

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 631.21:632:526
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-172-183



Устойчивость листьев и клубней диких видов картофеля к *Phytophthora infestans* и взаимосвязь этих признаков

Н. М. Зотеева, Е. А. Пороховинова, Д. А. Фатеев, Н. А. Чалая

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

Автор, ответственный за переписку: Надежда Мубаровна Зотеева, nzoteyeva@gmail.com

Актуальность. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary – широко известный злостный патоген, поражающий целый ряд выращиваемых в настоящее время сортов картофеля. Меры защиты, включая селекционный процесс, усложняет то, что устойчивость листьев к *P. infestans* часто не связана с устойчивостью клубней, что приводит к необходимости выделения индивидуальных растений с устойчивостью листьев и/или клубней для привлечения в гибридизацию. В связи с этим исследование, посвященное выявлению таких источников устойчивости, является весьма актуальным. Целью работы был анализ связи признаков устойчивости листьев и клубней у диких видов картофеля, а также поиск видов, у которых встречаемость образцов с устойчивостью обоих органов достаточно высока.

Материалы и методы. Методами искусственного заражения оценили устойчивость листьев и клубней 97 образцов 36 видов картофеля. Для статистического анализа взаимосвязи устойчивости листьев и клубней с учетом данных, полученных для каждого индивидуального растения, использовали критерий парных сравнений Вилкоксона (Wilcoxon matched-pairs test) и коэффициент корреляции Спирмана.

Результаты. В изученной выборке образцов определены виды картофеля с высокой частотой растений, у которых устойчивы к болезни листья, и клубни, а также виды, для которых характерно преобладание растений с устойчивостью либо листьев, либо клубней. Статистический анализ не показал 100-процентной корреляции между устойчивостью листьев и клубней ни у одного из изученных видов. У части из них выявлена значимая положительная либо отрицательная корреляция двух признаков. Данные оценки образцов/видов могут облегчить поиск источников устойчивости листьев и/или клубней для улучшения восприимчивых к фитофторозу сортов.

Ключевые слова: виды *Solanum*, фитофтороз, устойчивость, листья, клубни, встречаемость фенотипов

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции». Оценка устойчивости к фитофторозу части образцов картофеля в период с 1998 по 2000 г. проведена при поддержке проекта по защите от фитофтороза СЕЕМ (Cornell-Eastern Europe-Mexico). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Зотеева Н.М., Пороховинова Е.А., Фатеев Д.А., Чалая Н.А. Устойчивость листьев и клубней диких видов картофеля к *Phytophthora infestans* и взаимосвязь этих признаков. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):172-183. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-172-183

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-172-183

Leaf and tuber resistance to *Phytophthora infestans* and relationship between these traits in wild potato species

Nadezhda M. Zoteyeva, Elizaveta A. Porokhvinova, Dmitrii A. Fateev, Nadezhda A. Chalaya

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nadezhda M. Zoteyeva, nzoteyeva@gmail.com

Background. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary is a well-known serious pathogen that affects a wide range of currently grown potato cultivars. Control of the disease, including the breeding process, is complicated by the fact that leaf resistance to *P. infestans* is often unrelated to tuber resistance, resulting in the need to identify individual plants with leaf and/or tuber resistance to be used in breeding programs. In view of this, research efforts to identify such sources are quite relevant. The objective was to assess the occurrence of plants with resistance in both organs among different wild species and analyze the relationship between leaf and tuber resistance within them.

Material and methods. Assessment of leaf and tuber resistance in 97 accessions belonging to 36 species was carried out under artificial inoculation. Using the data obtained on each individual plant, the connection between leaf and tuber resistance was analyzed by means of the Wilcoxon matched-pairs test and Spearman's rank-order correlations.

Results. The species with more frequent occurrence of plants combining leaf and tuber resistance and the species with the predominance of leaf or tuber resistance were identified. The statistical analysis did not show complete (100%) correlations between leaf and tuber resistance in any of studied species. In some cases, a significant positive or negative correlation between these characters was found. The assessment results for the studied species/accessions can facilitate the search for leaf and/or tuber resistance sources capable of improving potato cultivars susceptible to late blight.

Keywords: *Solanum* spp., late blight, resistance, leaves, tubers, occurrence of phenotypes

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding". The assessment of a part of the potato accessions carried out in 1998–2000 was funded by the CEEM (Cornell-Eastern Europe-Mexico) Project on Late Blight Control.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zoteyeva N.M., Porokhvinova E.A., Fateev D.A., Chalaya N.A. Leaf and tuber resistance to *Phytophthora infestans* and relationship between these traits in wild potato species. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):172-183. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-172-183

Введение

Phytophthora infestans (Mont.) de Bary – широко известный злостный патоген, способный поражать как ботву, так и клубни картофеля, наносящий большой экономический ущерб (Haverkort et al., 2009). Со времени эпидемии фитофтороза, вызвавшей голод в Ирландии в 1845–1847 гг. (Ristaino, 2002), немалые усилия селекционеров были направлены на выведение устойчивых к болезни сортов. К настоящему времени количество устойчивых сортов все еще недостаточно велико. Рекомбинация генов, связанная с половым процессом воспроизводства *P. infestans*, способствует широкому разнообразию расового состава популяций патогена (Cooke et al., 2011; Elan-sky et al., 2017; Runno-Paurson et al., 2022).

Меры защиты, включая селекционный процесс, усложняет то, что устойчивость листьев к *P. infestans* часто не связана с устойчивостью клубней (Kirk et al., 2001), хотя и сообщалось о корреляции устойчивости клубней и листьев (Stewart et al., 1994; Park et al., 2005; Bradshaw et al., 2006). Как правило, устойчивость к фитофторозу листьев и клубней обусловлена одним и тем же геном *Rpi* (Park et al., 2005; Bradshaw et al., 2006). В то же время показано, что транскрипты клубней и листьев резко различаются – большинство дифференциально экспрессирующихся генов не являются общими для листьев и клубней (Gao, Bradee, 2016).

Среди видов картофеля ведется постоянный поиск новых источников устойчивости (Karki et al., 2021). Прежде чем приступить к работе по интрогрессии аллелей устойчивости в чувствительный к болезни материал, необходимо оценить по возможности большее число видов и образцов различного происхождения. Это позволит выявить новые источники как потенциально ожидаемых, так и еще не идентифицированных аллелей устойчивости. Список идентифицированных аллелей постоянно пополняется (Jones et al., 2009; Verzaux et al., 2011, 2012; Sliwka et al., 2012; Tiwari et al., 2014). Весомым аргументом в пользу включения диких видов в селекционные программы является высокая устойчивость к фитофторозу, часто обусловленная наличием в одном генотипе нескольких генов *Rpi* (Zoteyeva et al., 2017), а также устойчивостью к другим вредным организмам (Chalaya et al., 2012; Zoteyeva et al., 2012, 2020; Radchenko, 2017). Выявленный широкий внутривидовой и внутривидовой полиморфизм по устойчивости к фитофторозу у большинства видов (Zoteyeva, 2019) приводит к необходимости выделения индивидуальных устойчивых растений для привлечения их в гибридизацию. Для осуществления целенаправленного селекционного процесса необходимо иметь данные по устойчивости листьев и клубней видов *Solanum L.*, полученных в фитопатологических опытах.

Цель исследований – изучение устойчивости к фитофторозу образцов разных клубненосных видов *Solanum*. На основе этих данных было необходимо выявить виды, среди которых наиболее часто встречаются растения с устойчивостью листьев и клубней, а также проследить связь этих признаков.

Материал и методы

Растительный материал.

Использованный в работе материал представлен образцами диких видов картофеля из коллекции ВИР (табл. 1). Анализировали устойчивость листьев и клуб-

ней 97 образцов 36 видов картофеля, относящихся к восьми таксономическим сериям согласно классификации Д. Хокса (Hawkes, 1990). Среди них – образцы 7 видов, которые поддерживаются в горшечной культуре (клоновая репродукция), 32 вида были представлены популяциями семян, а у образцов 9 видов оценивали и клубневую репродукцию, и семена.

Работу проводили на научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР) в 1996–1997 гг., 2016 г. и 2021–2022 гг. В период с 1998 по 2000 г. работу осуществляли в отделении Института селекции и акклиматизации растений в Млохове (IHAR-Mlochow), Польша. Исследования в IHAR-Mlochow имели своей целью дать общую характеристику образцов по устойчивости к фитофторозу. В данной работе проведен статистический анализ связи устойчивости листьев и клубней с использованием данных, полученных для каждого индивидуального растения.

Инфекционный материал.

Использованы следующие изоляты *P. infestans*: смесь двух изолятов с генами вирулентности 1.2.3.4.6.7.8.10.11. и 1.3.4.5.7.8.10.11., выделенных из местной (ППЛ ВИР) популяции патогена в 1996–1998 гг.; изолят MP324 (1.2.3.4.5.7.8.10.11.) из коллекции IHAR-Mlochow в опытах с 1998 по 2000 г.; широко применяемый изолят 88069 (Bubolz et al., 2022), полученный от R. Vetukuri из SLU (Swedish University of Agricultural Sciences) – им оценены две популяции образцов *S. berthaultii* и *S. spegazzinii* в 2016 г.; высокоагрессивный изолят NZ-3-20, выделенный из местной (ППЛ ВИР) популяции *P. infestans* в опытах 2021 и 2022 г.

Оценка устойчивости образцов при искусственном заражении.

Устойчивость оценивали в двух независимых опытах при инокулировании отделенных долей листьев согласно методике, описанной Х. Зажицкой (Zarzycka, 2001). Устойчивость клубней оценивали, используя метод Зотеевой и Зимнох-Гузовской (Zoteyeva, Zimnoch-Guzowska, 2004). Развитие симптомов болезни на листьях и клубнях оценивали с помощью шкалы от 1 до 9 баллов, где балл 9 – отсутствие симптомов болезни, балл 1 – от 95 до 100% площади поражения мякоти клубня. Исходя из среднего балла оценки, устойчивыми считали растения, поражение которых составляло от 9 до 6 баллов, восприимчивыми – от 5 до 1.

Опыты проводили в присутствии устойчивых и чувствительных контролей: при **заражении листьев** – сорта 'Зарево', 'Aluette', 'Meduza' (устойчивые), 'Приекульский Ранний', 'Петербургский', 'Irys', 'Desirée' и 'Red Scarlet' (неустойчивые); при **заражении клубней** – сорта 'Невский', 'Гауя', 'Meduza', 'Aluette' (устойчивые); 'Freika', 'Sante', 'Irys', 'Sokół', 'Desirée' и 'Dorisa' (неустойчивые).

Математическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica 7.0 (StatSoft..., 2013). Использовали как балловую, так и бинарную оценку. При бинарной оценке все растения с баллом поражения от 9 до 6 считали устойчивыми, а все растения с баллом поражения от 5 до 1 – восприимчивыми.

Для сравнения устойчивости листьев и клубней картофеля к фитофторозу использовали критерий парных сравнений Вилкоксона (Wilcoxon matched-pairs test). Этот тест представляет собой непараметрическую альтернативу t-критерия для зависимых выборок. Для изучения корреляции устойчивости листьев и клубней использовали коэффициент корреляции Спирмана (Nasledov, 2012).

Таблица 1. Растительный материал, использованный в работе
Table 1. Plant material used in the experiments

Вид (аббревиатура вида) / Species (abbreviation)	Изучено / Studied number of		Вид (аббревиатура вида) / Species (abbreviation)	Изучено / Studied number of	
	образцов / accessions	растений / plants		образцов / accessions	растений / plants
Южноамериканские виды / South American species			Серия <i>Yungazensa</i> Corr.		
Серия <i>Acaulia</i> Juz.			<i>S. angustisectum</i> Hassl. (ang)		
<i>S. acaule</i> Bitt. (acl)	2	32	<i>S. chacoense</i> Bitt. (chc)		
Серия <i>Tuberosa</i> (Rydb.) Hawk.			<i>S. dolichostigma</i> Juz. et Buk. (syn. chc)		
<i>S. ambosinum</i> Ochoa (amb)	1	24	<i>S. garsiae</i> Juz. et Buk. (syn. chc)		
<i>S. × arrac-papa</i> Juz. ex Rybin. (arp)	1	30	<i>S. parodii</i> Juz. et Buk. (syn. chc)		
<i>S. berthaultii</i> Hawkes (ber)	2	106	Центральноамериканские виды / Central American species		
<i>S. hoopesii</i> Hawkes et Okada (hps)	1	8	Серия <i>Bulbocastana</i> (Rydb.) Hawk.		
<i>S. kurtzianum</i> Bitt. et Wittm. (ktz)	5	68	<i>S. bulbocastanum</i> Dun. (blb)		
<i>S. leptophyes</i> Bitt. (lph)	1	30	Серия <i>Demissa</i> Lindl.		
<i>S. microdontum</i> Bitt. (mcd)	1	24	<i>S. demissum</i> Lindl. (dms)		
<i>S. molinae</i> Juz. (mln)	1	8	Серия <i>Longipedicellata</i> Buk.		
<i>S. multidissectum</i> Hawkes (mds)	1	30	<i>S. polytrichon</i> Rydb. (plt)		
<i>S. okadae</i> Hawkes et Hjerting (okd)	1	8	<i>S. stoloniferum</i> Schlechtd. (sto)		
<i>S. parvicorollatum</i> Lechn. (prv)	1	8	<i>S. neoantipoviczii</i> Buk. (nan, syn. sto)		
<i>S. × ruiz-ceballosii</i> Card. (rzc)	2	82	<i>S. papita</i> Rydb. (pta)		
<i>S. simplicifolium</i> Bitt. (sim)	2	44	Серия <i>Pinnatisecta</i> (Rydb.) Hawk.		
<i>S. sparsipilum</i> Bitt. (spl)	2	39	<i>S. brachistotrichum</i> (Bitt.) Rydb. (bst)		
<i>S. spegazinii</i> Bitt. (spg)	8	244	<i>S. cardiophyllum</i> Lindl. (cdp)		
<i>S. × sucrense</i> Hawkes (scr)	1	16	<i>S. pinnatisectum</i> Dun. (pnt)		
<i>S. verrucosum</i> Schlechtd. (ver)	7	91	<i>S. × sambucinum</i> Rydb. (sam)		
<i>S. virgultorum</i> (Bitter) Card. et Hawkes (vrg)	1	24	<i>S. stenophyllidium</i> Bitt. (stp)		
			Серия <i>Polyadenia</i> Buk. ex Corr.		
			<i>S. polyadenium</i> Greenm. (pld)		

Результаты

В опытах разных лет непрерывно репродуцируемые клубнями образцы, которые изучали в несколько сроков (табл. 2), были сходны по уровню устойчивости. Различия отмечены только для образцов, которые в процессе их поддержания не сформировали клубни и были восстановлены пересевом семян. Вследствие гетерогенности по устойчивости, характерной для большинства видов, отобранные для поддержания сеянцы могли иметь другой уровень устойчивости.

Наибольшая встречаемость образцов с устойчивостью листьев и клубней отмечена у центральноамериканских видов *S. cardiophyllum* и *S. pinnatisectum*, принадлежащих к серии *Pinnatisecta*. В то же время выявлены образцы *S. cardiophyllum* с чувствительными к болезни листьями и клубнями. В пределах этой серии устойчивостью листьев и клубней характеризовались растения *S. × sambucinum*, чувствительностью – *S. stenophyllidium*. Устойчивые листья и клубни имеет образец *S. bulbocastanum*. Образцы южноамериканских видов *S. okadae* и *S. hoopesii* с высокой устойчивостью листьев проявляли чув-

Таблица 2. Устойчивость листьев и клубней к фитофторозу образцов диких видов картофеля, поддерживаемых клонами**Table 2. Leaf and tuber resistance to late blight in wild potato species accessions maintained by clones**

Вид / Species	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Период изучения / Period of the experiment	Устойчивость, балл / Resistance, score	Вид / Species	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Период изучения / Period of the experiment	Устойчивость, балл / Resistance, score
			средняя (min - max) листьев / клубней/ average (min - max) leaf / tuber				средняя (min - max) листьев / клубней/ average (min - max) leaf / tuber
Южноамериканские виды / South American species							
ber	23047	B	5,4 (3,0–9,0)	spg	12208	B	5,6 (5,0–6,0)
			5,9 (3,0–9,0)				6,8 (6,0–7,0)
chc	22598	A	4,0 (3,0–5,0)	spg	12500	B	4,6 (4,0–5,0)
			6,2 (6,0–7,0)				7,0 (6,0–8,0)
hps	24578	C	6,9 (5,0–9,0)	spg	12628	A	3,8 (3,0–4,0)
			4,3 (4,0–5,0)				4,6 (4,0–5,0)
mln	25040	C	1,3 (1,0–2,0)	spg	12628	B	4,0 (3,0–5,0)
			2,0 (1,0–3,0)				5,8 (5,0–7,0)
okd	25396	C	8,7 (8,0–9,0)	spg	18420	B	5,0 (4,0–6,0)
			3,0 (2,0–4,0)				6,6 (6,0–7,0)
spg	9746	A	2,6 (2,0–3,0)	spg	20999	A	4,9 (4,0–6,0)
			5,9 (5,0–6,0)				6,9 (6,0–7,0)
spg	9746	B	2,0 (1,0–3,0)	spg	20999	B	5,0 (4,0–6,0)
			5,5 (5,0–7,0)				6,4 (6,0–7,0)
spg	12208	A	5,4 (5,0–6,0)	spg	21000	B	2,4 (1,0–3,0)
			7,2 (7,0–9,0)				5,2 (5,0–6,0)
Центральноамериканские виды / Central American species							
blb	24866-1	C	8,8 (8,0–9,0)	cdp	21302	C	4,8 (4,0–6,0)
			8,0 (7,0–8,0)				7,8 (7,0–8,0)
bst	23198	A	6,3 (6,0–7,0)	cdp	23276	A	1,3 (1,0–2,0)
			4,3 (4,0–6,0)				4,1 (4,0–5,0)
cdp	3319	C	9,0 (9,0–9,0)	cdp	24375	C	8,6 (8,0–9,0)
			9,0 (9,0–9,0)				6,9 (6,0–9,0)
cdp	10456	A	4,8 (5,0–6,0)	pnt	4455	A	6,5 (6,0–7,0)
			3,3 (2,0–4,0)				7,7 (6,0–9,0)
cdp	10456	C	4,1 (4,0–5,0)	pnt	4455	B	6,9 (6,0–7,0)
			3,1 (2,0–4,0)				8,5 (7,0–9,0)
cdp	10457	A	3,2 (3,0–4,0)	pnt	19158	A	8,6 (7,0–9,0)
			4,2 (4,0–5,0)				6,0 (5,0–7,0)
cdp	18085	A	3,0 (3,0–3,0)	pnt	21955	A	7,1 (7,0–8,0)
			6,2 (6,0–7,0)				8,3 (7,0–9,0)
cdp	18224	A	6,0 (6,0–6,0)	pnt	21955	B	7,0 (7,0–7,0)
			7,1 (7,0–8,0)				8,0 (7,0–9,0)

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Вид / Species	№ по-каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Период изучения / Period of the experiment	Устойчивость, балл / Resistance, score	Вид / Species	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Период изучения / Period of the experiment	Устойчивость, балл / Resistance, score
			средняя (min - max) листьев / клубней/ average (min - max) leaf / tuber				средняя (min - max) листьев / клубней/ average (min - max) leaf / tuber
Центральноамериканские виды / Central American species							
cdp	19061	A	1,2 (1,0–2,0) 3,2 (3,0–4,0)	pnt	23570	A	7,0 (7,0–7,0) 8,3 (7,0–9,0)
cdp	21300	A	4,0 (3,0–5,0) 4,6 (4,0–5,0)	pnt	24949	C	8,6 (7,0–9,0) 6,0 (5,0–7,0)
cdp	21302	A	5,8 (5,0–7,0) 7,0 (7,0–7,0)	pnt	24951-1	C	8,2 (7,0–9,0) 7,0 (6,0–9,0)
cdp	25359-2	C	7,8 (7,0–9,0) 9,0 (9,0–9,0)	pnt	24951-2	C	8,9 (8,0–9,0) 8,5 (8,0–9,0)
pld	24461	C	7,3 (7,0–9,0) 4,7 (4,0–5,0)	pnt	25403	C	8,6 (7,0–9,0) 5,8 (5,0–7,0)
plt	23559	B	3,0 (3,0–3,0) 2,7 (2,0–4,0)	pnt	25405	C	8,8 (9,0–8,0) 6,8 (6,0–7,0)
plt	23560	A	7,6 (7,0–9,0) 4,8 (4,0–6,0)	pnt	25407	C	9,0 (9,0–9,0) 5,5 (5,0–6,0)
plt	23560	B	8,2 (7,0–9,0) 5,2 (5,0–6,0)	sam	4216	C	9,0 (9,0–9,0) 9,0 (9,0–9,0)
plt	23561	A	6,5 (6,0–8,0) 3,3 (3,0–4,0)	sto	19200	A	7,8 (7,0–8,0) 4,2 (3,0–5,0)
plt	23561	B	7,3 (6,0–8,0) 3,0 (3,0–3,0)	sto	23660	A	7,0 (6,0–7,0) 4,3 (3,0–5,0)
plt	23558	A	4,4 (4,0–5,0) 4,8 (4,0–6,0)	stp	20105-1	C	1,9 (1,0–2,0) 2,4 (2,0–3,0)
plt	23559	A	2,8 (2,0–3,0) 2,4 (2,0–4,0)	stp	20105-2	C	1,3 (1,0–2,0) 7,0 (5,0–9,0)
stp	24962-1	C	2,6 (2,0–3,0) 5,0 (4,0–6,0)	ver	19378	A	7,6 (7,0–8,0) 3,4 (3,0–4,0)
ver	18954	A	4,4 (4,0–5,0) 5,9 (5,0–6,0)	ver	23017	A	4,0 (3,0–5,0) 5,9 (5,0–7,0)
ver	19230	A	7,6 (7,0–8,0) 2,5 (2,0–3,0)	ver	23758	A	7,3 (6,0–9,0) 4,9 (4,0–5,0)

Примечание: буквенные обозначения периодов изучения образцов клоновой репродукции:
A – 1996 и 1997 гг.; B – с 1998 по 2000 г.; C – 2021 и 2022г.

Note: periods of the experiments with clonal reproductions are designated with letters:
A (1996–1997.), B (1998–2000), and C (2021, 2022)

ствительность клубней. Преобладание растений с устойчивыми клубнями отмечено в популяциях южноамериканских видов *S. angustisectum*, *S. × arrac-papa*, *S. chacoense* и *S. kurtzianum*. В популяциях *S. berthaultii* к-23047 при использовании в опытах двух разных изолятов *P. infestans* отмечено расщепление по устойчивости на 4 группы растений – RR (с устойчивостью листьев и клубней), RS (с устойчивостью листьев, чувствительностью клубней), SR (с чувствительностью листьев и устойчивостью клубней) и SS (с чувствительностью листьев и клубней). При заражении изолятом 88069 в популяции, состоящей из 20 растений, распределение по устойчивости составило 4 RR : 3 RS : 7 SR : 6 SS. В опыте с использованием изолята MP324 распределение в популяции, состоявшей из 34 растений, было следующим: 8 RR : 10 RS : 6 SR : 10 SS. Результаты оценки с использованием разных изолятов *P. infestans* указывают на незначительные различия в распределении по устойчивости растений в популяциях высокополиморфного образца *S. berthaultii*. При этом сопряженность признаков у индивидуальных растений этого образца не достоверна (табл. 3). В целом у центральноамериканских видов отмечено преобладание образцов с устойчивостью листьев и чувствительностью клубней ($p \leq 0,05$) (рисунок).

Связь признаков (устойчивость листьев / устойчивость клубней) анализировали с использованием данных, полученных при заражении растений из популяций образцов, для чего семена распределяли в 4 группы. Таблица 3 включает данные по числу растений с одинаковым уровнем устойчивости листьев и клубней (RR, SS), с устойчивостью листьев и чувствительностью клубней (RS) и с устойчивостью клубней и чувствительностью листьев (SR).

На первом этапе с помощью критерия Вилкоксона сравнили степень поражения листьев и клубней. Для большинства видов (*S. acaule*, *S. ambosinum*, *S. angustisectum*, *S. × arrac-papa*, *S. kurtzianum*, *S. microdontum*, *S. parodii*, *S. chacoense*, *S. spegazzinii*, *S. brachistotrichum*, *S. demissum*, *S. pinnatisectum*, *S. polytrichon*, *S. stoloniferum*, *S. verrucosum*) было показано достоверное отличие степени поражения разных органов растений. У некоторых видов достоверные отличия, которые могли быть вызваны преобладанием устойчивых и/или восприимчивых растений, не выявлены: большое число как устойчивых, так и восприимчивых растений у видов *S. berthaultii*, *S. multidissectum*, *S. sparsipilum* и в серии *Tuberosa* в целом.

Преобладание восприимчивых растений отмечено у *S. chacoense*, *S. dolichostigma*, *S. garsiae*, *S. parodii*, *S. parvicorollatum*, *S. virgultorum*; преобладание растений с устойчивостью листьев и клубней – у *S. × sucrense*.

Для некоторых видов были получены неоднозначные результаты, так как только при одной из двух оценок (по 9-балловой и по бинарной шкалам) были показаны достоверные различия: у *S. simplicifolium*, *S. cardiophyllum* и *S. neointipoviczii* была достоверна только балловая, а у *S. leptophyes*, *S. × ruiz-ceballosii* и *S. papita* – только бинарная оценка; у *S. simplicifolium* и *S. leptophyes* достоверность оценки была близка к пограничной (0,04 и 0,01 соответственно).

На втором этапе с помощью рангового критерия Спирмена оценивали корреляцию между поражением листьев и клубней.

У видов *S. × arrac-papa* и *S. stoloniferum* с достоверным отличием по критерию Вилкоксона была отмечена слабая негативная корреляция между поражением листьев и клубней как при бинарной, так и при балловой оценке

(–0,30, –0,38); у *S. verrucosum* – умеренная негативная при обеих оценках (–0,56, –0,64). У *S. papita* достоверные отличия по степени поражения были только при использовании бинарной оценки, однако отмечена слабая негативная корреляция (–0,26, –0,25) между поражением листьев и клубней при обеих оценках. Слабая, но достоверная негативная корреляция (–0,16) отмечена для серии *Longipedicellata* при бинарной оценке признаков. Таким образом, для этих видов, помимо достоверности отличий, существует тенденция к разнонаправленности, то есть чем слабее поражены листья, тем сильнее поражены клубни.

У *S. spegazzinii*, *S. demissum* и в серии *Yungazensa* выявлена умеренная (0,61) и слабая (0,31, 0,31) корреляции при балловой оценке. У *S. cardiophyllum* достоверные отличия по степени поражения были только при использовании балловой оценки: здесь показана слабая положительная корреляция между устойчивостью листьев и клубней (0,28). Таким образом, для этих видов, помимо достоверности отличий, существует тенденция к однонаправленности, то есть чем сильнее поражены листья, тем сильнее поражены и клубни. Следует отметить, что у *S. demissum* это чисто математическая зависимость, вызванная отсутствием растений с чувствительными листьями, не имеющая биологического смысла.

Для некоторых видов, где не выявлено достоверных различий по степени поражения листьев и клубней, показаны только положительные корреляции – у *S. multidissectum* она слабая (0,40) при бинарной и умеренная (0,64) при балловой оценке, у *S. parvicorollatum* – умеренная (0,67) при бинарной (из 10 растений отличия только у одного), а у *S. virgultorum* и *S. berthaultii* – средняя и умеренная при балловой (0,58 и 0,25). Таким образом, у этих видов листья и клубни поражались примерно в одинаковой степени, и для них существует тенденция к сходству степени поражения.

Обсуждение

Процесс селекции на устойчивость растений к вредным организмам включает оценку и отбор исходного материала. Дикие виды картофеля представляют собой ценный генофонд устойчивости к болезням, в том числе и к фитофторозу. Фитопатологическая оценка, проводимая в контролируемых условиях, дает представление об уровне устойчивости каждого растения к патогену. По результатам оценки всего растительного материала выявлена разная частота фенотипов с устойчивостью листьев и клубней как внутри видов, так и внутри образцов.

Ранее нами было изучено влияние генов *R1* и *R3a* от *S. demissum* на устойчивость клубней селекционных клонов картофеля к фитофторозу. Статистический анализ не выявил зависимости уровня устойчивости от наличия как гена *R1*, так и гена *R3a*, хотя было отмечено преобладание клонов с устойчивостью клубней, несущих аллель *R3a* (Zoteyeva et al., 2016). У девяти образцов южноамериканского *S. chacoense*, для которых характерно преобладание растений с устойчивыми клубнями, был обнаружен только один из семи использованных маркеров генов *Rpi* – *R3b R* (Rogozina et al., 2023).

Данные ряда исследований указывают, что на устойчивость растений картофеля к фитофторозу высокое влияние оказывают гены от *S. bulbocastanum* (Song et al., 2003; Wang et al., 2008). Среди образцов мексиканских видов из коллекции ВИР, относящихся к серии *Longipedicel-*

Таблица 3. Распределение (% растений) по устойчивости к фитофторозу листьев и клубней в популяциях диких видов картофеля, сходство реакции на заражение и коэффициенты корреляции признаков

Table 3. Distribution according to leaf and tuber resistance to late blight within the populations of wild potato species, similarities in the response to infection, and correlation coefficients of the characters

Вид / Species	Изучено растений / Studied numbers of plants		Процент популяций с устойчивыми листьями и клубнями / Percentage of populations with resistant leaves and tubers								Уровень значимости сходства поражения листьев и клубней по критерию Вилкоксона / Wilcoxon matched-pairs test <i>p</i> -levels		Ранговый коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank-order correlations	
			LT				RR				бинарная оценка / binary	балловая оценка / score	бинарная оценка / binary	балловая оценка / score
			LT	RS	SR	SS	LT	LT	L	T				
Южноамериканские виды / South American species														
<i>S. acaule</i>	32	0	0	27	5	0	84	0	0,0000*	0,0000*	-	-	-0,06	
<i>S. ambosinum</i>	12	4	8	0	0	100	33	33	0,01*	0,002*	-	-	-	
<i>S. angustisectum</i>	18	0	0	2	16	0	11	0	-	0,001*	-	-	0,06	
<i>S. × arrac-papa</i>	30	4	4	19	3	27	77	13	0,01*	0,002*	-0,38*	-	-0,38*	
<i>S. berthaultii</i>	86	31	19	16	20	58	55	36	0,66	0,10	0,17	-	0,25*	
<i>S. chacoense</i>	13	0	0	3	10	0	23	0	0,11	0,35	-	-	-0,14	
<i>S. dolichostigma</i>	6	0	0	0	6	0	0	0	-	0,11	-	-	0,02	
<i>S. garsiae</i>	6	0	0	3	3	0	50	0	0,11	0,25	-	-	-	
<i>S. parodii</i>	13	3	0	5	5	23	62	23	0,04*	0,004*	0,43	-	0,30	
<i>S. kurtzianum</i>	46	5	3	17	21	17	48	11	-	0,0003*	-	-	0,09	
<i>S. leptophyes</i>	15	3	5	0	7	53	20	20	0,04*	0,13	0,47*	-	0,02	
<i>S. microdontum</i>	12	2	5	0	5	58	17	17	-	0,02*	-	-	0,17	
<i>S. multidissectum</i>	30	4	2	5	19	20	30	13	0,31	0,19	0,40*	-	0,64*	
<i>S. parvicorollatum</i>	10	1	0	1	8	10	20	10	-	1,00	0,67*	-	0,40	
<i>S. × ruiz-ceballosii</i>	44	27	1	16	0	64	98	61	0,001*	0,57	-0,12	-	0,20	
<i>S. simplicifolium</i>	44	12	15	7	10	61	43	27	0,14	0,01*	0,03	-	-0,27	
<i>S. sparsipilum</i>	39	10	8	9	12	46	49	26	0,83	0,37	0,13	-	0,20	
<i>S. spegazzinii</i>	46	3	2	19	22	11	48	7	0,001*	0,0000*	0,09	-	0,61*	
<i>S. × sucrensis</i>	8	5	3	0	0	100	63	63	0,11	0,35	-	-	0,12	

Таблица 3. окончание
Table 3. DThe end

Вид / Species	Изучено растений / Studied numbers of plants		Процент популяций с устойчивыми листьями и клубнями / Percentage of populations with resistant leaves and tubers								Уровень значимости сходства поражения листьев и клубней по критерию Вилкоксона / Wilcoxon matched-pairs test p-levels				Ранговый коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's rank-order correlations			
			LT		LT		LT		LT		бинарная оценка / binary		балловая оценка / score		бинарная оценка / binary		балловая оценка / score	
			RR	RS	SR	SS	R/all, %	T	P	RR/all, %	бинарная оценка / binary	балловая оценка / score	бинарная оценка / binary	балловая оценка / score	бинарная оценка / binary	балловая оценка / score		
Южноамериканские виды / South American species																		
С. virgultorum																		
	24	0	4	0	0	17	0	0	0,07	0,81	-	-	0,58*					
Центральноамериканские виды / Central American species																		
<i>S. brachistotrichum</i>	12	2	10	0	0	100	17	17	0,01*	0,003*	-	-	0,29					
<i>S. cardiophyllum</i>	69	65	4	0	0	100	94	94	0,07	0,0001*	-	-	0,28*					
<i>S. demissum</i>	42	15	27	0	0	100	36	36	0,000*	0,0000*	-	-	0,31*					
<i>S. neoantipoviczii</i>	20	14	15	1	0	95	75	70	0,14	0,001*	-0,13	-0,03						
<i>S. papita</i>	71	34	10	26	1	62	85	48	0,02*	0,28	-0,26*	-0,25*						
<i>S. pinnatisectum</i>	168	89	13	60	6	61	89	53	0,000*	0,0000*	-0,06	0,07						
<i>S. polytrichon</i>	57	25	22	2	8	82	47	44	0,0004*	0,0004*	0,25	0,25						
<i>S. stolomiferum</i>	92	5	62	10	15	73	16	5	0,0000*	0,01*	-0,39*	-0,30*						
<i>S. verrucosum</i>	91	1	47	22	21	53	25	1	0,01*	0,0000*	-0,56*	-0,64*						
Уровни значимости внутри таксономических серий / Pairs test p-levels within taxonomic series																		
<i>Tuberosa</i>	537	112	126	131	168	44	45	21	0,79	0,40	0,03	0,08						
<i>Yungazensa</i>	56	3	0	13	40	5	29	5	0,001*	0,0000*	0,38*	0,12						
<i>Pinnatisecta</i>	249	156	27	60	6	73	87	63	0,002*	0,0000*	-0,07	0,04						
<i>Longipedicellata</i>	240	78	99	39	24	74	49	33	0,0000*	0,001*	-0,16*	0,02						

Примечание: L – листья; T – клубни; P – растение (листья и клубни); RR – устойчивость листьев и клубней; RS – устойчивость листьев и клубней; SR – восприимчивость листьев и клубней; SS – восприимчивость клубней; SS – восприимчивость листьев и клубней; * – достоверность; достоверное отличие (отсутствие сходства в степени поражения листьев и клубней) по критерию Вилкоксона или достоверная ранговая корреляция Спирмена степени поражения листьев и клубней

Note: L – leaves; T – tubers; P – plants (leaves and tubers); RR – resistance of leaves and tubers; RS – resistance of leaves and tubers; SR – susceptibility of tubers; SS – susceptibility of leaves and tubers; * – significance; a significant difference (lack of similarity in the degree of damage on leaves and tubers) according to the Wilcoxon test or a significant Spearman's rank-order correlation of the degree of leaf and tuber damage

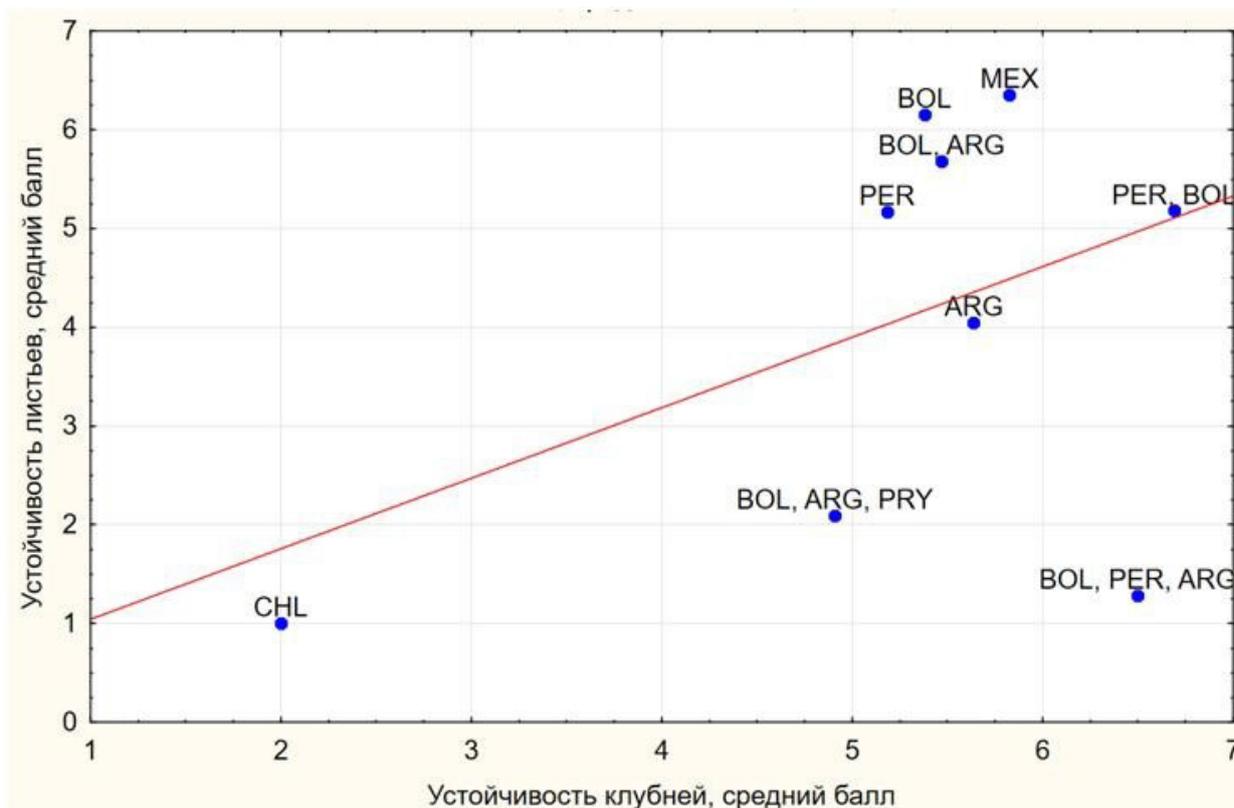


Рисунок. Распределение по устойчивости к фитофторозу листьев и клубней диких видов картофеля с ареалами (согласно J. Hawkes, 1990) в центральной и южной Америке (аббревиатуры стран мира приведены по: <https://www.iban.com/country-codes>)

Figure. Distribution according to leaf and tuber resistance to late blight among wild potato species with their areas (according to J. Hawkes, 1990) in Central and South Americas (country abbreviations are given according to: <https://www.iban.com/country-codes>)

lata, отрицательная статистически значимая корреляция между устойчивостью листьев и клубней имеет место у *S. papita* и *S. stoloniferum*, но отсутствует у *S. polytrichon*. В многолетнем полевом изучении было показано, что у *S. papita* и *S. stoloniferum* в сравнении с *S. polytrichon* была более высокая доля образцов с устойчивостью ботвы (Zoteyeva, 2019). A. Lokossou с соавторами (Lokossou et al., 2010) проанализировали аллельное разнообразие генов устойчивости к фитофторозу *Rpi-blb1*, *Rpi-blb2* и *Rpi-blb3* у большого набора клубненосных видов *Solanum*. У образцов *S. stoloniferum* и *S. papita* были выявлены маркеры генов *Rpi-blb1* и *Rpi-blb3*, а у образцов *S. polytrichon* – нет.

Заключение

В изученной выборке видов картофеля определена встречаемость растений с устойчивостью листьев и клубней к фитофторозу. Такие растения часты у мексиканских видов *S. cardiophyllum*, *S. pinnatisectum* и *S. × sambucinum*, принадлежащих к серии *Pinnatisecta*. В пределах этой серии чувствительность к фитофторозу проявляли растения *S. stenophyllidum*. Преобладание растений с устойчивостью листьев отмечено у образцов центральноамериканских (*S. demissum*, *S. papita*, *S. polytrichon*, *S. stoloniferum*, *S. verrucosum*) и южноамериканских (*S. hoopesii*, *S. okadae*, *S. × ruiz-ceballosii*, *S. simplicifolium*, *S. sparsipilum*) видов. Растения с устойчивостью клубней преобладали у видов *S. × arrac-papa*, *S. chacoense*, *S. kurtzianum* и *S. spegazzinii*.

Статистический анализ не выявил 100-процентной корреляции между устойчивостью листьев и клубней ни у одного из видов. С помощью критерия Вилкоксона значимая положительная корреляция между степенью устойчивости листьев и клубней установлена у *S. leptophyes* и *S. parodii*, а значимая отрицательная – у *S. stoloniferum* и *S. verrucosum*. Высокая положительная корреляция этих признаков выявлена у образцов *S. angustisectum*, *S. multidissectum* и *S. virgultorum*, у которых преобладали растения с чувствительностью обоих органов.

Данные по устойчивости листьев и клубней образцов диких видов картофеля могут быть полезны при поиске исходного материала для селекции фитофтороустойчивых сортов.

References / Литература

- Bradshaw J.E., Hackett C.A., Lowe R., McLean K., Stewart H.E., Tierney I. et al. Detection of a quantitative trait locus for both foliage and tuber resistance to late blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary] on chromosome 4 of a dihaploid potato clone (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*). *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;113(5):943-951. DOI: 10.1007/s00122-006-0353-8
- Bulbol J., Sleboda P., Lehrman A., Hansson S.O., Lagerkvist C.J., Andersson B. et al. Genetically modified (GM) late blight-resistant potato and consumer attitudes before and after a field visit. *GM Crops and Food*. 2022;13(1):290-298. DOI: 10.1080/21645698.2022.2133396

- Chalaya N.A., Biryukova V.A., Kiru S.D. New sources of resistance to potato cyst nematodes among the wild potato species from the VIR collection (Novye istochniki ustoychivosti k zolotistoy kartofelnoy nematode *G. rostochiensis* (Woll.) iz kolleksii dikorastushchikh vidov kartofelya VIR). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2012;(26):45-50. [in Russian] (Чала́я Н.А., Би́рюкова В.А., Ки́ру С.Д. Новые источники устойчивости к золотистой картофельной нематодe *G. rostochiensis* (Woll.) из коллекции дикорастущих видов картофеля ВИР. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2012;(26):45-50).
- Cooke L.R., Schepers H.T.A.M., Hermansen A., Bain R.A., Bradshaw N.J., Ritchie F. et al. Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe. *Potato Research*. 2011;54(2):183-222. DOI: 10.1007/s11540-011-9187-0
- Elansky S.N., Kokaeva L.Yu., Statsyuk N.V., Dyakov Yu.T. Population structure and dynamics of *Phytophthora infestans*, a causative agent of the late blight of potato and tomato. *Zashchita karlofelya = Potato Protection*. 2017;(3):3-44. [in Russian] (Ела́нский С.Н., Ко́каева Л.Ю., Ста́цюк Н.В., Дья́ков Ю.Т. Структура и динамика популяций *Phytophthora infestans* – возбудителя фитофтороза картофеля и томата. *Защита картофеля*. 2017;(3):3-44).
- Gao L., Bradeen J.M. Contrasting potato foliage and tuber defense mechanisms against the late blight pathogen *Phytophthora infestans*. *PLoS One*. 2016;11(7):e0159969. DOI: 10.1371/journal.pone.0159969
- Haverkort A.J., Struik P.C., Visser R.G.F., Jacobsen E. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *European Potato Journal*. 2009;52(3):249-264. DOI: 10.1007/s11540-009-9136-3
- Hawkes J.G. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. London: Belhaven Press; 1990.
- IBAN. COUNTRY CODES ALPHA-2 & ALPHA-3: [website]. Available from: <https://www.iban.com/country-codes> [accessed Oct. 22, 2023].
- Jones J., Foster S.J., Chu Z., Park T.H., van der Vossen E.A.G., Pel M.A., Visser R.G.F. Late blight resistance genes and methods. UK; patent number: WO/2009/013468; 2009.
- Karki H.S., Jansky S.H., Halterman D.A. Screening of wild potatoes identifies new sources of late blight resistance. *Plant Disease*. 2021;105(2):368-376. DOI: 10.1094/PDIS-06-20-1367-RE
- Kirk W.W., Felcher K.J., Douches D.S., Niemira B.A., Hamerschmidt R. Susceptibility of potato (*Solanum tuberosum* L.) foliage and tubers to the US8 genotype of *Phytophthora infestans*. *American Journal of Potato Research*. 2001;78(4):319-322. DOI: 10.1007/BF02875697
- Lokossou A.A., Rietman H., Wang M., Krenek P., van der Schoot H., Henken B. et al. Diversity, distribution, and evolution of *Solanum bulbocastanum* late blight resistance genes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2010;23(9):1206-1216. DOI: 10.1094/MPMI-23-9-1206
- Nasledov A.D. Mathematical methods of psychological research Data analysis and interpretation (Matematicheskiye metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh). St. Petersburg: Rech; 2012. [in Russian] (Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. Санкт-Петербург: Речь; 2012).
- Park T.H., Vleeshouwers V.G.A.A., Kim J.B., Hutten R.C.B., Visser R.G.F. Dissection of foliage and tuber late blight resistance in mapping populations of potato. *Euphytica*. 2005;143(1-2):75-83. DOI: 10.1007/s10681-005-2658-0
- Radchenko E.E. Aphid resistance in potato. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):74-82. [in Russian] (Радченко Е.Е. Устойчивость картофеля к тлям. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):74-82). DOI: 10.18699/VJ17.225
- Ristaino J.B. Tracking historic migrations of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Microbes and Infection*. 2002;4(13):1369-1377. DOI: 10.1016/s1286-4579(02)00010-2
- Rogozina E.V., Gurina A.A., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Kuznetsova M.A., Beketova M.P. et al. Diversity of late blight resistance genes in the VIR potato collection. *Plants*. 2023;12(2):273. DOI: 10.3390/plants12020273
- Runno-Paurson E., Agho C.A., Zoteyeva N., Koppel M., Hansen M., Hallikma T. et al. Highly diverse *Phytophthora infestans* populations infecting potato crops in Pskov region, North-West Russia. *Journal of Fungi*. 2022;8(5):472. DOI: 10.3390/jof8050472
- Sliwka J., Jakuczun H., Chmielarz M., Hara-Skrzypiec A., Tomczynska I., Kilian A. et al. Late blight resistance gene from *Solanum ruiz-ceballosii* is located on potato chromosome X and linked to violet flower colour. *BMC Genetics*. 2012;13:11. DOI: 10.1186/1471-2156-13-11
- Song J., Bradeen J.M., Naess S.K., Raasch J.A., Wielgus S.M., Haberlach G.T. et al. Gene *RB* cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2003;100(16):9128-9133. DOI: 10.1073/pnas.1533501100
- StatSoft, Inc. Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft; 2013. Available from: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> [accessed Oct. 15, 2021].
- Stewart H.E., Bradshaw J.E., Wastie R.L. Correlation between resistance to late blight in foliage and tubers in potato clones from parents of contrasting resistance. *Potato Research*. 1994;37(4):429-34. DOI: 10.1007/BF02358357
- Tiwari J.K., Chakrabarti S.K., Singh B.P., Thakur G., Kaushik S., Sharma S. et al. QTL mapping underlying resistance to late blight in a diploid potato population of *Solanum spegazzinii* × *S. chacoense*. *European Potato Journal*. 2014;57:1-11.
- Verzaux E., van Arkel G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E.A.G., Niks R.E., Jacobsen E. High-resolution mapping of two broad-spectrum late blight resistance genes from two wild species of the *Solanum circaeifolium* group. *Potato Research*. 2012;55(2):109-123. DOI: 10.1007/s11540-012-9213-x
- Verzaux E.C., Budding D., de Vetten N., Niks R.E., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E.A.G. et al. High resolution mapping of a novel late blight resistance gene *Rpi-avl1*, from the wild Bolivian species *Solanum avilesii*. *American Journal of Potato Research*. 2011;88(6):511-519. DOI: 10.1007/s12230-011-9218-z
- Wang M., Allefs S., van den Berg R.G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E.A.G., Vosman B. Allele mining in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3
- Zarzycka H. Evaluation of resistance to *Phytophthora infestans* in detached leaflet as-say. Preparation of the inoculum. In: *IHAR Monografie i Rozprawy Naukowe*. Radzików: IHAR; 2001. p.75-77.
- Zoteyeva N., Skrabule I., Mežaka I., Vilcāne D., Usele G., Rostoks N. The impact of *R1* and *R3a* genes on tuber resistance to late blight of the potato breeding clones. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural Exact*

and Applied Sciences. 2016;70(2):58-63. DOI: 10.1515/prolas-2016-0010

Zoteyeva N., Sprūde G., Klimenko N., Mezaka I. Identification of interspecific potato hybrids with combined resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) and nematode (*Globodera rostochiensis*). *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural Exact and Applied Sciences*. 2020;74(3):188-195. DOI: 10.2478/prolas-2020-0030

Zoteyeva N.M. Late blight resistance of wild potato species under field conditions in the Northwest of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):159-169. [in Russian] (Зотеева Н.М. Устойчивость диких видов картофеля к фитофторозу в полевых условиях Северо-Запада РФ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):159-169). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-159-169

Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Apalikova O.V., Carlson-Nilsson U., Karabitsina Yu.I. et al. Facilitation of introgressive hybridization of wild polyploid Mexican potato species using DNA markers of R-genes and

of different cytoplasmic types. *Agricultural Biology*. 2017;52(5):964-975. [in Russian] (Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Апаликова О.В., Карлсон-Нильссон У., Карабицина Ю.И. и др. Использование молекулярных маркеров R-генов и типов цитоплазмы при интрогрессивной гибридизации диких полиплоидных мексиканских видов картофеля. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(5):964-975). DOI: 10.15389/agrobiol.2017.5.964rus

Zoteyeva N.M., Chrzanowska M., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. Resistance to pathogens of the potato accessions from the collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR). *American Journal of Potato Research*. 2012;89(4):277-293. DOI: 10.1007/s12230-012-9252-5

Zoteyeva N.M., Zimnoch-Guzowska E.M. A new method for evaluation of potato tubers resistance to *Phytophthora infestans*. *Mycology and Phytopathology*. 2004;38(1):89-93. [in Russian] (Зотеева Н.М., Зимнох-Гузовска Е.М. Новый метод изучения устойчивости клубней картофеля к фитофторозу. *Микология и фитопатология*. 2004;38(1):89-93).

Информация об авторах

Надежда Мубаровна Зотеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, nzoteyeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.porohvinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Дмитрий Андреевич Фатеев, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, dmtfateev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1075-6704>

Надежда Александровна Чалая, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Information about the authors

Nadezhda M. Zoteyeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, nzoteyeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Elizaveta A. Porokhvinova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porohvinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Dmitrii A. Fateev, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, dmtfateev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1075-6704>

Nadezhda A. Chalaya, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

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 17.11.2023; одобрена после рецензирования 27.12.2023; принята к публикации 04.03.2024. The article was submitted on 17.11.2023; approved after reviewing on 27.12.2023; accepted for publication on 04.03.2024.