr31*), Karavan (*Sr31*), Alekseich (*Sr31*), Step' (*Sr31*), Bezostaya 100 (*Sr31*+*Sr57*), Zhiva (*Sr31*+*Sr57*) Vanya (*Sr31*+*Sr57*) and Vlena (*Sr31*+*Sr28*). The latter four varieties possessed combinations of the *Sr31* gene, effective against Russian populations of *P. graminis* f. sp. *tritici*, and *Sr28* and *Sr57* genes, effective against the Ug99 race group. These features make these varieties promising for cultivation under conditions of epiphytotic development of the pathogen.

**Keywords:** wheat, resistance, stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, *Sr* genes, molecular markers

Received: 10.03.2020

Accepted: 29.05.2020