

КОЛЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ ВИР КАК ИСТОЧНИК УЛУЧШЕНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ И УСТОЙЧИВОСТИ К ВОЗБУДИТЕЛЯМ БОЛЕЗНЕЙ «ЧЕРНАЯ НОЖКА» И «КОЛЬЦЕВАЯ ГНИЛЬ»

© Родионов К.И., Ситников М.Н.



Константин Ильич Родионов

Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: k.rodionov@vir.nw.ru

ORCID: [0009-0001-6051-085X](https://orcid.org/0009-0001-6051-085X)



Максим Николаевич Ситников

Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: m.sitnikov@vir.nw.ru

ORCID: [0000-0002-4208-2070](https://orcid.org/0000-0002-4208-2070)

В мире существует проблема, вызванная потерями картофеля до и после сбора урожая из-за бактериальных болезней. Ежегодные потери урожая, обусловленные ими, составляют 10–15%, а в эпифитотийные годы могут превышать 50%. В настоящее время ни один из коммерческих сортов картофеля не обладает высокой устойчивостью по отношению к бактериозам, поскольку в большинстве существующих программ селекции этот признак ранее не относился к приоритетным. В последние годы во всех странах мира, включая Россию, потери картофеля, связанные с черной ножкой и кольцевой гнилью, существенно возросли, что увеличивает востребованность устойчивых к бактериозам сортов картофеля, а также эффективных методик идентификации пораженных образцов картофеля в процессе хранения. Цель исследования – провести мониторинг картофеля из коллекции Всероссийского института растениеводства имени Н.И. Вавилова (ВИР) на наличие возбудителей вида *Pectobacterium* и *Dickeya*, штаммы которых вызывают заболевание «черная ножка», и бактерии *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (Cms), вызывающей заболевание «кольцевая гниль», и оценить ряд хозяйственно-ценных признаков картофеля у выделившихся устойчивых образцов. Проведена визуальная оценка клубней на наличие поражений, вызванных предполагаемыми возбудителями. На отобранном материале осуществлена дифференциальная диагностика методом ПЦР в реальном времени на наличие изучаемых заболеваний. В результате исследования большинство образцов коллекции проявили устойчивость к данным возбудителям, но обнаружены и слабоустойчивые формы, показавшие наличие комплексной инфекции.

Результаты исследования могут применяться в будущих селекционных программах по устойчивости растений к различным заболеваниям.

Селекция, картофель, хозяйственно-ценные признаки, бактериальные инфекции, черная ножка, кольцевая гниль.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов ex situ сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции» и государственного задания «Комплексные исследования по определению факторов и механизмов устойчивости растений в условиях Якутии, пополнение коллекции генетических ресурсов растений в криолитозоне» (FWRS-2024-0084).

Введение

Картофель является наиболее распространенной незерновой сельскохозяйственной культурой разностороннего использования, занимая четвертое место среди наиболее важных сельскохозяйственных культур в мире после пшеницы, риса и кукурузы (Jujo Rojas, 2019; Park et al., 2021). В последние годы в Российской Федерации отмечаются значительные изменения в видовом составе возбудителей бактериозов растений и усиление их вредоносности, особенно в Восточно-Сибирском регионе (Охлопкова и др., 2020). Наиболее вредоносными бактериальными заболеваниями картофеля являются черная ножка, вызываемая бактериями рода *Pectobacterium* и *Dickeya*, и кольцевая гниль, вызываемая бактерией рода *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus*. Ежегодные потери урожая от этих болезней составляют до 60% (Veño et al., 2022; Jee et al., 2020). В условиях постоянно возрастающей вредоносности большинства патогенов, появления новых штаммов, резистентных к химическим средствам защиты растений, селекция устойчивых к болезням сортов приобретает особую актуальность. Важными резервами увеличения производства картофеля могут служить знание о генетических аспектах

устойчивости картофеля к заболеваниям, применение бактериофагов (Мирошников и др., 2018; Лукьянова, Мирошников, 2019) и выведение новых, более продуктивных сортов картофеля, устойчивых к наиболее распространенным и вредоносным инфекциям с использованием разнообразия мировой коллекции ВИР (Баранник и др., 2018; Трускинов, Ситников, 2019; Васильева и др., 2024; Vasilyeva et al., 2024).

В Европейской базе данных культурного картофеля (ECPD)¹ есть сорта, проявляющие различное сопротивление бактериальным инфекциям, некоторые из них присутствуют в коллекции ОГР картофеля ВИР и возделываются на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» и на Полярной опытной станции.

Сорта картофеля, полностью устойчивые к бактериальным заболеваниям, отсутствуют. Так, в исследовании (Лазарев, 1986) выявлены наиболее устойчивые к черной ножке районированные в Ленинградской области и перспективные для Северо-Западного региона сорта: Камераз, Гатчинский, Детскосельский, Невский и др. Большинство из них присутствует в коллекции ОГР картофеля ВИР и возделывается на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», однако им уже более 70 лет и они имеют ограничен-

¹ ECPD. URL: <https://www.europotato.org> (accessed 12.12.2024).

ные регионы возделывания. Помимо этого, устойчивость к некоторым бактериальным заболеваниям была обнаружена у отдельных диких видов картофеля, например дисомного тетраплоидного вида 2EBN *Solanum acaule* Bitt., что указывает на возможность ее переноса в культурный картофель (Kriel et al., 1995). Следовательно, *S. acaule* кажется хорошим источником иммунитета для исследований интрогрессии. Соматические гибриды между *S. acaule* и *S. tuberosum* с тремя различными соотношениями геномов проявляли симптомы кольцевой гнили и были восприимчивы к инфекции; состав генома гибридов влиял на бактериальный титр (Osdaghi et al., 2022). В коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений содержатся клоны межвидовых гибридов² (Хлопук и др., 2021), при изучении которых было выяснено, что линии в их родословных имеют различную устойчивость к бактериальным заболеваниям.

Цель данного исследования – мониторинг коллекции картофеля ВИР им. Н.И. Вавилова на наличие возбудителей черной ножки и кольцевой гнили клубней и оценка хозяйственно-ценных признаков образцов, перспективных для селекции, на устойчивость к этим заболеваниям.

Возбудители черной ножки стеблей и мокрой гнили картофеля и других сельскохозяйственных культур принадлежат к группе пектолитических энтеробактерий, включающей виды рода *Pectobacterium* (ранее – *Erwinia*) (*P. carotovorum* – комплекс (*P. carotovorum* subsp. *actinidiae*; *P. carotovorum* subsp. *brasiliense*; *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*; *P. carotovorum* subsp. *odoriferum*), *P. atrosepticum*, *P. betavasculorum* и *P. wasabiae*) и отдельный род *Dickeya* (*D. dianthicola* и *D. solani*) (Игнатов и др., 2018a). Представители рода *Pectobacterium* включены в список десяти самых вредоносных фитопатогенов.

Виды *Pectobacterium* характеризуются большим диапазоном распространения, различными средами обитания и чрезвычайно широким спектром хозяев (Loc et al., 2022). В последние годы массово распространяются новые разновидности возбудителей черной ножки – *P. carotovorum* subsp. *brasiliense*, *P. carotovorum* subsp. *odoriferum* и *P. wasabiae* (новое название штаммов, поражающих картофель – *P. parmentieri* (Nykyri et al., 2012) – фитопатоген, вызывающий заболевание мягкой гнилью за счет выработки ферментов, разрушающих клеточную стенку растений (Portier et al., 2019)). *P. carotovorum* subsp. *brasiliense* преобладал на картофеле в России, и он принципиально не отличается от *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* или *P. atrosepticum* по своей агрессивности. Вероятно, его массовое распространение в Российской Федерации было связано с импортом овощей и фруктов из субтропической зоны, где *P. carotovorum* subsp. *brasiliense* поражает растения как в открытом, так и в защищенном грунте (Игнатов и др., 2018b).

Болезни растений, вызываемые *Pectobacterium atrosepticum* van Hall, часто сопровождаются обширными симптомами гнили. Кроме того, эти бактерии способны взаимодействовать с растениями-хозяевами, не вызывая заболеваний в течение длительных периодов времени, даже на протяжении нескольких поколений растений-хозяев. На сегодняшний день нет информации о физиолого-биохимических симптоматических и бессимптомных взаимодействиях растения с *P. atrosepticum*. Типичные (симптоматические) инфекции *P. atrosepticum* связаны с индукцией реакций растений, опосредованных жасмонатами, которые являются одним из продуктов липоксигеназного каскада, дающего начало многим другим оксипипинам с физиологической активностью (Gorshkov, 2022).

² Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Бекетова М.П. [и др.] (2018). Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 866. Картофель. Межвидовые гибриды картофеля, устойчивые к возбудителям болезней. Санкт-Петербург. 35 с.

Представители рода *Dickeya* впервые были обнаружены и идентифицированы как возбудители стеблевой гнили картофеля в Нидерландах (Стацюк, Кузнецова, 2018). Не прошло много времени с момента выявления комплекса видов *Dickeya spp.*, вызывающих мокрые (мягкие) гнили частей растений и черную ножку стеблей, как фитопатогенные виды этого рода распространились по всей территории России (Белов, Хютти, 2022). Эти бактерии вызывают либо мягкую гниль, либо увядание сосудов у растений-хозяев в умеренном, тропическом и субтропическом климате. Симптомы мягкой гнили обусловлены действием бактериальных пектиназ, связанных с другими ферментами, разрушающими клеточную стенку растений, которые повреждают основные структурные компоненты средней пластинки и первичной клеточной стенки растений. Опасность видов *Dickeya spp.* заключается в возросшей в разы агрессивности по сравнению с типичными видами *Pectobacterium spp.*, вызывающими ту же симптоматику, и большей вредоносности. *D. dianthicola* включены Европейской и Средиземноморской организацией по карантину и защите растений (ЕОКЗР) в список А2 организмов, рекомендованных для регулирования как карантинные фитопатогены с ограниченным распространением на территории стран – членов ЕОКЗР.

Бактериальная кольцевая гниль картофеля (*Solanum tuberosum*) вызывается грамположительной коринеформной бактерией *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus* (Spiek. et Kotth.) Davis et al. (*Bacteria: Actinobacteria, Microbacteriaceae*). Патоген включен в список А2 Европейской организации карантина и защиты растений (ЕОКЗР) и был включен в список А3 Перечня карантинных объектов РФ. Картофель является основным хозяином возбудителя. Симптомы болезни на растущих растениях картофеля: межжилковый хло-

роз на листочках, приводящий к некрозу и системному увяданию; на зараженных клубнях: сосудистые ткани становятся желтовато-коричневыми с творожистой консистенцией из-за бактериальной колонизации и распада (Игнатов и др., 2018b; Nelson, 1982; Franc, 1999; Osdaghi et al., 2022). Распространен данный патоген в 60 странах, в Российской Федерации обнаружен в центральных регионах, Восточной и Западной Сибири и на Севере России.

Основным способом распространения кольцевой гнили является передача болезни клубнями, пораженными ямчатой гнилью. Заражение клубней происходит главным образом во время уборки картофеля. Заболеванию способствует незрелость и влажность клубней, а также наличие свежих механических повреждений (содранная кожура, трещины, порезы и т. п.), куда попадают энтеробактерии, которые развиваются при двойном заражении. Кроме того, в засушливых условиях черная ножка вообще не развивается, так как в подобное время сильно преобладает грибное увядание. Это можно объяснить тем, что в клубнях, зараженных бактериальными патогенами, происходит смена микроорганизмов от паразитных бактерий до сапрофитов, очень быстрый рост фитопатогенных грибов, в результате – подавление (антагонизм) медленно растущих колоний бактерий.

Материалы и методы исследования

Исследованы 17 гибридных клонов из коллекции генетических ресурсов растений ВИР (табл. 1), рекомендованных для селекции как источники устойчивости к бактериальным заболеваниям, также в исследование включены три районированных в Республике Саха (Якутия) сорта из коллекции Якутского НИИСХ, которые были изучены на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР».

Тулунский ранний (Тулунский × смесь пыльцы сортов Berlichingen, Katahdin, Фи-

Таблица 1. Происхождение и селекционные ценные признаки клонов межвидовых гибридов картофеля

Номер гибрида	Происхождение	Устойчивость к вредным организмам				Другие признаки
		<i>P. infestans</i> ¹	YBK ²	ЗКН патотип Ro1 ²	<i>S. endobioticum</i> патотип 1 ³	
118-6-2011	«	7	У	-	У	Среднепоздний
99-6-10	«	5	И	у*	В	Среднеспелый
40-2000	F2/ {(<i>S. polytrichon</i> × MPI 50-140/5) × <i>Umbra</i> } × <i>Fausta</i> } × {(<i>S. simplicifolium</i> × MPI 50-140/5) × <i>Gitte</i> } × <i>Hera</i> }/	6	И	-	-	Среднепоздний
97-152-8	91-15-2 × 91-21-4	6	У	-	-	Раннее клубнеобразование. Умеренная устойчивость к колорадскому жуку
138-3-2006	Загадка Питера × 97-155-1	3	СЧ	-	У	Ранний, полевая устойчивость к мозаичным вирусам
12/1-09	F4 (<i>S. pinnatisectum</i> × <i>Fausta</i>)	6-7	-	-	-	Среднепоздний
160-1	«	7-8	И	-	В	Среднеспелый
190-4	Гибридный 14 × 194-4	7-8	И	У	У	Среднепоздний
135-5-2005	«	5	И	У	У	Раннее клубнеобразование
24-1	(<i>Atzimba</i> × <i>S. alandiae</i> к-21240)	6-8*	-	у*	В	Среднепоздний
13/11-09	F2(<i>S. pinnatisectum</i> × <i>Gitte</i>) × ♂МГ	5-7	-	-	-	Среднепоздний
97-159-3	90-7-7 × 90-21-1	8*	И	В	У	Среднепоздний
39-1-2005	«	6-7	В	У	В	Среднеспелый
99-4-1	180-1 × <i>Hertha</i>	5-7	В	-	В	Среднеспелый
16/27-09 (К)	[(<i>S. berthautii</i> × Тайга) × Омега] × F2[(<i>S. polytrichon</i> × MPI 50-140/5) × F2[(<i>S. simplicifolium</i> × MPI 50-140/5) × <i>Gitte</i>] × <i>Gera</i>]} × Наяда	6-7	В	-	-	Среднепоздний
171-3 (Р)	«	6-7	У	-	У	Среднеспелый
135-1-2006	Свитанок Киевский × 24-2	5-7	В	В	У	Раннее клубнеобразование

* Отмечен признак, наследуемость которого доказана при анализе потомства от самоопыления и/или скрещивания с восприимчивой формой.
¹ По шкале 1–9, где 9 – отсутствие поражения.
² И – иммунитет, СЧ – сверхчувствительность, ПУ – полевая устойчивость, У – устойчивость к заражению, В – восприимчивость, - нет данных.
³ Результаты лабораторной оценки в течение двух лет.
 Составлено по: Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Бекетова М.П. [и др.] (2018). Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 866. Картофель. Межвидовые гибриды картофеля, устойчивые к возбудителям болезней. Санкт-Петербург. 35 с.

тофтороустойчивый, Jubel) × Камераз. Сорт селекции Тулунской селекционной станции. В Госреестре с 1990 года. Районирован по всем зонам Якутии с 1991 года. Раннеспелый. Урожайность составляет 3,1 кг/м². Масса клубней – 120–146 г. Содержание крахмала – 13,6%. Вкусовые качества хорошие. Клубни овальной формы. Столонный след плоский. Цвет кожуры красный. Мякоть белая. Глазки мелкие.

Венчик красно-фиолетовый, с белыми кончиками с наружной стороны. Ягоды не образует. Сорт устойчив к раку картофеля. Достаточно сильно поражается фитофторозом и паршой обыкновенной. Средневосприимчив к сухой фузариозной гнили.

Якутянка к-24760 (Пензенская скороспелка × Пересвет). Сорт селекции Якутского НИИСХ совместно с ВНИИКХ. В Госреестре с 2006 года. Районирован в Яку-

тии с 2007 года. Раннеспелый. Урожайность – 182–276 ц/га. Масса товарных клубней – 82–176 г. Среднее число клубней – 9–12 шт./куст. Содержание крахмала – 10,5–12,9%. Вкусовые качества хорошие. Клубни овально-округлые. Цвет кожуры красный. Цвет мякоти белый. Глазки средней глубины. Венчик белый. Среднеустойчив к фитофторозу ботвы и клубней, устойчив к раку картофеля, восприимчив к золотистой картофельной цистообразующей нематоде.

Вармас (Вирулане × Сеянец 1040-45). Сорт выведен на Йыгеваской селекционной станции в Эстонии. Районирован в Якутии с 1977 года по всем зонам. Раннеспелый. Урожайность – 212–380 ц/га. Масса товарных клубней – 90–120 г. Содержание крахмала – 10–14%. Вкус удовлетворительный или хороший. Клубень овальной формы. Кожура белая. Мякоть белая. Глазки поверхностные. Венчик белый. Устойчив к раку картофеля, среднеустойчив к вирусам, относительно устойчив к парше обыкновенной и ризоктониозу, восприимчив к фитофторозу (Охлопкова и др., 2014; Костина, Косарева, 2018).

Клоны межвидовых гибридов из коллекции ВИР и районированные сорта из коллекции Якутского НИИСХ оценивали по комплексу хозяйственно-ценных признаков в соответствии с общепринятой методикой по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. В качестве стандартов использовали районированные в Северо-Западном регионе сорта: для раннеспелых – Удача; для среднеспелых и среднепоздних – Наяда.

Также на полях Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР проводили фенологические наблюдения, отмечали начало всходов, цветения и ягодообразования.

Метеоусловия периода вегетации в 2024 году отличались от средних многолетних данных по региону, лето выдалось засушливым, температура воздуха превышала

или была на уровне средних многолетних значений. Среднесуточная температура воздуха составила 12,6–16,7 °С. Осадков за летние месяцы выпало 246,3 мм, что близко к среднемноголетнему значению (261,1 мм).

Была проведена визуальная оценка на наличие мокрой и кольцевой гнили клубней в процессе хранения, согласно методическим указаниям по оценке селекционного материала картофеля на устойчивость к черной ножке (Будин и др., 1987). Изучены селекционные сорта *Solanum tuberosum* L., образцы *Solanum andigenum* Juz. et Buk., а также межвидовые гибриды картофеля из коллекции ВИР, которые составляют более 3000 образцов и поддерживаются на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Исследовались клубни урожая 2023 года. Первый мониторинг проводился через месяц после уборки, второй – через три месяца.

Для идентификации фитопатогенов в клубнях картофеля выделение ДНК (на микрочастицах) проводили коммерческими наборами согласно инструкции научно-производственной компании «СИНТОЛ» EW-001.

В ходе исследования дифференциальную диагностику возбудителей заболевания картофеля «черная ножка» *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc), *P. brasiliensis* (Pbr), *P. odoriferum* (Pod), *P. atrosepticum* (Pa), *Dickeya* spp. и «кольцевая гниль» *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (Cms) проводили методом полимеразной цепной реакции в реальном времени. В качестве устойчивого контроля был взят сорт Вармас, как восприимчивый к бактериальным патогенам – сорт картофеля Гренадер, так как на нем были видны четкие симптомы мокрой гнили, продуцирующие граммотрицательными энтеробактериями. Интерпретацию результатов анализа осуществляли по общепринятым протоколам и инструкциям производителя НПБ «СИНТОЛ». Так, результат ПЦР по каналу флуоресцен-

ции ≥ 40 ст принимали за то, что в пробе содержится ДНК бактерий. Все, что ниже 40 ст, принимали за ложноотрицательный результат ингибирования ПЦР-РВ.

Результаты и обсуждение

Селекционные и хозяйственно-ценные признаки клонов межвидовых гибридов ВИР и сортов картофеля из коллекции Якутского НИИСХ на полях Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР

В 2024 году продолжительность вегетации межвидовых гибридов из коллекции ВИР и сортов картофеля из коллекции Якутского НИИСХ составила 68–92 дня. Первые всходы были отмечены у раннего сорта Вармас (14 ± 2 день). На 16 ± 2 день взошли межвидовые гибриды 135-5-2005, 97-152-8, 39-1-2005, 94-4-1, 99-6-10, 12/1/09, 13/11-09. Остальные взошли на 17 ± 2 – 20 ± 2 день. Первая бутонизация (36 ± 1 день) отмечена у межвидовых гибридов 135-5-2005, 39-1-2005, 171-3, 12/1/09. У остальных на 37 ± 1 – 39 ± 1 день. Первое цветение отмечено на 31 ± 5 день у образцов 99-4-1, 99-6-10, 13/11-09. На 35 ± 5 день цветение отмечено у сорта Тулунский ранний. У остальных – на 43 ± 5 – 50 ± 5 день. Первое ягодообразование было отмечено на

42 ± 16 день у образцов 99-6-10, 16/27-09; на 44 ± 16 – у образца 13/11-09; у остальных – на 50 ± 16 – 57 ± 16 день. У таких образцов, как Тулунский ранний, Вармас, 173-3 и 97-159-3, ягодообразование не произошло. Уборка началась на 78–102 день от посадки. По результатам данных была оценена физиологическая спелость образцов (число дней от посадки до уборки). К среднеранним относится сорт Якутянка. В среднеспелой группе оказались образцы Тулунский ранний, Вармас, 135-5-2005, 138-3-2006, 97-152-8, 135-1-2006, 160-1, 99-6-10, 16/27-09, 97-159-3, 13/11-09, 12/1/09, 40-2000, 118-6-2011. В среднепозднюю группу вошли 173-3, 99-4-1, 39-1-2005, 24-1, 190-4.

В результате сравнительного изучения продуктивности в 2024 году в условиях Северо-Западного региона стабильную урожайность на уровне сорта-стандарта или выше имели образцы: 118-6-2011, 97-159-3 для среднепоздних; 160-1, 99-6-10 для среднеспелых; 97-152-8, 135-5-2005, Вармас, Тулунский ранний для раннеспелых (рис. 1).

Товарность изученных образцов находится в пределах 93–53%. Наибольший показатель ($\geq 90\%$) отмечен среди средне-

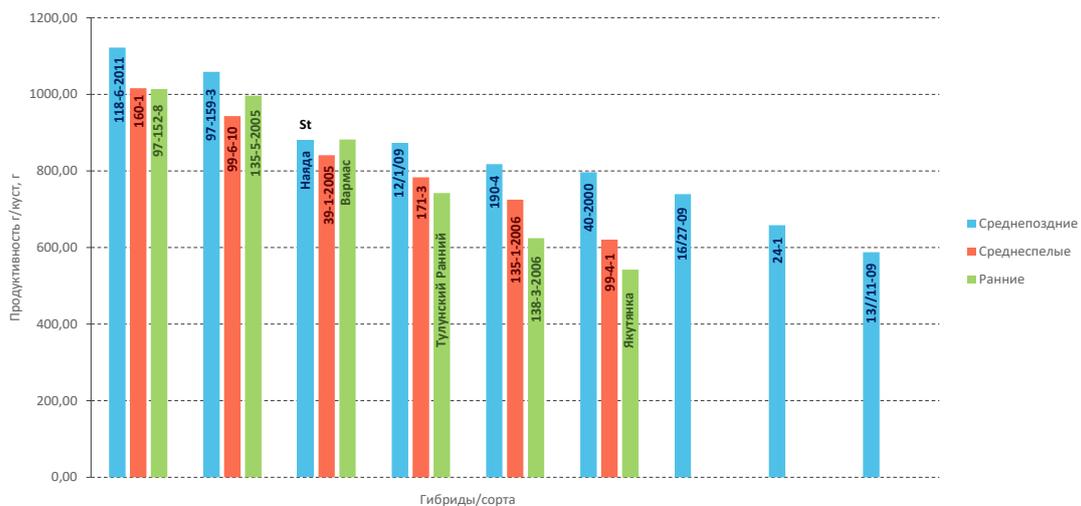


Рис. 1. Оценка продуктивности клонов межвидовых гибридов ВИР и районированных сортов картофеля Якутского НИИСХ

Источник: данные авторов.

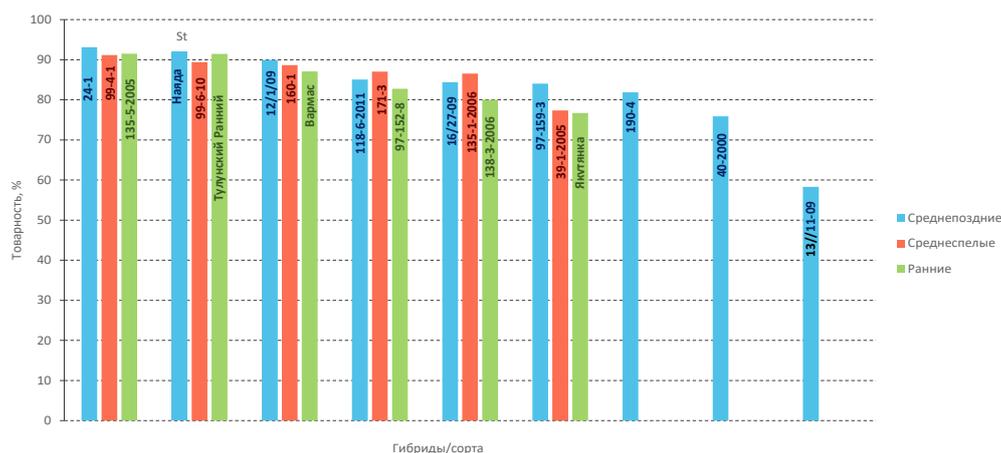


Рис. 2. Оценка товарности клонов межвидовых гибридов ВИР и районированных сортов картофеля Якутского НИИСХ

Источник: данные авторов.

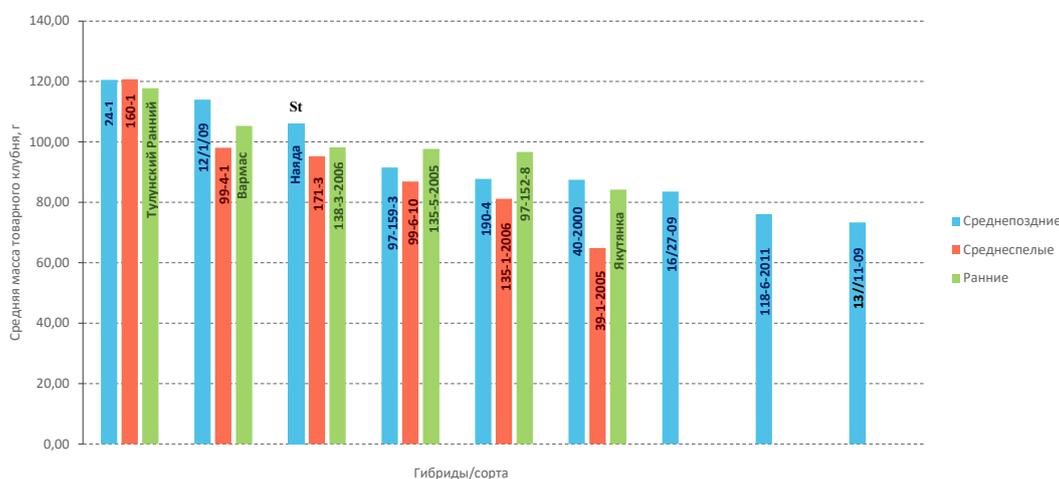


Рис. 3. Оценка средней массы клубней у клонов межвидовых гибридов ВИР и районированных сортов картофеля Якутского НИИСХ

Источник: данные авторов.

поздних образцов – 24-1; среди среднеспелых – 92; раннеспелых – 135-5-2005 (рис. 2).

Среднее число клубней в гнезде для среднепоздних сортов варьируется от 7–20 штук на куст. В целом большинство образцов имеют значения выше сорта-стандарта. Однако средняя масса товарного клубня для среднепоздних образцов находится ниже сорта-стандарта. Лидируют в этом показателе лишь два межвидовых гибрида: 24-1 и 12/1/09. Следует отметить, что данные гибриды занимали низ-

шую строчку по показателю среднего числа клубней в гнезде.

Большинство среднеспелых образцов имеют показатель среднего числа клубней в гнезде выше сорта-стандарта. Этот показатель варьировал от 8 до 19 клубней на куст. Наибольшее значение средней массы товарного клубня имел межвидовой гибрид 160-1, остальные – ниже сорта-стандарта (рис. 3).

В раннеспелой группе сорта Якутянка, Вармас и межвидовой гибрид 97-152-8 по среднему числу клубней превышали

сорт-стандарт. Остальные были ниже и на уровне сорта-стандарта. Значение средней массы товарного клубня для всех образцов раннеспелой группы было выше, чем у сорта-стандарта.

Мониторинг возбудителей мокрой и кольцевой гнили клубней картофеля в коллекции ВИР

Проведен мониторинг клоновой коллекции картофеля ВИР. Признаки предполагаемых заболеваний были выявлены в результате визуальной оценки на клубнях 50 образцов, включающих селекционные сорта и межвидовые гибриды. Наличие возбудителей бактериальных заболеваний у образцов картофеля из коллекции ВИР определяли методом полимеразной цепной реакции в реальном времени. Результаты приведены в табл. 2.

Данные, представленные в табл. 2, показывают наличие возбудителя *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus* (Cms) у сорта Гренадер и межвидового гибрида 912-1-2018, также у сорта Гренадер бы-

ло идентифицировано комплексное инфекционное поражение, вызванное такими бактериями, как *P. brasiliensis* (Pbr), *P. odoriferum* (Pod), *P. atrosepticum* (Pa), *Dickeya spp.* Бактерии вида *P. carotovorum subsp. carotovorum* были обнаружены у сортов Вымпел и Hinderburg и у межвидового гибрида 116-2021. Также у этого образца было обнаружено ДНК *P. odoriferum*. Несмотря на наличие внешних признаков поражения, проведенное ПЦР-исследование не подтвердило наличие возбудителей у образцов Атлетик, Вармас, *Solanum andigenum* (к-3599) и межвидовых гибридов 952-8-2017, 117-5-2004.

Полностью устойчивых к бактериальным заболеваниям сортов или межвидовых гибридов картофеля на сегодняшний день не известно. Однако некоторые родительские формы сортов и гибридов, по Европейской базе данных культурного картофеля, обладают разной степенью устойчивости. Так, у гибридов 117-5-2004 и 116-2021 одним из родителей является сорт

Таблица 2. Наличие возбудителей *P. carotovorum subsp. carotovorum* (Pcc), *P. brasiliensis* (Pbr), *P. odoriferum* (Pod), *P. atrosepticum* (Pa), *P. wasabiae* (Pw), *Dickeya spp.* *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus* (Cms) картофеля из коллекции ВИР (real-time ПЦР)

Образец	Результаты ПЦР по каналу флуоресценции						
	Pcc	Pbr	Pod	Pa	Pw	Dickeya spp.	Cms
	FAM	R6G	ROX	ROX	FAM	FAM	FAM
Атлетик	N/A	33,27	N/A	24,51	15,55	N/A	34,25
Вармас	N/A	31,38	30,98	N/A	N/A	N/A	33,55
Вымпел	49,97	46,43	11,99	N/A	10,75	N/A	N/A
Гренадер	20,59	48,74	48,35	40,70	38,12	42,69	41,42
Elan	N/A	N/A	N/A	N/A	47,06	N/A	N/A
Foxtan	N/A	21,97	N/A	N/A	8,76	2,32	2,68
Hinderburg	46,84	46,50	2,78	43,47	40,29	25,79	9,00
<i>Solanum andigenum</i> (к-3599)	N/A	N/A	N/A	25,47	38,40	N/A	35,66
117-5-2004	N/A	N/A	33,72	N/A	39,62	N/A	37,36
16/127-09	N/A	26,95	N/A	1,45	3,44	N/A	N/A
952-8-2017	N/A	N/A	N/A	31,26	34,87	N/A	31,14
912-1-2018	N/A	N/A	N/A	N/A	36,53	N/A	40,80
4-1-2012	45,42	4,04	44,43	16,63	N/A	N/A	33,39

FAM, R6G, ROX – флуорофоры.
 ≥ 40 ст – ложноотрицательный результат ингибирования ПЦР-РВ.
 ≤ 40 ст – в пробе содержится ДНК изучаемых бактерий.
 N/A – not available.
 Источник: данные авторов.

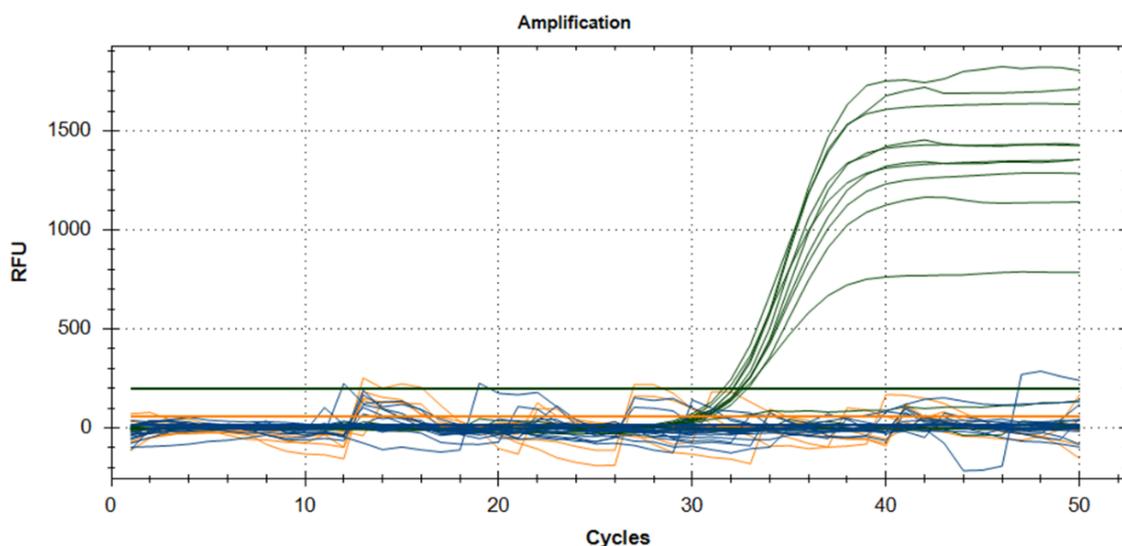


Рис. 4. Результаты анализа образцов картофеля на наличие возбудителей *P. carotovorum subsp. carotovorum*, *P. brasiliensis*, *P. odoriferum*

Источник: данные авторов.

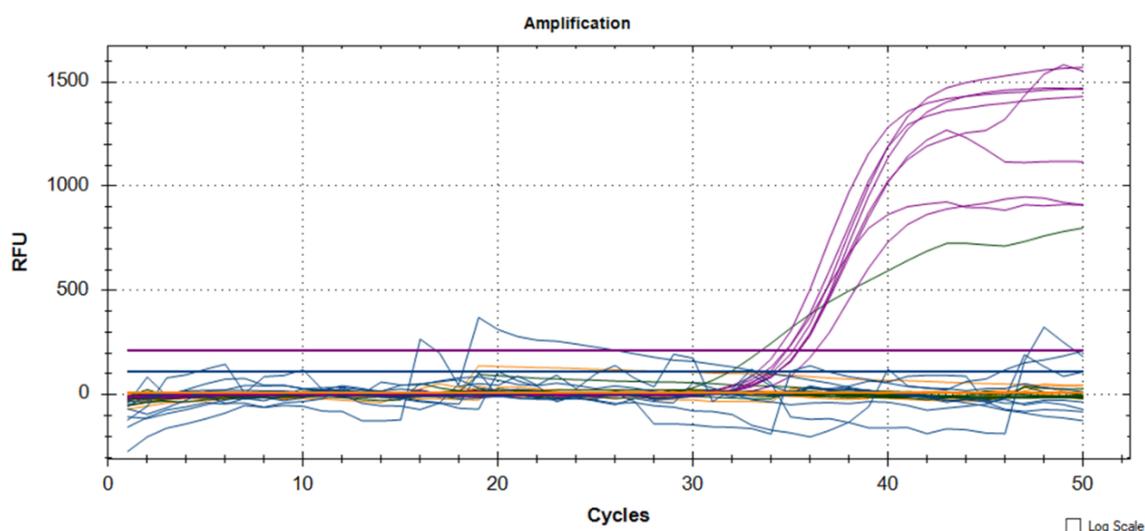


Рис. 5. Результаты анализа образцов картофеля на наличие возбудителей *P. atrosepticum*, *P. wasabiae*, *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus*

Источник: данные авторов.

Atzimba, в родословной которой имеется сорт Leona, обладающий устойчивостью к бактериальной гнили (*Pectobacterium* и *Dickeya spp.*) от средней степени до высокой. У межвидового гибрида 16/27-09 имеются в родословной три сорта, обладающие разной степенью устойчивости: например, сорта Тайга или Gitte обладают устойчивостью к заболеванию «черная ножка» от средней степени до высокого, а

сорт Омега имеет высокую устойчивость к бактериальному заболеванию «черная ножка».

Результат анализа ПЦР-РВ показал, что изучаемые патогены (рис. 4) обнаруживаются в образцах Вымпел, Гренадер и межвидовом гибриде 116-2021.

Результат анализа ПЦР-РВ показал наличие пектолитических энтеробактерий в образцах Гренадер, Elan, Hinderburg, а *Clavibacter*

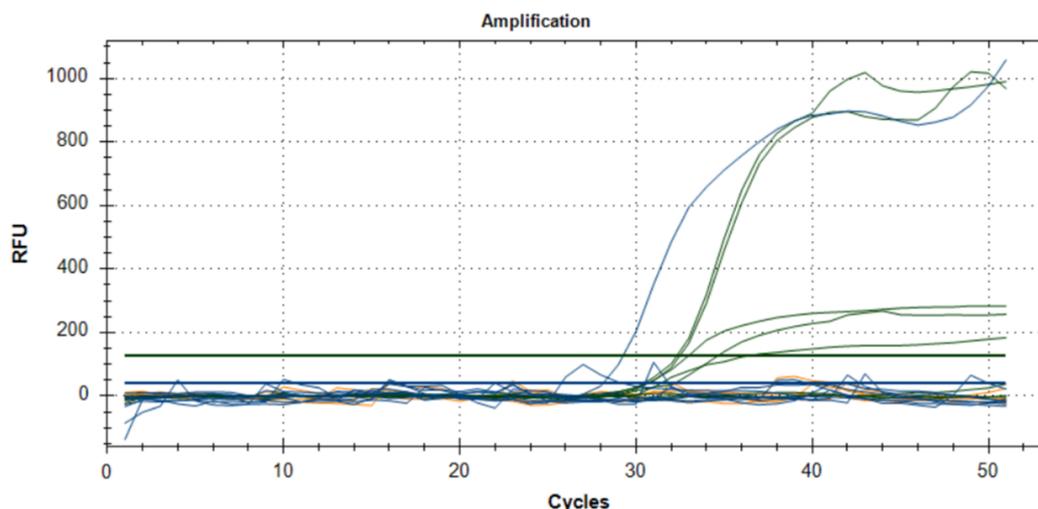


Рис. 6. Результаты анализа образцов картофеля на наличие возбудителя *Dickeya spp.*

Источник: данные авторов.

michiganensis subsp. *sepedonicus* – в образце Гренадер и межвидовом гибриде 912-1-2018 (рис. 5).

Результат анализа ПЦР-РВ по обнаружению патогена *Dickeya spp.* показал, что изучаемые бактерии присутствуют лишь в образце Гренадер (рис. 6).

Выводы

В 2024 году проведено полевое испытание межвидовых гибридов ВИР и сортов из коллекции Якутского НИИСХ, исследованы их хозяйственно-ценные признаки. Изученная выборка, выращенная в условиях Северо-Западного региона, показала стабильную урожайность на уровне сорта-стандарта или выше, особенно выделались образцы с селекционным номером: для среднепоздней группы 118-6-2011,

97-159-3; для среднеспелых 160-1, 99-6-10; для раннеспелых 97-152-8 и 135-5-2005.

Впервые охарактеризованы образцы картофеля из коллекции ВИР на устойчивость к бактериальным инфекциям. Мы пришли к выводу, что условия Северо-Западного региона Российской Федерации плохо подходят для развития исследуемых микроорганизмов, не наблюдается массового инфицирования коллекции картофеля в период вегетации. Однако для других почвенно-климатических регионов РФ уровень инфицирования картофеля изучаемыми патогенами может быть существенно выше. Большинство образцов коллекции проявило полевую устойчивость к данным возбудителям, однако были обнаружены и слабоустойчивые формы, показавшие наличие комплексной инфекции.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранник А.П., Симонов Р.А., Васильев Д.М. [и др.] (2018). Дифференцирование пектолитических патогенов картофеля *Pectobacterium* и *Dickeya spp.* генетическим фингерпринтингом // Современные технологии и средства защиты растений-платформа для инновационного освоения в АПК России: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. С. 25.
- Белов Д.А., Хютти А.В. (2022). Современные фитопатогенные комплексы болезней картофеля и меры по предотвращению их распространения в России // Картофель и овощи. № 5. С. 18–24. URL: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.52.94.003>
- Будин К.З., Бушкова Л.Н., Власов Н.М., Арсентьева Л.Н. (1987). Оценка селекционного материала картофеля на устойчивость к черной ножке: метод. указания / Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР). Ленинград. 8 с.

- Васильева А.А., Игнатов А.Н., Джалилов Ф.С.У. (2024). Оценка устойчивости различных сортов картофеля к возбудителям черной ножки и мягкой гнили // Достижения науки и техники АПК. Т. 38. № 3. С. 10–16.
- Игнатов А.Н., Лазарев А.М., Панычева Ю.С., Проворов Н.А., Чеботарь В.К. (2018a). Бактериальные патогены картофеля рода *Dickeya*: мини-обзор по систематике и этиологии заболеваний // Сельскохозяйственная биология. № 53 (1). С. 123–131.
- Игнатов А.Н., Панычева Ю.С., Воронина М.В., Джалилов Ф.С. (2018b). Бактериозы картофеля в Российской Федерации // Картофель и овощи. № 1. С. 1–3.
- Костина Л.И., Косарева О.С. (2018). Генеалогия селекционных сортов картофеля // Картофелеводство. № 26 (1). С. 46–50.
- Лазарев А.М. (1986). Устойчивость перспективных для Северо-Западного региона Нечерноземья сортов картофеля к возбудителю черной ножки // Рациональные методы и средства защиты сельскохозяйственных культур от вредных организмов: Труды Латвийской ордена Трудового Красного Знамени с.-х. академии / Гос. агропромышленный комитет, Латвийская ордена Трудового Красного Знамени с.-х. академия, Великолукский с.-х. ин-т. Т. 234. Елгава: Латвийская ордена Трудового Красного Знамени с.-х. академия. С. 19–21.
- Лукьянова А.А., Мирошников К.А. (2019). Оценка терапевтического потенциала фага Q51 для лечения бактериальных инфекций картофеля // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: сб. тезисов докладов 19-й Всерос. конф. молодых ученых, посв. памяти акад. РАСХН Г.С. Муромцева (г. Москва, 15–16 апреля 2019 г.) / Всерос. науч.-иссл. ин-т с.-х. биотехнологии. Москва: Всерос. науч.-иссл. ин-т с.-х. биотехнологии. С. 156–157.
- Мирошников К.А., Кабанова А.П., Шнейдер М.М. [и др.] (2018). Принципы использования бактериофагов для контроля мягкогнилостных бактериозов картофеля // Современные технологии и средства защиты растений – платформа для инновационного освоения в АПК России: сб. мат-лов Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург – Пушкин. С. 106–107.
- Охлопкова П.П., Лукина Ф.А., Алексеева А.В. (2014). Сорта картофеля, возделываемые в Республике Саха (Якутия). Якутск. 30 с.
- Охлопкова П.П., Яковлева Н.С., Протопопова А.В. (2020). Фитосанитарный Мониторинг посадок картофеля в условиях Центральной Якутии // Научная жизнь. Т. 15. № 12 (112). С. 1606–1612. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-12-1606-1612
- Стацюк Н.В., Кузнецова М.А. (2018). Лабораторные методы оценки устойчивости растений и клубней картофеля к возбудителям черной ножки и мягкой гнили клубней // Сельскохозяйственная биология. Т. 53. С. 111–122.
- Трускинов Э.В., Ситников М.Н. (2019). Особенности изучения и поддержания коллекции картофеля на фоне вирусных и вирусоподобных заболеваний // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. № 180 (4). С. 75–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-75-80
- Хлопюк М.С., Чалая Н.А., Рогозина Е.В. (2021). Стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 182. № 4. С. 79–89. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-79-89
- Beňo F., Horsáková I., Kmoch M.[et al.] (2022). Bacteriophages as a strategy to protect potato tubers against *Dickeya dianthicola* and *Pectobacterium carotovorum* Soft Rot. *Microorganisms*, 10 (12), 2369. DOI: 10.3390/microorganisms10122369
- Franc G.D. (1999). Persistence and latency of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in field-grown seed potatoes. *Plant Disease*, 83, 247–250.
- Gorshkov V.Y., Toporkova Y.Y., Tsers I.D. [et al.] (2022). Differential modulation of the lipoxygenase cascade during typical and latent *Pectobacterium atrosepticum* infections. *Ann Bot.*, 129 (3), 271–286. DOI: 10.1093/aob/mcab108
- Jee S., Choi J.G., Lee Y.G. [et al.] (2020). Distribution of *Pectobacterium* species isolated in South Korea and comparison of temperature effects on pathogenicity. *Plant Pathology Journal*, 36 (4), 346–354. DOI: 10.5423/PPJ.OA.09.2019.0235

- Juyo Rojas D.K., Soto Sedano J.C., Ballvora A., León J., Mosquera Vásquez T. (2019). Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight in potato. *PLoS One*, 14 (7), e0213818. DOI: 10.1371/journal.pone.0213818
- Kriel C.J., Jansky S.H., Gudmestad N.C., Ronis D.H. (1995). Immunity to *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*: Screening of exotic *Solanum* species. *Euphytica*, 82, 125–132.
- Loc M., Milošević D., Ivanović Ž. [et al.] (2022). Genetic diversity of *Pectobacterium* spp. on potato in Serbia. *Microorganisms*, 10 (9), 1840. DOI: 10.3390/microorganisms10091840
- Nelson G.A. (1982). *Corneybacterium sepedonicum* in potato: Effect of inoculum concentration on ring rot symptoms and latent infection. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4, 129–133.
- Nykyri J., Niemi O., Koskinen P. [et al.] (2012). Revised phylogeny and novel horizontally acquired virulence determinants of the model soft rot phytopathogen *Pectobacterium wasabiae* SCC3193. *PLoS Pathog.*, 8 (11), e1003013. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003013
- Osdaghi E., van der Wolf J.M., Abachi H. [et al.] (2022). Bacterial ring rot of potato caused by *Clavibacter sepedonicus*: A successful example of defeating the enemy under international regulations. *Molecular Plant Pathology*, 23 (7), 911–932. DOI: 10.1111/mpp.13191
- Park J., Massa A.N., Douches D. [et al.] (2021). Linkage and QTL mapping for tuber shape and specific gravity in a tetraploid mapping population of potato representing the russet market class. *BMC Plant Biol.*, 21 (1), 507. DOI: 10.1186/s12870-021-03265-2
- Portier P., Pédrón J., Taghouti G. [et al.] (2019). Elevation of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Odoriferum* to species level as *Pectobacterium odoriferum* sp. nov., proposal of *Pectobacterium Brasiliense* sp. nov. and *Pectobacterium actinidiae* sp. nov., emended description of *Pectobacterium carotovorum* and description of *Pectobacterium versatile* sp. nov., isolated from streams and symptoms on diverse plants. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 69, 3207–3216. DOI: 10.1099/ijsem.0.003611
- Vasilyeva A.A., Evseev P.V., Ignatov A.N., Dzhililov F.S.U. (2024). *Pectobacterium punjabense* causing blackleg and soft rot of potato: The first report in the Russian Federation. *Plants*, 13 (15).

Сведения об авторах

Константин Ильич Родионов – аспирант, Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Российская Федерация, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42; e-mail: k.rodionov@vir.nw.ru)

Максим Николаевич Ситников – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Российская Федерация, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42; e-mail: m.sitnikov@vir.nw.ru)

VIR POTATO COLLECTION AS A SOURCE OF IMPROVEMENT OF ECONOMIC-VALUABLE TRAITS AND RESISTANCE TO PATHOGENS “BLACK LEG” AND “RING ROT”

Rodionov K.I., Sitnikov M.N.

There is a worldwide problem caused by pre- and post-harvest potato losses due to bacterial diseases. Annual yield losses due to them are 10–15% and can exceed 50% in epiphytotic years. Currently, none of the commercial potato varieties are highly resistant to bacteriosis, as this trait was previously insufficient in most existing breeding programs. In recent years, potato losses due to black leg and ring rot have increased significantly in all countries of the world,

including Russia, which increases the demand for bacteriosis-resistant potato varieties as well as effective methods of identification of affected potato samples during storage. The aim of the study is to monitor potatoes from the collection of N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Industry Genetic Resources (VIR) for the presence of pathogens of *Pectobacterium* and *Dickeya* species, strains of which cause the disease “black leg”, and the bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (Cms), which causes the disease “ring rot”, and to evaluate a number of economic-valuable traits of potatoes in the isolated resistant samples. We carried out visual evaluation of tubers for the presence of lesions caused by the suspected pathogens. Differential diagnosis by real-time PCR for the presence of the studied diseases was performed on the selected material. As a result of the study, most of the samples of the collection showed resistance to these pathogens, but weakly resistant forms were also found, showing the presence of complex infection. The research results can be used in future breeding programs on plant resistance to various diseases.

Breeding, potato, economically valuable traits, bacterial infections, black leg, ring rot.

REFERENCES

- Barannik A.P., Simonov R.A., Vasil'ev D.M. et al. (2018). Differentiation of potato pectolytic pathogens *Pectobacterium* and *Dickeya* spp. by genetic fingerprinting. *Sovremennye tekhnologii i sredstva zashchity rastenii-platforma dlya innovatsionnogo osvoeniya v APK Rossii: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Technologies and Means of Plant Protection – a Platform for Innovative Development in Agro-Industrial Complex of Russia: Materials of International Science and Practical Conference] (in Russian).
- Belov D.A., Khyutti A.V. (2022). Modern phytopathogenic complex of potato diseases and measures to prevent their spread in Russia. *Kartofel' i ovoshchi=Potato and Vegetables*, 5, 18–24. Available aa: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.52.94.003> (in Russian).
- Budin K.Z., Bushkova L.N., Vlasov N.M., Arsent'eva L.N. (1987). *Otsenka selektsionnogo materiala kartofelya na ustoichivost' k chernoï nozhke: metod. Ukazaniya* [Evaluation of Potato Breeding Material for Resistance to Black Leg: Methodical Instructions]. Leningrad.
- Vasil'eva A.A., Ignatov A.N., Dzhililov F.S.U. (2024). Evaluation of resistance of different potato varieties to blackleg and soft rot pathogens. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 38(3), 10–16 (in Russian).
- Ignatov A.N., Lazarev A.M., Panycheva Yu.S., Provorov N.A., Chebotar' V.K. (2018a). Potato phytopathogens of genus *Dickeya* – a mini review of systematics and etiology of diseases. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 53(1), 123–131 (in Russian).
- Ignatov A.N., Panycheva Yu.S., Voronina M.V., Dzhililov F.S. (2018b). Potato bacterial pathogens in the Russian Federation. *Kartofel' i ovoshchi=Potato and Vegetables*, 1, 1–3 (in Russian).
- Kostina L.I., Kosareva O.S. (2018). Genealogy of potatoes elite varieties. *Kartofelevodstvo=Potato Growing*, 26(1), 46–50 (in Russian).
- Lazarev A.M. (1986). Resistance of potato varieties promising for the North-Western region of the Non-Black Earth Region to blackleg pathogen. In: *Ratsional'nye metody i sredstva zashchity sel'skokhozyaistvennykh kul'tur ot vrednykh organizmov: Trudy Latviiskoi ordena Trudovogo Krasnogo Znameni s.-kh. akademii*. T. 234 [Rational Methods and Means of Protection of Agricultural Crops from Pests: Proceedings of the Latvian Order of Red Banner of Labor Agricultural Academy. Volume 234]. Elgava: Latviiskaya ordena Trudovogo Krasnogo Znameni s.-kh. akademiya (in Russian).
- Luk'yanova A.A., Miroshnikov K.A. (2019). Evaluation of the therapeutic potential of phage Q51 for the treatment of potato bacterial infections. In: *Biotekhnologiya v rastenievodstve, zhivotnovodstve i sel'skokhozyaistvennoi mikrobiologii: sb. tezisov dokladov 19-i Vseros. konf. molodykh uchenykh, posv. pamyati akad. RASKhN G.S. Muromtseva (g. Moskva, 15–16 aprelya 2019 g.)* [Biotechnology in Crop Production, Animal Husbandry and Agricultural Microbiology: Abstracts of the 19th All-Russian

- Conference of Young Scientists in Memory of Acad. RASKhN G.S. Muromtsev (Moscow, April 15–16, 2019)]. Moscow: Vseros. nauch.-issl. in-t s.-kh. biotekhnologii (in Russian).
- Miroshnikov K.A., Kabanova A.P., Shneider M.M. et al. (2018). Principles of using bacteriophages to control soft rot bacterioses of potato. In: *Sovremennye tekhnologii i sredstva zashchity rastenii – platforma dlya innovatsionnogo osvoeniya v APK Rossii: sb. mat-lov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg – Pushkin* [Modern Technologies and Means of Plant Protection – a Platform for Innovative Development in the Agro-Industrial Complex of Russia: Collection of Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Saint Petersburg – Pushkin] (in Russian).
- Okhlopkova P.P., Lukina F.A., Alekseeva A.V. (2014). Sorta kartofelya, vzdelyvaemye v Respublike Sakha (Yakutiya) [Potato Varieties Cultivated in the Republic of Sakha (Yakutia)]. Yakutsk.
- Okhlopkova P.P., Yakovleva N.S., Protopopova A.V. (2020). Phytosanitary Monitoring of potato plantings in conditions of Central Yakutia. *Nauchnaya zhizn'*, 15, 12(112), 1606–1612. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-12-1606-1612 (in Russian).
- Statsyuk N.V., Kuznetsova M.A. (2018). Laboratory methods for assessing resistance of potato plants and tubers to pathogens of black leg and soft rot of tubers. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 53, 111–122 (in Russian).
- Truskinov E.V., Sitnikov M.N. (2019). Peculiarities of studying and maintaining potato collection on the background of viral and virus-like diseases. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 180(4), 75–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-75-80 (in Russian).
- Khlopyuk M.S., Chalaya N.A., Rogozina E.V. (2021). Stability of agronomically valuable traits in clones of interspecific potato hybrids in the conditions of the Central region of the European territory of Russia. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 182(4), 79–89. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-79-89 (in Russian).
- Beňo F., Horsáková I., Kmoch M. et al. (2022). Bacteriophages as a strategy to protect potato tubers against *Dickeya dianthicola* and *Pectobacterium carotovorum* Soft Rot. *Microorganisms*, 10(12), 2369. DOI: 10.3390/microorganisms10122369
- Franc G.D. (1999). Persistence and latency of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in field-grown seed potatoes. *Plant Disease*, 83, 247–250.
- Gorshkov V.Y., Toporkova Y.Y., Tsers I.D. et al. (2022). Differential modulation of the lipoxygenase cascade during typical and latent *Pectobacterium atrosepticum* infections. *Ann Bot.*, 129(3), 271–286. DOI: 10.1093/aob/mcab108
- Jee S., Choi J.G., Lee Y.G. et al. (2020). Distribution of *Pectobacterium* species isolated in South Korea and comparison of temperature effects on pathogenicity. *Plant Pathology Journal*, 36(4), 346–354. DOI: 10.5423/PPJ.OA.09.2019.0235
- Juyo Rojas D.K., Soto Sedano J.C., Ballvora A., León J., Mosquera Vásquez T. (2019). Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight in potato. *PLoS One*, 14(7), e0213818. DOI: 10.1371/journal.pone.0213818
- Kriel C.J., Jansky S.H., Gudmestad N.C., Ronis D.H. (1995). Immunity to *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*: Screening of exotic *Solanum* species. *Euphytica*, 82, 125–132.
- Loc M., Milošević D., Ivanović Ž. et al. (2022). Genetic diversity of *Pectobacterium* spp. on potato in Serbia. *Microorganisms*, 10(9), 1840. DOI: 10.3390/microorganisms10091840
- Nelson G.A. (1982). *Cornebacterium sepedonicum* in potato: Effect of inoculum concentration on ring rot symptoms and latent infection. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4, 129–133.
- Nykyri J., Niemi O., Koskinen P. et al. (2012). Revised phylogeny and novel horizontally acquired virulence determinants of the model soft rot phytopathogen *Pectobacterium wasabiae* SCC3193. *PLoS Pathog.*, 8(11), e1003013. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003013
- Osdaghi E., van der Wolf J.M., Abachi H. et al. (2022). Bacterial ring rot of potato caused by *Clavibacter sepedonicus*: A successful example of defeating the enemy under international regulations. *Molecular Plant Pathology*, 23(7), 911–932. DOI: 10.1111/mpp.13191

- Park J., Massa A.N., Douches D. et al. (2021). Linkage and QTL mapping for tuber shape and specific gravity in a tetraploid mapping population of potato representing the russet market class. *BMC Plant Biol.*, 21(1), 507. DOI: 10.1186/s12870-021-03265-2
- Portier P., Pédrón J., Taghouti G. et al. (2019). Elevation of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Odoriferum* to species level as *Pectobacterium odoriferum* sp. nov., proposal of *Pectobacterium Brasiliense* sp. nov. and *Pectobacterium actinidiae* sp. nov., emended description of *Pectobacterium carotovorum* and description of *Pectobacterium versatile* sp. nov., isolated from streams and symptoms on diverse plants. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 69, 3207–3216. DOI: 10.1099/ijsem.0.003611
- Vasilyeva A.A., Evseev P.V., Ignatov A.N., Dzhililov F.S.U. (2024). *Pectobacterium punjabense* causing blackleg and soft rot of potato: The first report in the Russian Federation. *Plants*, 13(15).

Information about the authors

Konstantin I. Rodionov – graduate student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (42, Bolshayya Morskaya Street, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation; e-mail: k.rodionov@vir.nw.ru)

Maksim N. Sitnikov – Candidate of Sciences (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (42, Bolshayya Morskaya Street, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation; e-mail: m.sitnikov@vir.nw.ru)