

ВИРУЛЕНТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ *Puccinia triticina* ERIKSS. В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЛОСЕ РОССИИ

VIRULENCE OF *Puccinia triticina* ERIKSS. POPULATION IN NON-CHERNOZEM AREA OF RUSSIA

Жемчужина А.И., Киселева М.И., Жемчужина Н.С.,
Белякова С.В.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
фитопатологии
143050, Россия, Большие Вяземы, ул. Институт, вл.5
E-mail: kiseleva@vniif.ru, zhemchuzhina@vniif.ru

В результате обследований посевов пшеницы в Московской области в 2009–2017 годах были собраны 27 образцов пшеницы, зараженных возбудителем бурой ржавчины. Монопустьные изоляты выделяли из образцов по стандартной методике. Для изучения состава популяции бурой ржавчины по признаку вирулентности использовался стандартный набор моногенных линий сорта Thatcher, включающий 42 Lr-линии. За период с 2009 по 2017 годы изучены по вирулентности 120 изолятов *P. triticina* и отнесены к 103 фенотипам, отличающимся одним-двумя или несколькими генами. Во все годы испытаний популяция *P. triticina* проявляла высокую вирулентность, поражая от 30 до 34 Lr-линий пшеницы. Ежегодно в популяции *P. triticina* с высокой частотой (78,0–98,9%) отмечены 18 генов вирулентности: p1, p2c, p3a, p3b, p3ka, p10, p14a, p14b, p17, p18, p21, p27+p31, p30, p32, p33, p39, p40, pV, и ни разу не встречались 7 генов: p24, p29, p41, p42, p47, p51, p53. Гены p2a, p2b, p11, p15, p20, p23, p25, p26, p46 в популяции гриба выявляли постоянно, однако частота встречаемости их сильно варьировала по годам (от 34,5 до 72,0%). Что касается генов p9, p16, p19, p28, p36, p38, p44, p45, то их находили в популяции *P. triticina* не каждый год и с низкой частотой. В зависимости от устойчивости изогенной Lr-линии пшеницы реакция на внедрение изолятов гриба менялась от высоко-восприимчивой до иммунной. По количеству вирулентных изолятов гриба к Lr-линиям набора пшеницы судили о степени эффективности генов устойчивости. Эффективными к бурой ржавчине оказались Lr-гены: Lr24, Lr29, Lr41, Lr42, Lr47, Lr51, Lr53, с иммунной или высокоустойчивой реакцией ко всем проверенным изолятам бурой ржавчины. Гены этих линий пшеницы могут быть рекомендованы в качестве доноров устойчивости к возбудителю бурой ржавчины.

Ключевые слова: пшеница, бурая ржавчина, популяция, изолят, вирулентность, устойчивость.

Для цитирования: Жемчужина А.И., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Белякова С.В. ВИРУЛЕНТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ *Puccinia triticina* ERIKSS. В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЛОСЕ РОССИИ. *Аграрная наука*. 2019; (1): 137–141.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-137-141>

Бурая ржавчина (*Puccinia triticina* Eriks.) является одним из наиболее распространенных и вредоносных заболеваний пшеницы, как в России, так и во многих странах мира (1, 2, 3). Недобор урожая в годы эпифитотий этой болезни может составить 40 и более процентов, при этом снижаются не только количество получаемого зерна, но и его технологические и посевные качества (1, 4, 5). В России проблема защиты пшеницы от возбудителя бурой ржавчины остается актуальной, так как большинство отечественных сортов восприимчивы к патогену. Частое возникновение эпифитотий *P. triticina* в нечерноземной полосе России обуславливается благоприятными для развития болезни погодными условиями, а также высокой миграционной способностью спор и репродуктивной активностью гриба.

Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Belyakova S.V.

FSBSI All-Russian Research Institute of Phytopathology
E-mail: kiseleva@vniif.ru, zhemchuzhina@vniif.ru

As a result of surveys of wheat crops in the Moscow region in 2009–2017 there were collected 27 wheat samples leaf rust infected. Isolates from single pustule were studied by the standard method. To study the frame of leaf rust population there was used a set of 42 Lr-lines monogenic of cv. Thatcher. For the period from 2009 to 2017 there were studied for virulence 120 isolates of *P. triticina*. Isolates differed significantly in virulence. By virulence formulas all leaf rust isolates were attributed to 103 phenotypes, differing by one or two or several genes. During all the years of testing the population of *P. triticina* was showed high virulence affecting from 30 to 34 Lr-lines of wheat. Annually in the population of *P. triticina* there were found out 18 virulence genes with a high frequency (average 78.0–98.9%): p1, p2c, p3a, p3b, p3ka, p10, p14a, p14b, p17, p18, p21, p27 + p31, p30, p32, p33, p39, p40, pV, and 7 genes were never met: p24, p29, p41, p42, p47, p51, p53. The genes p2a, p2b, p11, p15, p20, p23, p25, p26, p46 were constantly detected in the fungus population, but their frequency varied greatly over the years (on average, from 34.5 to 72.0%). As for the genes p9, p16, p19, p28, p36, p38, p44, p45, they were not found every year in the population of *P. triticina*. Depending on the stability of the isogenic Lr-line of wheat, the type reactions to disease development were differed: from high susceptibility to immunity. By the number of virulent isolates of the fungus to wheat Lr-lines there were determined the degree of effectiveness of resistance genes. Lr-genes so as Lr24, Lr29, Lr41, Lr42, Lr47, Lr51, Lr53 were effective to leaf rust. They can be recommended for breeders as donors of resistance to leaf rust.

Key words: wheat, leaf rust, population, isolate, virulence, resistance.

For citation: Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Belyakova S.V. VIRULENCE OF *Puccinia triticina* ERIKSS. POPULATION IN NON-CHERNOZEM AREA OF RUSSIA. *Agrarian science*. 2019; (1): 137–141. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-137-141>

Известно, что популяции возбудителя бурой ржавчины обладают высоким генетическим разнообразием. Новые клоны гриба могут возникать путём мутаций генов, в результате рекомбинативной изменчивости или за счет увеличения частоты ранее редко встречавшегося гена вирулентности. В 2007 году зарубежными авторами было отмечено появление новых рас, вирулентных к гену *Lr17* в сортах озимой пшеницы, возделываемых в Великой Долине (Техас, Оклахома, Канзас, Небраска). Далее эти расы распространились в восточные районы Калифорнии. Следствием накопления в популяции гриба гена *p17* явилась эпифитотийная болезнь в Аргентине и Чили в 2008, 2009 и 2010 годах (6).

В настоящее время в России возрастает интерес к иммуногенетической защите пшеницы от *P. triticina*,

которая предполагает создание и внедрение в производство устойчивых сортов с генами или сочетаниями генов, способными противостоять патогену. Исследования структуры популяции возбудителя бурой ржавчины по признаку вирулентности позволяют выявить не только частоту встречаемости вирулентных клонов гриба, но и эффективные гены устойчивости растения-хозяина. При определении степени эффективности известных генов устанавливается перспективность включения их в селекционный процесс, направленный на получение но-

вых устойчивых к бурой ржавчине сортов пшеницы. (7, 8). На основании таких исследований создается представление о тенденциях и закономерностях изменения вирулентности в популяциях *P. tritricina* (9, 10). Информация о генетической структуре популяции *P. tritricina* позволяет целенаправленно отбирать расы и изоляты гриба для создания искусственных инфекционных фонов при проведении работ по оценке сортов, а также для определения генотипа устойчивости сортов пшеницы к возбудителю бурой ржавчины. В соответствии с этим,

цель наших исследований заключалась в определении структуры популяции возбудителя бурой ржавчины по признаку вирулентности по данным, полученным в 2009–2017 годах в Московской области, и выявлении степени эффективности генов пшеницы по частоте встречаемости вирулентных клонов к предполагаемому донору устойчивости.

В результате обследований посевов пшеницы в Московской области в 2009–2017 годах были собраны 27 образцов пшеницы, зараженных бурой ржавчиной. Сбор инфекционного материала проводили в первой-второй декадах июля в фазу колошения-цветения растений. Собранные образцы — листья верхнего яруса с пустулами гриба, принадлежали сортам озимой пшеницы: Мироновская 808, Памяти Федина, Московская 39, Заря, Льговская, Агелина, Инна, Галина, и яровой: Ульяновская 105, Тризо, Дарья, районированным в Нечерноземной полосе России (табл. 1).

Уредоспоры возбудителя бурой ржавчины из пустул, собранных с одного сорта пшеницы, условно принимали за популяцию гриба. Из 27 популяций гриба по стандартной методике получали монопустульные изоляты (11). Для этого разрезанной водной суспензией спор заражали 10–20 листьев 7-дневных всходов универсально восприимчивой линии пшеницы Хакасская и помещали в камеры с благоприятными для развития гриба условиями. На 10–12 суток после инокуляции отбирали листья с одной пустулой для размножения спор на всходах линии Хакасская. Как правило, для идентификации генов вирулентности в изоляте гриба было достаточно 0,3–0,5 мг спор.

Для изучения состава популяции бурой ржавчины из Московской области использовался набор моногенных линий сорта Thatcher, включающий 42 *Lr*-линии пшеницы: *Lr 1, Lr 2a, Lr 2b, Lr 2c, Lr 3a, Lr 3bg, Lr 3ka, Lr 9, Lr 10, Lr 11, Lr 14a, Lr 14b, Lr 15, Lr 16, Lr 17, Lr 18, Lr 19, Lr 20, Lr 21, Lr 23, Lr 24, Lr 25, Lr 26, Lr 27 + Lr 31, Lr 28, Lr 29, Lr 30, Lr 32, Lr 33, Lr 36,*

Таблица 1.

Перечень популяций *P. tritricina*, собранных на посевах пшеницы в Московской области в 2009–2017 годах

Код популяции	Годы обследования и сорт пшеницы, с которого выделена популяция гриба	Код монопустульных изолятов <i>P. tritricina</i> , изученных по вирулентности	Количество
718	2009, оз., Мироновская 808	718-1, 718-2, 718-3, 718-4, 718-5	5
720	2009, оз., Памяти Федина	720-2, 720-4, 720-5	3
724	2010, оз., Московская 39	724-1	1
728	2010, оз., Московская 39	728-1, 728-3, 728-4, 728-6, 728-7, 728-8,	6
742	2011, оз., Московская 39	742-2, 742-3, 743-4, 742-5	4
743	2011, оз., Московская 39	743-1, 743-2, 743-3, 743-5, 743-6	5
744	2011, оз., Заря	744-2, 744-3, 744-4, 744-5, 744-6	5
755	2012, оз., Московская 39	755-1, 755-2, 755-3, 755-4, 755-5, 755-7, 755-8, 755-9, 755-10, 755-11	10
758	2012, оз., Московская 39	758-1, 758-2, 758-3, 758-4, 758-5	5
760	2012, сорт неизвестен	760-1, 760-2, 760-3	3
772	2013, оз., Московская 39	772-1, 772-3, 772-4, 772-5, 772-6, 772-9, 772-10, 772-11, 772-13, 772-14, 772-15, 772-16	12
773	2013, оз., Московская 39	773-2, 773-3, 773-4, 773-5, 773-6, 773-9, 773-11, 773-16	8
781	2014, оз., Московская 39	781-1, 781-2, 781-4, 781-5	4
782	2014, оз., Льговская	782-3	1
785	2014, оз., Агелина	785-2, 785-10, 785-11	3
797	2015, сорт неизвестен	797-1, 797-2, 797-3	3
798	2015, яр., Ульяновская 105	798-1	1
799	2015, оз., Инна	799-2, 799-3, 799-4, 799-5	4
800	2015, сорт неизвестен	800-1, 800-2, 800-3	3
801	2015, оз., Московская 39	801-1, 801-2	2
802	2015, яр., Тризо	802-1, 802-2, 802-3, 802-4, 802-5, 802-6, 802-7	7
803	2015, оз., Мироновская 808	803-1, 803-2, 803-3	3
805	2016, оз., Московская 39	805-1, 805-2	2
806	2016, оз., Московская 39	806-1, 806-2, 806-3, 806-4	4
807	2016, оз., Галина	807-1, 807-2, 807-3	3
808	2016, яр., Дарья	808-1, 808-3, 808-5	3
839	2017, оз., Московская 39	839-7, 839-8, 839-9, 839-10, 839-12, 839-15, 839-16, 839-17, 839-18, 839-23	10
Всего изолятов:			120

Lr 38, Lr 39, Lr 40, Lr 41, Lr 42, Lr 44, Lr 45, Lr 46, Lr 47, Lr 51, Lr 53, Lr B (12). Инокуляцию 7-дневных проростков линий набора проводили спорами каждого монопустьюльного изолята. Тип реакции Lr-линий пшеницы на заражение изолятами *P. triticina* определяли по шкале Мэйнса и Джексона (13).

Все работы проводили в лаборатории искусственного климата в контролируемых условиях температуры, влажности и освещенности. Дневная температура воздуха в камерах поддерживалась на уровне 22 °С, ночная — 18 °С, относительная влажность воздуха ночью 70%, днем — 60%, освещенность 10–15 тыс. люкс, при 16-часовом фото-периоде.

За период с 2009 по 2017 годы в Московской области выделены, размножены и изучены по вирулентности 120 изолятов *P. triticina*. Количество проверенных изолятов патогена в разные годы было неодинаковым: меньше всего их было в 2010 году — 7 изолятов, больше всего в 2015 году — 23 изолята гриба.

Анализ полученных данных показал, что изоляты *P. triticina* значительно различались по вирулентности и содержали разное количество генов. Формулы вирулентности изолятов гриба содержали от 18 (743–5, оз. сорт Московская 39) до 29 генов (799–3, оз. сорт Инна). Большинство изолятов (92 ед., или 85,8%) имели по 23–27 генов вирулентности. Все проверенные изоляты бурой ржавчины по формулам вирулентности были отнесены к 103 фенотипам, отличающимся одним-двумя или несколькими генами. Среди них встречались фенотипы с редкими генами вирулентности. Например, в изоляте 720–5 отмечен ген *p44*, а в изоляте 839–23 — *p45*. Ряд изолятов *P. triticina* имели сходные реакции на Lr-линии пшеницы. По составу генов вирулентности они были отнесены к 11 фенотипам (табл. 2).

Во все годы испытаний популяция *P. triticina* проявляла высокую вирулентность, поражая от 30 до 34 Lr-линий пшеницы из набора 42 линий сорта Thatcher (табл. 3).

Ежегодно в популяции *P. triticina* с высокой частотой (78,0–98,9%) отмечались 18 генов вирулентности: *p1*, *p2c*, *p3a*, *p3b*, *p3ka*, *p10*, *p14a*, *p14b*, *p17*, *p18*, *p21*, *p27+p31*, *p30*, *p32*, *p33*, *p39*, *p40*, *pB*, и ни разу не встречались 7 генов: *p24*, *p29*, *p41*, *p42*, *p47*, *p51*, *p53*. Гены *p2a*, *p2b*, *p11*, *p15*, *p20*, *p23*, *p25*, *p26*, *p46* выявлялись постоянно, однако частота встречаемости их сильно варьировала по годам (от 34,5 до 72,0%).

Что касается генов *p9*, *p16*, *p19*, *p28*, *p36*, *p38*, *p44*, *p45*, то их в популяции *P. triticina* находили не каждый год. Например, гены *p16* и *p19* отмечали 7 лет, *p28* — 6, *p9* и *p36* — 5, *p38* — 4, *p44* — 3 и *p45* — 2 года. Частота встречаемости изолятов с генами *p9*, *p16*, *p36* и *p38* значительно менялась по годам. Так, в 2011, 2012, 2015–2017 годах ген *p16* был отмечен более чем

Таблица 2.

Перечень наиболее распространенных и редких фенотипов *P. triticina*, идентифицированных на территории Московской области в 2009–2017 годах

Изоляты гриба	Количество генов	Фенотип (комбинация генов вирулентности)
773-4	29	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 26, 27+31, 30, 32, 33, 38, 39, 40, 46, B
799-03	29	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 26, 27+31, 30, 32, 33, 38, 39, 40, 46, B
720-5	28	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 27+31, 30, 32, 33, 36, 39, 40, 44, 46, B
772-1, 772-13, 772-15, 772-16	27	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 27+31, 30, 32, 33, 38, 39, 40, 46, B
773-6, 773-11	26	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 26, 27+31, 30, 32, 33, 38, 39, 40, B
760-1, 760-2	24	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 26, 27+31, 30, 33, 39, 40, B
798-1, 802-2, 802-5, 803-2	25	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, 46, B
758-4, 758-5	24	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 21, 23, 26, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, B
797-2, 799-4, 800-2	24	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, 46, B
755-3, 755-6	23	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 21, 23, 25, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, B
755-8, 755-9, 758-3	23	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 21, 23, 25, 26, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, B
755-10, 755-11	23	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 21, 25, 26, 27+31, 28, 30, 32, 33, 39, 40, B
758-1, 758-2	22	1, 2c, 3a, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 21, 23, 25, 27+31, 30, 32, 33, 39, 40, 46, B
839-23	22	1, 2a, 2b, 2c, 3, 3ka, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 20, 21, 25, 30, 33, 39, 40, 45, B
755-2, 755-5	21	1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 17, 18, 23, 25, 26, 27+31, 30, 33, 39, 40, 46, B
772-2	20	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 15, 17, 18, 20, 30, 33, 39, 40, B
743-5	18	1, 2c, 3a, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 27+31, 30, 33, 39, 40, 46, B

у половины проверенных изолятов — у 55,6–78,2%, в 2009–2010 годах его частота составила 37,5–42,9%, а в 2013–2014 годах не было выявлено ни одного изолята с этим геном. Такой разброс частот (от высоких значений до низких) характерен и для изолятов с генами *p9*, *p36*, *p38*, однако годы, когда эти гены не были выявлены, составили 4–5 лет.

Как упоминалось выше, вирулентность 120 изолятов гриба определяли на наборе, состоящем из 42 Lr-линий пшеницы с единичными генами ювенильной, или расоспецифической, устойчивости к бурой ржавчине. В зависимости от устойчивости изогенной Lr-линии пшеницы реакция на внедрение изолятов гриба менялась от высоко-восприимчивой до иммунной. По количеству вирулентных изолятов гриба к Lr-линиям набора пшеницы судили о степени эффективности генов устойчивости.

Гены ювенильной устойчивости в Lr-линиях пшеницы условно разделили на группы: эффективные — частота встречаемости вирулентных изолятов к этому гену составляла 0%, средние эффективные — от 1 до 20%, слабо эффективные — от 21 до 50 и неэффективные — свыше 51%.

Таблица 3.

Вирулентность популяции *P. triticina* из Московской области в 2009–2017 годах

Гены вирулентности гриба	Частота встречаемости генов вирулентности в популяции <i>P. triticina</i> по годам (%)									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Среднее за 9 лет
<i>p1</i>	100	100	85,7	94,4	100	87,5	100	100	80	94,2
<i>p2a</i>	25	28,6	7,1	16,7	100	50	17,4	41,6	30	35,2
<i>p2b</i>	62,5	57,1	71,4	88,9	100	37,5	78,2	100	40	70,6
<i>p2c</i>	75	85,7	85,7	88,9	100	100	95,5	100	70	89,1
<i>p3a</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p3bg</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p3ka</i>	75	85,7	71,4	50	100	100	82,3	75	60	78,0
<i>p9</i>	12,5	14,3	0	0	75	25	4,3	0	0	14,6
<i>p10</i>	100	100	85,7	77,8	85	100	100	100	90	93,2
<i>p11</i>	37,5	42,9	71,4	88,9	40	87,5	100	100	80	72,0
<i>p14a</i>	100	100	92,9	100	80	100	100	100	90	95,9
<i>p14b</i>	87,5	100	92,9	94,4	80	87,5	100	100	90	92,5
<i>p15</i>	50	28,6	50	33,3	100	50	21,7	41,6	40	51,7
<i>p16</i>	37,5	42,9	64,8	55,6	0	0	78,2	58,3	70	41,0
<i>p17</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p18</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p19</i>	37,5	42,9	0	0	15	12,5	17,4	33,3	20	19,8
<i>p20</i>	50	42,9	64,8	22,2	100	37,5	82,3	75,0	60	59,4
<i>p21</i>	87,5	100	71,4	77,8	95	87,5	100	100	70	87,7
<i>p23</i>	62,5	85,7	85,7	77,8	90	0	69,5	50,0	70	65,7
<i>p24</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p25</i>	50	57,1	64,8	61,1	85	100	100	100	20	62,0
<i>p26</i>	12,5	14,3	21,4	61,1	45	62,5	47,8	41,6	40	34,5
<i>p27+p31</i>	87,5	71,4	85,7	88,9	80	87,5	100	100	80	86,9
<i>p28</i>	0	14,3	14,3	11,1	5	12,5	8,7	0	10	8,4
<i>p29</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p30</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p32</i>	87,5	100	64,8	50	75	100	100	100	90	85,3
<i>p33</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
<i>p36</i>	37,5	28,6	71,4	11,1	0	0	0	0	10	9,7
<i>p38</i>	0	0	0	0	80	87,5	4,3	0	20	21,3
<i>p39</i>	87,5	100	100	100	95	100	100	100	80	95,8
<i>p40</i>	87,5	100	100	100	75	100	100	100	90	94,7
<i>p41</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p42</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p44</i>	12,5	14,3	0	0	0	0	0	0	10	4,1
<i>p45</i>	0	0	0	0	0	0	0	8,3	10	2,0
<i>p46</i>	37,5	14,3	57,1	27,8	35	37	95,6	83,3	20	45,3
<i>p47</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p51</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>p53</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>pV</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98,9
Всего генов	32	33	30	30	31	30	32	30	34	31,3
Количество изолятов	8	7	14	18	20	8	23	12	10	120

По данным исследований эффективными к бурой ржавчине оказались следующие семь *Lr*-генов: *Lr24*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr42*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr53*, так как ни одним из 120 изолятов гриба эти линии не поразились.

К группе со средней эффективностью к бурой ржавчине отнесены пять *Lr*-генов: *Lr9*, *Lr19*, *Lr28*, *Lr44*, *Lr45*. Доля изолятов вирулентных к ним не превышала 20%.

Девятнадцать линий набора пшеницы: *Lr1*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3ka*, *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr27+31*, *Lr30*, *Lr32*, *Lr33*, *Lr39*, *Lr40*, *LrB*, оказались неэффективными против популяции бурой ржавчины из Московской области.

У остальных одиннадцати генов: *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr11*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr20*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr36*, *Lr38*, *Lr46*, степень эффективности сильно различалась по годам.

Проанализировав экспериментальные данные по структуре популяции *P. triticina* Московской области по признаку ее вирулентности в 2009–2017 годах было выявлено, что эффективными к патогену являются гены *Lr24*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr42*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr53*. В 2009–2010 и 2017 годах отмечено появление единичных изолятов гриба, вирулентных к линии с геном *Lr44*, а в 2016 и 2017 — к линии *Lr45*, ранее считавшихся устойчивыми к бурой ржавчине. Впервые ген вирулентности *p45* был обнаружен в 2015 году на посевах озимых сортов Днепровская 521, Новосибирская 67 и Омская 6 в Западносибирском КНИИСХ, а в 2016 г. единичные изоляты с этим геном были выявлены и в Московской области на озимом сорте Московская 39. Можно предположить, что со временем клоны гриба с этими генами появятся в популяциях *P. triticina* Нечерноземной полосы России с более высокой частотой. Это может привести к повторению сценария, произошедшего с геном *Lr9*. Этот ген, проявлявший более 30 лет устойчивую реакцию к бурой ржавчине на всей территории России, в 2010 году утратил эффективность в связи с районированием в Сибири новых сортов пшеницы. Изоляты, вирулентные к линии *Lr9* в популяции *P. triticina* Московской области, встречались 5 раз из 9 лет, причем с низкой частотой. Однако в 2013 году доля изолятов с этим геном составила 75%.

Аналогичное этому явление отмечали и в Поволжье, когда районирование сортов пшеницы с геном *Lr19* повлекло за собой появление

клонов гриба с геном вирулентности *r19*. Здесь ген впервые был найден в 1997 году на сорте Л 503. В последующие годы он распространился и в другие регионы России. После того, как сорта пшеницы с *Lr19* перестали возделывать на больших площадях, доля клонов с геном *r19* стала снижаться. В популяции *P. triticina* Московской области ген сохраняется с умеренной частотой — 20% в 2017 году.

Таким образом, результаты исследований, проведенные в 2009–2017 годах в ФГБНУ ВНИИФ, показали, что эффективными против бурой ржавчины остаются линии

пшеницы с генами *Lr 24, Lr 29, Lr 41, Lr 42, Lr 47, Lr 51, Lr 53*. Низкое содержание в популяции *P. triticina* 2017 года изолятов (10–20%) с генами *p9, p25, p28, p44, p45, p46* позволяет с большой долей уверенности считать, что гены устойчивости *Lr9, Lr25, Lr28, Lr44, Lr45, Lr46* пока еще обладают достаточным запасом эффективности к патогену. В связи с этим, мониторинг изменений, происходящих в популяции *P. triticina*, и привлечение доноров с эффективными генами приобретают значение для формирования системы опережающей селекции будущих сортов пшеницы.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Назарова Л.Н., Санин С.С. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991–2008 гг.). Защита и карантин растений, 2010, 2: 70(2)-80(12). Nazarova L.N., Sanin S.S. Phytosanitary situation on wheat crops in the Russian Federation (1991–2008). Protection and quarantine of plants, 2010, 2: 70 (2) -80 (12).

2. Park R.F., Jahoor A., and Felsenstein F.G. Population structure of *Puccinia recondita* in Western Europe during 1995, as assessed by variability in pathogenicity and molecular markers. J. Phytopathol., 2000, 148: 169–179. (doi: 10.1046/j.1439–0434.2000.00458.x)

3. Singh M.S., Saharan B.S., Tuagi S.S., Singh R. Breeding strategies to improve tolerance in Indian Wheat genotypes against leaf and stripe rust to enhance productivity under global climate change. Proc. BGRI 2011 Technical workshop. St. Paul, Minnesota, 2011: 173.

4. Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, Rob. et Desm.) в Поволжье. Агро XXI, 2007, 4–6. Markelova T.S. Studying the structure and variability of wheat leaf rust (*Puccinia recondita* f. Sp. *Tritici*, Rob. Et Desm.) in the Volga region. Агро XXI, 2007, 4–6.

5. Коваленко Е.Д., Жемчужина А.И., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Лапочкина И.Ф., Худокормова Ж.Н., Боккельман Г. Современное состояние популяций возбудителя бурой ржавчины и создание генбанка источников и доноров устойчивости пшеницы. Материалы Международной научно-практической конференции «Иммуногенетическая защита сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика». Большие Вяземы Московской области, 2012: 69–74. Kovalenko E.D., Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Lapochkina I.F., Khudokormova J.N., Bokkelman G. Current status of populations of leaf rust and the creation of genebank sources and donors of wheat resistance. Materials of the International scientific-practical conference "Immunogenetic protection of crops from diseases: theory and practice." Bolshie Vyazemy, Moscow Region, 2012: 69–74.

6. Ordoez M.E., and Kolmer J.A. Virulence phenotypes of a worldwide collection of *Puccinia triticina* from durum wheat. Phytopathology, 2007, 97: 344–351. (doi:10.1094 / PHYTO-97-5-0574).

7. Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Шрейдер Е.Р., Сидоров А.В. Вирулентность патотипов возбудителя листовой ржавчины пшеницы к Th Lr 9 в регионах Сибири и Урала. Тезисы II Всероссийской конференции «Современные проблемы им-

мунитета растений к вредным организмам». Санкт-Петербург, 2008: 70–73. Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Schreider E.R., Sidorov A.V. Virulence of pathotypes of wheat leaf rust pathogen to Th Lr 9 in the regions of Siberia and the Urals. Abstracts of the II All-Russian Conference "Modern Problems of Plant Immunity to Pests". St. Petersburg, 2008: 70–73.

8. Жемчужина А.И., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Афонина С.В., Коломиец Т.М. Вирулентность популяций возбудителя бурой ржавчины в районах возделывания пшеницы в России. Мат. Межд. конф. «Современные системы и методы фитосанитарной экспертизы и управления защитой растений». Большие Вяземы Московской обл., 2015: 113–124. Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Afonina S.V., Kolomiets T.M. Virulence of leaf rust pathogen populations in wheat cultivation areas in Russia. Mat. Int. conf. "Modern systems and methods of phytosanitary examination and plant protection management." Big Vyazemy, Moscow Region., 2015: 113–124.

9. Morgounov A., Ablova I., Babayants O. Genetic protection of wheat from rusts and development of resistant varieties in Russia and Ukraine. Proc. BGRI 2010 Technical Workshop Oral Presentations. Full Papers and Abstracts. St Petersburg, 2010: 1–21.

10. Жемчужина А.И., Жемчужина Н.С., Коваленко Е.Д. Расовый состав *Puccinia triticina* на территории Центрального и Западно-Сибирского регионов в 2009–2010 гг. — Материалы Международной научно-практической конференции «Иммуногенетическая защита сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика». Большие Вяземы Московской области, 2012: 126–129. Zhemchuzhina A.I., Zhemchuzhina N.S., Kovalenko E.D. The racial composition of *Puccinia triticina* in the Central and West Siberian regions in 2009–2010. — Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Immunogenetic protection of crops from diseases: theory and practice." Bolshie Vyazemy Moscow Region, 2012: 126–129.

11. Коновалова Н.Е., Семенова Л.П., Сорокина Г.К., Суздальская М.В., Жемчужина А.И. и др. Методические рекомендации по изучению расового состава возбудителей ржавчины хлебных злаков. Москва, 1976. Konovalova N.E., Semenova L.P., Sorokina G.K., Suzdalskaya M.V., Zhemchuzhina A.I. et al. Methodological recommendations on the study of the racial composition of the causative agents of rust of cereals. Moscow 1976.

12. McIntosh R.A., Wellings C.R. and Park R.F. Wheat Rusts an atlas of resistance genes. — CSIRO, Australia, 1995.

13. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rusts of wheat *Puccinia triticina* Eriks. Phytopathology, 1926, 16: 89–120.

ОБ АВТОРАХ:

Жемчужина А.И., кандидат биологических наук
Киселева М.И., кандидат биологических наук
Жемчужина Н.С., кандидат биологических наук
Белякова С.В.

ABOUT THE AUTHORS:

Zhemchuzhina A.I., PhD in Biology,
Kiseleva M.I., PhD in Biology,
Zhemchuzhina N.S., PhD in Biology
Belyakova S.V.