

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 631.21:632:526
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209



Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans*

Н. М. Зотеева, О. С. Косарева, Е. В. Рогозина, 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 патоген, поражающий растения картофеля. В результате изменений, произошедших в популяциях патогена, фитофтороз остается трудным для фитосанитарного контроля. Экономические потери обусловлены чувствительностью к патогену как ботвы, так и клубней, причем эти признаки часто не связаны. Число возделываемых сортов, устойчивых к *P. infestans*, все еще недостаточно для того, чтобы снизить потери урожая.

Материал и методы. В полевых и лабораторных опытах по устойчивости к фитофторозу оценили 682 сорта и 20 гибридных клонов из коллекции картофеля ВИР. Оценку осуществляли с использованием общепринятых методов. При изучении устойчивости растений как в поле, так и при искусственном заражении использовали шкалу от 1 до 9 баллов, где балл 9 означает устойчивость.

Результаты. Полученные результаты указывают на высокий инфекционный фон, сложившийся на протяжении четырех полевых сезонов. Проявление симптомов болезни на ботве варьировало от 1 до 8 баллов. Доля сортов с сильным поражением ботвы варьировала по годам от 55% до 66%. Сорта с умеренной чувствительностью составляли от 17% до 23%. Совместимость с местной популяцией *P. infestans* в течение четырех полевых сезонов у большого числа сортов различного происхождения свидетельствует о чрезвычайно жестком инфекционном фоне. В результате оценки выделены сорта, проявившие высокую (баллы 7–8) и умеренную (балл 6) устойчивость. В 2020–2023 гг. часть устойчивых сортов, выделенных нами ранее (2017–2019 гг.), переместилась в группу умеренно чувствительных и чувствительных. В лабораторных опытах выявили генотипы, устойчивые к фитофторозу клубней.

Ключевые слова: *Solanum*, фитофтороз, устойчивость ботвы и клубней, сезонные колебания

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».

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

Для цитирования: Зотеева Н.М., Косарева О.С., Рогозина Е.В., Чалая Н.А. Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):201-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans*

Nadezhda M. Zoteyeva, Olga S. Kosareva, Elena V. Rogozina, 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 pathogen affecting potato plants. Due to the changes in the pathogen population, the late blight disease caused by *P. infestans* is still difficult to manage. Economic losses are caused by the susceptibility of potato foliage or tubers to late blight, and both expressions of susceptibility are often not interconnected. Potato cultivars resistant to *P. infestans* are still too few to ensure reduction of harvest losses.

Material and methods. In total, 682 potato cultivars and 20 hybrid clones from the VIR collection were screened in field and laboratory tests. They were assessed by conventional techniques. A score scale of 1–9 points was used both in the field and the laboratory, with 9 corresponding to disease resistance.

Results. The results showed high infection pressure in the field during all four growing seasons of the experiment. The degrees of damage on the foliage varied from 1 to 8 points. The percentage of cultivars with strongly damaged foliage ranged from 55% in 2020 to 66% in 2023. From 17% to 23% of cultivars were assessed as moderately susceptible. The fact that many cultivars of various origin manifested compatibility with the local population of *P. infestans* during four growing seasons confirms its high and stable pathogenicity. Cultivars with high (points 7–8) or moderate (point 6) resistance were identified across the four years of testing. The part of the cultivars recognized as resistant earlier in 2017–2019 appeared to be moderately resistant or moderately susceptible in 2020–2023. Laboratory tests succeeded to identify genotypes with tuber resistance to late blight.

Keywords: *Solanum*, late blight, foliar and tuber resistance, seasonal variations

Acknowledgements: the study 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 authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zoteyeva N.M., Kosareva O.S., Rogozina E.V., Chalaya N.A. Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):201-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209

Введение

В России картофель является одной из основных продовольственных культур. Его ценность обусловлена широтой использования как для продовольственных, так и для технических целей. К сожалению, урожайность и качество продукции, зависящее от уровня агротехники, условий хранения и распространения болезней, все еще остаются невысокими. Для снижения потерь от различных болезнетворных инфекций необходимо выращивание устойчивых сортов.

Одной из основных причин снижения эффективности картофелеводства является ежегодное распространение фитофтороза (возбудитель – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary). Борьба с патогеном усложнена тем, что он поражает как ботву, так и клубни картофеля. После миграции новых штаммов *P. infestans* в Европу в 1976 г. и появления типа совместимости A2 стало возможным половое размножение патогена, что привело к росту числа высокопатогенных рас. Проведенные ранее исследования показали, что популяции Северо-Восточной Европы характеризуются наличием обоих типов совместимости, которые обеспечивают процесс полового размножения оомицета (Cooke et al., 2012). Половой процесс воспроизводства патогена происходит непрерывно. Высокая изменчивость в популяциях *P. infestans* поддерживает разнообразие расового состава (Cooke et al., 2011; Elansky et al., 2015; Runno-Paurson et al., 2022).

Использование сортов картофеля с длительной устойчивостью к фитофторозу может сократить применение фунгицидов, и их выведение уже давно является важной составляющей селекционных программ (Inglis et al., 1996; Milczarek et al., 2017). С этой целью необходим поиск новых источников устойчивости к болезни, который в настоящее время осуществляется среди образцов коллекции ВИР (Beketova et al., 2021; Zoteyeva, Kosareva, 2021; Zoteyeva et al., 2022).

Генетическую устойчивость картофеля к фитофторозу традиционно относят к двум типам: качественная (расоспецифическая, вертикальная) и количественная (горизонтальная, полигенная) устойчивость. Расоспецифическая устойчивость контролируется чаще всего доминантными генами (*R*) и вызывает реакцию сверхчувствительности (Dangl, Jones, 2001); горизонтальная же устойчивость замедляет развитие симптомов болезни. Для повышения длительности устойчивости картофеля к *P. infestans* были разработаны различные стратегии селекции. Одна из них – выстраивание пирамид генов *Rpi* (Tan et al., 2010; Stefańczyk et al., 2020), другая опирается на горизонтальный тип устойчивости. Эпидемии, вызванные вновь возникающими генотипами *P. infestans*, могут привести к смещению акцента в селекционных программах, основанных на той или иной стратегии, в пользу их объединения (Bradshaw et al., 1995). В проявлении устойчивости к фитофторозу у картофеля важно аддитивное действие генов, что продемонстрировано в ряде исследований (Bradshaw et al., 1995; Haynes et al., 2008). При сравнении данных молекулярного и фитопатологического скрининга встречаются расхождения результатов, вызывающие сомнения в эффективности молекулярных маркеров. Получение информации о генах, влияющих на количественную устойчивость, также затруднено (Gebhardt, Valkonen, 2001). Фитопатологическая оценка остается актуальным инструментом для выявления устойчивых сортов, гибридов и образцов видов *Solanum* L. с целью использования их в селекции.

Целью данной работы было выявление устойчивых к фитофторозу сортов и селекционных клонов среди коллекционных образцов, поддерживаемых в ВИР, в условиях инфекционных фонов 2020–2023 гг.

Материал и методы

Работу проводили с 2020 по 2023 г. с использованием коллекционных образцов, поддерживаемых на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, г. Пушкин), где климат способствует ежегодному интенсивному проявлению инфекции *P. infestans*. Оценивали устойчивость ботвы и клубней образцов сортовой коллекции ВИР: в 2020 г. – 642 образца, в 2021 г. – 637, в 2022 г. – 682 и в 2023 г. – 680. За период исследований в условиях ППЛ ВИР метеорологические условия различались по годам, но способствовали распространению инфекции *P. infestans* в течение полевых сезонов 2020–2023 гг. (таблица). Среди материала, оценивавшегося в 2023 г., предварительная характеристика устойчивости к фитофторозу (первый год изучения) получена для вновь поступивших в коллекцию сортов.

Полевая оценка

Устойчивость ботвы образцов картофеля к фитофторозу оценивали на естественном инфекционном фоне по методике, опубликованной в методических указаниях СЭВ (Unified broad COMECON list..., 1977), с использованием шкалы 1–9 баллов, где балл 9 означает наивысшую степень устойчивости.

Оценку осуществляли каждые пять дней с начала появления симптомов *P. infestans* на ботве чувствительных контрольных сортов. В качестве контролей использовали устойчивые сорта 'Sarpö Mira' и 'Alouette' и чувствительные – 'Ломоносовский' и 'Desirée'.

Лабораторная оценка

Метод оценки устойчивости клубней картофеля к фитофторозу описан Н. Зотеевой и Е. Зимнох-Гузовской (Zoteyeva, Zimnoch-Guzowska, 2004). Этот метод позволяет отдельно оценивать интенсивность роста мицелия *P. infestans* и размер инфекционного пятна. В опыте использовали две повторности. В пластиковые кюветы, выстланные влажной фильтровальной бумагой, выкладывали клубни, делали небольшой срез верхней части клубня, на который наносили каплю инокулюма, и накрывали стеклами для создания условий повышенной влажности. Для заражения использовали смесь двух изолятов *P. infestans*, выделенных из листьев пораженных растений в 2023 г. В качестве контролей использовали устойчивый сорт 'Alouette' (к-25544) и 'Невский' (к-10736), а также чувствительный сорт 'Dorisa' (к-19526). Во всех опытах 'Невский' и 'Dorisa' проявляли типичную для них реакцию на заражение *P. infestans*. Средняя пораженность клубней сорта 'Alouette' составляла 5,4 балла, что не предполагает его использование в качестве устойчивого контроля в дальнейшем. Клубни инкубировали при температуре 17°C.

Интенсивность роста мицелия оценивали на 6-е сутки после заражения по оригинальной шкале от нуля до трех баллов, где 0 означает отсутствие мицелия, балл 3 – плотный мицелий, покрывающий всю площадь среза на клубне. Площадь инфекционного пятна на продольном разрезе клубня определяли на 12-е сутки по шкале от 1 до 9 баллов, где балл 9 означает отсутствие симптомов, балл 1 – от 97 до 100% пораженной поверхности.

Таблица. Среднесуточные показатели температуры воздуха и количества осадков, 2020–2023 гг., Санкт-Петербург, Пушкин**Table.** Mean daily air temperatures and precipitation amounts in 2020–2023, Pushkin, St. Petersburg

Показатели				
Год	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура воздуха, средняя (°C)				
2020	17,9	16,1	15,7	12,7
2021	19,7	21,3	16,3	9,9
2022	16,0	17,6	17,6	7,9
2023	16,3	17,0	17,5	13,8
Среднее многолетнее	16,6	19,2	17,2	11,9
Количество осадков (мм)				
2020	66,8	90,6	97,2	31,0
2021	10,7	5,7	122,5	40,6
2022	34,1	65,7	138,5	67,8
2023	68,1	35,2	29,0	27,7
Среднее многолетнее	66,0	75,2	79,7	55,3
Отклонение от среднего многолетнего				
Температура воздуха (°C)				
2020	+1,3	–3,1	–1,5	–0,8
2021	+3,1	+2,1	–0,9	–2,0
2022	–0,6	–1,6	+0,4	–4,0
2023	–0,3	–2,2	+0,3	+1,9
Количество осадков (мм)				
2020	+0,8	+15,4	+17,5	–24,3
2021	–55,3	–69,5	+42,8	–14,7
2022	–31,9	–9,5	+58,8	+12,5
2023	+2,1	–40,0	–50,7	–27,6

При оценке устойчивости как ботвы, так и клубней устойчивыми считали растения, средняя пораженность которых составляла 7–9 баллов, умеренно устойчивыми – 6 баллов, умеренно чувствительными – 5, чувствительными – 4 балла и ниже.

Результаты

В течение четырех лет наблюдений естественный инфекционный фон был достаточно высоким. На растениях неустойчивых сортов первые симптомы болезни появлялись в 2020 г. в конце второй декады июля, в 2021 г. – в конце августа, 2022 г. – в конце июля и в 2023 г. – в середине июля. В годы с более высоким инфекционным фоном (2020 и 2023) зафиксировано большое количество осадков, выпавших в июне и августе. Весь полевой сезон 2020 г. отмечались очень высокая влажность и невысо-

кая температура воздуха (см. табл. 1). Долгий период воздействия патогена на картофель вследствие его раннего проявления определил высокую долю чувствительных и умеренно чувствительных растений в 2023 г.

На рисунке представлено распределение образцов сортовой коллекции с разной степенью проявления симптомов болезни в течение четырех полевых сезонов. Поскольку в разные годы число образцов несколько различалось, доли устойчивых, умеренно устойчивых, умеренно чувствительных и чувствительных даны в процентах от общего числа образцов, высаженных в каждом отдельном году. Более низкие доли устойчивых и умеренно устойчивых растений в 2020 и 2023 г. свидетельствуют о более высоких инфекционных фонах в эти годы. Наиболее сильный инфекционный фон отмечен в 2023 г.

Популяции *P. infestans* в последние годы полевых обследований оказались более патогенными, чем в преды-

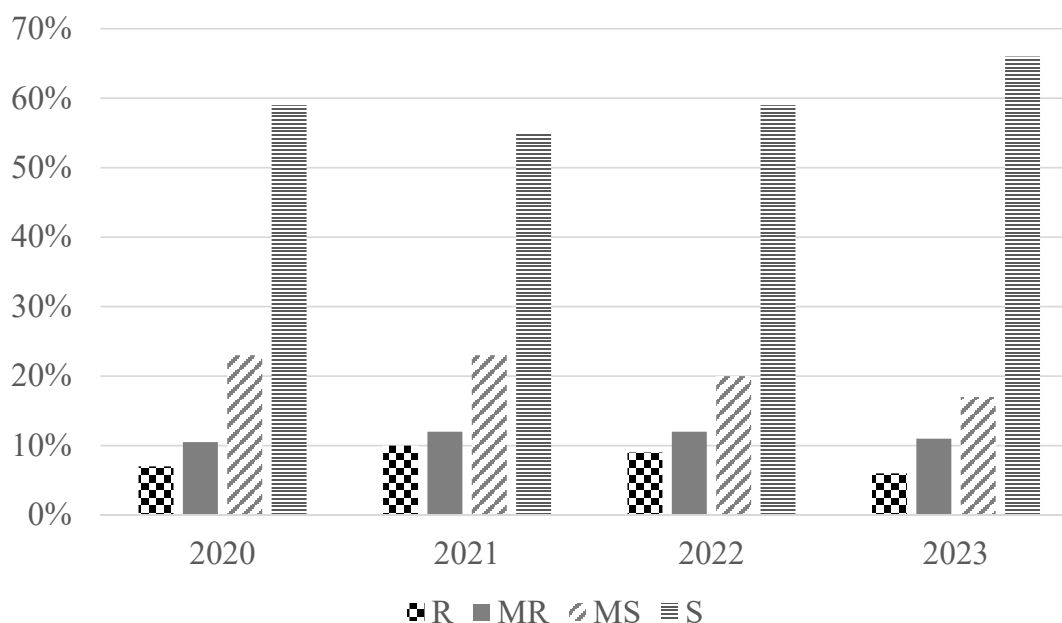


Рисунок. Распределение образцов по группам устойчивости к фитофторозу ботвы в 2020–2023 гг.: R – устойчивые, MR – умеренно устойчивые, MS – умеренно чувствительные, S – чувствительные (научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»)

Figure. Distribution of potato accessions among the groups of foliar late blight resistance/susceptibility in 2020–2023: R – resistant; MR – moderately resistant; MS – moderately susceptible; S – susceptible (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR)

дущие годы изучения. Часть сортов, классифицированных как устойчивые в 2017–2019 гг., переместилась в категорию умеренно чувствительных и чувствительных.

Высокую устойчивость (балл 7–8) до конца периода оценки (2023 г.) сохраняли среднеранние сорта 'Baszta' (к-24067, Польша) и 'Caprice' (к-25193, Германия); среднеспелые – 'Аспия' (к-11995), 'Кабардинский' (к-10151) (Россия); среднепоздние – 'Астра' (к-10697, Латвия), 'Ania' (к-24063, Польша), 'Західна' (к-24796, Украина), 'Кристалл' (к-10774, Россия), местный (к-25329, Грузия), 'Рашт' (к-25423, Таджикистан), 'Удовицкий' (к-25260, Казахстан), а также сорта поздних сроков спелости – 'Атлант' (к-11922, Беларусь), 'Dunajec' (к-24074), 'Bzura' (к-22154), 'Meduza' (к-24082) (Польша), 'Clarissa' (к-21770, Германия), 'Elles' (к-22879) и 'Proton' (к-20381) (Нидерланды).

Устойчивость среднеранних сортов 'Albatros' (к-24180), 'Caprice' (Германия), 'Mors' (к-24083, Польша), 'Red Fantasy' (к-25324, Германия); среднеспелых – 'Гусар' (к-25436, Россия), 'Айтмурат' (к-25248), 'Нур-Алем' (к-25253), 'Сеним' (к-25306) (Казахстан), 'Montana' (к-11251, Германия), 'Луговской' (к-11658), 'Нестеровский' (к-11294) (Украина); среднепоздних – 'Вектор' (к-25200), 'Мусинский' (к-25312), 'Рапсодия' (к-25130) (Россия), 'Сеянец Лаптева' (к-25161, Казахстан), 'Когa' (к-24174, Польша) и двух местных сортов из Грузии (к-25298, к-25326), а также сорта с поздним сроком созревания 'Брянский Красный' (к-12161, Россия) не снижалась ниже умеренной в течение четырех лет оценки.

В период трехлетнего изучения (2021–2023 гг.) высокой устойчивостью характеризовались: среднеранний сорт 'Reet' (к-25247, Эстония), среднеспелые – 'Галичанка' (к-24999, Украина), 'Valetta' (к-21769, Германия) и среднепоздние – 'Гасцінец' (к-25264, Беларусь), 'Кристалл' (Россия), 'Ракурс' (к-25098, Украина), 'Таджикистан' (к-25424, Таджикистан). Высокая устойчивость от-

мечена у вновь поступивших в коллекцию отечественных сортов 'Кумач' (к-25503), 'Розовый Чародей' (к-25536), 'Третьяковка' (к-25501) и сорта 'Bavator' (к-25540) из Германии, изученных только в 2023 г.

Заметно снизили устойчивость позднеспелые сорта 'Ceres' (к-10305, Германия), 'Karnico' (к-22883, Нидерланды) и 'Slaney' (к-25238, Ирландия) (ранее – 7 баллов и 6,0–5,5 в 2023 г.). Потеря устойчивости в полевом сезоне 2023 г. отмечена у среднеранних сортов 'Дина' (к-11925, Беларусь); среднеспелых – 'Билина' (к-24785), 'Слава' (к-11667) (Украина), 'Ручеек' (к-12213), 'Утро' (к-25219) (Россия); среднепоздних – 'Брянский Надежный' (к-12160), 'Ветеран' (к-12210), 'Звездочка' (к-25209), 'Никулинский' (к-12171) (Россия), 'Вихола' (к-11270), 'Воловецкий' (к-11651) (Украина), 'Журавинка' (к-12106, Беларусь), 'Матс' (к-11288, Эстония); позднеспелых – 'Выток' (к-11897) и 'Синтез' (к-11666) (Беларусь).

В 2020–2023 гг. на двух разных полях сорт 'Сударыня' (к-12206), проявлявший ранее высокую устойчивость к болезни, поражался фитофторозом. Поражение его ботвы составляло 4–6 баллов в 2021 и 2022 гг. и 1–4 – в 2023 г. На другом поле растения сильно поражались в 2021 и 2022 гг. (в 2023 г. сорт не высаживался). В период хранения симптомы фитофтороза отмечены лишь на единичных клубнях сорта 'Сударыня' в 2020 г., а в 2021 г. их число составило около четверти. Симптомы фитофтороза на клубнях в период уборки не отмечали до 2023 г. В этот год инфицированные клубни встречались как при уборке, так и в период хранения.

В лабораторных опытах устойчивость клубней выявлена у сортов 'Астра', 'Західна', 'Кабардинский', местный (к-25328а) из Грузии, 'Сеянец Лаптева', 'Ania', 'Bavator', 'Elles', 'Meduza', 'Proton' и 'Valor' (к-24041).

Результаты оценки устойчивости к фитофторозу оригинальных гибридов, поддерживаемых в коллекции отдела генетических ресурсов картофеля ВИР, позволили

выявить клоны, характеризующиеся устойчивостью ботвы и/или клубней. Среди них – 918-3-7-2018, который является потомком от скрещивания клона 171-3 с устойчивостью ботвы, сильно зависящей от условий сезона, и устойчивостью клубней с образцом ‘Magelanes’ вида *S. chilotanum* Hawk. ‘Magelanes’, обладающий устойчивостью клубней, служил материнской формой гибрида (Rogozina et al., 2021). Всего оценили устойчивость 9 клонов этой гибридной комбинации. Семь клонов проявляли чувствительность ботвы в поле и клубней – в лаборатории. Клон 918-3-7-2018 проявлял устойчивость клубней (балл 7,0) при искусственном заражении патогеном; в течение трех лет у него отсутствовали клубни с симптомами фитофтороза при хранении. Клон 999-31-2020, также отобранный в потомстве от скрещивания ‘Magelanes’ × 171-3, проявил умеренную устойчивость клубней (балл 6) в лабораторных опытах. Устойчивость его ботвы сильно зависела от условий года (7 баллов в 2021 г. и менее 5 в остальные годы).

Устойчивость клубней отмечена у клона 15/13-09, в родословной которого присутствуют четыре вида – *S. pinnatisectum* Dun., *S. polytrichon* Rydb., *S. verrucosum* Schlecht. и *S. simplicifolium* Bitt. (Rogozina et al., 2021). В течение двух полевых сезонов устойчивость его ботвы соответствовала шести (2023 г.) и семи (2021 г.) баллам. Клон 16/27-09 по реакции клубней на заражение *P. infestans* охарактеризован как умеренно чувствительный. Устойчивость его ботвы в 2021–2023 гг. соответствовала устойчивости контрольного сорта ‘Alouette’. Из двух клонов (954-1-2017 и 954-3-2017), отобранных в потомстве гибрида 16/27-09 × 15/13-09, клон 954-1-2007 проявлял умеренную устойчивость листьев (балл 6) и умеренную чувствительность клубней (балл 5). У второго клона (954-3-2017) листья и клубни восприимчивы к фитофторозу.

Пять образцов из коллекции гибридов получены от реципрокных скрещиваний селекционных клонов 8-08 и 8-09 с сортом ‘Наяда’ (к-12157), использованным в качестве опылителя в четырех комбинациях. Сорт ‘Наяда’ характеризуется устойчивостью к фитофторозу ботвы (Amelushkina, 2019). При заражении клубней сорт проявлял умеренную устойчивость (Zoteyeva et al., 2017). По устойчивости ботвы гибридное потомство ‘Наяда’ × 8-08 расщеплялось на два фенотипа с устойчивостью, стабильной по годам, и три чувствительных фенотипа. Клон 913-4-2018, где сорт ‘Наяда’ был материнским родителем, был устойчив (7 и 8 баллов) в течение всех четырех лет изучения. Такие же показатели имел клон 912-6-2018; у трех остальных обнаружена чувствительность к болезни. Устойчивость клубней всех клонов, полученных от этих родителей, была на уровне сорта ‘Наяда’: у них отсутствовали клубни с симптомами фитофтороза в период хранения.

Обсуждение

Трудность достижения стабильной устойчивости картофеля к фитофторозу состоит в том, что *P. infestans* является высокоадаптивным патогеном (Fry, 2008; Naas et al., 2009). Ранее некоторые селекционеры при выведении сортов опирались на горизонтальный тип устойчивости (Van Der Plank, 1971); в настоящее время считают, что к стабильной устойчивости приведет накопление R-генов (Zhu et al., 2014). При изучении генетического контроля признака проблемы в основном связаны с отсутствием информации о генах, обеспечивающих гори-

зонтальный тип устойчивости (Gebhardt, Valkonen, 2001). Лучшим способом выявления устойчивых фенотипов является традиционная полевая оценка на высоких инфекционных фонах. Среди коллекционных образцов не так много сортов, характеризующихся высокой устойчивостью ботвы, особенно сортов ранних сроков спелости.

В 2020–2023 гг. выявлено снижение уровня устойчивости многих сортов. Часть образцов с умеренной чувствительностью сместилась в группу чувствительных. Характеристику интродуцированных сортов, проявивших высокую устойчивость в течение сравнительно короткого периода изучения (3 года), следует рассматривать только как предварительную. У некоторых сортов потеря устойчивости происходит в течение сравнительно короткого промежутка времени. Пример такой динамики наблюдали при оценке устойчивости сорта ‘Сударыня’, который в опытах 2017–2019 гг. оценивали баллами 8,0 (Gavrilenko et al., 2018) и 7,0 (Beketova et al., 2021). Потеря устойчивости может быть связана со сроками спелости сортов, она чаще наблюдается у ранних. Примером могут служить среднеранний сорт ‘Сударыня’ и среднеспелый сорт ‘Аврора’ (к-12188).

Устойчивость листьев и клубней, выявленную ранее (Zoteyeva, Kosareva, 2021), сохранил до 2023 г. среднепоздний сорт ‘Західна’. Высокая устойчивость была отмечена у польских сортов ‘Bzura’ и ‘Meduza’ с поздними сроками созревания, которые использовались в качестве устойчивых контролей еще в начале 2000-х годов (Lebecka et al., 2006). Сорта ‘Sárpo Mira’ и ‘Bzura’ остаются одними из немногих европейских сортов, отличающихся высоким уровнем длительной устойчивости к фитофторозу. Обе родительские формы сорта ‘Bzura’, выведенного в 1986 г., являются носителями генов *S. demissum* (Plich et al., 2015). У ‘Bzura’ подтверждено присутствие гена *R1* от этого вида (Gebhardt et al., 2004). Позднее у него был идентифицирован ген устойчивости *R2-like* (Plich et al., 2015). Позднеспелый сорт ‘Sárpo Mira’ также долгое время сохраняет высокую устойчивость к фитофторозу (White, Shaw, 2009; Haverkort et al., 2016). Предполагается, что кластер генов устойчивости, локализованных на хромосоме XI, отвечает за количественную устойчивость листьев (Tomczyńska et al., 2014). У этого сорта идентифицирован также ген устойчивости к фитофторозу *Rpi-smira1* (Rietman et al., 2012).

Резкое снижение устойчивости происходит вследствие преодоления патогеном действия R-гена/генов. У сортов ‘Сударыня’ и ‘Аврора’ детектированы маркеры гена *Rpi-blb1* (Antonova et al., 2018). Присутствие этого гена не защищает растения сорта ‘Аврора’ от фитофтороза в поле (Zoteyeva et al., 2022), то же наблюдается и у сорта ‘Сударыня’. По-видимому, защитная функция гена преодолена вирулентными изолятами, появившимися в местной популяции *P. infestans*.

У клона 171-3 детектирован маркер гена *Rpi-R3b*, у образца ‘Magelanes’ – маркер гена *Rpi-R1* (Rogozina et al., 2021). Связь устойчивости к фитофторозу ботвы и клубней у клонов 918-3-7-2018 и 999-31-2020, отобранных в поколении F_1 (‘Magelanes’ × 171-3), с наличием маркеров генов *Rpi-R1* и *Rpi-R3b* еще предстоит исследовать.

Результаты оценки клона 15/13-09 по устойчивости к фитофторозу в условиях ППЛ ВИР хорошо согласуются с результатами многолетних испытаний гибридов картофеля из коллекции ВИР во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии (ВНИИФ, Московская обл.). Высокую устойчивость (не ниже 6–7 баллов) ботвы к фитофторозу ежегодно отмечали в полевых

и лабораторных опытах в 2014–2020 гг. (Rogozina et al., 2018, Rogozina et al., 2021). Клубни клона 15/13-09 были устойчивы к фитофторозу (6,7 балла). У этого клона детектированы маркеры четырех генов устойчивости к фитофторозу: *Rpi-R2*, *Rpi-R3b*, *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1* и *Rpi-blb2*, которые, очевидно, и обеспечивают длительную устойчивость к фитофторозу (Rogozina et al., 2021).

Клон 16/27-09 в полевых и лабораторных опытах ВНИИФ по устойчивости ботвы также охарактеризован как устойчивый (6–7 баллов), имеет маркеры генов *Rpi-R1*, *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1* и *Rpi-blb2* (Rogozina et al. 2021).

В годы появления в популяции патогена рас, совместимых с растениями-хозяевами, их устойчивость в разной степени снижается. В ППЛ ВИР ежегодно выращивается большое количество сортов, образцов из коллекций широкого ряда видов и гибридов картофеля, что приводит к необходимости *P. infestans* приспосабливаться к ним, продуцируя новые патогенные штаммы. В этой связи складывающийся инфекционный фон позволяет проводить достоверную полевую оценку устойчивости к фитофторозу.

Приведенные нами данные показывают, что высокоустойчивые сорта картофеля, снизившие устойчивость из-за появления совместимых изолятов *P. infestans*, нередко проявляют умеренный уровень остаточной устойчивости, которую также можно рассматривать как полезную. Они могут быть использованы в селекции, особенно если обладают устойчивостью к другим патогенам или имеют хорошие агрономические характеристики.

С целью создания устойчивых сортов проводят скрещивания с выделенными по устойчивости сортами, селекционными клонами и образцами различных видов картофеля. В скрещиваниях, проведенных в отделе генетических ресурсов картофеля, использован образец 'Magelanes' вида *S. chilotanum*. Ценность этого вида состоит в том, что он проявляет нейтральную фотопериодическую реакцию и обладает высокой экологической пластичностью. Образцы этого вида с 1967 г. поддерживаются в клубневой репродукции в ППЛ ВИР в условиях продолжительного светового дня и короткого вегетационного периода. По данным J. K. Tiwari (Tiwari, 2022), *S. chilotanum* включает устойчивые к фитофторозу местные сорта. В расщепляющейся по устойчивости популяции гибрида, полученного от скрещивания сорта 'Magelanes' с клоном 171-3, найдено растение, сочетающее устойчивость листьев и клубней. Использование в гибридизации сорта 'Наяда' с устойчивостью ботвы к фитофторозу явилось результатом получения клонов со стабильно проявляющейся высокой устойчивостью ботвы в условиях жестких инфекционных фонов и отсутствием клубней с симптомами фитофтороза при хранении.

Заключение

Значительное число сортов с низким уровнем устойчивости к фитофторозу выявлено в течение четырех лет изучения в ППЛ ВИР, что указывает на ежегодный высокий инфекционный фон *P. infestans*. Результаты работы свидетельствуют об утрате устойчивости к болезни у ряда сортов, подчеркивая необходимость включения в селекционные программы только образцов с устойчивостью, стабильно проявляющейся в течение нескольких полевых сезонов в условиях благоприятствующих распространению инфекции. Сорта, сохранившие устойчивость к болезни в течение продолжительного периода

изучения, чаще характеризуются более поздними сроками созревания. В этой связи актуально выведение устойчивых к фитофторозу среднеранних и среднеспелых сортов для использования в зонах с коротким периодом вегетации. В условиях жесткого инфекционного фона и при искусственном заражении выделены сорта и гибриды картофеля с устойчивостью ботвы и/или клубней.

References/Литература

- Amelushkina T.A. Assessment of potato grades by the complex of its economic character in a seed field. *Vladimir Agricolist*. 2019;(3):35-38. [in Russian] (Амелюшкина Т.А. Оценка сортов картофеля по комплексу хозяйственно-ценных признаков в питомнике экологического испытания. *Владимирский земледелец*. 2019;(3):35-38). DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10079
- Antonova O.Y., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1*-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412
- Beketova M.P., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Gurina A.A., Kuznetsova M.A., Armstrong M. et al. Combination breeding and marker-assisted selection to develop late blight resistant potato cultivars. *Agronomy*. 2021;11:2192. DOI: 10.20944/preprints202110.0209.v1
- Bradshaw J.E., Stewart H.E., Wastie R.L., Dale M.F., Phillips M.S. Use of seedling progeny tests for genetical studies as part of a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995;90(6):899-905. DOI: 10.1007/BF00222029
- Cooke D.E.L., Cano L.M., Raffaele S., Bain R.A., Cooke L.R., Etherington G.J. et al. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. *PLoS Pathogens*. 2012;8(10):1002940. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002940
- 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
- Dangl J.L., Jones J.D. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*. 2001;411(6839):826-833. DOI: 10.1038/35081161
- Elansky S., Pobedinskaya M.A., Kokaeva L., Statsyuk N., Dyakov Y.T. *Phytophthora infestans* populations from the European part of Russia: genotypic structure and metalaxyl resistance. *Journal of Plant Pathology*. 2015;97(3):449-456. DOI: 10.4454/JPP.V97I3.020
- Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9(3):385-402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M. et al. Molecular screening of potato varieties bred in the northwestern zone of the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(1):35-45. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Лебедева В.А., Евдокимова З.З., Гаджиев Н.М. и др. Молекулярный скрининг сортов и гибридов картофеля северо-западной зоны Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):35-45). DOI: 10.18699/VJ18.329
- Gebhardt C., Ballvora A., Walkemeier B., Oberhagemann P., Schüler K. Assessing genetic potential in germplasm collections of crop plants by market-trait association: A case study for potatoes with quantitative variation of resis-

- tance to late blight and maturity type. *Molecular Breeding*. 2004;13(1):93-102. DOI: 10.1023/B:MOLB.0000012878.89855.df
- Gebhardt C., Valkonen J.P.T. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Annual Review of Phytopathology*. 2001;39(1):79-102. DOI: 10.1146/annurev.phyto.39.1.79
- Haas B.J., Kamoun S., Zody M.C., Jiang R.H.Y., Handsaker R.E., Cano L.M. et al. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature*. 2009;461(7262):393-398. DOI: 10.1038/nature08358
- Haverkort A.J., Boonekamp P.M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L.A.P., Kessel G.J.T. et al. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh Project. *Potato Research*. 2016;59(1):35-66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6
- Haynes K.G., Christ B.J., Vinyard B.T. Determining the importance of combining ability for late blight resistance in early generations of potato breeding when susceptible clones are discarded. *American Journal of Potato Research*. 2008;85(6):445-454. DOI: 10.1007/s12230-008-9051-1
- Inglis D.A., Johnson D.A., Legard D.E., Fry W.E., Hamm P.B. Relative resistances of potato clones in response to new and old populations of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*. 1996;80(5):575-578.
- Lebecka R.M., Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E. Resistance of potato tubers to a highly aggressive isolate of *Phytophthora infestans* in relation to tuber age. *Potato Research*. 2006;49(2):99-107. DOI: 10.1007/s11540-006-9009-y
- Milczarek D., Plich J., Tatarowska B., Flis B. Early selection of potato clones with resistance genes: the relationship between combined resistance and agronomical characteristics. *Breeding Science*. 2017;67(4):416-420. DOI: 10.1270/jsbbs.17035
- Plich J., Tatarowska B., Lebecka R., Śliwka J., Zimnoch-Guzowska E., Flis B. *R2*-like gene contributes to resistance to *Phytophthora infestans* in Polish potato cultivar Bzura. *American Journal of Potato Research*. 2015;92(3):350-358. DOI: 10.1007/s12230-015-9437-9
- Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.R., Vossen J.H., Jacobsen E. et al. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012;25(7):910-919. DOI: 10.1094/MPMI-01-12-0010-R
- Rogozina E.V., Beketova M.P., Muratova O.A., Kuznetsova M.A., Khavkin E.E. Stacking resistance genes in multiparental interspecific potato hybrids to anticipate late blight outbreaks. *Agronomy*. 2021;11(1):115. DOI: 10.3390/agronomy11010115
- Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kuznetsova M.A., Demidova V.N., Rogozin A.N., Smetanina T.I. et al. Late blight resistant potato hybrid clones in the VIR collection of plant genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):278-292. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Рогожин А.Н., Сметанина Т.И. и др. Устойчивые к фитофторозу гибридные клоны картофеля в коллекции генетических ресурсов растений ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):278-292). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-278-292
- 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
- Stefańczyk E., Plich J., Janiszewska M., Smyda-Dajmund P., Śliwka J. Marker-assisted pyramiding of potato late blight resistance genes *Rpi-rzc1* and *Rpi-phu1* on di- and tetraploid levels. *Molecular Breeding*. 2020;40(9):89. DOI: 10.1007/s11032-020-01169-x
- Tan M.Y.A., Hutten R.C.B., Visser R.G.F., van Eck H.J. The effect of pyramiding *Phytophthora infestans* resistance genes *Rpi-mcd1* and *Rpi-ber* in potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 2010;121(1):117-125. DOI: 10.1007/s00122-010-1295-8
- Tiwari J.K. Potato improvement in the post-genomics era. Boca Raton, FL: CRC Press; 2022. DOI: 10.1201/9781003260233
- Tomczyńska I., Stefańczyk E., Chmielarz M., Karasiewicz B., Kamiński P., Jones J.D.G. et al. A locus conferring effective late blight resistance in potato cultivar Sarpo Mira maps to chromosome XI. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014;127(3):647-657. DOI: 10.1007/s00122-013-2248-9
- Unified broad COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for potato species of the section *Tuberosum* (Dun.) Buk., genus *Solanum* L. (Shirokiy unifikatsionnyy klassifikator SEV i mezhdunarodny klassifikator SEV vidov kartofelya sekcii *Tuberosum* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L. Ленинград: ВИР; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberosum* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Ленинград: ВИР; 1977).
- Van Der Plank J.E. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in cultivars without *R* genes. *Potato Research*. 1971;14(4):263-270. DOI: 10.1007/BF02355989
- White S., Shaw D. The usefulness of late-blight resistant Sarpo cultivars – a case study. *Acta Horticulturae*. 2009;834:161-166. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.834.17
- Zhu X., Richael C., Chamberlain P., Busse J.S., Bussan A.J., Jiang J. et al. Vacuolar invertase gene silencing in potato (*Solanum tuberosum* L.) improves processing quality by decreasing the frequency of sugar-end defects. *PLoS One*. 2014;9(4):93381. DOI: 10.1371/journal.pone.0093381
- Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A. Markers of genes for resistance to late blight, potato virus Y and potato cyst nematode identified in advanced interspecific potato hybrids. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):5-16. [in Russian] (Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А. Маркеры генов устойчивости к фитофторозу, Y вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде у перспективных клонов межвидовых гибридов картофеля. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):5-16). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01
- Zoteyeva N.M., Kosareva O.S. Assessment of the varieties from the VIR's potato collection for resistance to *Phytophthora infestans* in laboratory assays. *Plant Protection News*. 2021;104(2):113-119. [in Russian] (Зотеева Н.М., Косарева О.С. Оценка устойчивости сортов картофеля из коллекции ВИР к *Phytophthora infestans* в лабораторном изучении. *Вестник защиты растений*. 2021;104(2):113-119). DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-14616
- Zoteyeva N.M., Kosareva O.S., Evdokimova Z.Z. Search for source material with late blight resistance among potato varieties and clones. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(4):120-126. [in Russian] (Зотеева Н.М., Косарева О.С., Евдокимова З.З. Поиск устойчивого к фитофторозу исходного материала для селек-

ции среди сортов и клонов картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(4):120-126). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-119-126

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-Гузовская 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>

Ольга Сергеевна Косарева, 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, okosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

Елена Вячеславовна Рогозина, 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, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

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>

Olga S. Kosareva, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, okosareva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

Elena V. Rogozina, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

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 25.03.2024; одобрена после рецензирования 02.05.2024; принята к публикации 05.06.2024. The article was submitted on 25.03.2024; approved after reviewing on 02.05.2024; accepted for publication on 05.06.2024.