

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУЛЕНТНОСТИ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

СИБИКЕЕВ Сергей Николаевич, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»

КОНЬКОВА Эльмира Александровна, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»

САЛМОВА Мария Федоровна, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»

Дана характеристика вирулентности популяции *P. triticina* на яровой мягкой пшенице в Саратовской области. Исследования проводили в лаборатории иммунитета растений ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Образцы популяций патогена были собраны с районированных и перспективных сортов яровой мягкой пшеницы и озимой мягкой пшеницы в конце их вегетации при максимальном уровне развития заболевания в полевом питомнике и размножены в лабораторных условиях на восприимчивых сортах мягкой пшеницы. За три года исследований (2017–2019 гг.) изучено 30 монопустульных изолятов. Изученные изоляты были авирулентны к линиям Thatcher с генами Lr41, Lr42, Lr43+24, Lr53 и вирулентны к Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr22b, Lr25, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr38, Lr40, Lr44, Lr45, Lr B, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr57, Lr67. Отмечено существенное варьирование по вирулентности на линиях с генами Lr20, Lr23, Lr24, Lr26, Lr29 и Lr47. Изучение структуры популяции патогена позволило выявить частичную потерю эффективности гена Lr47. Установлено, что популяции *P. triticina* в 2017–2019 гг. характеризовались высокой вирулентностью.

Введение. Бурая (листовая) ржавчина (возбудитель – гриб *Puccinia triticina* Erikss.) – вредоносное заболевание пшеницы в России. Одним из эффективных способов защиты пшеницы от бурой ржавчины является использование устойчивых сортов. Для грамотной разработки стратегии селекции устойчивых сортов и размещения их в регионах возделывания необходим постоянный мониторинг популяционного состава возбудителя бурой ржавчины по частоте встречаемости генов вирулентности [1, 2, 5, 9, 11].

Вирулентность является одним из значимых характеризующих возбудителя заболевания признаков [1]. Признак вирулентности является важнейшим показателем при анализе структуры популяций фитопатогенных грибов. Поэтому мониторинг структуры популяции по вирулентности и анализ изменчивости этого признака – первоочередные задачи фитопатолога [8].

Данная работа является продолжением многолетнего изучения структуры популяции *Puccinia triticina*, проводимого в лаборатории иммунитета НИИСХ Юго-Востока. Многолетние непрерывные исследования дают представление о тенденциях и закономерностях изменений генотипического состава возбудителей болезней по генам вирулентности. Многолетнее изучение популяции *P. triticina* с использованием набора почти изогенных линий сорта Thatcher с генами устойчивости к бурой ржавчине (*Lr*-гены) показало, что саратовская популяция *P. triticina* характеризуется высокой изменчивостью и возрастанием спектра вирулентности [3–7].

Цель исследования – дать современную характеристику (эпифитотии 2017–2019 гг.) структуры популяций возбудителя бурой ржавчины на мягкой пшенице по признаку вирулентности на территории Саратовской области.

Методика исследований. Исследования структуры саратовской популяции *P. triticina* проводили на наборе моногенных *Lr*-линий серии Thatcher. Споровый материал собирали с районированных и перспективных сортов яровой мягкой пшеницы и озимой пшеницы в конце их вегетации при максимальном уровне развития заболевания в полевом питомнике. Изучаемые сорта имели разную степень поражения бурой ржавчиной: от умеренной (10–20 %) до высокой (70–90 %).

Благоприятные условия вегетационного периода 2017 г. способствовали развитию сильной эпифитотии бурой ржавчины на озимой мягкой пшенице (поражение достигало 80–90 %). Вегетационные периоды 2018 и 2019 гг. характеризовались неблагоприятными условиями для развития бурой ржавчины пшеницы.

Выделение монопустульных изолятов *P. triticina* проводили в условиях искусственного климата (теплица): температура днем 20–22 °С, влажность 70 %, продолжительность светового дня 16 ч. Споровый материал отдельных монопустульных изолятов возбудителя размножали на восприимчивом сорте озимой пшеницы Саратовская 90. Подготовленные 10–12-дневные проростки сорта инокулировали слабой суспензией уредоспор. Затем растения опрыскивали





водой и накрывали стеклянными сосудами, смоченными водой для создания влажного климата. Сосуды с растениями закрывали плотной светонепроницаемой пленкой на 12–18 ч. Температуру в теплице в период заражения и последующего развития бурой ржавчины поддерживали на уровне 18–20 °С. При появлении некрозных пятен на листьях растений в каждом сосуде оставляли единичную урединиопустулу, которую изолировали специальным стеклянным изолятором. Всего в анализе вирулентности использовали 10 монопустульных изолятов в год. Тип реакции растений на заражение патогеном определяли по шкале Майнса и Джексона [13]. По совокупности реакций набора *Lr*-линий сорта *Thatcher* на соответствующий изолят *P. triticina* определяли состав патотипов в популяции патогена.

Серия почти изогенных линий сорта *Thatcher*, используемых для анализа вирулентности популяции *P. triticina*, содержала 52 изогенных линий с *Lr*-генами: *Lr 1, Lr 2a, Lr 2b, Lr 2c, Lr 3, Lr 3bg, Lr 3ka, Lr 9, Lr 10, Lr 11, Lr 12, Lr 13, Lr 14a, Lr 14b, Lr 15, Lr 16, Lr 17, Lr 18, Lr 19, Lr 20, Lr 21, Lr 22a, Lr*

22b, Lr 23, Lr 24, Lr 25, Lr 26, Lr 28, Lr 29, Lr 30, Lr 32, Lr 33, Lr 34, Lr 35, Lr 36, Lr 37, Lr 38, Lr 40, Lr 41, Lr 42, Lr 43+24, Lr 44, Lr 45, Lr 47, Lr B, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr 51, Lr 53, Lr 57, Lr 67.

Результаты исследований. Согласно мнению Е.И. Гультьевой [1], для сохранения и увеличения срока «полезной жизни» устойчивых сортов необходимо знать, как быстро меняется вирулентность патогена. Изучение частот вирулентности к известным *Lr*-генам позволяет оценить динамику вирулентности патогена и выявить эффективные гены. Изучение популяции возбудителя бурой ржавчины, выделенной на посевах пшеницы в Саратовской области, позволило выявить изменения в составе генов вирулентности за период с 2017 по 2019 гг. (табл. 1, 2). Анализ эффективности этих генов был исследован с помощью выделенных из популяций *P. triticina* монопустульных изолятов. Всего по признаку вирулентности охарактеризовано 30 изолятов гриба (по 10 изолятов в год). В целом популяции *P. triticina* за изучаемый период характеризовались как высоковирулентные. Число

Таблица 1

Гены вирулентности/авирулентности в саратовских популяциях *P. triticina* в 2017–2019 гг.

Год	Гены вирулентности/авирулентности в популяции <i>P. triticina</i>	Всего генов вирулентности/авирулентности
2017	1, 2a, 2b, 2c, 3, 3bg, 3ka, 10, 11, 12, 13, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 21, 22a, 22b, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 44, 45, B, W, Erph, Kanred, 51, 57, 67/ 9, 19, 24, 41, 42, 43+24, 44, 47, 53 20*, 23*	42/9
2018	1, 2a, 2b, 2c, 3, 3bg, 3ka, 10, 11, 12, 13, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 21, 22a, 22b, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 44, 45, 47, B, W, Erph, Kanred, 51, 57, 67/ 9, 19, 23, 24, 29, 41, 42, 43+24, 53 20*	42/9
2019	1, 2a, 2b, 2c, 3, 3bg, 3ka, 10, 11, 12, 13, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 21, 22a, 22b, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 44, 45, 47, B, W, Erph, Kanred, 51, 57, 67 / 9, 19, 41, 42, 43+24, 53 29*	45/6

* *Lr*-ген, к которому половина изолятов *P. triticina* авирулентны, другая половина изолятов – вирулентны.

Частота встречаемости различных по вирулентности изолятов в саратовской популяции *P. triticina* в 2017–2019 гг.

Год	Отсутствие вирулентных изолятов к линиям с <i>Lr</i> -генами	Низкая частота изолятов, вирулентных к линиям с <i>Lr</i> -генами (< 10 %)	Средняя частота встречаемости изолятов, вирулентных к линиям с <i>Lr</i> -генами (от 10–50 %)	Высокая частота встречаемости изолятов, вирулентных к линиям с <i>Lr</i> -генами (>50 %)
2017	<i>Lr9, Lr19, Lr41, Lr42, Lr43+24, Lr47, Lr 53</i>	Нет	<i>Lr20, Lr23, Lr24, Lr51</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr22b, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr38, Lr40, Lr44, Lr45, Lr B, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr 57, Lr 67</i>
2018	<i>Lr43+24, Lr 53</i>	<i>Lr9, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr29, Lr41, Lr42</i>	<i>Lr20, Lr51</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr22b, Lr25, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr38, Lr40, Lr44, Lr45, Lr47, Lr B, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr 57, Lr 67</i>
2019	<i>Lr9, Lr19, Lr41, Lr42, Lr43+24, Lr 53</i>	Нет	<i>Lr23, Lr24, Lr29, Lr47, Lr51</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr22b, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr38, Lr40, Lr44, Lr45, Lr B, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr 57, Lr 67</i>

генов вирулентности варьировало от 42 до 45. При этом число генов авирулентности колебалось от 6 до 9.

В популяциях возбудителя бурой ржавчины за 2017–2019 гг. стоит отметить эффективность генов *Lr9* и *Lr19*. Так, в популяциях 2017 и 2019 г. все изоляты *P. triticina* были авирулентны к *Lr9*. В 2018 г. из 10 изолятов 9 проявили авирулентность, 1 изолят оказался вирулентным к *Lr9*. В популяциях 2017 и 2019 г. все изоляты *P. triticina* были авирулентны к *Lr19*. В популяции 2018 г. из 10 изолятов лишь 1 изолят оказался вирулентным к *Lr19*.

Согласно нашим исследованиям, проведенным ранее в 2013–2017 гг. [6, 12], все монопустульные изоляты *P. triticina* были авирулентными к *TcLr19* в течение четырех лет и лишь в 2014 г. отмечены вирулентные изоляты. В популяциях 2015–2019 гг. частота встречаемости клона *pp19* стабилизировалась и не превышала 10 %.

Стоит также отметить эффективность гена *Lr24*, которая наблюдалась в 2017–2019 гг. В 2017 г. 8 из 10 изолятов оказались авирулентны, 2 изолята вирулентны. В популяции 2018 г. 9 изолятов были авирулентны и 1 изолят вирулентен к *Lr24*. В 2019 г. из 10 изолятов 7 проявили ави-



рулентность, 3 изолята оказались вирулентными к *Lr24*.

По ранее полученным данным нашей лаборатории за период 2013–2017 гг. вирулентность к *Lr24* встречалась во все годы, но процент вирулентности колебался от максимального в 2015 г. – 70 % до 10 % в 2017 г. на фоне сильной эпифитотии патогена. В наших исследованиях ген *Lr24* показал свою эффективность на протяжении трех лет исследований. Эти данные подтверждают гипотезу о заносе (миграции) *pp24* из других зон [6].

Неоднозначный тип реакции (от 0 до 3) оказался у линии с геном *Lr29*. В популяции 2017 г. все изоляты были вирулентны. В 2018 г. ген *Lr29* показал свою эффективность, где частота встречаемости вирулентных изолятов не превышала 10 % от числа изучаемых. В 2019 г. половина из 10 изолятов оказались вирулентными.

Изоляты, вирулентные к *Lr20* и *Lr23*, встречались ежегодно с разной частотой. Так в 2017 г. половина изолятов были авирулентны, остальные – вирулентны к гену *Lr20*. В 2018 г. лишь 3 изолята проявили авирулентность, остальные были вирулентны к гену *Lr20*. В популяции 2019 г. авирулентными на линии *TcLr20* оказались 3 изолята, остальные 7 были вирулентны.

Неоднозначную реакцию показала линия *Lr23*. В 2017 г. 5 изолятов оказались авирулентными, остальные 5 изолятов вирулентными. В популяциях 2018 и 2019 гг. отмечена эффективность гена *Lr23*. Частота встречаемости вирулентных изолятов составила 10 и 20 % по годам соответственно.

Несмотря на высокую частоту встречаемости в популяции *pp23* в отдельные годы (50–100 %) и широкое использование его в селекции, ген *Lr23* не потерял значения. Так, высока перспективность использования его в комбинациях с другими *Lr*-генами, например с *Lr19* [10].

Ситуация с геном *Lr26* сложилась следующим образом: в популяциях 2017 и 2019 г. частота встречаемости вирулентных изолятов составила по 80 и 90 % соответственно. Однако в популяции 2018 г. лишь один из 10 изучаемых изолятов оказался вирулентным к *Lr26*.

Следует отметить, что на протяжении 2017–2019 гг. в популяции возбудителя бурой ржавчины частота встречаемости вирулентных клонов *pp24* и *pp51* была стабильно невысокой и не превышала 20–30 %.

Изучение структуры популяции в 2017–2019 гг. позволило выявить частичную потерю эффективности гена *Lr47*. Так в 2017 г. все изоляты были авирулентными к *Lr47*, в 2018 г. 6 из 10 изолятов были вирулентными, а в популяции 2019 г. 3 изолята из 10 оказались вирулентными к *Lr47*.

До 2017 г. ген *Lr47* относился к группе высокоэффективных [6], но в дальнейшем в саратов-

ской популяции патогена были выявлены новые вирулентные клоны *pp47*, численность которых колебалась. Возможно, что данные существенные различия связаны с высокой зависимостью частот вирулентности от влияния растения-хозяина, которые могут наблюдаться в структуре популяции в отдельные годы. Возникновение этих патотипов возможно как заносное, так как на территории Саратовской области и на приграничных с ней областях нет сортов как яровой, так и озимой мягкой пшеницы с этим геном. Более того, насколько нам известно, этого гена нет и в перспективном материале.

В целом существенное варьирование частот вирулентности *P. triticina* отмечено на линиях с генами *Lr20*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr29* и *Lr47*. К другим используемым в анализе *TcLr*-линиям частоты вирулентности оставались стабильно высокими во все годы исследований.

Сравнение вирулентности саратовских популяций *P. triticina* в 2013–2017 гг. и 2017–2019 гг. позволило выявить сдвиг в сторону увеличения вирулентности за счет преодоления гена *Lr47*. В остальной популяции по вирулентности схожи. В целом авирулентными ко всем изолятам *P. triticina* во все годы исследований (2013–2017 гг. и 2017–2019 гг.) оказались линии с генами *Lr41*, *Lr42*, *Lr43+24*, *Lr53*.

Заключение. За период 2017–2019 гг. по признаку вирулентности охарактеризовано 30 изолятов гриба. Проведенный анализ выявил существенные различия в составе популяций патогена на мягкой пшенице по годам исследований. Популяции *P. triticina* в 2017–2019 гг. характеризовались как высоковирулентные. Число генов вирулентности варьировало от 42 до 45. При этом число генов авирулентности колебалось от 6 до 9. Различия состава исследуемых популяций *P. triticina* по генам вирулентности/авирулентности заключались в разном типе реакции на гены *Lr20*, *Lr23*, *Lr26*, *Lr29* и *Lr47*. Выявлены патотипы, вирулентные к *Lr47*.

Проведенный мониторинг вирулентности образцов *P. triticina*, собранных в Саратовской области с образцов пшеницы в 2017–2019 гг., позволил выявить высокоэффективные гены *Lr41*, *Lr42*, *Lr43+24*, *Lr53*, которые могут представлять интерес для селекции на устойчивость к бурой ржавчине в Нижневолжском регионе. Для создания сортов с длительной устойчивостью к *P. triticina* рекомендуется сочетать в одном сорте несколько эффективных и частично эффективных генов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и её изменчивость под влиянием растения-хозяина: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Пушкин – СПб., 2018. – 42 с.



2. Зеленева Ю.В., Судникова В.П., Гусев И.В. Структура популяции *Puccinia triticina* Erikss. в Центральном Черноземье // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (58). – С. 70–76.

3. Иванова О.В., Маркелова Т.С. Динамика структуры популяции *Puccinia recondita f. sp. tritici*, Rob. et Desm. в Поволжье // Защита и карантин растений. – 2011. – № 9. – С. 20–21.

4. Иванова О.В. Источники устойчивости яровой пшеницы к бурой ржавчине и изменчивость структуры популяции возбудителя в условиях Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук – Саратов, 2013. – 24 с.

5. Конькова Э.А. Структура популяции *Puccinia triticina* Erikss. на посевах озимой и яровой мягкой пшеницы в Саратовской области // Вестник защиты растений. – 2018. – № 4(98). – С. 44–49.

6. 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. – С. 37–40.

7. Маркелова Т.С., Баукенова Э.А. Иммунологические исследования популяции бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia recondita f. sp. tritici*, Rob. et Desm.) в Поволжье // Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам: тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 108.

8. Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур / М.М. Левитин [и др.] // Вестник защиты растений. – 2019. – № 4(102). – С. 5–16.

9. Расширение генетического разнообразия сортовых яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Erikss.) в Нижнем Поволжье / Е.И. Гуляева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55. – № 1. – С. 27–44.

10. Сибикеев С.Н. Чужеродные гены в селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листовой ржавчине: дис. ... д-ра биол. наук. – Саратов, 2002. – 200 с.

11. Эффективная устойчивость к листовой ржавчине образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР / Л.Г. Тырышкин [и др.] // Vavilovia. – 2019. – Т. 2. – С. 35–43.

12. Konkova E.A. *Puccinia triticina* population structure in winter and spring wheat in the Saratov region of Russia during 2013-2017 // Annual Wheat Newsletter, 2019, T. 65, P. 45.

13. Mains E.B., Jakson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat; *Puccinia triticina* Erikss // Phytopathology, 1926, Vol.16, P. 89–120.

Сибикеев Сергей Николаевич, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Россия.

Конькова Эльмира Александровна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Россия.

Салмова Мария Федоровна, биолог I категории, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Россия.

410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, 7.

Тел.: (8452) 64-76-88.

Ключевые слова: пшеница; *Puccinia triticina*; популяции; вирулентность; монопустульные изоляты; устойчивость; Lr-гены.

CHARACTERISTIC OF THE BREAD WHEAT LEAF RUST PATHOGEN VIRULENCE IN THE SARATOV REGION CONDITIONS

Sibikeev Sergey Nikolaevich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Agricultural Research Institute for South-East Region, Russia.

Konkova Elmira Alexandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Agricultural Research Institute for South-East Region, Russia.

Salmova Maria Fedorovna, Biologist of the first category, Agricultural Research Institute for South-East Region, Russia.

Keywords: wheat; *Puccinia triticina*; population; virulence; monopustules isolates; resistance; Lr-genes.

The studies were conducted in the Laboratory of plant immunity Agricultural Research Institute for South-East Regions Russia. The samples of pathogen populations were collected from commercial and promising cultivars of spring and winter bread wheat at the end of their growing season at the maximum level of disease development in

a field nursery. Then this inoculum's has been propagated on susceptible cultivars of bread wheat in the laboratory conditions. During three years of studies (2017-2019) 30 monopustules isolates has been studied. These studied isolates were avirulent to Thatcher near isogenic lines with genes Lr41, Lr42, Lr43+24, Lr53 and virulent to Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr22b, Lr25, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr38, Lr40, Lr44, Lr45, Lr b, Lr W, Lr Erph, Lr Kanred, Lr57, Lr67. The significant variation for virulence was observed in lines with the Lr20, Lr23, Lr24, Lr26, Lr29, and Lr47 genes. The study of the *P. triticina* population structure in 2017-2019 revealed a partial loss of the effectiveness of the Lr47 gene. It was found that populations of *P. triticina* in 2017-2019 were characterized by high virulence.

