

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 632.3:632.9
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234



Распространение мозаичных вирусов картофеля на видах секции *Petota Dumort.* рода *Solanum L.* в коллекции ВИР

Е. В. Рогозина¹, А. А. Гурина^{1,2}

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Вячеславовна Рогозина, rogozinaelena@gmail.com

Актуальность. Картофель при вегетативном размножении поражается вирусами, и на территории России повсеместно распространены возбудители мозаичных болезней: Y-вирус картофеля (YVK), S-вирус картофеля (SBK) и M-вирус картофеля (MBK). В коллекции ВИР представлено разнообразие всех групп генофонда картофеля, и диагностика мозаичных вирусов у коллекционных образцов в полевом генном банке ВИР является крайне актуальной задачей. Цель работы – оценить распространение XVK, YVK, SBK и MBK в коллекции ВИР, выделить перспективные образцы в качестве исходного материала для селекции картофеля на устойчивость к мозаичным вирусам.

Материал и методы. Оценены 315 образцов, представляющих все группы генофонда: сорта, межвидовые гибриды, образцы диких и культурных видов картофеля. Диагностика методом иммуноферментного анализа (ИФА) проведена на растениях, не имеющих признаков поражения вирусами. Использована отечественная тест-система НПО «БиоТехнологии» и зарубежная Bioreba AG (Швейцария). Статистическую обработку данных выполняли в программе Statistica StatSoft 13.

Результаты. Мозаичные вирусы распространены с разной частотой, в полевой коллекции картофеля доминирует MBK, детектированный у 64% образцов, YVK обнаружен у 41%, XVK – у 24% и SBK – у 18% образцов. Подтверждена связь между происхождением образцов и их пораженностью вирусами. Образцы, не пораженные мозаичными вирусами, – сорта 'Гранд', 'Краса Мещеры', 'Янтарь' и 'Нур-Алем', гибриды 99-1-3, 952-35 и 914-5-2018, образцы диких видов из Северной Америки и образец культурного вида *Solanum goniocalyx* Juz. et Buk. (к-9922).

Ключевые слова: сорт, гибрид, дикие виды, культурные виды, Y-вирус картофеля, S-вирус картофеля, X-вирус картофеля, M-вирус картофеля, иммуноферментный анализ

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 21-76-10050. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Рогозина Е.В., Гурина А.А. Распространение мозаичных вирусов картофеля на видах секции *Petota Dumort.* рода *Solanum L.* в коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2023;184(2):226-234. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234

Distribution of potato mosaic viruses on plants of the *Petota* Dumort. section of *Solanum* L. in the VIR collectionElena V. Rogozina¹, Alyona A. Gurina^{1,2}¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology Moscow, Russia**Corresponding author:** Elena V. Rogozina, rogozinaelena@gmail.com

Background. Potato due to its vegetative propagation is affected by viruses, among which potato viruses Y (PVY), S (PVS) and M (PVM) are spread across all Russia's territory. The VIR collection presents the diversity of the potato gene pool, including potato cultivars and related tuber-forming species. Diagnostics of viral infections in plants saved for several years by obtaining tuber reproductions is an important part of the work on the conservation and sustainable utilization of the potato gene pool. The purpose of the work was to evaluate the distribution of PVX, PVY, PVS and PVM on plants of potato cultivars and related *Solanum* spp. in the VIR field collection.

Material and methods. Evaluation covered 315 accessions representing all groups of the potato gene pool. Diagnosis by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) was carried out on plants that did not display symptoms of a virus infection. The Russian test system of RPA "BioTechnologies" and foreign one of Bioreba AG (Switzerland) were used. Statistical data processing was performed by the Statistica StatSoft 13 program.

Results. Mosaic viruses are distributed with different frequencies on potato plants in the field collection: PVM dominates, detected in 64% of potato accessions; PVY is found in 41%, PVX on 24%, and PVS in 18% of accessions. The connection between the botanical and taxonomic origin of potato accessions and their infection with viruses has been confirmed. Among wild species, more than half of accessions, while among cultivated species, only 5% are affected by XBK. PVM, on the contrary, was detected in a significant part (77–91%) of cultivated potato accessions. and much less frequently (16%) in accessions of wild species. Cvs, 'Grand', 'Krasa Meshchery', 'Yantar' and 'Nur-Alem', hybrids 99-1-3, 952-35 and 914-5-2018, accessions of wild species from North America, and cultivated species *Solanum goniocalyx* Juz. et Buk. (k-9922) are not affected by viruses.

Keywords: cultivar, hybrid, wild and cultivated species, potato virus Y, potato virus S, potato virus X, potato virus M, enzyme-linked immunosorbent assay

Acknowledgements: this work was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 21-76-10050. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Rogozina E.V., Gurina A.A. Distribution of potato mosaic viruses on plants of the *Petota* Dumort. section of *Solanum* L. in the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):226-234. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) в связи с особенностями биологии растения и вегетативным способом размножения в значительной степени поражается болезнями и вредителями. Вирусные болезни представляют одну из главных проблем как для производителя товарного картофеля, так и при выращивании семенного материала. В борьбе с вирусами картофеля используют биотехнологические методы получения высококачественного семенного материала и выращивание устойчивых к вирусам сортов. Картофель в естественных условиях поражают 37 вирусов (Loebenstein et al., 2001). Девять вирусов: вирус скручивания листьев картофеля (БСЛК, potato leaf roll virus, PLRV), Y-вирус картофеля (YVK, Potato virus Y, PVY), A-вирус картофеля (ABK, Potato virus A, PVA), V-вирус картофеля (VBK, Potato virus V, PVV), X-вирус картофеля (XBK, Potato virus X, PVX), вирус метельчатости верхушки картофеля (BMBK, Potato mop top virus, PMTV), вирус погремковости табака, «раттл-вирус» (ВПТ, Tobacco rattle virus, TRV); S-вирус картофеля (SBK, Potato virus S, PVS) и M-вирус картофеля (MBK, Potato virus M, PVM) – приводят к значительным потерям урожая на всех территориях, где возделывают картофель (Palukaitis, 2012). Мониторинг возбудителей вирусных болезней картофеля в 11 регионах Российской Федерации выявил повсеместное распространение YVK, SBK и MBK и максимальное разнообразие вирусных инфекций (по шесть вирусов) в образцах из Нижегородской и Ленинградской областей (Malko et al., 2019).

Коллекция генетических ресурсов картофеля ВИР, поддержание и изучение которой осуществляется в полевом геном банке ВИР – на опытных полях и в теплицах научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», представляет разнообразие сортов, селекционных клонов, культурных форм и диких видов секции *Petota Dumort.* рода *Solanum* L. (Nagel et al., 2022). Образцы коллекции картофеля ВИР являются объектом фундаментальных исследований и материалом для разных направлений селекции, в том числе при создании сортов, устойчивых к вирусным заболеваниям. Сохранение и рациональное использование генофонда основано на регулярном фитосанитарном мониторинге коллекционных образцов, вирусологическом обследовании сортов картофеля и родственных видов (Truskinov, 1972; Vavyko, 1987; Truskinov, Frolova, 2002; Truskinov, Sitnikov, 2019; Rogozina et al., 2019). В каталогах ВИР имеется информация об устойчивости небольшого числа образцов культурного тетраплоидного вида *Solanum andigenum* Juz. et Buk. к XBK, YVK и MBK (Kiru, Sdvizhkova, 1999); примитивных культурных и диких видов картофеля к XBK и YVK (Vavyko, 1989, Zoteyeva et al., 2004). Однако опубликованные данные не дают полного представления о вирусостойкости диких и культурных родичей картофеля, нет сведений об устойчивости коллекционных образцов к повсеместно распространенным SBK и MBK. Изученный на протяжении последних десяти лет материал включал в основном селекционные сорта и образцы культурного вида *S. andigenum* (Truskinov, Sitnikov, 2019). В 2017–2019 гг. коллекция ВИР пополнилась новыми отечественными сортами. Оценка устойчивости этих сортов к вирусам необходима для всесторонней характеристики современного сортимента картофеля.

Диагностика вирусной инфекции у растений в условиях высокого естественного инфекционного фона пред-

ставляет первый этап исследования, результаты которого позволяют отобрать для дальнейшего углубленного изучения образцы, свободные от вирусов. В этой связи диагностика XBK, YVK, SBK и MBK у сортового картофеля и образцов родственных видов, сохраняемых в полевом геном банке ВИР, является крайне актуальной задачей.

Цель работы – оценить распространение XBK, YVK, SBK и MBK на растениях сортового картофеля и родственных видов *Solanum* в коллекции ВИР, выделить образцы, перспективные для использования в селекции картофеля на устойчивость к мозаичным вирусам.

Материалы и методы

В 2021–2022 гг. проведена диагностика вирусов картофеля на растениях коллекции сортов, гибридов, примитивных культурных и диких клубнеобразующих видов *Solanum* в полевом геном банке ВИР. Изучены 315 образцов, представляющих все группы генофонда картофеля, – 47 сортов и 49 клонов межвидовых гибридов, 105 образцов 30 диких видов шести серий: *Bulbocastana* (Rydb.) Hawkes, *Pinnatisecta* (Rydb.) Hawkes, *Polyadenia* Buk. ex Correll., *Yungasensa* Corr., *Commersoniana* Buk. и *Tuberosa* (Rydb.) Hawkes (wild species) и 114 образцов четырех культурных видов серии *Tuberosa* (Rydb.) Hawkes (cultivated species) – по классификации Дж. Хокса (Hawkes, 1990) (таблица).

Для исследования отобраны образцы, у которых при выращивании в открытом грунте в течение пяти и более лет симптомы тяжелого поражения вирусными заболеваниями не отмечены. Диагностика вирусов проведена методом иммуноферментного анализа (ИФА, ELISA – Enzyme-linked immunosorbent assay) «сандвич-вариант» с использованием отечественной тест-системы производства НПО «БиоТехнологии» при Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха (Москва, Коренево) и зарубежной производства Bioreba AG (Швейцария). Каждый образец был представлен тремя – пятью растениями, у которых анализировали объединенную пробу, собирая листья со среднего яруса в стадии «бутонизация – начало цветения» растений. ИФА выполняли в двукратной повторности, результаты оценивали визуально, согласно рекомендациям производителя. Статистическую обработку данных делали в программе Statistica StatSoft 13 (<http://statsoft.ru/products>, 10 февраля 2023 г.).

Результаты

ИФА выявил высокую степень распространения мозаичных вирусов на коллекционных образцах картофеля. По частоте обнаружения в растениях изученной выборки доминировал MBK, детектированный у 64% образцов, YVK обнаружен у 41%, XBK – у 24% и SBK – у 18% образцов. Доля образцов, пораженных мозаичными вирусами, различна у представителей отдельных групп генофонда картофеля (рис. 1). Более половины (56%) образцов диких видов инфицированы XBK, что значительно превышает долю таковых среди культурных видов, сортов и селекционных клонов: 5%, 9% и 16% соответственно. Достоверность различий подтверждается статистически: $\chi^2 = 67,9$, $\chi^2 = 30,4$ и $\chi^2 = 21,6$ соответственно ($p < 0,001$).

Вирус Y обнаружен у 47% сортов и 54% образцов культурных видов, с меньшей частотой – у диких видов и селекционных клонов: 37% и 14% образцов соответственно. Отчетливая дифференциация по поражаемости

Таблица. Дикие и культурные виды секции *Petota Dumort.* рода *Solanum L.*, оцененные на наличие ХБК, УБК, СБК и МБК

Table. Wild and cultivated species of the *Petota Dumort.* section of *Solanum L.* evaluated for the presence of PVX, PVY, PVS and PVM

Группа генофонда картофеля / Group of potato germplasm	Серия / Series	Вид / Species	Изучено образцов / Number of the studied potato accessions
Дикие виды	<i>Bulbocastana</i>	<i>S. bulbocastanum</i> Dun.	1
	<i>Pinnatisecta</i>	<i>S. brachystotrichum</i> (Bitt.) Rydb.	5
		<i>S. cardiophyllum</i> Lindl.	8
		<i>S. ehrenbergii</i> Bitt.	10
		<i>S. jamesii</i> Torr.	9
		<i>S. nayaritense</i> (Bitt.) Rydb.	5
		<i>S. pinnatisectum</i> Dun.	6
		<i>S. × sambucinum</i> Rydb.	1
		<i>S. stenophyllidium</i> Bitt.	4
		<i>S. tarnii</i> Hawkes et Hjerting	1
	<i>Polyadenia</i>	<i>S. polyadenium</i> Greenm.	3
	<i>Yungasensia</i>	<i>S. chacoense</i> Bitter	3
		<i>S. tarijense</i> Hawkes	2
		<i>S. × trigalense</i> Card.	1
		<i>S. yungasense</i> Hawkes	2
	<i>Commersoniana</i>	<i>S. commersonii</i> Dun. ex Poir.	4
	<i>Tuberosa</i>	<i>S. andreanum</i> Baker	1
		<i>S. verrucosum</i> Schlechtd.	2
		<i>S. alandiae</i> Card.	2
		<i>S. berthaultii</i> Hawkes	2
		<i>S. × doddsii</i> Corr.	5
		<i>S. gourlayi</i> Hawkes	4
		<i>S. hoopesii</i> Hawkes et Okada	1
		<i>S. kurtzianum</i> Bitt. et Wittm. ex Engl.	5
		<i>S. microdontum</i> Bitt.	3
		<i>S. okadae</i> Hawkes et Hjerting	2
		<i>S. spegazzinii</i> Bitt.	6
<i>S. famatinae</i> Bitt. et Wittm. (syn. <i>S. spegazzinii</i>)		5	
<i>S. ugentii</i> Hawkes et Okada		1	
<i>S. vernei</i> Bitt. et Wittm. ex Engl.		1	
Культурные виды	<i>Tuberosa</i>	<i>S. ajanhuiri</i> Juz. et Buk.	5
		<i>S. goniocalyx</i> Juz. et Buk.	18
		<i>S. phureja</i> Juz. et Buk.	56
		<i>S. stenotomum</i> Juz. et Buk.	35
Селекционные сорта		<i>S. tuberosum</i> L.	47
Межвидовые гибриды		Нет данных	49

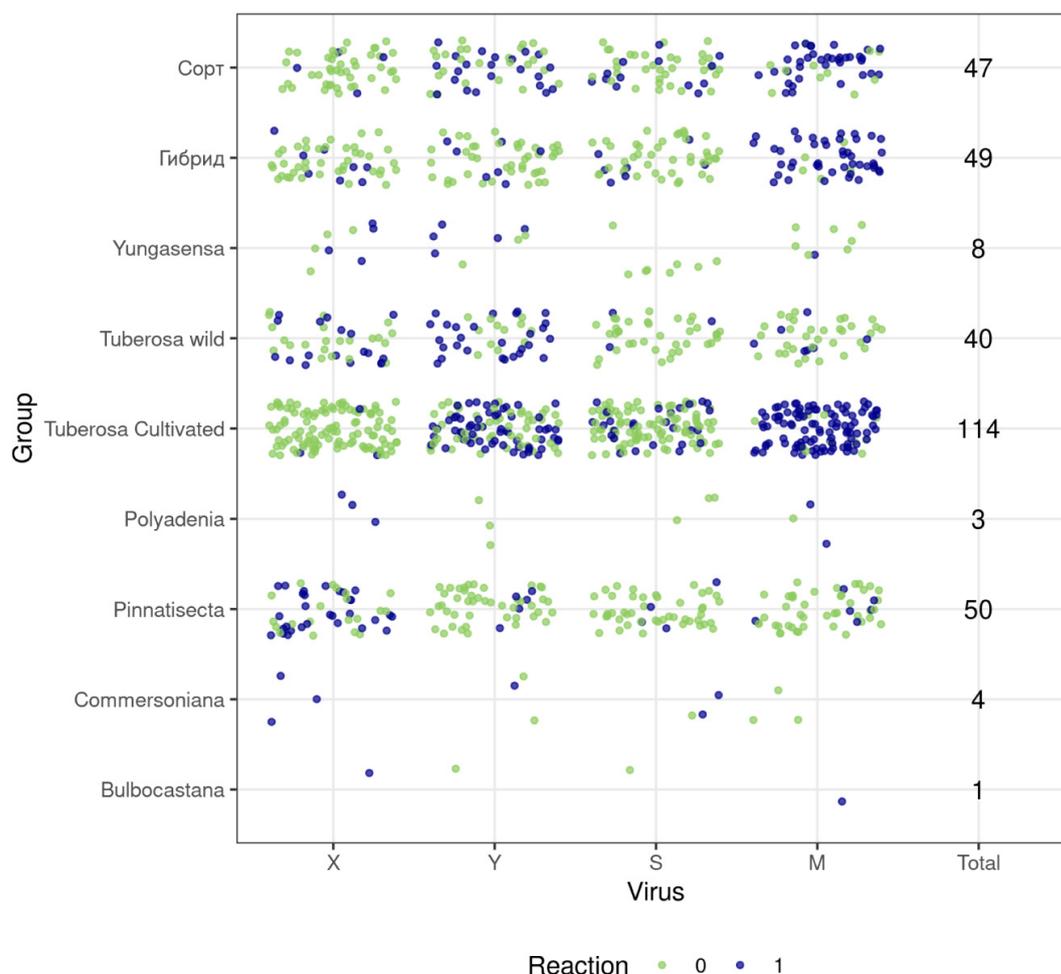


Рис. 1. Поражение мозаичными вирусами представителей разных групп генофонда картофеля:
0 – вирус не обнаружен, 1 – вирус обнаружен

Fig. 1. Mosaic virus infection on different groups of the potato gene pool:
0 – no virus detected, 1 – virus detected

УВК выявлена внутри группы диких видов картофеля. Среди видов североамериканских серий *Polyadenia* и *Pinnatisecta* обнаружено 0–20% образцов, инфицированных УВК, тогда как среди видов южноамериканских серий *Yungasensa*, *Commersoniana* и *Tuberosa* (wild species) – 17–100% образцов. Различия между сериями *Pinnatisecta* и *Tuberosa* по частоте пораженных УВК образцов (10% и 70% соответственно) достоверны: $\chi^2 = 34,4$ ($p < 0,001$).

Вирус S детектирован с наименьшей частотой (9%) среди образцов диких видов картофеля; среди культурных видов картофеля обнаружено 14–28% пораженных образцов. Выявлены отчетливые различия между культурным и диким картофелем по степени поражения М-вирусом (см. рис. 1, рис. 2). Среди культурных видов, сортов и селекционных клонов значительная часть (77–91%) образцов инфицирована МВК, в отличие от небольшой доли (16%) зараженных образцов диких видов картофеля.

Результаты ИФА свидетельствуют о частых случаях смешанной инфекции – поражении двумя и более вирусами (см. рис. 2).

Наиболее часто комплексная инфекция УВК и МВК детектирована у образцов примитивных культурных видов картофеля (см. рис. 2). Поражены УВК и МВК более половины (5–60%) образцов *S. goniocalyx* и *S. ajanhuiri*, а также 32–37% образцов *S. phureja* и *S. stenotomum*. Сме-

шанная инфекция СВК и МВК обнаружена у 16% образцов *S. phureja*, три вируса (УВК, СВК и МВК) выявлены у 14% образцов *S. stenotomum*. Среди сортового картофеля обнаружено 14% образцов с комплексной инфекцией УВК и МВК и 17% с комплексной инфекцией УВК, СВК и МВК. Растения, пораженные смешанной инфекцией четырех мозаичных вирусов, обнаружены у образцов видов *S. stenotomum* (к-17989), *S. simplicifolium* (к-12658) и *S. sambucinum* (к-4216).

В исследованной выборке представителей разных групп генофонда картофеля крайне невелико число образцов, не пораженных вирусами. Растения, свободные от мозаичных вирусов X, Y, S и M в условиях естественного распространения инфекции, найдены в основном среди диких видов серии *Pinnatisecta* (см. рис. 2). Потенциальными источниками устойчивости к комплексу вирусов УВК, СВК и МВК являются образцы *S. brachyotrichum* (к-23197, к-25349), *S. cardiophyllum* (к-24873, к-25420), *S. jamesii* (к-24923, к-23398), *S. pinnatisectum* (к-19328), *S. stenophyllidium* (к-20105) и *S. tarnii* (к-23936). Среди культурных видов выявлен единственный образец *S. goniocalyx* (к-9922), не пораженный ни одним вирусом. Среди сортов и селекционных клонов картофеля свободны от вирусной инфекции растения сортов 'Гранд', 'Краса Мещеры', 'Нур-Алем' и 'Янтарь', межвидовых гибридов 99-1-3, 952-35 и 914-5-2018.

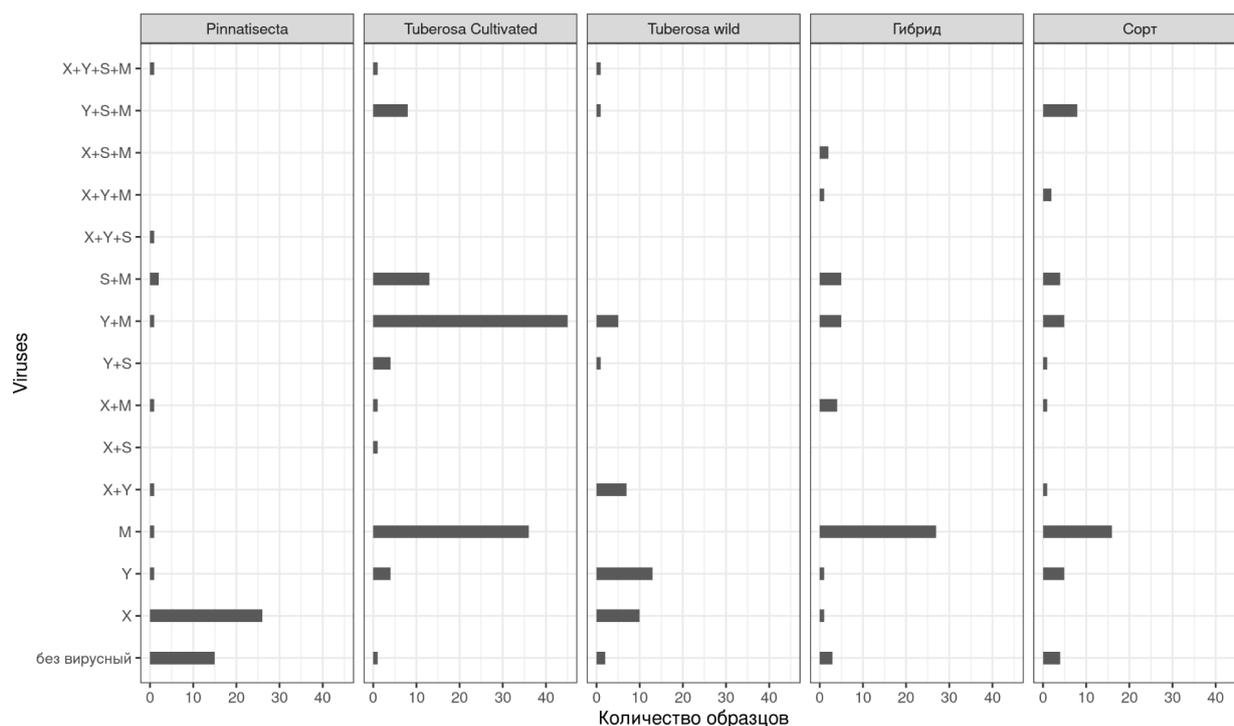


Рис. 2. Моно- и смешанная инфекция мозаичными вирусами сортов, гибридов, культурных и диких видов картофеля

Fig. 2. Mono- and complex infection with mosaic viruses on potato cultivars, hybrids, cultivated and wild species

Обсуждение

Результаты ИФА подтверждают наличие высокого инфекционного фона мозаичных вирусов картофеля на участке опытного поля НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Высокий инфекционный фон ХВК, SBK и MBK был диагностирован еще в 70-х годах прошлого столетия при обследовании (методом серологической диагностики) селекционных сортов, диких и культурных видов картофеля (Truskinov, 1972; Truskinov, Frolova, 2002).

Наши результаты согласуются с ранее установленным доминированием MBK, который, как и более полувека тому назад, продолжает оставаться наиболее распространенным мозаичным вирусом на растениях коллекции картофеля ВИР (Truskinov, 1972; Vavuko, 1987). Подтверждена связь между видовой принадлежностью коллекционных образцов и их пораженностью вирусами. В то же время частота поражения мозаичными вирусами растений диких, примитивных культурных видов и сортов картофеля отличается от установленной ранее. Выявлена большая частота поражения YBK образцов примитивных культурных видов картофеля. Результаты ИФА выявили Y-вирус у 46% образцов *S. phureja* и 60–67% образцов видов *S. ajanhuiri*, *S. goniocalyx* и *S. stenotomum*. Ранее инфицированные YBK растения *S. phureja* в коллекции не обнаруживали, распространение YBK на растениях других примитивных культурных видов картофеля не превышало 33% (Vavuko, 1987). Частота образцов примитивных культурных видов картофеля, пораженных ХВК и SBK, напротив, меньше в сравнении с результатами серологического анализа: 33% и 100% соответственно (Vavuko, 1987). Среди диких видов картофеля выявлено большее число об-

разцов, инфицированных ХВК и YBK, по сравнению с ранее установленной частотой (13–19% образцов), и меньшее распространение SBK и MBK по сравнению с ранее установленной частотой: 13–24% и 34–93% соответственно (Truskinov, 1972).

Среди современных сортов картофеля доля инфицированных ХВК не превышает 20% (Truskinov, Sitnikov, 2019), что заметно больше распространения вируса (до 48% образцов) на растениях сортовой коллекции в 1970–1980-х годах (Truskinov, 1972). Наиболее вероятной причиной снижения частоты ХВК может быть устойчивость современного сортимента к этому вирусу, в отличие от стародавних сортов картофеля. У отечественных сортов картофеля идентифицированы маркеры генов Rx_{adg} , источником которого является культурный тетраплоидный вид *S. andigenum*, и Rx_{acl} , источник которого – дикий картофель *S. acaule* Bitt. (Birjukova et al., 2015). Зарубежные сорта защищены от PVX генами сверхчувствительности Nc_{tbr} , Nx_{tbr} , Nb_{tbr} , Nx_{phu} и крайней устойчивости Rx_{tbr} , Rx_{adg} , Rx_{acl} (Palukaitis, 2012). Генетическая природа устойчивости к ХВК образцов примитивных культурных видов в коллекции ВИР требует дополнительного изучения. Известно, что ген Nx_{phu} , локализованный на длинном плече IX хромосомы, контролирует у линии *S. phureja* проявление реакции сверхчувствительности в ответ на заражение ХВК (Tommiska et al., 1998). Какие гены участвуют в обеспечении устойчивости к ХВК образцов других культурных видов – *S. ajanhuiri*, *S. goniocalyx* и *S. stenotomum* – неизвестно.

Особый интерес представляет низкая частота обнаружения SBK, по сравнению с частотой ХВК, у диких видов картофеля. Оба вируса передаются контактным способом, а некоторые изоляты SBK легко передаются несколькими видами тлей (Loebenstein et al., 2001). Не-

большое число (9%) образцов диких видов картофеля, инфицированных SBK, может быть результатом генетически обусловленной устойчивости либо отрицательной интерференции (перекрестной защиты), то есть препятствия для размножения SBK в растениях, зараженных родственным (род *Carlavirus*) вирусом MBK.

О генетическом контроле устойчивости картофеля к SBK известно немного. Идентифицирован ген *Ns*, контролирующий проявление реакции сверхчувствительности (источник – *S. andigenum*), и показано, что сорта 'Адретта' (Германия) и 'Сако' (США) устойчивы к заражению SBK (Palukaitis, 2012). Наиболее перспективно изучение природы устойчивости к SBK у видов серии *Yungasensa*, все образцы которой по результатам нашего исследования были свободны от вируса.

Вирус Y доминирует в посадках зарубежных сортов картофеля, выращиваемых на Северо-Западе РФ (Fominykh, Medvedeva, 2018), и, как показало наше исследование, поражает не только сорта, но и значительную часть (37–54%) образцов диких и культурных видов в коллекции ВИР. Российские сорта и образцы селекционно-генетической коллекции ФИЦ имени А.Г. Лорха защищены от YBK генами крайней устойчивости Ry_{adg} , Ry_{chc} , Ry_{sto} (Biryukova et al., 2015). В исследованной нами выборке межвидовых гибридов из коллекции ВИР более 40 клонов свободны от YBK. Скрининг с использованием ДНК-маркеров генов Ry_{adg} , Ry_{chc} , Ry_{sto} показал, что клоны 25-1-2007, 160-1, 97-159-3 и 194-4т не имеют маркеров генов *Ry* (Rogozina et al., 2018). Вероятно, у этих клонов существуют другие гены, обеспечивающие устойчивость к Y-вирусу.

Результаты диагностики методом ИФА растений дикого картофеля показывают, что в условиях естественного инфекционного фона визуально здоровые коллекционные образцы диких видов являются носителями вируса Y в латентной форме. Отсутствие видимых симптомов поражения означает толерантность диких родичей картофеля к вирусу. Ранее у значительной части (37,5%) образцов в коллекции диких видов картофеля США была выявлена толерантность к некротическому штамму Y-вируса – Y^{NTN} (Singh et al., 1994). Причины возникновения данного типа устойчивости (толерантности) у дикого картофеля еще предстоит исследовать. Это свойство может быть следствием сопряженной эволюции растений диких родичей и Y-вируса в центрах происхождения видов секции *Petota*. Вирус Y возник в Южной Америке и был привезен в Европу вместе с интродукцией картофеля в XVI веке. Доказано, что некротический штамм Y^N, появление которого в Европе отмечено в 1980-х, возник на территории Анд (Fuentes et al., 2019).

Вирус M является самым распространенным на сортах, селекционных клонах и примитивных культурных видах картофеля в опытном поле коллекции ВИР. Очевидно, что культурный картофель не имеет надежной защиты от вируса. У диких видов найдены гены, участвующие в обеспечении устойчивости к MBK: ген *Gm*, контролирующей устойчивость *S. gourlayi* к заражению, и ген *Nm*, контролирующей проявление реакции сверхчувствительности у *S. megistacrolobum* (Palukaitis, 2012). В исследованной выборке два образца – *S. gourlayi* (к-12365 и к-22994) – не поражались MBK, наряду с образцами диких видов серий *Pinnatisecta*, *Yungasensa*, *Commersoniana* и *Tuberosa*.

Среди сортов и селекционных клонов картофеля, выращиваемых в течение нескольких лет на высоком естественном инфекционном фоне, обнаружены сорта и кло-

ны, устойчивые к комплексу четырех мозаичных вирусов: ХВК, YBK, SBK и MBK. Российские сорта 'Гранд', 'Краса Мещеры' и 'Янтарь', сорт 'Нур-Алем', выведенный в Казахстане на основе образцов из коллекции ВИР, и гибрид 99-1-3, который на протяжении более 20 лет остается свободным от вирусов, представляют ценный исходный материал для селекции картофеля на вирусоустойчивость.

Заключение

Диагностика с помощью метода ИФА подтвердила доминирование MBK на растениях картофеля и родственных клубнеобразующих видов в коллекции ВИР. По сравнению с результатами вирусологического обследования коллекции в 70–80-х гг. прошлого века, среди примитивных культурных видов картофеля увеличилось число инфицированных YBK и уменьшилась доля пораженных ХВК и SBK; среди диких видов картофеля увеличилось число инфицированных ХВК и YBK, уменьшилась доля пораженных SBK и MBK.

Выделены свободные от вирусов образцы, перспективные для исследования генетического контроля вирусоустойчивости: сорта 'Гранд', 'Краса Мещеры', 'Янтарь' и 'Нур-Алем', гибриды 99-1-3, 952-35 и 914-5-2018, образцы диких видов *S. brachystotrichum* (к-23197, к-25349), *S. cardiophyllum* (к-24873, к-254200), *S. jamesii* (к-24923, к-23398), *S. pinnatisectum* (к-19328), *S. stenophyllidium* (к-20105) и *S. tarnii* (к-23936), образец культурного вида *S. goniocalyx* (к-9922).

References / Литература

- Bavyko N.F. Catalogue of the VIR global collection. Issue 519. Primitive cultivated potato species from South America (Primitivnye kulturnyye vidy kartofelya Yuzhnoy Ameriki). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Бавыко Н.Ф. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 519. Примитивные культурные виды картофеля Южной Америки. Ленинград: ВИР; 1989).
- Bavyko N.F. Tolerance and resistance in primitive cultivated potato species to single viruses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1987;115:49-53. [in Russian] (Бавыко Н.Ф. Толерантность и устойчивость к отдельным вирусам примитивных культурных видов картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1987;115:49-53).
- Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Abrosimova S.B., Zapkina T.I., Meleshin A.A., Mityushkin A.V. et al. The search for sources of resistance genes to pathogens among the samples of plant breeding and genetics collections of All-Russian A.G. Lorch Research Institute of Potato Farming using molecular markers. *Zashchita kartofelya = Potato Protection*. 2015;(1):3-7. [in Russian] (Бирюкова В.А., Шмыгля И.В., Абросимова С.Б., Запкина Т.И., Мелешин А.А., Митюшкин А.В. и др. Поиск источников генов устойчивости к патогенам среди образцов селекционно-генетических коллекций ВНИИКС с использованием молекулярных маркеров. *Защита картофеля*. 2015;(1):3-7).
- Fominykh T.S., Medvedeva K.D. Virus diseases of potatoes in the North-West of Russia. *Plant Protection News*. 2018,4(98):40-44. [in Russian] (Фоминых Т.С., Медведева К.Д. Вирусные болезни картофеля на Северо-Западе России. *Вестник защиты растений*. 2018;4(98):40-44).

- Fuentes S., Jones R.A.C., Matsuoka H., Ohshima K., Kreuze J., Gibbs A.J. Potato virus Y; the Andean connection. *Virus Evolution*. 2019;5(2):vez037. DOI: 10.1093/ve/vez037
- Hawkes J.G. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. London: Belhaven Press; 1990.
- Kiru S.D., Sdvizhkova V.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 707. Potato. Cultivated species *Solanum andigenum* Juz. et Buk. Accessions with valuable breeding traits (Kartofel. Kulturnyy vid *Solanum andigenum* Juz. et Buk. Obraztsy s tsennymi selektsionnymi priznakami). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Киру С.Д., Сдвижкова В.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 707. Картофель. Культурный вид *Solanum andigenum* Juz. et Buk. Образцы с ценными селекционными признаками. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Loebenstein G., Berger P.H., Brunt A.A., Lawson R.H. (eds). Virus and virus-like diseases of potatoes and production of seed-potatoes. Dordrecht: Springer; 2001. DOI: 10.1007/978-94-007-0842-6
- Malko A., Frantsuzov P., Nikitin M., Statsyuk N., Dzhavakh-iya V., Golikov A. Potato pathogens in Russia's regions: an instrumental survey with the use of real-time PCR/RT-PCR in matrix format. *Pathogens*. 2019;8(1):18. DOI: 10.3390/pathogens8010018
- Nagel M., Dulloo M.E., Bissessur P., Gavrilenko T., Bamberg J., Ellis D., Giovannini P. A global strategy for the conservation of potato. Bonn: Global Crop Diversity Trust; 2022. DOI: 10.5447/ipk/2022/29
- Palukaitis P. Resistance to viruses of potato and their vectors. *The Plant Pathology Journal*. 2012;28(3):248-258.
- Rogozina E.V., Chalaya N.A., Beketova M.P., Biryukova V.A., Kirpicheva M.A., Kuznetsova M.A., Manankov V.V., Fadina O.A., Khlopyuk M.S., Khavkin E.E. Catalogue of the VIR global collection. Issue 866. Interspecific potato hybrids resistant to disease causative agents. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Бекетова М.П., Бирюкова В.А., Кирпичева М.А., Кузнецова М.А., Мананков В.В., Фади́на О.А., Хлопюк М.С., Хавкин Э.Е. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 866. Межвидовые гибриды картофеля, устойчивые к возбудителям болезней. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).
- Rogozina E.V., Mironenko N.V., Chalaya N.A., Matsushita Yu., Yanagisawa H. Potato mosaic viruses which infect plants of tuber-bearing *Solanum* spp. growing in the VIR field gene bank. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(3):304-311. DOI: 10.18699/VJ19.495
- Singh M., Singh R., Somerville T. Evaluation of tuber-bearing *Solanum* species for symptomology, as diagnostic hosts and sources of immunity to potato virus Y necrotic strain (PVY^N). *American Potato Journal*. 1994;71(9):567-579. DOI: 10.1007/BF02851522
- Tommiska T., Hämäläinen J., Watanabe K., Valkonen J.P.T. Mapping of the gene *Nxphu* that controls hypersensitive resistance to potato virus X in *Solanum phureja* IvP35. *Theoretical and Applied Genetics*. 1998;96(6-7):840-843. DOI: 10.1007/s001220050810
- Truskinov E.V. Infection of the potato collection by mosaic viruses and the prospects for breeding for resistance to the M virus. (Porazheniye mirovoy kollektcii kartofelya mozaichnymi virusami i perspektivy selektsii na ustoychivost k virusu M) [dissertation]. Leningrad: VIR; 1972. [in Russian] (Трускинов Э.В. Поражение мировой коллекции картофеля мозаичными вирусами и перспективы селекции на устойчивость к вирусу М: дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук. Ленинград: ВИР; 1972).
- Truskinov E.V., Frolova D.V. Virus estimation of the world potato collection (Virusologicheskaya otsenka mirovoy kollektcii kartofelya). *Plant Protection News*. 2002;(1):22-26. [in Russian] (Трускинов Э.В., Фролова Д.В. Вирусологическая оценка мировой коллекции картофеля. *Вестник защиты растений*. 2002;(1):22-26).
- Truskinov E.V., Sitnikov M.N. Specific features of the study and maintenance of a potato collection threatened by viruses and virus-like diseases. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):75-80. [in Russian] (Трускинов Э.В., Ситников М.Н. Особенности изучения и поддержания коллекции картофеля на фоне вирусных и вирусоподобных заболеваний. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;80(4):75-80). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-75-80
- Zoteyeva N.M., Chrzanowska M., Evstratova L.P., Fasulati S.R., Yusupov T.M. Catalogue of the VIR global collection. Issue 761. Resistance of wild potato species accessions to diseases and pests (Ustoychivost obraztsov dikikh vidov kartofelya k boleznyam i vreditelyam). St. Petersburg: VIR; 2004. [in Russian] (Зотеева Н.М., Хжановская М., Евстратова Л.П., Фасулати С.Р., Юсупов Т.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 761. Устойчивость образцов диких видов картофеля к болезням и вредителям. Санкт-Петербург: ВИР; 2004).

Информация об авторах

Елена Вячеславовна Рогозина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190031 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

Алена Алексеевна Гурина, аспирант, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190031 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 42, a.gurina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1791-3063>

Information about the authors

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 190031, Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

Alyona A. Gurina, Postgraduate Student, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190031, Russia, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya Street, Moscow 127550, Russia, a.gurina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1791-3063>

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 17.02.2023; одобрена после рецензирования 06.04.2023; принята к публикации 01.06.2023.
The article was submitted on 17.02.2023; approved after reviewing on 06.04.2023; accepted for publication on 01.06.2023.