

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУЛЕНТНОСТИ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ НА СОРТАХ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Л. Шайдаюк¹, младший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

Е. И. Гулятьева¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

Н. В. Шишкин², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;

Т. Г. Дерова², ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

Д. Р. Яковлева¹, лаборант-исследователь лаборатории микологии и фитопатологии, ORCID ID: 0000-0003-0464-042X;

Н. П. Иличкина², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений

196608, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, шоссе Подбельского, 3;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, г. Зерноград, Научный городок, 3

Целью данной работы являлись характеристика вирулентности популяции *P. triticina* на твердой пшенице в Ростовской области и оценка устойчивости к бурой ржавчине у перспективных сортов озимой твердой пшеницы селекции АНЦ «Донской». Совместные исследования проведены в лабораториях ФГБНУ «АНЦ» Донской и ФГБНУ ВИЗР. Образцы популяций патогена были собраны на сортах твердой пшеницы Дончанка, Лазурит, Донской янтарь и Прикумская 142 и размножены в лабораторных условиях на восприимчивых сортах мягкой и твердой пшеницы. Всего изучено 64 монопустульных изолята. Изученные изоляты были авирулентны к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr9*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr19*, *Lr20* и *Lr24* и вирулентны к *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr18*, *Lr26*, *Lr30* и *Lr44*. Все образцы популяций, размноженные на твердой пшенице, характеризовались авирулентностью к линии TcLr17, а размноженные на мягкой – преимущественно вирулентностью. В целом проведенный анализ выявил существенные различия в составе популяций патогена на твердой и мягкой пшенице. Изоляты с твердой пшеницы имели достоверно меньшее число аллелей вирулентности по сравнению с изолятами с мягкой пшеницы. Кроме того, наблюдали различия в латентном периоде у изолятов, развивающихся на мягкой и твердой пшенице (на мягкой пшенице он был меньше). В лабораторных и полевых условиях в 2015–2017 гг. изучено 17 сортов озимой твердой пшеницы. Высоким уровнем устойчивости в полевых (пораженность – 0–5%) и лабораторных условиях (балл – 0–2) характеризовались сорт Эйрена и линия КС-586/13. Выявлены слабовосприимчивые сорта (Юбилярка, Лазурит, Курант, Аксинит). Умеренное поражение во все годы исследований отмечено на сортах Яхонт, Терра, Диона, Кристелла, Агат Донской (10–20%). К группе восприимчивых относился сорт Дончанка (50–60% – 2015–2016 гг.; 40–50% – 2017 г.), среднюю восприимчивость проявили сорта Донской янтарь, Гелиос, Янтарина и Амазонка (20–40%).

Ключевые слова: *Triticum durum*, вирулентность, *Puccinia triticina*, *Lr*-гены, устойчивость.



CHARACTERISTICS OF BROWN LEAF RUST VIRULENCE ON WINTER DURUM WHEAT VARIETIES IN THE ROSTOV REGION

E. L. Shaydayuk¹, junior researcher of the laboratory of mycology and phytopathology, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

E. I. Gulyaeva¹, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory of mycology and phytopathology, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

N. V. Shishkin², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of plant immunity and protection, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;

T. G. Derova², leading researcher of the laboratory of plant immunity and protection, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

D. R. Yakovleva¹, research assistant of the laboratory of mycology and phytopathology, ORCID ID: 0000-0003-0464-042X;

N. P. Ilchikina², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of winter durum wheat breeding and seed-growing, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322

¹FSBSI All-Russian Research Institute of Plant Protection,

196608, St. Petersburg, Pushkin, Podbelsky Av., 3;

²FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3

The purpose of this work was to characterize the virulence of the *P. triticina* population on durum wheat in the Rostov region and to assess the leaf rust resistance in the promising winter durum wheat varieties selected by the "ARC "Donskoy". The joint studies were conducted in the laboratories of FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy" and FSBSI All-Russian Research Institute of Plant Protection. The samples of pathogen populations were collected on durum wheat varieties "Donchanka", "Lazurit", "Donskoy Yantar" and "Prikumskaya 142" and propagated on the susceptible soft and durum wheat varieties in the laboratory. There were studied 64 mono pustular isolate. The studied isolates were avirulent to the Thatcher lines with the genes *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr9*, *Lr15*,

Lr16, Lr19, Lr20 and Lr24 and were virulent to Lr3a, Lr3bg, Lr3ka, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr18, Lr26, Lr30 и Lr44. All samples of populations propagated on durum wheat were characterized by avirulence to the TcLr17 line, and those propagated on soft wheat were mainly characterized by virulence. In general, the conducted analysis revealed significant differences in the composition of pathogen populations on durum and soft wheat. The isolates from durum wheat had a significantly smaller number of virulence alleles, compared with the isolates from soft wheat. In addition, there were observed differences in the latent period of isolates developing on soft and durum wheat (it was less on soft wheat). In 2015–2017 there were studied 17 varieties of winter durum wheat in the laboratory and field conditions. The variety "Arena" and line KS-586/13 were characterized with a high level of resistance in the field (0–5% of infestation) and laboratory conditions (score 0–2). There were identified the weakly susceptible varieties "Yubilyarka", "Lazurit", "Kurant", "Aksinit". A moderate infestation throughout all years of study was established on the varieties "Yakhont", "Terra", "Diona", "Kristella", "Agat Donskoy" (10–20%). The variety "Donchanka" (50–60% in 2015–2016; 40–50% in 2017) belongs to the susceptible group. The varieties "Donskoy Yantar", "Gelios", "Yantarina" and "Amazonka" were of medium susceptibility (20–40%).

Keywords: *Triticum durum*, virulence, *Puccinia triticina*, Lr-genes, resistance.

Введение. Благодаря высоко стекловидному янтарному зерну с повышенным содержанием каротиноидов, особым физическим свойствам теста, способности давать специальную крупнозернистую крупку (семолину) твердая пшеница *Triticum durum* Desf. по своей значимости считается второй после мягкой пшеницы культурой. Зерно этой культуры является единственным сырьем для изготовления высококачественных макаронных изделий, спагетти и круп.

В Ростовской области культура твердой пшеницы представлена сортами ярового и озимого образа жизни, площадь под которыми составляет 10–15 тыс. га. Средняя урожайность выращиваемых в области сортов достигает 4–6 т/га, при этом для новых сортов она может достигать 9–11 т/га (Самофалова и др., 2012). Для реализации потенциала продуктивности высококачественного зерна твердой пшеницы, наряду с соблюдением агротехнологических приемов, особую значимость имеет устойчивость возделываемых сортов к биотическим стрессам, среди которых более распространенным является бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.).

Считается, что твердая пшеница более устойчива к бурой ржавчине по сравнению с мягкой пшеницей (Дорофеев и др., 1987). Популяционно-генетические исследования патогена на твердой пшенице получили развитие после нескольких серьезных эпифитотий в Мексике в начале 2000-х гг. Популяции возбудителя бурой ржавчины, обитающие на твердой пшенице, охарактеризованы по признаку вирулентности во многих странах (Ordoñez and Kolmer, 2007; Mantovani et al., 2010; Goyeau et al., 2012). В России такие исследования проводились ограниченно на Дагестанской опытной станции ВИР в 1970–1980 гг. (ДОС ВИР) (Дмитриев и др., 1976; Берлянд-Кожевников и др., 1978; Михайлова и Метревелли, 1986). Во всех этих исследованиях показаны существенные различия по вирулентности между изолятами *P. triticina* на мягкой и твердой пшенице.

Аграрный научный центр «Донской» ежегодно создает и передает в Госсорткомиссию РФ сорта озимой твердой пшеницы с высокими агробиологическими характеристиками, в том числе с высокой устойчивостью к основным болезням, которые преобладают в Ростовской области.

Целью данной работы являлись характеристика вирулентности изолятов *P. triticina* на сортах твердой пшеницы селекции АНЦ «Донской» и оценка полевой и ювенильной устойчивости к бурой ржавчине у перспективных сортов озимой твердой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Совместные исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской» и лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР. В иммунологических исследованиях использовали 17 сортов озимой твердой пшеницы, созданных в ФГБНУ «АНЦ «Донской»: Дончанка, Аксинит, Курант, Амазонка, Агат Донской, Кристелла, Лазурит, Диона, Донской янтарь, Гелиос, Эйрена, Терра, Яхон, Янтарина, Юбиларка, КС-1595/13, КС-586/13. Устойчивость к бурой

ржавчине изучали в полевых условиях аграрного центра на искусственном инфекционном фоне. Заражение сортов проводили в фазу «кущение – трубкование» путем опудривания растений смесью урединиоспор с мукой. Интенсивность поражения ржавчиной у сортов проводили по шкале Р. Ф. Петерсона (Peterson et al., 1948). В качестве восприимчивых контролей использовали сорт озимой мягкой пшеницы Тарасовская 29 и сорт озимой твердой пшеницы Дончанка.

Для лабораторных опытов листья с урединиопустулами бурой ржавчины были собраны в 2018 г. с сортов озимой твердой пшеницы Дончанка, Лазурит, Донской янтарь и Прикумская 142, выращиваемых на селекционном участке АНЦ «Донской». В лабораторных условиях ВИЗР образцы популяций были размножены на восприимчивых сортах мягкой (Thatcher) и твердой (Памяти Чеховича) пшеницы. Для получения монопустульных изолятов и их размножения использовали метод культивирования гриба на отрезках листьев пшеницы, помещенных в раствор бензимидазола (0,004%) (Михайлова и др., 2000).

Анализ вирулентности проводили на проростках изогенных линий пшеницы сорта Thatcher (фаза первого листа). По 3–5 зерен каждой изогенной линии (TcLr-линии) сеяли в почву. 10–14-дневные проростки инокулировали суспензией возбудителя, выдерживали в течение 10–15 ч в темноте во влажной камере, после чего переносили в светоустановку и инкубировали при температуре 22 °С. Учет проводили на 10–12-й день после заражения. Для оценки устойчивости использовали шкалу Е. В. Мейнс и Н. С. Jackson (1926), где 0 – отсутствие симптомов; 0 – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего размера без некроза; 4 – крупные пустулы без некроза; X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы. Растения с типом реакции X относили к восприимчивым.

Из спорового материала возбудителя, собранного с каждого из четырех сортов, анализировали по 16 изолятов. Среди них 8 изолятов были размножены на твердой и 8 на мягкой пшенице. Фенотип (расу) гриба определяли по типу реакции на 20 TcLr-линиях. Обозначение фенотипов вирулентности проводили по североамериканской системе (Long and Kolmer, 1989). Для этого использованные TcLr-линии были разделены в пять наборов по четыре линии в каждом: 1-й набор – Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr3a; 2-й – Lr9, Lr16, Lr24, Lr26; 3-й – Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30; 4-й – Lr2b, Lr3bg, Lr14a, Lr14b; 5-й – Lr15, Lr18, Lr19, Lr20. Первые три набора соответствовали предложенным D. Long и J. Kolmer (1989), другие два включали линии, эффективные для дифференциации российских популяций патогена (Gulyaeva et al., 2012). Дополнительно в анализ включили линии TcLr23 и TcLr44, поскольку на этих линиях выявлены различия в вирулентности между северокавказскими и азиатскими популяциями патогена на твердой пшенице (Шайдаук и др., 2019).

Буквенный код фенотипов (рас), частоты вирулентности и фенотипов определяли с использованием пакета программ Virulence Analysis Tool (VAT) (Kosman, 2008).

Для изучения ювенильной устойчивости 17 перспективных сортов озимой твердой пшеницы проводили оценку их в фазу проростка. Сорта выращивали в сосудах с почвой. В фазе первого листа их инокулировали зерноградской популяцией *P. triticina*

с твердой пшеницы (ЗПт), а также сборной зерноградских популяций (ЗПм) и тремя клона патогена (K1, K2, K3), выделенными с мягкой пшеницы. Характеристика вирулентности используемого инфекционного материала представлена в таблице 1. Рабочая концентрация суспензии спор составляла 1×10^6 спор/мл. Учет проводили на 10-й день после заражения по представленной выше шкале E. B. Mains и H. S. Jackson.

1. Характеристика инфекционного материала *P. triticina* по вирулентности 1. Characteristics of infectious material *P. triticina* according to virulence

Изолят/ популяция	Происхождение	Вирулентность к линиям TcLr	Авирулентность к линиям TcLr
Инфекционный материал с <i>Triticum aestivum</i>			
K1	Челябинская обл., 2016 г.	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 30	19, 24, 26, 28, 29
K2	Тамбовская обл., 2016 г.	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 30	9, 24, 26, 28, 29
K3	Краснодарский край, 2016 г.	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 26, 30	9, 24, 28, 29
ЗПм	Ростовская обл., 2017 г.	1, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 30	2a, 2b, 9, 15, 19, 24, 28, 29
Инфекционный материал с <i>Triticum durum</i>			
ЗПт	Ростовская обл., 2018 г.	1, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 17, 18, 19, 20, 26, 30	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 24, 28, 29

Результаты и их обсуждение. В популяционных исследованиях охарактеризована вирулентность образцов *P. triticina*, собранных с сортов твердой пшеницы Дончанка, Лазурит, Донской янтарь и Прикумская 142. Популяции были размножены на универсально восприимчивых сортах мягкой и твердой пшеницы (Thatcher и Памяти Чеховича), что позволяло оценить влияние вида пшеницы на селективный отбор патогена по вирулентности.

Всего изучено 64 монопустульных изолята (табл. 2). Все изоляты с твердой пшеницы были авирулентны к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr9*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr19*, *Lr20* и *Lr24* и вирулентны к *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr18*, *Lr26*, *Lr30* и *Lr44*. Изоляты авирулентные к линии TcLr23 отмечены

только в споровом образце с сорта Дончанка при размножении на мягкой пшенице. Этот ген, как и *Lr14b*, передан мягкой пшенице от *T. durum* (McIntosh et al., 1995).

Существенное варьирование между коллекциями изолятов, размноженными на мягкой и твердой пшенице, наблюдали по вирулентности к TcLr17 (от 0% до 100). Все изоляты, размноженные на твердой пшенице, характеризовались авирулентностью к линии TcLr17. Для монопустульных изолятов, размноженных на мягкой пшенице, наблюдали варьирование по вирулентности к этой линии: с сортов Дончанка и Донской янтарь все изоляты были вирулентны; с сорта Дончанка – 88%; с сорта Донской янтарь – 73% (табл. 2).

2. Вирулентность и фенотипический состав изолятов *Puccinia triticina* на сортах озимой твердой пшеницы (Зерноград, 2018 г.) 2. Virulence and phenotypic composition of *Puccinia triticina* isolates on durum wheat varieties (Zernograd, 2018)

Гены Lr	Частоты вирулентности изолятов патогена (%) с сортов							
	Дончанка		Прикумская 142		Лазурит		Донской янтарь	
	м*	т	м	т	м	т	м	т
2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	0	0	0	0	0	0	0
17	88	0	100	0	100	0	73	0
23	25	100	100	100	100	100	100	100
3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 18, 26, 30, 44	100	100	100	100	100	100	100	100
Фенотипы	MCTKG MCRKG	MCRKG	MCTKG	MCRKG	MCTKG	MCRKG	MCTKG MCRKG	MCTKG
Число изолятов	8	8	8	8	8	8	8	8

*Размножение на мягкой (м) и твердой (т) пшенице.

Полученные результаты выявили существенные различия между составом популяции *P. triticina* на твердой и мягкой пшеницах. Зерноградская популяция на мягкой пшенице, собранная в 2017 г. и используемая в настоящих исследованиях при изучении устойчивости сортов твердой пшеницы (табл. 2), характеризовалась большим числом аллелей вирулентности и отличалась по вирулентности к линиям Lr2c, TcLr17 и TcLr16.

Анализ фенотипического состава образцов популяций *P. triticina* на разных сортах твердой пшеницы не выявил высокого разнообразия. Один общий фенотип MCRKG отмечен на всех сортах при размножении инокулюма на твердой пшенице. Данный фенотип относится к группе редких для популяций патогена на мягкой пшенице во всех российских регионах (Гультяева и др.,

2017). В целом проведенный анализ выявил существенные различия в составе патогена на твердой пшенице по сравнению с ранее изученными популяциями патогена на мягкой пшенице (Шайдак и др., 2019). Изоляты с твердой пшеницы имели достоверно меньшее число аллелей вирулентности (Kosman et al., 2008) по сравнению с изолятами с мягкой пшеницы (Martínez et al., 2005). В связи с этим представляло интерес оценить вирулентность инокулюма *P. triticina*, полученного с твердой и мягкой пшеницы, для сортов твердой пшеницы.

Результаты оценки устойчивости сортов твердой пшеницы в фазе проростков представлены в таблице 3. Большинство изученных сортов, за исключением сорта Дончанка, характеризовались высокой степенью устойчивости к используемым клонам и популяциям патогена с мягкой пшеницы.

3. Результаты изучения сортов твердой пшеницы по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины 3. The study results of the durum wheat varieties according to their resistance to brown rust pathogen

№ п/п	Сорт	Тип реакции в фазе проростков (балл)					Пораженность в поле, %		
		K1	K2	K3	ЗПм	ЗПт	2015 г.	2016 г.	2017 г.
1	Дончанка	2	3	3	3	3–4	50–60	50–60	40–50
2	Аксинит	–	0	0	3	3	20–30	10–15	0–5
3	Курант	0–1;	0;	0	–	2	15–20	5–10	0–5
4	Амазонка	0–1;	0;	0	–	3	20–30	15–20	20–30
5	Агат Донской	0	0;	0–1;	3	3	10–15	15–20	5–10
6	Кристелла	0;	0;	0;	–	2*–3	10–15	15–20	15–20
7	Лазурит	–	0;	0–1;	2	3	10–15	5–10	0–5
8	Диона	0–1;	0;	0;	0–1;	2*–3	15–20	10–15	10–15
9	Донской январь	0;	0–1;	0–1;	3	3	30–40	40–50	30–40
10	Гелиос	1–2	0;	–	0;	3	20–30	30–40	20–30
11	Терра	0	–	0;	2	3	15–20	10–15	10–15
12	Эйрена	0–1;	0	0;	1–2;	1–2	0–5	0–5	сл
13	Яхонт	0;	0;	0;	0;	1–2	10–15	15–20	10–15
14	Янтарина	0;	0;	0;	0;	1–2	20–30	15–20	15–20
15	Юбиларка	2–3	0;	0–1;	–	3	10–15	0–5	0–5
16	КС-1595/13	0	3	0;	0	3	–	5–10	–
17	КС-586/13	0	0	0–1;	0;	0;	сл	сл	0–5

Сорт Юбиларка был умеренно восприимчив к кло-ну, вирулентному к *Lr9* (K1); линия КС-1595/13 – к кло-ну, вирулентному к *Lr19* (K2), а сорта Аксинит, Агат Донской и Донской январь – к сборной зерноградской популяции патогена.

При инокуляции популяцией патогена, полученной с твердой пшеницы (Пт), большинство изученных сортов характеризовались восприимчивостью. Устойчивый тип реакции (0–2) имели Курант, Эйрена, Яхонт, Янтарина, КС-586/13. По сравнению с мягкой пшеницей, на которой симптомы поражения ржавчины проявлялись на 7–8-й день после инокуляции, на сортах твердой пшеницы достоверная визуализация симптомов отмечалась несколько позднее (на 10–14-й день), что свидетельствует о более длительном латентном периоде возбудителя при поражении твердой пшеницы, относящемся к положительному качеству неспецифической устойчивости сортов.

Интенсивность поражения сортов озимой твердой пшеницы в полевых условиях варьировала по годам исследований. В 2015–2016 гг. максимальная пораженность восприимчивого сорта Дончанка составляла 50–60%; в 2017 г. – 40–50%. Среднюю воспри-

имчивость проявляли сорта Донской январь, Гелиос, Янтарина и Амазонка (20–40%). Все другие изученные образцы твердой пшеницы имели существенно меньшее поражение, что указывает на их разный уровень полевой устойчивости.

У большинства сортов озимой твердой пшеницы во взрослом состоянии в полевых условиях преобладали устойчивые типы реакции (1, 2). У сортов Дончанка, Донской январь наблюдали гетерогенность по типам реакции (1, 2, 3, X).

Наименьшей степенью поражения в полевых условиях в изученный период времени (0–5%) характеризовались сорт Эйрена и линия КС-586/13. Эти же образцы показали высокий уровень ювенильной устойчивости ко всем используемым изолятам и популяциям патогена. На сортах Юбиларка и Лазурит пораженность варьировала от 0 до 15%; на сорте Курант – от 0 до 20%; на сорте Аксинит – от 0 до 30%. Слабое поражение во все годы исследований отмечено на сортах Яхонт, Терра, Диона, Кристелла, Агат Донской (10–20%).

Выводы. Проведенный анализ выявил существенные различия в составе популяции возбудителя бурой ржавчины на сортах мягкой и твердой пшеницы.

Определено, что генотипы твердой пшеницы отбирают менее вирулентные изоляты патогена по сравнению с генотипами мягкой пшеницы. Отмечены различия в латентном периоде при развитии *P. triticina* на сортах мягкой и твердой пшеницы. На твердой пшенице он был длиннее на 2–4 дня, чем на мягкой пшенице. Показано, что инокулюм, полученный с твердой пшеницы, является более вирулентным для сортов твердой пшеницы, чем инокулюм с мягкой пшеницы.

Многолетний анализ устойчивости перспективных сортов твердой пшеницы в полевых условиях Зернограда показал их различную степень устойчивости по сравнению с восприимчивым контролем. Сорта Донской янтарь, Гелиос, Янтарина и Амазонка проявляют среднюю устойчивость; сорта Юбиларка, Курант и Аксинит устойчивы к патогену; сорта Эйрена и КС-586/13 высокоустойчивы к изолятам и популяциям патогена.

Библиографические ссылки

1. Берлянд-Кожевников В. М., Дмитриев А. П., Будашкина Е. Б., Шитова И. Т., Рейтер В. Г. Устойчивость пшеницы к бурой ржавчине (генетическое разнообразие популяций гриба и растения-хозяина). Новосибирск: Наука, 1978.
2. Гулятьевой Е. И., Аристова М. К., Шайдаук Е. Л., Мироненко Н. В., Казарцев И. А., Ахметова А., Косман Е. Генетическая дифференциация *Puccinia triticina* Erikss. на территории России // Генетика. 2017. № 53(9). С. 1053–1060. DOI 10.7868/S0016675817070037.
3. Дмитриев А. П., Михайлова Л. А., Шеломова Л. Ф., Деревянкин А. И. Исследование расового и генотипического состава дербентской популяции *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. *tritici* в 1972–1973 гг. // Микология и фитопатология. 1976. № 10(4). С. 61–64.
4. Дорофеев В. Ф., Удачин Р. А., Семенова Л. В. и др. Пшеницы мира. Ленинград: Колос, 1987.
5. Михайлова Л. А., Метревели Т. Г. Структура популяций *Puccinia triticina* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* Erikss. на разных видах пшеницы // Микология и фитопатология. 1986. № 20(2). С. 138–142.
6. Михайлова Л. А., Гулятьева Е. И., Мироненко Н. В. Методы исследований структуры популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*. Иммуногенетические методы создания устойчивых к вредным организмам сортов. СПб., 2000.
7. Самофалова Н. Е., Попов А. С., Иличкина Н. П., Дубинина О. А., Дерова Т. Г. Твердая (тургидная) озимая пшеница в Ростовской области (сортосов состав, технология возделывания, семеноводство). Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2012. 80 с.
8. Шайдаук Е. Л., Гулятьева Е. И., Мальчиков П. Н., Розова М. А., Коробейников Н. И. Сравнительный анализ популяций *Puccinia triticina* на твердой и мягкой пшенице // Микология и фитопатология. 2019. № 4. (В печати.)
9. Goyeau H., Berder J., Czerepak C., Gautier A., Lanen C., Lannou C. Low diversity and fast evolution in the population of *Puccinia triticina* causing durum wheat leaf rust in France from 1999 to 2009, as revealed by an adapted differential set // Plant Pathology. 2012. Vol. 61(4). Pp. 761–772. DOI 10.1111/j.1365-3059.2011.02554.x.
10. Goyeau H., Park R. F., Schaeffer B., Lannou C. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in French wheat leaf rust populations // Phytopathology. 2006. Vol. 96(3). Pp. 264–73. DOI 10.1094/PHYTO-96-0264.
11. Gulyaeva E. I., Dmitriev A. P., Kosman E. Regional diversity of Russian populations of *Puccinia triticina* in 2007 // Canadian J. Plant Pathology. 2012. Vol. 34(2). Pp. 213–224. DOI 10.1080/07060661.2011.633562.
12. Kosman E., Dinor A., Herrmann A. Virulence Analysis Tool (VAT) // User Manual. 2008.
13. Long D., Kolmer J. A. North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 1989. Vol. 79. Pp. 525–529.
14. Mantovani P., Maccaferri M., Tuberosa R., Kolmer J. A. Virulence phenotypes and molecular genotypes in collections of *Puccinia triticina* from Italy // Plant Disease. 2010. Vol. 94(4). Pp. 420–424. DOI 10.1094/PDIS-94-4-0420.
15. Martinez F., Sillero J. C., Rubiales D. Pathogenic specialization of *Puccinia triticina* in Andalusia from 1998 to 2000 // Journal of Phytopathology. 2005. Vol. 153. Pp. 344–349. DOI 10.1111/j.1439-0434.2005.00983.x.
16. Mains E. B., Jackson H. S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat; *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. Vol. 16. Pp. 89–120.
17. McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. Melbourne: CSIRO Publishing, 1995.
18. Ordonez M. E., Kolmer J. A. Virulence phenotypes of a worldwide collection of *Puccinia triticina* from durum wheat // Phytopathology. 2007. Vol. 97. Pp. 344–351. DOI 10.1094/PHYTO-97-3-0344.
19. Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. Adigrammatic scaleforestimatingrust intensityonleaves and stems of cereals // Can. J. Res. 1948. Vol. 26. Pp. 496–500. DOI 10.1139/cjr48c-033.
20. Singh R. P., Huerta-Espino J., Pfeiffer W., Figueroa-Lopez P. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in Northwestern Mexico from 2001 to 2003 // Plant Disease. 2004. Vol. 88. Pp. 703–708. DOI 10.1094/PDIS.2004.88.7.703.

References

1. Berlyand-Kozhevnikov V. M., Dmitriev A. P., Budashkina E. B., Shitova I. T., Rejter V. G. Ustojchivost' pshenicy k buroj rzhavchine (geneticheskoe raznoobrazie populyacij griba i rasteniya-hozyaina) [Wheat resistance to leaf rust (genetic diversity of the fungus and host plant populations)]. Novosibirsk: Nauka, 1978.
2. Gul'tyaevoy E. I., Aristova M. K., Shajdayuk E. L., Mironenko N. V., Kazarcev I. A., Ahmetova A., Kosman E. Geneticheskaya differenciatsiya *Puccinia triticina* Erikss. na territorii Rossii [Genetic differentiation of *Puccinia triticina* Erikss. on Russian territory] // Genetika. 2017. № 53(9). S. 1053–1060. DOI 10.7868/S0016675817070037.
3. Dmitriev A. P., Mihajlova L. A., Shelomova L. F., Derevyankin A. I. Issledovanie rasovogo i genotipicheskogo sostava derbentskoj populyacii *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. *tritici* v 1972–1973 gg. [The study of the racial and genotypic composition of the Derbent population of *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. *tritici* in 1972–1973] // Mikologiya i fitopatologiya. 1976. № 10(4). S. 61–64.
4. Dorofeev V. F., Udachin R. A., Semenova L. V. i dr. Pshenicy mira [Wheats of the world]. Leningrad: Kolos, 1987.

5. Mihajlova L. A., Metreveli T. G. Struktura populacij *Puccinia triticina* Rob. Ex Desm. f. sp. *tritici* Erikss. na raznyh vidah pshenicy [Population structure of *Puccinia triticina* Rob. Ex Desm. f. sp. *tritici* Erikss. on different types of wheat] // Mikologiya i fitopatologiya. 1986. № 20(2). S. 138–142.
6. Mihajlova L. A., Gul'tyaeva E. I., Mironenko N. V. Metody issledovanij struktury populacij vozbuditelya buroj rzhavchiny pshenicy *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*. Immunogeneticheskie metody sozdaniya ustojchivyh k vrednym organizmam sortov [Methods for studying the structure of brown rust pathogen populations *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*. Immune and genetic methods for developing the pest-resistant varieties]. SPb., 2000.
7. Samofalova N. E., Popov A. S., Ilichkina N. P., Dubinina O. A., Derova T. G. Tverdaya (turgidnaya) ozimaya pshenica v Rostovskoj oblasti (sortovoj sostav, tekhnologiya vozdevlyvaniya, semenovodstvo) [Durum (turgid) winter wheat in the Rostov region (varietal composition, cultivation technology, seed-growing)]. Rostov n/D.: ZAO "Kniga", 2012. 80 s.
8. Shajdayuk E. L., Gul'tyaeva E. I., Mal'chikov P. N., Rozova M. A., Korobejnikov N. I. Sravnitel'nyj analiz populacij *Puccinia triticina* na tverdoj i myagkoj pshenice [Comparative analysis of *Puccinia triticina* populations on durum and soft wheat] // Mikologiya i fitopatologiya. 2019 № 4. (V pechati.)
9. Goyeau H., Berder J., Czerepak C., Gautier A., Lanen C., Lannou C. Low diversity and fast evolution in the population of *Puccinia triticina* causing durum wheat leaf rust in France from 1999 to 2009, as revealed by an adapted differential set // Plant Pathology. 2012. Vol. 61(4). Pp. 761–772. DOI 10.1111/j.1365-3059.2011.02554.x.
10. Goyeau H., Park R. F., Schaeffer B., Lannou C. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in French wheat leaf rust populations // Phytopathology. 2006. Vol. 96(3). Pp. 264–73. DOI 10.1094/PHYTO-96-0264.
11. Gulyaeva E. I., Dmitriev A. P., Kosman E. Regional diversity of Russian populations of *Puccinia triticina* in 2007 // Canadian J. Plant Pathology. 2012. Vol. 34(2). Pp. 213–224. DOI 10.1080/07060661.2011.633562.
12. Kosman E., Dinooor A., Herrmann A. Virulence Analysis Tool (VAT) // User Manual. 2008.
13. Long D., Kolmer J. A. North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 1989. Vol. 79. Pp. 525–529.
14. Mantovani P., Maccaferri M., Tuberosa R., Kolmer J. A. Virulence phenotypes and molecular genotypes in collections of *Puccinia triticina* from Italy // Plant Disease. 2010. Vol. 94(4). Pp. 420–424. DOI 10.1094/PDIS-94-4-0420.
15. Martinez F., Sillero J. C., Rubiales D. Pathogenic specialization of *Puccinia triticina* in Andalusia from 1998 to 2000 // Journal of Phytopathology. 2005. Vol. 153. Pp. 344–349. DOI 10.1111/j.1439-0434.2005.00983.x.
16. Mains E. B., Jackson H. S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat; *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. Vol. 16. Pp. 89–120.
17. McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. Melbourne: CSIRO Publishing, 1995.
18. Ordonez M. E., Kolmer J. A. Virulence phenotypes of a worldwide collection of *Puccinia triticina* from durum wheat // Phytopathology. 2007. Vol. 97. Pp. 344–351. DOI 10.1094/PHYTO-97-3-0344.
19. Peterson R. F., Cambell A. B., Hannah A. E. Adigrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Can. J. Res. 1948. Vol. 26. Pp. 496–500. DOI 10.1139/cjr48c-033.
20. Singh R. P., Huerta-Espino J., Pfeiffer W., Figueroa-Lopez P. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in Northwestern Mexico from 2001 to 2003 // Plant Disease. 2004. Vol. 88. Pp. 703–708. DOI 10.1094/PDIS.2004.88.7.703.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.