

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.161:632

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-260-269



Устойчивость образцов ячменя из Восточноазиатского центра разнообразия культуры к net- и spot-формам возбудителя сетчатой пятнистости

Н. М. Лашина¹, О. С. Афанасенко¹, И. Г. Лоскутов²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Михайловна Лашина, nlashina@mail.ru

Актуальность. Ячмень – основная кормовая культура и ценное сырье для пивоваренной промышленности. Вредоносной болезнью ячменя является сетчатая пятнистость, вызываемая гемибииотрофным грибом *Pyrenophora teres* Drechsler, который существует в двух формах, различающихся по симптомам на ячмене: net-форма *P. teres* f. *teres* и spot-форма *P. teres* f. *maculata* Smed.-Pet. Расширение коллекции источников и доноров устойчивости для селекции является актуальной задачей.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужила коллекция из 53 образцов ячменя из Восточноазиатского генцентра, отличающихся различным уровнем устойчивости к возбудителю сетчатой пятнистости. В исследовании использовали различные патотипы *P. teres* f. *teres* и *P. teres* f. *maculata*. Устойчивость проростков ячменя оценивали в контролируемых условиях климатической комнаты по международной 10-балльной шкале.

Результаты и выводы. Выявлено 18 образцов (30,2%) с расоспецифической устойчивостью к большинству патотипов *P. teres* f. *teres* (*Ptt*) и 14 образцов (26,4%) с устойчивостью к двум изолятам *P. teres* f. *maculata* (*Ptm*). У большинства образцов устойчивость к *Ptt* контролируется несколькими малыми генами. Устойчивостью к двум формам *Ptt* и *Ptm* отличались образцы к-3945, к-11011 и к-20497.

Ключевые слова: *Pyrenophora teres* f. *teres*, *P. teres* f. *maculata*, вирулентность, ювенильная устойчивость

Благодарности: исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 24-26-00072.

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

Для цитирования: Лашина Н.М., Афанасенко О.С., Лоскутов И.Г. Устойчивость образцов ячменя из Восточноазиатского центра разнообразия культуры к net- и spot-формам возбудителя сетчатой пятнистости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):260-269. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-260-269

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-260-269

Resistance of barley accessions from the East Asian Center of crop diversity to the net and spot forms of the net blotch pathogen

Nina M. Lashina¹, Olga S. Afanasenko¹, Igor G. Loskutov²¹ All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, RussiaCorresponding author: Nina M. Lashina, nlashina@mail.ru

Background. Barley is a major fodder crop and valuable raw material for the brewing industry. A harmful disease of barley is net blotch, caused by the hemibiotrophic fungus *Pyrenophora teres* Drechsler, which exists in two forms that differ in symptoms on barley: the net form, *P. teres* f. *teres*, and the spot form, *P. teres* f. *maculata* Smed.-Pet. Thus, one of the crucial tasks is to expand the collection of resistance sources and donors for breeding.

Materials and methods. A set of 53 barley accessions from the East Asian Center of diversity, with various levels of resistance to *P. teres*, served as the material for the study. Different pathotypes of *P. teres* f. *teres* (*Ptt*) and *P. teres* f. *maculata* (*Ptm*) were employed. Barley seedlings were assessed for resistance under controlled laboratory conditions using the international 0–10 score scale.

Results and conclusions. Race-specific resistance to a majority of the studied *Ptt* pathotypes was ascertained for 18 barley accessions (30.2%), while 14 accessions proved resistant to two *Ptm* isolates (26.4%). In most accessions, resistance to *Ptt* is controlled by a few minor genes. Accessions k-3945, k-11011 and k-20497 were identified as resistant to both *Ptt* and *Ptm*.

Keywords: *Pyrenophora teres* f. *teres*, *P. teres* f. *maculata*, virulence, seedling resistance

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 24-26-00072. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lashina N.M., Afanasenko O.S., Loskutov I.G. Resistance of barley accessions from the East Asian Center of crop diversity to the net and spot forms of the net blotch pathogen. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):260-269. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-260-269

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из наиболее важных зерновых культур. Как скороспелая, засухоустойчивая и солевыносливая культура ячмень возделывается практически во всех регионах страны, легко приспособляясь к контрастным условиям климата и разнообразию почв (Zlotina et al., 2013). Одним из факторов снижения урожая данной культуры является уязвимость ее к болезням. В связи с изменением климатических условий в сторону потепления увеличилась частота эпифитотий листостебельных болезней, в том числе сетчатой пятнистости ячменя. Возбудителем болезни является гриб *Pyrenophora teres* Drechsler, который существует в двух формах. Эти формы имеют одинаковую морфологию конидиального и сумчатого спороношения, но различаются по симптомам на растении-хозяине: net-форма (сетчатая) – *P. teres* f. *teres* (Ptt) и spot-форма (округлая) – *P. teres* f. *maculata* Smed.-Pet. (Ptm). Генетическая детерминация устойчивости ячменя к этим двум формам различна (Manninen et al., 2006; Grewal et al., 2008; McLean et al., 2009). Наибольшее распространение в России получила net-форма, однако после первого обнаружения Ptm в Краснодарском крае (Anisimova et al., 2011) есть основание предполагать ее дальнейшее распространение, так как во многих регионах мира эта форма превалирует в посевах ячменя (Liu et al., 2011; McLean et al., 2016). Потери урожая при поражении ячменя Ptt и Ptm составляют от 10 до 50%, вплоть до полной гибели сильно восприимчивых сортов при благоприятных для развития болезней условиях (Mathre, 1997; McLean et al., 2014; Clare et al., 2020).

Эпифитотии сетчатой пятнистости в Ленинградской области происходят с частотой один раз в 3–4 года (Afanasenkov, 2010; Lashina, Afanasenko, 2019).

Для генетической защиты ячменя от этих патогенов необходимо обеспечить селекцию источниками и донорами устойчивости. Традиционно поиск эффективных источников устойчивости зерновых культур к болезням проводят среди образцов из центров генетического разнообразия. Н. И. Вавилов (Vavilov, 1926) определил одним из таких центров Юго-Восточную Азию. В этом регионе сосредоточено большое разнообразие шестирядных ячменей. Характерными чертами ячменей Восточноазиатского генцентра являются низкорослость, плотный укороченный колос, близкое к сферическому зерно, короткоостистость и безостость (Repko, 2015; Suchinina et al., 2016). Многие образцы из Японии и Китая заслуживают внимания своей скороспелостью, а ячмени Монголии выделяются устойчивостью к засухам (Lukyanova et al., 1990). Сочетание полезных хозяйственных качеств и устойчивости к болезням определяют ценность исходного материала для использования в селекции.

Целью данного исследования являлась характеристика ювенильной устойчивости к двум формам возбудителя сетчатой пятнистости образцов ячменя из Восточноазиатского центра генетического разнообразия культуры.

Материалы и методы

Растительный материал

Материалом для изучения послужили 53 образца ячменя из Восточноазиатского генцентра (Монголия, Китай и Япония), полученных из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова

(ВИР). Среди изучаемых образцов ячменя только два (к-10931 и к-18267) являются двурядными, все остальные относятся к шестирядным.

Изоляты *Pyrenophora teres* f. *teres* u *P. teres* f. *maculata*

В исследовании использовали 8 моноконидиальных изолятов гриба *P. teres* f. *teres* (Ptt) и 2 – *P. teres* f. *maculata* (Ptm) различного географического происхождения, вирулентность которых изучалась на международном наборе сортов-дифференциаторов (табл. 1, 2). Моноконидиальные изоляты культивировали на модифицированной среде Чапека (ЧЛМ), содержащей KCl, K₂H₂PO₄, MgSO₄ по 0,5 г, мочевины – 1,2 г, лактозу – 20 г и агар-агар Kobe I (ROTH) – 17 г на 1 л дистиллированной воды, под УФ-лампами с 16-часовым фотопериодом при температуре 18–20°C в течение 10–14 дней.

Условия выращивания растений

Образцы ячменя высевали в контейнеры размером 18 × 13 × 6 см с обогащенным питательными веществами почвогрунтом Terra Vita® по 24 зерна каждого образца. В качестве контроля высевали в каждый контейнер восприимчивые сорта: шестирядный 'Pirkka' и двурядный 'Harrington', а также устойчивый шестирядный сорт 'Canadian Lake Shore'. Экспериментальные растения культивировали в контролируемых условиях климатической комнаты Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) в течение 10–14 дней при температуре 20–22°C и 16-часовом световом фотопериоде и там же проводили инокуляцию.

Инокуляция растений

В условиях лаборатории инокуляцию растений ячменя проводили в фазе двух-трех листьев путем опрыскивания суспензией моноконидиальных изолятов с помощью пульверизатора из расчета 0,2 мл на растение. Титр конидий в суспензии составлял 6000 на 1 мл. После инокуляции растения накрывали полиэтиленовыми пакетами и оставляли на 48 ч при температуре 20–22°C без света. Через двое суток инокулированные растения помещали на светоустановки, оснащенные светодиодными светильниками серии TL-FITO VR, с 16-часовым фотопериодом и поддерживали влажность воздуха 60–70%. Выращивали растения до проявления типичных для net- и spot-форм симптомов болезни. Эксперимент проводили в трех повторностях.

Учет типов реакции

Типы реакций проростков оценивали на втором листе через 10–12 дней после инокуляции по 10-балльной шкале А. Tekauz (1985), которая применима для обеих форм патогена (Ptt и Ptm), где значения от 1 до 3 баллов характеризовали высокую устойчивость образца (HR); баллы от 3,1 до 5,0 свидетельствовали о том, что образец среднеустойчив (MR); 5,1–6,9 – соответствовали слабой восприимчивости (MS); 7,0–10,0 – восприимчивости (S).

Результаты и обсуждение

Все моноконидиальные изоляты, использованные для оценки ювенильной устойчивости образцов ячменя к Ptt и Ptm, протестировали по вирулентности на международном наборе сортов-дифференциаторов (табл. 1, 2).

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции (r) вирулентности изолятов Ptt к исследуемому набору генотипов ячменя. Выявлена слабая положительная корреляция при сравнении типов реакций к изолятам Ptt в интервале от 0,16 между изолятами из России и Беларуси до 0,57 между изолятами из Чехии и Канады. Поло-

Таблица 1. Характеристика вирулентности изолятов *Pyrenophora teres f. teres* к набору из 9 сортов-дифференциаторов**Table 1.** Virulence of *Pyrenophora teres f. teres* isolates to a set of 9 differentials

Генотип ячменя / Barley genotype	Тип реакции на заражение моноконидиальными изолятами <i>P. teres f. teres</i> , балл / Type of seedling response to infection with <i>P. teres f. teres</i> isolates, score							
	V_18 (Россия, Волосово / Volosovo, Russia)	Pr_2 (Россия, Дальний Восток / Russian Far East)	Ger_7 (Германия, Кведлинбург / Quedlinburg, Germany)	Czech_11 (Чехия, Лисице / Lysice, Czech Republic)	Can_11 (Канада, Альберта / Alberta, Canada)	SA_7 (Южная Африка, Бредасдорп / Bredasdorp, South Africa)	F_18 (Беларусь, Жодино / Zhodino, Belarus)	S_18 (Россия, Краснодар / Krasnodar, Russia)
'Harrington'	7,0	10,0	7,0	9,3	9,7	8,8	10,0	9,0
'Skiff'	8,8	10,0	8,5	10,0	7,0	10,0	10,0	10,0
'Prior'	7,8	4,5	7,3	3,8	6,0	5,8	3,0	3,5
C.I. 9825	2,1	8,7	5,3	6,8	5,3	7,0	3,5	4,5
'Harbin' <i>qPttCLS</i>	2,1	4,3	7,0	1,8	2,5	2,3	3,0	5,5
к-20019	2,5	2,5	3,0	3,3	5,0	4,6	3,5	5,0
C.I. 5791 6H <i>Rpt5</i>	5,0	3,0	2,3	2,5	2,0	1,8	2,0	1,5
'Canadian Lake Shore' <i>qPttCLS</i>	3,3	3,2	5,5	1,3	2,5	2,3	1,0	4,5
к-8755 3HL	3,3	4,5	5,5	2,7	2,3	2,4	3,0	5,5

Таблица 2. Характеристика вирулентности изолятов *Pyrenophora teres f. maculata* Smed.-Pet.**Table 2.** Virulence of *Pyrenophora teres f. maculata* Smed.-Pet. isolates

Моноконидиальный изолят / Single-conidium isolate	Происхождение изолята / Origin of the isolate	Тип реакции на заражение изолятами <i>P. teres f. maculata</i> на сортах-дифференциаторах, балл / Type of seedling response to infection with <i>P. teres f. maculata</i> isolates in a set of differentials, score										
		'Corvette'	'Beecher'	'Harrington'	'Skiff'	'Prior'	C.I. 9825	'Harbin'	к-20019	C.I. 5791	'Canadian Lake Shore'	к-8755
11.3	Беларусь, сорт ячменя 'Kangoo'	3,1	8,5	6,5	7,5	7,6	2,1	7,5	5,5	1,5	5,4	4,3
48.2	Россия, сорт ячменя 'Escape'	5,1	7,2	7,5	6,2	5,2	1,2	6,1	8,2	3,0	2,0	3,1

жильная корреляция ($r = 0,39$) отмечена и при сравнении типов реакции к изолятам *Ptm*. Отсутствовала корреляция между средними значениями вирулентности изолятов *Ptt* и *Ptm* ($r = 0,005$).

На рисунке показано распределение генотипов ячменя по устойчивости к изолятам *Ptt*. Наибольшее число среднеустойчивых генотипов ячменя (49,1% от числа

изученных) выделилось при заражении изолятом из Беларуси (F_18) и 34,1% – при заражении изолятом Can_11 из Канады. Число высокоустойчивых образцов к каждому изученному изоляту *Ptt* превысило 10%, наибольшее количество устойчивых образцов ячменя (24,5%) выделилось при заражении растений изолятом из Ленинградской области (V_18).

Таблица 3. Корреляция (r) вирулентности изолятов *Pyrenophora teres f. teres* к набору из 53 генотипов ячменя
Table 3. Virulence correlation values for *Pyrenophora teres f. teres* isolates in a set of 53 barley genotypes

Сравниваемые изоляты <i>P. teres f. teres</i>	V_18	Pr_2	Ger_7	Chech_11	Can_11	SA_7	F_18
Pr_2	0,52						
Ger_7	0,40	0,38					
Chech_11	0,51	0,44	0,32				
Can_11	0,48	0,53	0,48	0,57			
SA_7	0,26	0,43	0,37	0,44	0,31		
F_18	0,16	0,43	0,37	0,42	0,51	0,51	
S_18	0,38	0,37	0,34	0,39	0,37	0,39	0,34

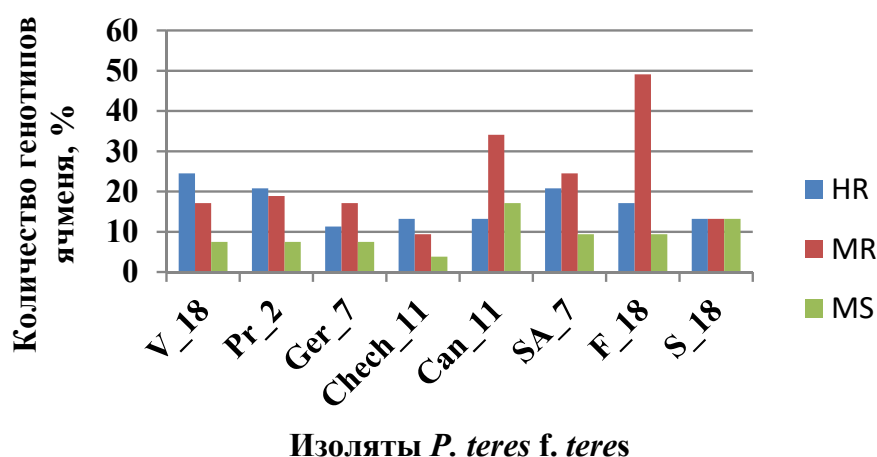


Рисунок. Распределение по устойчивости к изолятам *Pyrenophora teres f. teres* генотипов ячменя из Восточноазиатского генцентра на стадии проростков: HR – высокоустойчивые генотипы; MR – среднеустойчивые генотипы; MS – средневосприимчивые генотипы

Figure. Frequency distribution of responses to inoculations with *Pyrenophora teres f. teres* isolates in seedlings of barley genotypes from the East Asian Center of diversity: HR – highly resistant genotypes; MR – moderately resistant genotypes; MS – moderately susceptible genotypes

Данные по устойчивости проростков к возбудителю сетчатой пятнистости, как к net-, так и spot-форме, представлены в таблице 4. Среди 53 образцов ячменя 7 оказались восприимчивыми ко всем изученным изолятам *Ptt*. К двум изолятам *Ptm* восприимчивостью отличались 23 образца ячменя. Остальные обладали расоспецифической устойчивостью. Восприимчивыми ко всем изолятам *Ptt* оказались 4 образца: к-11653, к-15849, к-17819, к-30353, однако к изоляту из Беларуси (F_18) они показали тип реакции «5». Данные четыре образца мы отнесли к классу восприимчивых. Образцы к-3945, к-11011 и к-20497 устойчивы к семи изолятам *Ptt*, но к одному изоляту показали тип реакции 5 баллов, что соответствовало средней устойчивости. Образцы к-2959 и к-15811 устойчивы к семи изолятам *Ptt*, но восприимчивы к одному, поэтому охарактеризованы как устойчивые. Устойчивостью к большинству изолятов *Ptt* отличались также образцы к-11162, к-15812, к-17820, к-18269 и к-21472.

14 образцов ячменя были устойчивы к двум изолятам *Ptm* (см. табл. 4).

Изолят из Германии Ger_7 был вирулентен к сортам-дифференциаторам 'Canadian Lack Shore' и 'Harbin', устойчивость которых детерминирована геном *qPttCLS* на коротком плече хромосомы ячменя 3Н (Dinglasan et al., 2019; Afanasenko et al., 2022). Следовательно, можно предположить, что промежуточный тип реакции к этому изоляту у образца ячменя к-15812, устойчивого к остальным изолятам, свидетельствует о наличии данного гена. Реакция восприимчивости этого образца также к изоляту S_18 может свидетельствовать о наличии у него еще одного гена на длинном плече хромосомы 3Н, так как сорт-дифференциатор к-8755, носитель этого гена, проявил реакцию восприимчивости только к изолятам Ger_7 и S_18. По нашим данным, вирулентность к образцу к-8755 в популяциях *Ptt* встречается редко (Mironenko et al., 2016; Novakazi et al., 2019). По данным GWAS (Novakazi et al., 2019), SNP-гаплотипы выделившихся образцов ячменя ассоциированы с локусами устойчивости 6Н-2 (52–52,3 сМ) и 6Н-3 (54,0 сМ) на хромосоме 6Н, 3Н-1 (47–49 сМ) и 3Н-2 (52–54,2 сМ) на хромосоме 3Н и на хромосоме 7Н (1,0 сМ) (табл. 5).

Таблица 4. Результаты оценки ювенильной устойчивости образцов ячменя из Восточноазиатского генетического центра к net- и spot- формам возбудителя сетчатой пятнистости**Table 4.** Results of assessing seedling resistance in barley accessions from the East Asian Center of crop diversity to the net and spot forms of the net blotch pathogen

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Тип реакции на заражение изолятами, балл / Type of seedling response to infection with isolates, score									
		<i>Pyrenophora teres f. teres</i>								<i>Pyrenophora teres f. maculata</i>	
		V_18	Pr_2	Ger_7	Chech_11	Can_11	SA_7	F_18	S_18	11.3	48.2
2959	Монголия	2,1	2,3	4,0	7,1	4,0	2,0	4,0	4,0	8,2	4,0
3904	—»—	7,4	8,0	9,2	8,0	7,0	7,2	4,1	8,2	8,3	2,2
3917	—»—	7,2	9,1	8,1	8,3	8,3	7,1	6,2	6,4	6,3	3,1
3952	—»—	8,4	7,2	8,0	7,3	8,4	3,1	5,1	9,3	6,3	6,1
4059	—»—	7,0	7,1	4,0	7,2	5,0	5,1	7,1	7,2	6,1	3,0
4070	—»—	7,0	7,3	5,1	9,2	7,3	4,0	7,2	7,1	5,1	5,0
4071	—»—	8,4	10,0	8,2	8,1	7,3	6,1	4,0	8,2	2,0	4,1
3945	Китай	2,1	4,1	4,0	3,2	5,0	3,0	3,1	3,0	5,1	3,2
11653	—»—	7,2	6,2	7,0	9,2	6,3	8,3	5,0	7,1	6,0	5,0
12291	—»—	8,1	7,2	6,0	7,3	8,2	7,0	9,3	7,2	5,0	5,1
15811	—»—	2,2	4,0	2,1	1,3	2,0	4,1	2,0	6,1	6,3	7,1
15812	—»—	2,1	3,4	5,0	2,2	2,1	4,0	2,1	5,2	6,4	3,1
15823	—»—	6,3	9,2	8,0	9,0	9,3	2,0	6,3	9,1	7,2	5,0
15849	—»—	7,1	7,0	6,0	8,1	8,1	9,2	5,0	8,3	4,1	6,2
16114	—»—	8,2	7,0	8,2	7,3	4,1	4,0	4,1	7,4	4,0	3,1
16134	—»—	4,0	7,0	8,1	9,4	6,1	7,1	7,3	5,0	4,0	4,1
16164	—»—	3,1	1,2	7,3	8,1	3,2	7,3	4,0	7,2	5,0	5,2
16165	—»—	7,2	4,0	7,2	4,1	6,3	8,4	5,0	8,1	2,0	2,1
16293	—»—	7,3	7,0	7,0	5,2	4,0	4,1	5,0	6,1	3,2	5,0
16320	—»—	7,1	8,2	9,1	7,0	7,0	7,3	4,1	8,2	6,2	7,3
16340	—»—	4,0	4,1	8,3	7,0	6,2	5,0	6,2	6,3	4,1	7,0
17819	—»—	7,1	7,3	9,0	8,1	6,1	6,0	5,0	9,2	5,0	5,1
17820	—»—	4,0	4,2	9,3	5,0	5,1	2,1	4,2	5,0	7,0	6,3
18267*	—»—	8,2	8,0	10	7,1	9,3	10	10	7,1	6,2	4,0
18268	—»—	2,1	2,2	7,1	2,0	1,2	4,0	5,1	8,2	7,1	5,0
18269	—»—	3,0	4,1	7,0	2,1	4,1	5,0	6,2	5,0	6,2	4,0
18523b	—»—	6,2	6,3	3,0	8,1	7,0	8,1	7,1	9,2	6,0	5,0
18973	—»—	8,1	9,2	7,0	7,1	6,0	7,0	7,2	9,4	2,0	3,1

Таблица 4. Окончание
Table 4. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Тип реакции на заражение изолятами, балл / Type of seedling response to infection with isolates, score									
		<i>Pyrenophora teres f. teres</i>								<i>Pyrenophora teres f. maculata</i>	
		V_18	Pr_2	Ger_7	Chech_11	Can_11	SA_7	F_18	S_18	11.3	48.2
10161	Япония	6,2	7,1	9,0	8,2	6,2	8,2	9,1	8,3	6,3	7,1
10931*	—»—	7,3	8,3	9,0	10	7,1	9,1	4,2	7,0	7,2	5,0
10975	—»—	6,1	8,0	9,1	9,1	7,2	10	9,0	10	7,4	6,0
10984	—»—	8,3	8,0	7,2	10	3,0	10	7,1	9,1	5,1	5,0
11011	—»—	2,0	4,1	2,0	5,0	4,1	4,1	3,0	2,0	3,0	2,2
11025	—»—	5,1	7,3	7,0	6,3	4,0	6,0	4,2	5,0	3,0	2,1
11031	—»—	8,1	7,1	7,0	9,2	7,2	7,2	5,0	1,2	3,1	2,0
11139	—»—	8,4	3,0	7,2	7,2	4,1	8,0	2,1	7,1	4,3	2,0
11162	—»—	1,2	3,2	2,1	7,1	1,2	7,2	4,0	7,1	4,1	2,2
11169	—»—	2,0	8,3	7,3	6,0	4,0	8,0	9,1	2,1	2,1	5,0
11188	—»—	5,0	8,1	6,0	7,2	5,0	7,2	5,0	9,0	5,0	5,1
11189	—»—	5,0	4,0	2,2	7,2	4,2	7,2	4,1	6,1	5,3	5,0
11198b	—»—	8,2	6,2	7,0	7,1	4,0	5,1	5,0	6,0	5,0	6,2
11210	—»—	7,3	7,0	7,1	9,3	7,2	7,0	10	8,1	5,0	5,3
19275	—»—	3,0	7,2	8,1	4,0	6,1	6,2	4,1	7,2	6,0	6,2
20249	—»—	7,1	2,2	5,0	7,1	4,3	1,1	3,2	3,0	2,1	2,2
20277a	—»—	5,0	2,0	5,0	8,0	7,3	3,2	5,0	8,2	3,1	5,0
20277b	—»—	9,3	8,0	2,0	7,2	4,0	1,0	2,2	7,1	5,1	2,2
20333	—»—	4,0	4,0	7,3	7,1	7,0	5,0	6,3	5,0	6,1	5,0
20497	—»—	3,1	5,0	4,2	2,0	1,2	1,2	3,0	3,1	2,1	2,0
21413	—»—	1,2	2,1	5,0	7,0	6,3	2,0	5,0	6,3	2,0	3,2
21462	—»—	9,3	3,0	10	8,2	5,1	5,0	4,0	8,1	7,2	5,0
21472	—»—	8,1	2,0	6,1	3,2	4,0	2,2	2,1	3,0	2,1	5,0
22093	—»—	5,1	6,3	8,2	7,1	7,2	6,2	9,3	10	2,2	3,1
30353	—»—	7,0	8,2	8,0	7,0	7,0	7,2	5,0	9	4,0	5,0
Контроли:	‘Pirkka’	9,0	10	6,0	8,1	9,2	10	9,0	10	5,0	7,1
	‘Harrinton’	7,0	10	7,0	9,3	10	8,8	10	9,0	6,5	7,5
	‘Canadian Lake Shore’	3,3	3,2	5,5	1,3	2,5	2,3	1,0	4,5	5,4	2,0
	‘Harbin’	2,1	4,3	7,0	1,8	2,5	2,3	3,0	5,5	7,5	6,1

Примечание: * – двурядный ячмень

Note: * – two-row barley

Таблица 5. Локализация QTL, ассоциированных с устойчивостью к *Pyrenophora teres* f. *teres* у образцов ячменя
(по данным GWAS, Novakazi et al., 2019)**Table 5. Localization of resistance-associated QTLs for *Pyrenophora teres* f. *teres* in barley accessions**
(based on GWAS data, Novakazi et al., 2019)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Средний балл устойчивости к 8 изолятам <i>P. teres</i> f. <i>teres</i> / Mean score of resistance to 8 isolates of <i>P. teres</i> f. <i>teres</i>	Устойчивость детерминирована QTL на хромосомах ячменя / Resistance determined by QTLs on barley chromosomes
2959	3,6	6H-2, 6H-3, 3H-1
3945	3,4	6H-2, 6H-3, 3H-1
11011	3,3	6H-2, 6H-3, 3H-1
11162	4,0	6H-2, 6H-3, 3H-1
11189	4,9	6H-2, 6H-3, 3H-1
15811	2,9	6H-2, 6H-3, 3H-1, 3H-2
15812	3,1	6H-2, 6H-3
16164	5,0	6H-3, 3H-1
17820	4,8	6H-2, 6H-3, 3H-1, 3H-2, 7H
18268	3,9	6H-2, 6H-3, 3H-1
18269	4,5	6H-2, 6H-3, 3H-1, 3H-2
20249	4,0	6H-2, 6H-3, 3H-1
20277b	5,0	6H-2
20497	2,8	6H-2, 6H-3, 3H-1
21413	4,3	6H-2, 6H-3, 3H-1
21472	3,8	6H-2, 6H-3, 3H-1, 7H
Контроль устойчивости:		
'Canadian Lack Shore'	3,0	3H-1, 3H-2
'Harbin'	3,3	3H-1, 3H-2
Контроль восприимчивости:		
'Pirkka'	9,0	–
'Harrinton'	8,9	–

Заключение

Таким образом, среди изученных 53 образцов из Восточноазиатского генцентра выявлено 16 образцов (30,2%) с расоспецифической устойчивостью к *Ptt* и 14 образцов с устойчивостью к *Ptm* (26,4%).

Устойчивостью к обеим формам *P. teres* f. *teres* и *P. teres* f. *maculata* отличались образцы к-3945, к-11011 и к-20497, которые могут представлять интерес для селекции ячменя на устойчивость к двум формам сетчатой пятнистости.

References / Литература

Afanasenko O., Rozanova I., Gofman A., Lashina N., Novakazi F., Mironenko N. et al. Validation of molecular markers of barley net blotch resistance loci on chromosome 3H for marker-assisted selection. *Agriculture*. 2022;12(4):439. DOI: 10.3390/agriculture12040439

Afanasenko O.S. Problems to create grades of agricultural crops with long stability to diseases. *Plant Protection and Quarantine Journal*. 2010;(3):4-9. [in Russian] (Афанасенко О.С. Проблемы создания сортов сельскохозяйственных культур с длительной устойчивостью к болезням. *Защита и карантин растений*. 2010;(3):4-9).

Anisimova A.V., Mironenko N.V., Levshantov S.A. The first find of *Pyrenophora teres* f. *maculata* in Krasnodar Territory. *Plant Protection News*. 2011;(3):53-56. [in Russian] (Анисимова А.В., Мироненко Н.В., Левштанов С.А. Первая находка гриба *Pyrenophora teres* f. *maculata* в Краснодарском крае. *Вестник защиты растений*. 2011;(3):53-56).

Clare S.J., Wyatt N.A., Brueggeman R.S., Friesen T.L. Research advances in the *Pyrenophora teres*–barley interaction. *Molecular Plant Pathology*. 2020;21(2):272-288. DOI: 10.1111/mpp.12896

Dinglasan E., Hickey L., Ziems L., Fowler R., Anisimova A., Baranova O. et al. Genetic characterization of resistance to

- Pyrenophora teres* f. *teres* in the international barley differential Canadian Lake Shore. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:326. DOI: 10.3389/fpls.2019.00326
- Grewal T.S., Rossnagel B.G., Pozniak C.J., Scoles G.J. Mapping quantitative trait loci associated with barley net blotch resistance. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(4):529-539. DOI: 10.1007/s00122-007-0688-9
- Lashina N.M., Afanasenko O.S. Susceptibility to leaf blights of commercial barley cultivars in North-Western Region of Russia. *Plant Protection News*. 2019;2(100):23-28. [in Russian] [Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Поражаемость пятнистостями сортов ячменя, включенных в государственный реестр селекционных достижений и находящихся на сортоиспытаниях в условиях Северо-Запада Российской Федерации. *Вестник защиты растений*. 2019;2(100):23-28]. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-2(100)-23-28
- Liu Z., Ellwood S.R., Oliver R.P., Friesen T.L. *Pyrenophora teres*: profile of an increasingly damaging barley pathogen. *Molecular Plant Pathology*. 2011;12(1):1-19. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2010.00649.x
- Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terent'eva I.A., Yarosh N.P. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 2). Barley (Yachmen). V.D. Kobylansky, M.V. Lukyanova (eds). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] [Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., Терентьева И.А., Ярош Н.П. Культурная флора СССР. Т. 2 (ч. 2). Ячмень / под ред. В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- Manninen O.M., Jalli M., Kalendar R., Schulman A., Afanasenko O.S., Robinson J. Mapping of major spot-type and net-type net-blotch resistance genes in the Ethiopian barley line CI 9819. *Genome*. 2006;49(12):1564-1571. DOI: 10.1139/G06-119
- Mathre D.E. (ed.). Compendium of barley diseases, 2nd ed. St. Paul, MN: American Phytopathological Society; 1997.
- McLean M.S., Howlett B.J., Hollaway G.J. Epidemiology and control of spot form of net blotch (*Pyrenophora teres* f. *maculata*) of barley: a review. *Crop and Pasture Science*. 2009;60(4):303-315. DOI: 10.1071/CP08173
- McLean M.S., Martin A., Gupta S., Sutherland M.W., Hollaway G.J., Platz G.J. Validation of a new spot form of net blotch differential set and evidence for hybridisation between the spot and net forms of net blotch in Australia. *Australasian Plant Pathology*. 2014;43(3):223-233. DOI: 10.1007/s13313-014-1285-8
- McLean M.S., Wepler B.J., Howlett B.J., Hollaway G.J. Spot form of net blotch suppression and yield of barley in response to fungicide application in the Wimmera region of Victoria, Australia. *Australasian Plant Pathology*. 2016;45(1):37-43. DOI: 10.1007/s13313-015-0387-y
- Mironenko N.V., Anisimova A.V., Baranova O.A., Zubkovich A.A., Afanasenko O.S. Species composition and structure on mating-type loci and virulence of *Pyrenophora teres* populations in the North-West region of Russia and Belarus. *Mycology and Phytopathology*. 2016;50(3):185-194. [in Russian] [Мироненко Н.В., Анисимова А.В., Баранова О.А., Zubkovich A.A., Афанасенко О.С. Внутривидовой состав и структура популяций *Pyrenophora teres* в Северо-Западном регионе России и Беларуси по вирулентности и локусам типа спаривания. *Микология и фитопатология*. 2016;50(3):185-194].
- Novakazi F., Afanasenko O., Anisimova A., Platz G.J., Snowdon R., Kovaleva O. et al. Genetic analysis of a worldwide barley collection for resistance to net form of net blotch disease (*Pyrenophora teres* f. *teres*). *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(9):2633-2650. DOI: 10.1007/s00122-019-03378-1
- Repko N.V. Winter barley breeding for high productivity and winter hardiness under the conditions of North Caucasus (Seleksiya ozimogo yachmenya na vysokuyu produktivnost i zimostoykost v usloviyakh Severnogo Kavkaza) [dissertation]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2015. [in Russian] [Репко Н.В. Селекция озимого ячменя на высокую продуктивность и зимостойкость в условиях Северного Кавказа: дис. ... докт. с.-х. наук. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет; 2015].
- Suchinina K.V., Repko N.V., Kovalev V.V. The botanical classification of barley and its uses in breeding of the new varieties. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki = Modern Scientific Research and Developments*. 2016;6(6):105-108. [in Russian] [Сухинина К.В., Репко Н.В., Ковалёв В.В. Ботаническая классификация ячменя и ее использование в селекции новых сортов. *Современные научные исследования и разработки*. 2016;6(6):105-108].
- Tekauz A. A numerical scale to classify reactions of barley to *Pyrenophora teres*. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 1985;7(2):181-183. DOI: 10.1080/07060668509501499
- Vavilov N.I. Studies on the origin of cultivated plants. Leningrad: Guttenberg Printing House; 1926. [in Russian] [Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений. Ленинград: Типография им. Гуттенберга; 1926].
- Zlotina M.M., Kovaleva O.N., Loskutov I.G., Potokina E.K. Use of allele-specific markers of the *Ppd* and *Vrn* genes for predicting growing season duration in barley cultivars. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(1):50-62. [in Russian] [Злотина М.М., Ковалева О.Н., Лоскутов И.Г., Потоккина Е.К. Использование аллель-специфичных маркеров генов *Ppd* и *Vrn* для прогнозирования продолжительности вегетационного периода сортов ячменя. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(1):50-62].

Информация об авторах

Нина Михайловна Лашина, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, nlashina@mail.ru, <https://orcid/0000-0003-1419-7134>

Ольга Сильвестровна Афанасенко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, olga.s.afan@gmail.com, <https://orcid/0000-0001-7368-0797>

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid/0000-0002-9250-7225>

Information about the authors

Nina M. Lashina, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nlashina@mail.ru, <https://orcid/0000-0003-1419-7134>

Olga S. Afanasenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, olga.s.afan@gmail.com, <https://orcid/0000-0001-7368-0797>

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid/0000-0002-9250-7225>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 23.04.2025; одобрена после рецензирования 09.06.2025; принята к публикации 09.07.2025.
The article was submitted on 23.04.2025; approved after reviewing on 09.06.2025; accepted for publication on 09.07.2025.