
БИОТЕХНОЛОГИЯ И МИКРОБИОЛОГИЯ

BIOTECHNOLOGY AND MICROBIOLOGY

УДК 581.2

ПЕКТАТЛАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗНЫХ ВИДОВ ПЕКТОБАКТЕРИЙ ПРИ ЗАРАЖЕНИИ СТЕБЛЕЙ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

ШАО ЧЭНЮЕ¹⁾, А. Н. ЕВТУШЕНКОВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Пектатлазная активность является важнейшим фактором вирулентности фитопатогенных бактерий рода *Pectobacterium*. Значительный уровень пектатлазной активности отмечен в пораженных пектобактериями тканях стеблей картофеля, он в несколько раз превышал уровень пектатлазной активности в мацерированных тканях клубней картофеля, что может быть связано с разным биохимическим составом тканей. Выявлена зависимость пектатлазной активности в тканях клубней картофеля от сорта растения. Пектатлазная активность бактерий *P. carotovorum*, *P. parmentieri*, *P. brasiliense* и *P. atrosepticum* в пораженных тканях клубней сорта Винета была достоверно выше таковой в пораженных тканях клубней сорта Палац. Наиболее высокие уровни пектатлазной активности зарегистрированы при заражении клубней картофеля бактериями *P. brasiliense*, а наиболее низкие – при заражении клубней картофеля бактериями *P. parmentieri*. Устойчивость клубней картофеля к мацерированному действию пектобактерий связана с видовой принадлежностью фитопатогена. Клубни картофеля сорта Палац оказались более устойчивыми к мацерированному действию бактерий *P. carotovorum* и *P. parmentieri*, но менее устойчивыми к мацерированному действию бактерий *P. brasiliense* по сравнению с клубнями картофеля сорта Винета. Стебли картофеля сорта Винета слабее поражались черной ножкой, чем стебли картофеля сорта Палац.

Ключевые слова: пектатлаза; мацерация клубней; черная ножка; картофель; сорт Винета; сорт Палац; *Pectobacterium*.

Образец цитирования:

ШАО ЧЭНЮЕ, ЕВТУШЕНКОВ АН. Пектатлазная активность разных видов пектобактерий при заражении стеблей и клубней картофеля. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2024;3:30–36.
EDN: QWLEMK

For citation:

Shao Chengyue, Evtushenkov AN. Pectate lyase activity of different species of pectobacteria when infecting potato stems and tubers. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2024;3:30–36. Russian.
EDN: QWLEMK

Авторы:

ШАО Чэнюе – аспирант кафедры молекулярной биологии биологического факультета. Научный руководитель – А. Н. Евтушенко.

Анатолий Николаевич Евтушенко – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры молекулярной биологии биологического факультета.

Authors:

Shao Chengyue, postgraduate student at the department of molecular biology, faculty of biology.

520095424@qq.com

Anatoli N. Evtushenkov, doctor of science (biology), full professor; professor at the department of molecular biology, faculty of biology.

evtushenkov@bsu.by

<https://orcid.org/0000-0002-2755-6979>

PECTATE LYASE ACTIVITY OF DIFFERENT SPECIES OF PECTOBACTERIA WHEN INFECTING POTATO STEMS AND TUBERS

SHAO CHENGYUE^a, A. N. EVTUSHENKOV^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. N. Evtushenkov (evtushenkov@bsu.by)

Abstract. Pectate lyase activity is the most important virulence factor of phytopathogenic bacteria of the genus *Pectobacterium*. A high level of pectate lyase activity was detected in the tissues of potato stems affected by pectobacteria, it was several times exceeded the level of pectate lyase activity in macerated tissues of potato tubers, which may be due to the different biochemical composition of the tissues. The dependence of pectate lyase activity in the tissues of potato tubers on the plant variety was revealed. The pectate lyase activity of *P. carotovorum*, *P. parmentieri*, *P. brasiliense* and *P. atrosepticum* was significantly higher in the affected tuber tissues of the Vineta variety compared to that in the affected tuber tissues of the Palac variety. The highest levels of pectate lyase activity were recorded when potato tubers were infected with *P. brasiliense*, and the lowest – when potato tubers were infected with *P. parmentieri*. The resistance of potato tubers to the macerating action of pectobacteria is associated with the species of the phytopathogen. Potato tubers of the Palac variety turned out to be more resistant to the macerating effect of *P. carotovorum* and *P. parmentieri*, but less resistant to the macerating effect of *P. brasiliense* compared to potato tubers of the Vineta variety. Potato stems of the Vineta variety were less affected by the black stem than potato stems of the Palac variety.

Keywords: pectate lyase; maceration of tubers; black stem; potato; Vineta variety; Palac variety; *Pectobacterium*.

Введение

Фитопатогенные бактерии семейства *Pectobacteriaceae* имеют широкий круг хозяев и инфицируют как сельскохозяйственные культуры (в том числе картофель, томаты, кукурузу, капусту, свеклу, салат, перец, морковь), так и декоративные растения (например, хризантемы, диффенбахию). Семейство *Pectobacteriaceae* включает роды *Dickeya* и *Pectobacterium*, к которым принадлежат важнейшие возбудители черной ножки картофеля и мягкой гнили различных видов растений [1; 2]. Ранее пектобактерии относили к бактериям мягких гнилей группы *carotovora* рода *Erwinia* [1].

Бактерии родов *Dickeya* и *Pectobacterium* входят в десятку наиболее опасных фитопатогенных бактерий [3]. Определить ущерб от бактериозов достаточно сложно, но только в европейских странах потери продукции сельского хозяйства, вызванные пектобактериями, оцениваются в десятки миллионов долларов США [4; 5]. Черная ножка и мягкая гниль считаются болезнями, передаваемыми с посадочным материалом. Источником инфекции при черной ножке и мягкой гнили картофеля могут быть семенные клубни, остатки больных растений в почве, насекомые, нематоды и сельскохозяйственный инвентарь [6; 7]. Мягкая гниль проявляется в мацерации внутренних тканей клубней картофеля, а черная ножка характеризуется поражением тканей основания стебля с последующим хлорозом, увяданием листьев и снижением образования клубней [8]. В процессе заражения растений пектобактерии продуцируют комплекс внеклеточных ферментов, включающих целлюлазы и пектиназы. Эти ферменты играют ключевую роль в разрушении клеточных стенок растений, обеспечивая бактерии питательными веществами для их роста. Таким образом, внеклеточные ферменты выступают одним из важных факторов вирулентности при заражении растений-хозяев фитопатогенными бактериями. Пектатлиазы являются основными внеклеточными ферментами пектобактерий, расщепляющими пектин в межклетниках и стенках клеток растений, что приводит к коллапсу тканей, повреждению клеток и утечке электролитов [9].

В настоящее время отсутствуют эффективные методы и средства контроля таких заболеваний, как мягкая гниль и черная ножка картофеля. Для уменьшения вреда патогенов используют посев качественными клубнями (проверка на заражение) и удаление зараженных растений в период вегетации. Во многих странах налажены регулярный мониторинг видового состава бактерий родов *Dickeya* и *Pectobacterium* на растениях картофеля и изучение их вирулентности, что позволяет повысить эффективность контроля посевного материала. Доминирующими возбудителями мягкой гнили овощей и черной ножки картофеля в нашем регионе являются бактерии семейства *Pectobacteriaceae* [10–12].

Ранее авторами были выделены 58 штаммов бактерий рода *Pectobacterium* (табл. 1) из образцов растений картофеля с симптомами мягкой гнили (клубни) и черной ножки (стебли), собранных на территории Беларуси [12]. Цель данной работы заключалась в сравнительном изучении вирулентных свойств разных видов бактерий рода *Pectobacterium* при экспериментальном заражении клубней и стеблей картофеля, а также в анализе пектатлиазной активности в зараженных тканях.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись штаммы пектобактерий, выделенные из образцов растений картофеля, собранных на территории Беларуси в 2019–2020 гг. и имевших выраженные симптомы мягкой гнили и черной ножки (см. табл. 1). Штаммы были идентифицированы до вида на основании их биохимических свойств и ПЦР-анализа ДНК с использованием видоспецифических праймеров [12].

Таблица 1

Штаммы пектобактерий, использованные в работе

Table 1

The strains of pectobacteria used in the work

Вид бактерий, количество штаммов	Штаммы, выделенные из клубней картофеля	Штаммы, выделенные из стеблей картофеля
<i>P. carotovorum</i> , 28 штаммов	029-1, 029-2, 34-4, 035-2, 036-3, 36-4, 45-1, 45-2, 47-1, 47-2, 052-1, 052-2, 087, 088-1, 088-2, 090-1, 090-2, 094, 095-2, 096, 097-1, 099-2, 102-1, 102-2	114-1, 124, 125, 128
<i>P. parmentieri</i> , 17 штаммов	051-2	104-2, 105-1, 105-2, 106-1, 106-2, 107-2, 108-1, 108-2, 111-2, 113-1, 113-2, 119-1, 119-2, 121-2, 123-1, 123-2
<i>P. brasiliense</i> , 7 штаммов	098-1, 098-2, 101-2	126, 127, 129, 130
<i>P. atrosepticum</i> , 6 штаммов	084, 086, 086-1, 087-1	110-1, 118-2

Заражение клубней и стеблей картофеля. Бактерии выращивали в жидкой среде LB (*Sigma*, США) в течение 16 ч, центрифугировали при ускорении 5000 g на протяжении 5 мин, промывали 0,85 % раствором NaCl, ресуспендировали в том же растворе до ОП₆₀₀ = 0,2, что соответствует $3 \cdot 10^8$ клеток на 1 мл. Клубни картофеля среднего размера сортов Винета и Палац поверхностно стерилизовали 70 % этанолом, после чего вводили шприцем 20 мкл бактериальной суспензии и изолировали рану пленкой Parafilm (*Amcort Flexibles North America*, США). Зараженные клубни картофеля (по 2 клубня на 1 штамм) помещали в эксикатор и ставили в термостат при температуре 28 °C и относительной влажности от 70 до 80 %. В контрольные образцы вводили стерильный физиологический раствор. Через 48 ч после инокуляции измеряли массу мацерированной ткани (в граммах) и сохраняли образцы при температуре –20 °C до определения ферментативной активности.

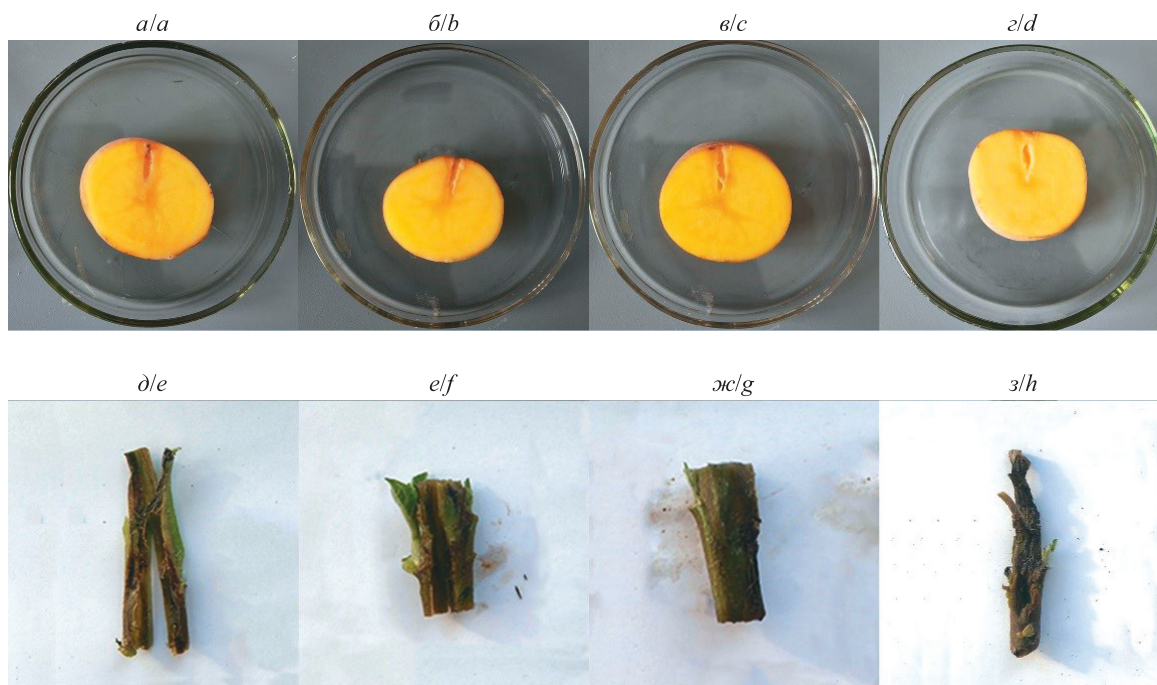
Растения картофеля выращивали в климатической камере при температуре 22 °C с фотопериодом 16 ч. Стебли картофеля высотой около 20 см заражали суспензией бактерий объемом 20 мкл и инкубировали до развития симптомов черной ножки.

Анализ активности пектатлиазы. К 500 мг образца мацерированной ткани клубней или пораженной ткани стеблей картофеля добавляли 500 мкл дистиллированной воды, перемешивали и центрифугировали для получения неочищенного ферментного экстракта. Для определения активности пектатлиазы измеряли увеличение оптической плотности реакционной смеси при длине волны 235 нм и температуре 30 °C на регистрирующем спектрофотометре, как описано в работе [13]. Пектатлиазную активность оценивали по образованию ненасыщенной дигалактуроновой кислоты в реакционной смеси, содержащей 0,05 % раствор полипектата натрия (*Sigma*), 0,1 ммоль/л хлорид кальция в буфере трис-HCl (0,05 моль/л, pH 8,5). За единицу активности пектатлиазы принимали количество фермента, вызывающее образование 1 мкмоль ненасыщенной дигалактуроновой кислоты за 1 мин.

Все исследования проводили в 3–5-кратной биологической повторности. Статистическую обработку результатов выполняли с использованием программы *Excel 2010* (*Microsoft*, США). Данные представлены как среднее значение ± ошибка среднего значения. Достоверность различий между средними значениями изучаемых параметров оценивали по *t*-критерию Стьюдента. На основании данных о мацерированной и пектатлиазной активности отдельных штаммов рассчитывали средние показатели активности для каждого вида пектобактерий.

Результаты и их обсуждение

После заражения клубней суспензией пектобактерий через 2 сут инкубирования при температуре 28 °C развивались симптомы мягкой гнили (см. рисунок): ткани клубней размягчались, появлялся характерный запах гнили, пораженная зона приобретала темную окраску. На стеблях картофеля симптомы черной ножки проявлялись через 2–9 сут в виде потемнения области поражения, утончения стебля и увядания листьев выше зоны укола. При развитии бактериоза стебель надламывался, и из раны выделялась слизистая масса.



Симптомы болезни, развивающиеся при искусственном заражении клубней и стеблей картофеля сорта Винета штаммами бактерий *P. carotovorum* 094 (а, д), *P. parmentieri* 113-1 (б, е), *P. atrosepticum* 118-2 (в, ж) и *P. brasiliense* 130 (г, з)

Symptoms of the disease arising from artificial infection of tubers and stems of potatoes of the Vineta variety with bacteria strains *P. carotovorum* 094 (а, е), *P. parmentieri* 113-1 (б, ф), *P. atrosepticum* 118-2 (с, г) and *P. brasiliense* 130 (д, з)

Все изучаемые штаммы бактерий *P. atrosepticum* и *P. brasiliense*, а также большинство штаммов бактерий *P. carotovorum* и *P. parmentieri* активно мацерировали ткани клубней картофеля обоих сортов, и только при заражении клубней картофеля отдельными штаммами бактерий *P. carotovorum* и *P. parmentieri* не наблюдалось развития симптомов мягкой гнили (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность заражения клубней и стеблей картофеля разными видами пектобактерий, %

Table 2

The effectiveness of infection of potato tubers and stems with different types of pectobacteria, %

Вид бактерий	Сорт Винета		Сорт Палац	
	Клубни	Стебли	Клубни	Стебли
<i>P. carotovorum</i>	94,3 ± 3,6	21,4 ± 4,1*	100	60,7 ± 3,0*
<i>P. parmentieri</i>	88,2 ± 4,8	41,2 ± 3,7*	100	82,3 ± 5,4*
<i>P. brasiliense</i>	100	57,1 ± 2,8*	100	71,4 ± 4,3*
<i>P. atrosepticum</i>	100	16,7 ± 5,2*	100	83,3 ± 7,1*

Примечание. Знаком * отмечены достоверные различия эффективности заражения стеблей картофеля двух сортов ($p < 0,05$).

Поражение стеблей и развитие черной ножки вызывали не все штаммы бактерий рода *Pectobacterium* (см. табл. 2). Растения сорта Палац оказались более чувствительными к инфекции по сравнению с растениями сорта Винета: разница в эффективности заражения двух сортов картофеля черной ножкой достоверна для всех четырех видов пектобактерий. Бактерии *P. parmentieri* и *P. atrosepticum* поразили более 80 % растений сорта Палац, демонстрируя наибольшую эффективность заражения среди рассмотренных пектобактерий. Ранее отмечалось, что в настоящее время в странах Западной Европы доминирующим патогеном на посадках картофеля является вид *P. parmentieri* [14], который вытесняет прежний

доминантный патоген *P. atrosepticum*. Большинство штаммов *P. parmentieri* в нашей коллекции выделены из пораженных черной ножкой стеблей картофеля (см. табл. 1), что может свидетельствовать о патогенной специализации этих бактерий. Новый для Беларуси вид пектобактерий *P. brasiliense* с высокой частотой поражал стебли картофеля обоих сортов, подтверждая свою высокую вирулентность [15; 16].

Исследуемые сорта картофеля различались по степени мацерации клубней: сорт Палац оказался более устойчивым к заражению бактериями *P. carotovorum* и *P. parmentieri* по сравнению с сортом Винета. Бактерии *P. atrosepticum* одинаково эффективно мацерировали клубни обоих сортов (табл. 3), бактерии *P. brasiliense* в большей степени поражали клубни сорта Палац. При заражении стеблей картофеля видами *P. carotovorum*, *P. parmentieri* и *P. atrosepticum* симптомы черной ножки быстрее проявлялись на стеблях сорта Винета, чем на стеблях сорта Палац (см. табл. 3). Штаммы бактерий *P. brasiliense* одинаково эффективно заражали стебли обоих сортов картофеля и быстро вызывали черную ножку (в среднем за 3,33 сут) (см. табл. 3). По степени мацерации клубней и скорости развития бактериоза стеблей видно, что вид *P. brasiliense* характеризуется высокой агрессивностью и быстрым поражением растений.

Таблица 3

Эффективность мацерации клубней
и поражения стеблей картофеля разными видами пектобактерий

Table 3

The effectiveness of maceration of potato tubers
and damage to potato stems by different types of pectobacteria

Вид бактерий	Мацерация клубней, г		Время развития бактериоза стеблей картофеля, сут	
	Сорт Винета	Сорт Палац	Сорт Винета	Сорт Палац
<i>P. carotovorum</i>	1,69 ± 0,15	1,32 ± 0,12	6,46 ± 0,33	7,79 ± 0,34
<i>P. parmentieri</i>	2,02 ± 0,19*	0,63 ± 0,08*	3,86 ± 0,13	8,21 ± 0,37
<i>P. brasiliense</i>	1,42 ± 0,32**	2,23 ± 0,62**	3,25 ± 0,24	3,40 ± 0,44
<i>P. atrosepticum</i>	1,41 ± 0,25	1,38 ± 0,21	4,75 ± 0,24	5,38 ± 0,41

Примечания: 1. Приведены средние значения показателей для каждого вида пектобактерий. 2. Знаком * отмечены достоверные различия мацерации клубней картофеля двух сортов при $p < 0,01$, а знаком ** – достоверные различия мацерации клубней картофеля двух сортов при $p < 0,05$.

Пектатлиазы являются основными ферментами, обеспечивающими мацерацию растительных тканей [8]. Определение пектатлиазной активности проводили в пораженных тканях клубней и стеблей картофеля (табл. 4). Выявлено существенное различие пектатлиазной активности в тканях клубней и тканях стеблей картофеля: при заражении стеблей картофеля данный показатель был в 1,2–15,0 раза выше, чем при заражении клубней картофеля, что может быть связано с разным биохимическим составом тканей стеблей и клубней растений. Стебли и листья картофеля содержат примерно в 10 раз больше клетчатки (целлюлоза, гемицеллюлоза, пектин), чем клубни картофеля, а компоненты клетчатки являются источником индукторов синтеза пектолитических и других мацерирующих ферментов [17].

Таблица 4

Активность пектатлиазы в клубнях и стеблях картофеля,
инфицированных бактериями рода *Pectobacterium*, ед./мл

Table 4

Pectate lyase activity in tubers and stems of potatoes infected
with bacteria of the genus *Pectobacterium*, units per 1 ml

Вид бактерий	Сорт Винета		Сорт Палац	
	Клубни	Стебли	Клубни	Стебли
<i>P. carotovorum</i>	0,445 ± 0,047* **	2,458 ± 0,145*	0,223 ± 0,031**	0,261 ± 0,049
<i>P. parmentieri</i>	0,243 ± 0,029* **	1,699 ± 0,221*	0,156 ± 0,027* **	2,253 ± 0,092*
<i>P. brasiliense</i>	0,542 ± 0,026* **	2,057 ± 0,196*	0,239 ± 0,034* **	3,129 ± 0,067*
<i>P. atrosepticum</i>	0,481 ± 0,049* **	1,542 ± 0,167*	0,168 ± 0,025* **	0,53 ± 0,086*

Примечания: 1. Приведены средние значения показателя для каждого вида пектобактерий. 2. Знаком * отмечены достоверные различия пектатлиазной активности в стеблях и клубнях картофеля одного сорта ($p < 0,01$), а знаком ** – достоверные различия пектатлиазной активности в клубнях картофеля двух сортов ($p < 0,01$).

Пектатлиазная активность бактерий *P. parmentieri*, *P. brasiliense*, *P. atrosepticum* и *P. carotovorum* при заражении клубней сорта Винета была выше, чем при заражении клубней сорта Палац (см. табл. 4), что коррелировало с более высокой степенью мацерации клубней сорта Винета по сравнению со степенью мацерации клубней сорта Палац. Показано, что устойчивые к мягкой гнили сорта картофеля содержат сложные органические соединения, которые могут ингибировать биосинтез и (или) активность ферментов патогена, разрушающих растительные ткани [18]. Бактерии *P. brasiliense* показали наибольший уровень пектатлиазной активности в клубнях обоих сортов и стеблях сорта Палац по сравнению с другими пектобактериями. Ранее нами была отмечена высокая степень вирулентности вида *P. brasiliense* и его потенциальная угроза для растений в Беларуси [19].

Заключение

Наиболее высокий уровень пектатлиазной активности выявлен в пораженных тканях стеблей картофеля, он в несколько раз превышал уровень пектатлиазной активности в пораженных тканях клубней картофеля, что может быть связано с высоким содержанием в тканях стеблей сложных пектиновых соединений, при деградации которых образуются индукторы синтеза пектолитических ферментов [17]. Пектатлиазная активность всех рассмотренных пектобактерий в мацерированной ткани клубней сорта Винета была достоверно выше таковой в мацерированной ткани клубней сорта Палац. Самой высокой пектатлиазной активностью отличались ткани картофеля, пораженные видом *P. brasiliense*, что может быть связано с его высокой вирулентностью, обусловленной в том числе повышенным по сравнению с другими исследованными фитопатогенами уровнем синтеза пектатлиазы.

Используемые в работе сорта картофеля Палац и Винета различались по устойчивости к поражению клубней и стеблей пектобактериями. Так, клубни сорта Палац оказались более устойчивыми к мацерующему действию бактерий *P. carotovorum* и *P. parmentieri*, чем клубни сорта Винета. Но бактерии *P. brasiliense* в большей степени поражали клубни сорта Палац и в меньшей степени – клубни сорта Винета. Возможно, разная устойчивость клубней к отдельным видам пектобактерий отражает видовую специфику взаимодействия патогенов с растениями-хозяевами. При поражении клубней в хранилище ущерб ниже, если их мацерация идет медленнее, так как от пораженного клубня инфекция распространяется на соседние здоровые клубни. Следовательно, для объективной оценки устойчивости клубней к возбудителям мягкой гнили необходимо использовать набор штаммов различных видов пектобактерий, распространенных в данном регионе.

При заражении стеблей пектобактериями сорт Винета оказался более устойчивым, чем сорт Палац. Разная устойчивость стеблей и клубней картофеля к заражению фитопатогенами может быть связана с существенным различием их биохимического состава [18], что влияет на биосинтез и (или) активность мацерующих ферментов патогена.

Библиографические ссылки

1. Dye DW. A taxonomic study of the genus *Erwinia*. I. The *amylovora* group. *New Zealand Journal of Science*. 1968;11(4):590–607.
2. Adeolu M, Alnajjar S, Naushad S, Gupta RS. Genome-based phylogeny and taxonomy of the «Enterobacteriales»: proposal for Enterobacterales ord. nov. divided into the families Enterobacteriaceae, Erwiniaceae fam. nov., Pectobacteriaceae fam. nov., Yersiniaceae fam. nov., Hafniaceae fam. nov., Morganellaceae fam. nov., and Budviciaceae fam. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2016;66(12):5575–5599. DOI: 10.1099/ijsem.0.001485.
3. Mansfield J, Genin S, Magori S, Citovsky V, Sriariyanum M, Ronald P, et al. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. 2012;13(6):614–629. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x.
4. Toth IK, van der Wolf JM, Saddler G, Lojkowska E, Hélias V, Pirhonen M, et al. *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. *Plant Pathology*. 2011;60(3):385–399. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2011.02427.x.
5. Pérombelon MCM, Kelman A. Ecology of the soft rot erwinias. *Annual Review of Phytopathology*. 1980;18:361–387. DOI: 10.1146/annurev.py.18.090180.002045.
6. Cappaert MR, Powelson ML, Franc GD, Harrison MD. Irrigation water as a source of inoculum of soft rot erwinias for aerial stem rot of potatoes. *Phytopathology*. 1988;78(12):1668–1672. DOI: 10.1094/Phyto-78-1668.
7. Rossmann S, Dees MW, Perminow J, Meadow R, Brurberg MB. Soft rot Enterobacteriaceae are carried by a large range of insect species in potato fields. *Applied and Environmental Microbiology*. 2018;84(12):e00281-18. DOI: 10.1128/AEM.00281-18.
8. Pérombelon MCM. Potato diseases caused by soft rot erwinias: an overview of pathogenesis. *Plant Pathology*. 2002;51(1):1–12. DOI: 10.1046/j.0032-0862.2001.Shorttitle.doc.x.
9. Barras F, van Gijsegem F, Chatterjee AK. Extracellular enzymes and pathogenesis of soft-rot *Erwinia*. *Annual Review of Phytopathology*. 1994;32:201–234. DOI: 10.1146/annurev.py.32.090194.001221.
10. Evtushenkov AN, Fomichev YuK. Pectate lyase activity of the bacteria of the genus *Erwinia*. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta imeni V. I. Lenina. Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 1978;2:25–28. Russian. EDN: LOLKIH.
11. Komar EI, Shavel' MI, Pesnyakevich AG. Identification of gram-negative pectolytic phytopathogenic bacteria that cause potato disease in Belarus. *Vestnik BGU. Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2014;2:54–60. Russian. EDN: SIBRTB.

12. Shao Chengyue, Gorovik YuN, Sidorova SG, Evtushenkov AN. Identification of pectolytic bacterial species isolated during plant bacteriosis in the Republic of Belarus. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022;3:64–72. Russian. DOI: 10.33581/2957-5060-2022-3-64-72.
13. Evtushenkov AN, Shevchik VE, Popova LB, Fomichev YuK. Purification and properties of two extracellular endopectate lyases of *Erwinia chrysanthemi* ENA49. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 1986;22(2):187–192. Russian. EDN: XIWZZB.
14. Motyka-Pomagruk A, Zoledowska S, Sledz W, Lojkowska E. The occurrence of bacteria from different species of Pectobacteriaceae on seed potato plantations in Poland. *European Journal of Plant Pathology*. 2021;159(2):309–325. DOI: 10.1007/s10658-020-02163-x.
15. Oulghazi S, Sarfraz S, Zaczek-Moczydlowska MA, Khayi S, Ed-Dra A, Lekbach Y, et al. *Pectobacterium brasiliense*: genomics, host range and disease management. *Microorganisms*. 2021;9(1):106. DOI: 10.3390/microorganisms9010106.
16. Shao Chengyue, Akhremchuk AE, Valentovich LN, Nikolaichik YA, Evtushenkov AN. First report of *Pectobacterium brasiliense* causing blackleg disease of potato plants in Belarus. *Journal of Plant Pathology*. 2023;105(4):1735. DOI: 10.1007/s42161-023-01487-x.
17. Zheng Y, Xiao G, Zhou W, Gao Y, Li Z, Du G, et al. Midgut microbiota diversity of potato tuber moth associated with potato tissue consumed. *BMC Microbiology*. 2020;20:58. DOI: 10.1186/s12866-020-01740-8.
18. Joshi JR, Yao L, Charkowski AO, Heuberger AL. Metabolites from wild potato inhibit virulence factors of the soft rot and blackleg pathogen *Pectobacterium brasiliense*. *Molecular Plant-Microbe Interactions (MPMI)*. 2021;34(1):100–109. DOI: 10.1094/MPMI-08-20-0224-R.
19. Shao Chengyue, Evtushenkov AN. Virulent properties of pectobacteria isolated from plant samples on the territory of Belarus. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2023;2:44–51. Russian. EDN: RAKYZR.

Получена 08.02.2024 / исправлена 25.07.2024 / принята 25.07.2024.
Received 08.02.2024 / revised 25.07.2024 / accepted 25.07.2024.