

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948* (обзор)

И.С. АВДЕЕВ^{1, 2}✉, К.В. ПАНЧЕНКО¹, О.Ю. СЛОВАРЕВА^{1, 2}

Фитопатогенная бактерия *Erwinia rhapontici* (= *Pectobacterium rhapontici*) вызывает бактериозы ряда сельскохозяйственных культур и причиняет существенный экономический ущерб в местах своего распространения (Н.С. Huang с соавт., 2003). В России *E. rhapontici* как фитопатоген практически не изучалась, и известно всего о четырех случаях ее обнаружения (R.I. Gvozdyak с соавт., 1987; А.М. Лазарев с соавт., 2020; А.С. Дымнич с соавт., 2022; Словарева с соавт., 2025). Обострение эпифитотической обстановки с участием *E. rhapontici* (M.J. Jeger с соавт., 2023), а также необходимость обеспечить отсутствие патогена в зерновой продукции, экспортируемой из России в Китай, Судан и другие страны, обуславливают актуальность сбора и анализа сведений о биологических особенностях и методах идентификации *E. rhapontici*. Впервые фитопатоген обнаружен в 1924 году в Англии. С тех пор номенклатура бактерии многократно менялась, и в настоящее время полным утвержденным названием является *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 (G.M. Garrity с соавт., 2007). Ареал фитопатогена расположен в ряде стран Америки, Азии, Европы и Океании. Бактерия вызывает розовый бактериоз зерна у зерновых и зернобобовых культур, а также мягкую гниль и другие симптомы у растений из ботанических семейств *Actinidiaceae*, *Araceae*, *Amaranthaceae*, *Amaryllidaceae*, *Apiaceae*, *Asparagaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ericaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Moraceae*, *Poaceae*, *Polygonaceae*, *Primulaceae*, *Orchidaceae*, *Rosaceae*, *Rutaceae*, *Solanaceae*. Источником заражения служат семена, растительные остатки и почва (Н.С. Huang с соавт., 2003). Определяющим условием развития бактериоза становятся механические повреждения растений (J.E. Sellwood с соавт., 1978). Бактерия палочковидная, грамотрицательная, факультативно анаэробная, подвижная, имеет несколько перитрихальных жгутиков (Y. Hashidoko с соавт., 2002). *E. rhapontici* способна к ферментации широкого ряда углеводов, но главная особенность, отличающая ее от большинства других видов, — способность к ферментации изомальтотриозы и ее биоконверсии из сахарозы (A.J. Sardiña-Peña с соавт., 2023). Бактерия демонстрирует чувствительность к некоторым противомикробным веществам, таким как эритромицин, стрептомицин, неомицин, меропенем, энрофлоксацин, цефоперазон, цефтазидим, цiproфлоксацин, гентамицин, масло орегано и соединения, вырабатываемые *Bacillus velezensis* (Н.С. Huang с соавт., 2003; И.С. Авдеев с соавт., 2025; M.J. Simirgiotis с соавт., 2020; J. Wilson с соавт., 2023). Обнаружение *E. rhapontici* в растительном и семенном материале проводится с применением методов предварительной подготовки проб, которые заключаются в поверхностной стерилизации образцов и приготвления смывов или экстракции, иногда с последующим центрифугированием с целью повышения концентрации бактериальных клеток в пробе (D. Wang с соавт., 2017). Культура фитопатогена выделяется на средах общего назначения. Идентификацию культур проводят биохимическими, молекулярно-генетическими и масс-спектрометрическими методами. Для биохимической идентификации используют классические методы, такие как «пестрый ряд» Гисса, и коммерческие тест-системы (P.P. Салихов с соавт., 2021; К.А. Wise с соавт., 2008). В мировой практике широко используется ПЦР-амплификация различных участков генома *E. rhapontici* с последующим секвенированием (А.О. Adesemoye с соавт., 2016; J. Wang с соавт., 2022; О.Ю. Словарева с соавт., 2025). Существует несколько видоспецифичных ПЦР-тестов, мишенью которых служат различные нуклеотидные последовательности, уникальные для *E. rhapontici* (M. Tsuji с соавт., 2020; S.P. Thara с соавт., 2012; I. Gehring, K. Geider, 2012; T. Naas с соавт., 2004). Для идентификации *E. rhapontici* с высокой степенью достоверности может быть использован метод времяпролетной масс-спектрометрии с лазерной десорбцией-ионизацией при содействии матрицы (MALDI-TOF MS) (Г. Kovacs с соавт., 2020). Собранные сведения о биологических свойствах и существующих методах идентификации *E. rhapontici* могут быть использованы при разработке диагностических методик и определении перспективных направлений для дальнейшего изучения этого фитопатогена.

Ключевые слова: бактериозы зерновых культур, корончатая гниль, идентификация фитопатогенов, розовый бактериоз зерна пшеницы и ржи, MALDI-TOF, ПЦР, защита и карантин растений.

* Статья подготовлена в рамках Государственного задания, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 124022800050-6.

Болезни бактериальной этиологии — одна из причин снижения урожая сельскохозяйственных культур во всем мире (1), при этом виды бактерий рода *Erwinia* вирулентны в отношении многих экономически значимых растений (2). Например, *E. amylovora* вызывает опасное заболевание — бактериальный ожог плодовых культур, наносящее массовое поражение яблоневым садам и дикорастущим яблоням (3-5). К другим фитопатогенным представителям рода относятся *E. pyrifoliae* Kim et al. 1999 (6, 7), *E. persicina* Nao et al. 1990 (8, 9), *E. pyri* He et al. 2024 (10), *E. aphidicola* Harada et al. 1998 (11) *E. mallotivora* Goto 1976 (12), *E. tracheiphila* (Smith 1895) Bergey et al. 1923 (13, 14) и прочие.

Особенно следует заострить внимание на *E. rhapontici*, вызывающей существенные потери урожая и снижение качества растительной продукции зерновых (15, 16), зернобобовых (17, 18), плодовых (19, 20), овощных (21, 22), декоративных культур (23) и древесных растений (24). Интерес к указанному виду вызван ухудшением эпифитотической обстановки с его участием (1), а также фитосанитарным регулированием *E. rhapontici* импортерами российского зерна пшеницы (25). Бактерия имеет статус карантинного организма для как минимум 17 стран, включая Китай, Судан и Южно-Африканскую Республику (табл. 1).

1. Фитосанитарный статус *Erwinia rhapontici* в разных странах

Страна	Статус	Ссылка
Бразилия	Отсутствующий карантинный вредный организм	(26)
Буркина-Фасо	Отсутствующий карантинный организм, контролируется в отношении <i>Allium</i> sp.	(27)
Гватемала	Регулируемый карантинный объект	(28)
Гвинея-Бисау	Присутствующий карантинный организм, контролируется в отношении <i>Allium</i> sp.	(29)
Венесуэла	Карантинный вредитель	(30)
Индонезия	Карантинный объект, контролируется в отношении большого перечня сельхоз продукции, в том числе в отношении зерна пшеницы	(31)
Китай	Вредный организм, который недопустим к ввозу, если не существует надежной карантинной обработки для его обезвреживания	(32)
Колумбия	Регулируемый присутствующий вредный организм	(33)
Коста-Рика	Отсутствующий карантинный вредный организм, контролируется в отношении к <i>Allium cepa</i> , <i>Allium</i> spp.	(34)
Мали	Карантинный вредный организм, контролируется в отношении пшеницы	(35)
Никарагуа	Отсутствующий регулируемый вредный организм, контролируется в отношении зерна пшеницы	(36)
Судан	Карантинный вредный организм, контролируется в отношении зерна пшеницы	(37)
Тайвань (Китай)	Вредный организм, который недопустим к ввозу, если не существует надежной карантинной обработки для его обезвреживания	(38)
Того	Карантинный организм	(39)
Шри-Ланка	Регулируемый вредный организм	(40)
Эквадор	Отсутствующий карантинный вредный организм	(41)
ЮАР	Регулируемый организм	(42)

Объем экспорта зерна пшеницы в вышеперечисленные страны составил в 2024 году около 5,1 млн т и в 2025 году около 2,2 млн т (43).

Обеспечение фитосанитарного мониторинга участков производства, а также оценка соответствия зерновой продукции фитосанитарным требованиям стран-импортеров требует наличия диагностических методик, которые на сегодняшний день отсутствуют для *E. rhapontici*.

В настоящем обзоре рассмотрены сведения о биологических особенностях и методах идентификации *Erwinia rhapontici*.

Номенклатура и систематика. Впервые патоген был выделен в 1924 году в Англии из растения ревеня (*Rheum rhaponticum* L.) с симпто-

мами вершинной гнили (crown rot) (44). Сведения, представленные в таблице 2, демонстрируют историю изменений номенклатуры бактерии.

Полное принятое научное название бактерии — *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948, что отражено в таксономическом очерке бактерий и архей (45) и информационном ресурсе «List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature» (46), двух источниках, содержащих последние обновления номенклатуры бактерий, на которые ссылается бактериологический кодекс (47).

2. История изменений номенклатуры *Erwinia rhapontici*

Название	Авторы	Год	Ссылка
<i>Phytomonas rhapontica</i> Millard 1924	W.A. Millard	1924	(48)
<i>Aplanobacter rhaponticum</i> (Millard 1924) White 1936	H.L. White	1936	(44)
<i>Bacterium rhaponticum</i> Millard 1924	G. Metcalfe	1940	(49)
<i>Xanthomonas rhapontica</i> (Millard 1924) Savulescu 1947	T. Savulescu	1947	(50)
<i>Erwinia rhapontici</i> (Millard 2024) Burkholder 1948	W.H. Burkholder	1948	(51)
<i>Pseudobacterium rhaponticum</i> (Millard 1924) Krasil'nikov 1949	N.A. Krasil'nikov	1949	(52)
<i>Pectobacterium rhapontici</i> (Millard 1924) Patel and Kulkarni 1951	M.K. Patel, Y.S. Kulkarni	1951	(53)
<i>Erwinia rhapontici</i> (Millard 1924) Burkholder 1948	D.H. Bergey с соавт.	1957	(54)
<i>Erwinia carotovora</i> var. <i>rhapontici</i> (Millard 1924) Dye 1969	D.W. Dye	1969	(55)
<i>Erwinia rhapontici</i> (Millard 1924) Burkholder 1948	G.J. Buddingh	1975	(56)
	G.M. Garrity с соавт.	2007	(45)

В соответствии с современной классификацией (57), вид *E. rhapontici* принадлежит роду *Erwinia*, семейству *Erwiniaceae*, порядку *Enterobacterales*, классу *Gammaproteobacteria*, типу *Pseudomonadota*, царству *Pseudomonadati*, домену *Bacteria* (46).

Патогенные свойства. Возбудитель вызывает два основных вида заболеваний растений: розовый бактериоз зерна (16, 18, 62) и различные виды гнилей, сухой некроз, галлы, увядание, пятнистости и др. (22, 23, 49).

Розовый цвет зерна при заражении *E. rhapontici* обусловлен выработкой водорастворимого пигмента ферророзамина А, сопровождаемой хелатированием железа (58). То есть бактериоз характеризуется развитием дефицита железа в растениях (59). Способность к хелатированию железа позволяет *E. rhapontici* конкурировать с другими бактериями, что было показано в опытах *in vitro* на примере подавления роста *E. amylovora* (60). Инфекция семян *E. rhapontici* приводит к снижению всхожести, энергии прорастания, размера семян и, как следствие, к снижению урожая, по некоторым данным на 44 % (61). Существенно ухудшается товарный вид зерна и продуктов его переработки за счет розовой окраски (62).

Одна из важнейших особенностей *E. rhapontici* — отсутствие специфичности к растению-хозяину, что подтверждается широким перечнем поражаемых растений (табл. 3) и результатами полевых и лабораторных экспериментов (17, 63, 64). Патогенность бактерии обусловлена наличием системы секреции II типа, который отвечает за внеклеточный транспорт целлюлаз и пектиназ у *Erwinia* spp., вызывающих мягкую гниль, например у *E. carotovora* и *E. chrysanthemi* (65). По признаку проявления патогенности *E. rhapontici* ранее была отнесена к группе *carotovora* вместе с *E. carotovora* и *E. chrysanthemi*, но изучение последовательностей 16S рДНК типовых штаммов бактерий рода *Erwinia* и ДНК-ДНК гибридизация показали, что *E. rhapontici* имеет большее сходство с *E. persicinus*, *E. amylovora* и *E. cypripedii* (66). *E. rhapontici* от большинства других фитопатогенных бактерий рода *Erwinia* отличается то, что ее вирулентность предположительно не связана с ацилгомосерин лактон (AHL)-опосредованной системой чувства кворума (quorum-sen-

sing systems) (67).

3. Случаи обнаружений *Erwinia rhapontici* в разных странах

Страна (регион)	Растение	Год	Ссылка
Симптомы розового бактериоза зерна			
Канада	<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Lolium</i> sp.	1937	(98)
Канада (Онтарио)	<i>Triticum aestivum</i> L.	1958	(68)
Канада (Альберта)	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	2007	(17)
Канада (Манитоба)	<i>Phaseolus vulgaris</i> L., <i>Pisum sativum</i> L.	2007	(17)
Канада (Саскачеван)	<i>Cicer arietinum</i> L., <i>Lens culinaris</i> Medik., <i>Pisum sativum</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L.	2007	(17)
Канада (Альберта, г. Боу-Айленд)	<i>Brassica napus</i> L.	2006	(17)
США (Монтана)	<i>Pisum sativum</i> L.	2002	(18)
США (Северная Дакота)	<i>Triticum durum</i> Desf.	1984	(62)
	<i>Pisum sativum</i> L.	2008	(69)
США (Небраска)	<i>Pisum sativum</i> L.	2016	(70)
США (Айдахо)	<i>Triticum aestivum</i> L.	1990	(71)
Китай (Ганьсу)	<i>Medicago sativa</i> L.	2018	(72)
Бельгия	<i>Triticum aestivum</i> L.	1990	(15)
Франция	<i>Triticum aestivum</i> L.	1967	(98)
Великобритания	<i>Triticum aestivum</i> L.	1974	(16)
Франция	<i>Triticum aestivum</i> L.	1974	(16)
Симптомы гнилей, некрозов и др.			
Мексика (Чапинго)	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	1990	(73)
Мексика (Мехико)	<i>Spathiphyllum chopin</i> (в ориг. ст. <i>Cuna de moisis</i> var. <i>chopan</i>)	2016	(23)
Япония	<i>Eutrema wasabi</i> Maxim.	1986	(74)
Литва	<i>Hippeastrum</i> sp., <i>Dianthus</i> sp.	1995	(75)
Россия	<i>Gerbera jamesonii</i> Bolus ex Hook. f.	1987	(76)
Великобритания (посадочный материал из Нидерландов)	<i>Hyacinthus orientalis</i> L.	1978	(63)
Бывш. Чехословакия (посадочный материал из Нидерландов)	<i>Hyacinthus orientalis</i> L.	1992	(77)
Австрия (Каринтия)	<i>Pyrus</i> L.	2012	(78)
Германия	<i>Pyrus</i> L.	2012	(78)
Южная Корея (Канвондо, г. Чхунчхон)	<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm.f.) Nakai	2012	(79)
Китай (Сычуань)	<i>Actinidia chinensis</i> Planch.	2017	(20)
Япония (Тохоку)	<i>Allium cepa</i> L.	2019	(80)
Франция	<i>Mentha x piperita</i> L., <i>Melissa officinalis</i> L., <i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All.	1992	(81)
Финляндия	<i>Daucus carota</i> L.	2012	(21)
Венгрия (г. Будакези)	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	2019	(82)
Великобритания (г. Лидс)	<i>Rheum rhaponticum</i> L.	1924	(44)
Великобритания	<i>Rheum rhaponticum</i> L.	1936	(44)
Великобритания (Йоркшир)	<i>Rheum rhaponticum</i> L.	1940	(49)
Канада (Альберта)	<i>Rheum rhaponticum</i> L.	1976	(83)
Иран (Тегеран)	<i>Beta vulgaris</i> L.	1993	(84)
Китай (Хэбэй)	<i>Apium graveolens</i> var. <i>dulce</i>	2022	(22)
Украина	<i>Lycopersicon lycopersicum</i> L.	1991	(85)
Италия (Сардиния)	<i>Cyclamen persicum</i> var. <i>giganteum</i>	1993	(86)
Южная Корея	<i>Allium sativum</i> L.	1989	(87)
Южная Корея (г. Сувон)	<i>Morus</i> L.	1990	(82)
Израиль	<i>Trifolium</i> Tourn. ex L.	1955	(89)
Китай (Хубэй)	<i>Cymbidium faberi</i> Rolfe.	2010	(90)
Турция (Восточная Анатолия)	<i>Malus</i> P. Mill., <i>Pyrus</i> L., <i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm.f.) Nakai, <i>Cydonia oblonga</i> Mill., <i>Mespilus germanica</i> L., <i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	2005	(19)
Канада (Британская Колумбия)	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	2019	(91)
Симптомы заболеваний отсутствовали			
Мексика (Морелос)	<i>Agave atrovensis</i> Karw. ex Salm-Dyck, <i>A. americana</i> L.	2008	(92)
Япония	<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	2002	(93)
Япония (Дзэцу)	<i>Brassica rapa</i> ssp. <i>pekinensis</i> (Lour.) Hanelt	1985	(94)
Россия	<i>Rosa</i> L. (роза)	2020	(95)
Россия (Республика Крым)	<i>Hordeum vulgare</i> L.	2023	(96)
Россия (г. Саратов)	<i>Secale cereal</i> L.	2022	(97)

Примечание. Указано латинское название из цитирующей статьи (98), в которой английское и латинское названия не соответствуют друг другу.

Случаи обнаружения и ареал. *E. rhapontici* обнаруживали в

Америке, Азии, Европе и Океании (табл. 3), как минимум в 21 стране, а перечень растений-хозяев насчитывает по крайней мере 42 вида, принадлежащих 20 ботаническим семействам — *Actinidiaceae*, *Araceae*, *Amaranthaceae*, *Amaryllidaceae*, *Apiaceae*, *Asparagaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ericaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Moraceae*, *Poaceae*, *Polygonaceae*, *Primulaceae*, *Orchidaceae*, *Rosaceae*, *Rutaceae*, *Solanaceae*. В России отмечено только четыре случая выявления *E. rhapontici*. Из-за отсутствия должных исследований невозможно судить, насколько эта бактерия распространена по регионам и по всей стране в целом.

Способы передачи и распространения. Основным путем распространения *E. rhapontici* служат семена зерновых и зернобобовых культур (98, 99). Бактерия может сохранять жизнеспособность в семенах в течение длительного периода времени. Это было показано в 2015 году, когда *E. rhapontici* выделили из семян люцерны, хранившихся при температуре 5 °C и влажности 55 % как минимум 12 лет (71). Бактерия сохраняется в почве (17), в зараженных растительных остатках и семенах, находящихся на поверхности почвы и на глубине 6 см, выживает в зимний период и заражает растения в следующий цикл вегетации (99).

Повреждение растений ветром, градом или насекомыми на стадии формирования семян имеет решающее значение для того, чтобы *E. rhapontici* проникла в растение и вызвала розовый бактериоз зерна (63), характеризуя бактерию как условно-патогенный организм (16). G. Metcalfe (49) определял *E. rhapontici* как «раневой» фитопатоген ревеня. J. Luisetti и F. Rapilly (73) отмечали, что довольно серьезная вспышка розового бактериоза зерна пшеницы во Франции в 1966 году совпала с нашествием галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), личинки которых повреждают растения в процессе питания (100).

Морфологические и биохимические свойства. Бактерия грамотрицательная, факультативно анаэробная, подвижная, имеет форму палочки размером 0,3-0,8×0,5-1,5 мкм, с 3-7 перитрихияльными жгутиками (18, 56, 93). Многие исследования, посвященные *E. rhapontici*, дают характеристику ее ферментному составу, описывают способы культивирования и использование в производстве некоторых биологически активных веществ. Бактерия восстанавливает нитраты до нитритов, тест на каталазу положительный (93, 101), не производит индол (93). В тесте на яичный желток показатели оксидазы, уреазы и лецитиназы отрицательны (101); декарбоксилазы на аргинин, лизин, орнитин и глутаминовую кислоту по методу Меллера не обнаружены, а ДНКазы и фенилаланиндезаминаза не вырабатываются; образование фосфатазы и получение редуцирующих веществ из глюконата и из сахарозы варьирует; сероводород образуется из цистеина; большинство штаммов продуцируют ацетоин, но реакция с метиловым красным неопределенна или варьиабельна (101).

Для роста *E. rhapontici* необходимы органические соединения азота. Из различных сахаров образуется кислота с видимым выделением газа или без него (56). Показаны различия у штаммов *E. rhapontici* в кислотах, производимых в процессе расщепления углеводов (16). Более 80 % штаммов способны к гидролизу арабинозы, рибозы, глюкозы, галактозы, маннозы, фруктозы, рамнозы, сахарозы, целлибиозы, мелибиозы, лактозы, мальтозы, раффинозы, глицерина, маннита, сорбита, инозита, салицина, эскулина и β-метилглюкозида, при этом менее 20 % штаммов гидролизуют адонит и декс-

трин, способность к гидролизу ксилозы, мелезитозы, α -метилглюкозида и дульцитолу варьирует в зависимости от штамма, а казеин, крахмал и целлюлозу не гидролизует (63, 93). В то же время R. Riekkı с соавт. (65) в 2000 году показали, что все изученные ими изоляты *E. rhapontici* содержали ген *celA* или его гомолог, ответственные за выработку разрушающего целлюлозу фермента целлюлазы.

Бактерия способна к образованию кислоты из этанола и салицина, не использует в метаболизме галловую, протокатеховую, 4-гидроксibenзойную, 3,4-дигидроксикоричную, салициловую, хлорогеновую и дубильную кислоты (93). При этом *E. rhapontici* проявляет повышенную устойчивость к некоторым из перечисленных кислот. Например, при изучении антимикробной активности экстракта физалиса перуанского (*Physalis peruviana*), богатого галловой кислотой, для ингибирования роста *E. rhapontici* потребовалась концентрация экстракта в 2 раза больше, чем для вторых по устойчивости тестируемых бактерий (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), и в 8 раз больше, чем для самого чувствительного вида — *Pseudomonas syringae* (102).

E. rhapontici растет в бульоне с триптофаном, в молоке, в растворе КОН и в цитратном растворе, а также в 5 % растворе NaCl и в бульонах KCN (49, 63, 93).

Более 80 % штаммов используют в качестве источников углерода и энергии формиат, ацетат, цитрат, лактат, малат, глюконат, сукцинат, фумарат и малонат, менее 20 % — оксалат, пропионат и бензоат; использование тартрата и галактуруната варьирует в зависимости от штамма. При этом аспарагин может быть использован в качестве единственного источника углерода и азота (63). Недавние исследования M. Sinn с соавт. (103, 104) показывают, что в качестве источника азота бактерией также может использоваться гуанидин.

E. rhapontici образует шарообразные колонии в столбике питательного желатина, но сам субстрат не разжижает (49). При pH 7,0 бактерия не демонстрирует пектолитических свойств, но ≥ 80 % штаммов вызывают слабое гниение на ломтиках картофеля и лука, а некоторые и на ломтиках огурца (63).

E. rhapontici обладает важной способностью к выработке фермента сахарозоизомеразы, используемого для производства заменителей сахара — изомальтулозы и трегалулозы (105, 106). Биоконверсия сахарозы в менее доступную форму, изомальтулозу, крайне важна для *E. rhapontici*, поскольку позволяет ей успешно конкурировать с другими организмами за источник углерода и энергии (63). Помимо производства заменителей сахара, *E. rhapontici* используется в качестве агента биосинтеза α -арбутина, одного из компонентов косметических средств (107).

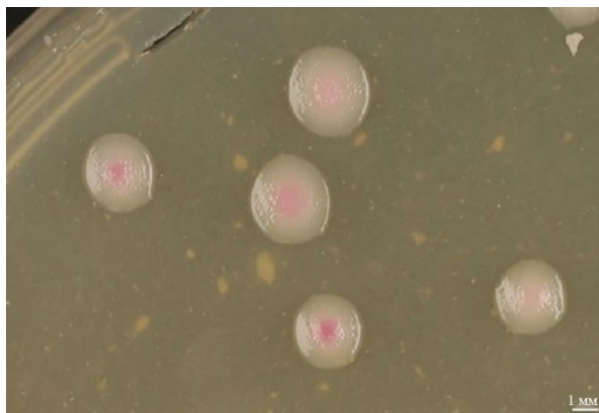
В исследовании, посвященном компонентному составу бактерий, участвующих в ферментации традиционного мексиканского алкогольного напитка пульке (pulque) из сока агавы, *E. rhapontici* была обнаружена в качестве одного из самых распространенных видов (92).

В 2023 году T. Kaur с соавт. (108) опубликовали результаты исследования, в котором выделили штамм *E. rhapontici* с мощными азотофиксирующими свойствами на пальчатом просо (*Eleusine coracana*).

На инфузионном агаре бактерия образует круглые, выпуклые, гладкие, блестящие, полупрозрачные колонии с ровными краями, которые

достигают 2-3 мм в диаметре за 48 ч при температуре 25 °С. На ревеневом агаре колонии немного крупнее, часто с желтоватым оттенком (49). На питательном агаре через 3 сут при 27 °С колонии *E. rhapontici* имеют следующий вид: беловатые, гладкие, круглые или слегка неправильной формы, приподнятые или слабо выпуклые, часто с более плотным центром, маслянистые, полупрозрачные или непрозрачные, блестящие, диаметром 1-2 мм. При той же температуре на 5 % сахарозном питательном агаре колонии становятся слизистыми по краям, с более плотной сердцевиной, а на сахарозо-пептонном агаре через 3 сут — слизистыми до полужидкого состояния (101).

Некоторые штаммы *E. rhapontici* продуцируют розовый водорастворимый диффузионный пигмент на средах, содержащих D-глюкозу, сахарозу или глицерин (63, 93) (рис.).



Колонии *Erwinia rhapontici* VНИИКР-В-0065 на Левановой среде с добавлением цитрата железа (0,05 г/л) и аспарагина (10 г/л) после 7 сут инкубирования при 27 °С (фото И.С. Авдеева).

Оптимальная температура роста бактерии составляет, по разным источникам, 25-30 °С (63, 93). Этот показатель зависит, по всей видимости, от штамма. Большинство штаммов могут расти при 36 °С, а некоторые и при более высокой температуре (63). Оптимальное значение рН для *E. rhapontici* составляет 6,0-7,0 (93).

Серия исследований позволила изучить антимикробную эффективность различных противомикробных веществ против фитопатогена. *E. rhapontici* демонстрирует чувствительность к эритромицину (98), стрептомицину, неомицину, меропенему, энрофлоксацину, цефоперазону, цефтазидиму, ципрофлоксацину, гентамицину (109) и маслу орегано (*Origanum vulgare*) (110). J. Wilson с соавт. (111) в 2023 году выявили в бактерии *Bacillus velezensis* новые ди- и трипептиды, состоящие из L-аланина и C-концевого L-фосфоноаланина (фосфоноаламиды E и F), показавшие высокую антибактериальную активность в отношении *E. rhapontici* и некоторых других фитопатогенов. Обнаружена высокая устойчивость бактерии к амоксициллину, бацитрацину, ампициллину, касугамицину, пенициллину G+, амикацину, тетрациклину и тилозину (109).

Методы выявления и идентификации. В исследуемой литературе отсутствуют сведения о целенаправленном обследовании растительных насаждений с целью обнаружения *E. rhapontici*. Находки патогена, как правило, сделаны вследствие анализа растений с признаками бактериозов. В то же время в связи с экспортными требованиями к отсутствию бактерии

в растительной продукции требуются методы обследований площадей под зерновыми культурами и отбора образцов. С этой целью может быть использован метод, при котором с каждого поля, отбирают по 5-15 стеблей, срезанных у первого междоузлия, или 15 проростков (112). Образцы необходимо упаковать таким образом, чтобы предотвратить контаминацию и повреждения, переложив растительный материал бумагой или салфетками, и хранить до проведения исследований при 2-8 °С (70, 113).

В большинстве публикаций, содержащих описание подготовки проб растений и семян для анализа, упоминается поверхностная стерилизация анализируемого материала с помощью 70-75 % этанола и последующего промывания стерильной дистиллированной водой (20, 69, 114). При стерилизации материала для последующей прямой изоляции бактерий пораженные ткани срезают, промывают водой, подсушивают полотенцами, погружают в этанол на 3 с и кратковременно обжигают (70). Для последующей подготовки проб посредством экстракции или смыва материал отбирают на границе больной и здоровой ткани (20, 113). Смыв проводят с использованием стерильной воды (20), а для экстракции применяют фосфатно-солевой буфер или 0,9 % физиологический раствор (22, 112, 113). Полученный экстракт или смыв может быть подвергнут центрифугированию для повышения концентрации бактерий в пробе (96, 112, 113).

Для подготовки проб семян зерновых и зернобобовых культур используют метод, основанный на размягчении семян посредством замачивания в солевом буфере, раздроблении и концентрировании бактериальных клеток с помощью высокоскоростного центрифугирования (115-117). Для изоляции и культивирования *E. rhapontici* используют различные, в том числе готовые, питательные среды, такие как среда Кинга Б, LB agar (Luria-Bertani), дрожжевой пептон, картофельный пептонно-глюкозный агар, картофельный декстрозный агар, дрожжевая декстрозная карбонатная среда, казаминный пептонно-глюкозный агар (20, 22, 74), DSMZ Medium 1a, CIP Medium 3, Колумбийский агар (118), питательный агар с дрожжевым экстрактом (NBY) (18), пептонно-дрожжевой агар (69), триптон-соевый агар (TSA) и сахарозо-пептонный агар (SPA) (43, 70). Следует учитывать морфологические различия колоний возбудителя, выделенного на разных питательных средах. Выделение розового пигмента среди множества видов бактерий встречается нечасто, что может облегчить задачу в идентификации, но некоторые штаммы *E. rhapontici* не выделяют его ни при каких условиях среды (22).

Характеристика бактериальных культур может быть проведена с использованием классических биохимических тестов и коммерческих тест-систем — API 50CHE и системы MIDI (69, 97). Примером классического теста служит пестрый ряд Гисса, который позволяет выявить сахаролитические свойства штаммов (119). Высокая степень вариабельности биохимических признаков изолятов *E. rhapontici* делает ее крайне сложным объектом в идентификации (84), повышая актуальность разработки и применения молекулярных методов идентификации бактерии.

В мировой практике для идентификации *E. rhapontici* успешно применяют амплификацию последовательностей различных участков генома с последующим секвенированием (22, 70, 96), а также видоспецифичные тесты (табл. 4).

4. Праймеры, используемые для молекулярно-генетической идентификации *Erwinia rhapontici*

Праймер	Последовательность 5'→3'	Ген	Ссылка	Комбинация праймеров
Праймеры для амплификации универсальных участков бактериального генома				
27F	AGAGTTTGATCMTGGCTCAG	16S-23S рPHK	(120)	27F/1492R
1492R	GGTTACCTTGTTACGACTT			
27F-YM	AGAGTTTGATYMTGGCTCAG		(121)	27F-YM/907R
907R	CCGTC AATTCM TTTGAGTTT		(122)	
G1	GAAGTCGTAACAAGG	16S-23S рДНК	(21)	G1/L1
L1	CAAGGCATCCACCGT			
Eu530F	TGACTGGAGTGCCAGCAGCCGCGG		(92)	Eu530F/Eu1449R
Eu1449R	TGACTGACTGAGGCTACCTTGTACGACTT			
Праймеры для амплификации участков генов «домашнего хозяйства»				
acnA3F	CMAGRGRTRTRATGCARGAYTTTAC	<i>acnA</i>	(114)	acnA3F/acnA3R
acnA3R	GATCATGGTGGTRTGS GARTCVGT			
gapA326F	ATCTTCCTGACCGACGAAACTGC	<i>gapA</i>		gapA326F/gapA845R
gapA845R	ACGTCATCTTCGGTGTAAACCCAG			
icdA400F	GGTGGTATCCGTTCTCTGAACG	<i>icdA</i>		icdA400F/icdA977R
icdA977R	TAGTCGCCGTT CAGGTT CATA CA			
mdh86F	CCCAGCTTCCTCAGGTT CAGA	<i>mdh</i>		mdh86F/mdh628R
mdh628R	CTGCATTCTGAATACGTTTGGTCA			
mtlD146F	GGCCGGTAATATCGGCCGTTGG	<i>mtlD</i>		mtlD146F/mtlD650R
mtlD650R	CATTCGCTGAAGGTTTCCACCGT			
mtIDF	CTGYTGGATGCICTSAACMGYCG			mtIDF/mtDR
mtDR	TCCACRGC RGAATCWACRAATCC			
pgi815F	TGGGTCCGGCGGCTTCG	<i>pgi</i>		pgi815F/pgi1396R
pgi1396R	TGCCTTCGAATACTTTGAACGGC			
pgiF2	CTGT CYACCAATGCSAAAGCCG			pgiF2/pgiR2
pgiR2	CAGCAGGATGGAGTTGGTCCG			
pgiF	TCTYTIGGJITTTGAKAAYTTTGA			pgiF/pgiF
pgiR	YGCCGCGYIAAATTCIGCTTC			
proAF1	CGGYAATGCGGTGATTCGCG	<i>proA</i>		proAF1/proAR1
proAR1	GGGTA CTGACCGCCACTTC			
recA1	GGTAAAGGGTCTATCATCGC	<i>recA</i>	(123)	recA1/recA2
recA2	CCTTACCATA CATAATTTGGA			
gyrA1	TGGTGACGCGTTCGTACCAAT	<i>gyrA</i>		gyrA1/gyrA4
gyrA4	GCAGAGAACAGCATCGCTTC			
rpoS1	ATGAGCCAAAGTACGCTGAA	<i>rpoS</i>		rpoS1/rpoS2
rpoS2	ACCTGAATCTGACGAACACG			
Праймеры для проведения видоспецифичных ПЦР-тестов				
TSU01	CCCTGAAGCCATCACTTATT	<i>rpoD</i>	(74)	TSU01/TSU02
TSU02	AACACACAGCTCAGGATG			
isoRF	CCTGCAGTGCCGGGCCAGAT	<i>NX-5</i>	(79)	isoRF/isoRR
isoRR	AGTGTGACTGTTGTTTTCAG			
recA_8	TTGGGCGTGGATATCGAC	<i>RecA</i>	(79)	recA_8/recA_8c
recA_8c	CACTTTAACGCGGTCTCA			
gpd_8	GGGATGCAGTAAGCGTC	<i>gpd</i>		gpd_8/gpd_8c
gpd_8c	CTTCAACGATACCGAAGTC			
ERH-1A	AGTGGCGGTCTGGTAAAAG	<i>ampC</i>	(124)	ERH-1A/ERH-1B
ERH-1B	AAGCATCTCCAGCCAAGTC			

В то же время в литературе отсутствуют публикации с описанием тестов ПЦР в режиме реального времени (ПЦР-РВ/Real-time PCR) и каких-либо других диагностических экспресс-методов.

Для идентификации *E. rhapontici* с высокой степенью достоверности может быть использован метод MALDI-TOF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization—Time-of-Flight Mass Spectrometry) (82), основанный на времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией-ионизацией (125). Отметим, что для эффективного применения MALDI-TOF MS требуется наличие в библиотеке прибора максимально возможного числа белковых профилей искомой бактерии.

Таким образом, анализ научных публикаций показывает, что патогенные свойства *Erwinia rhapontici* проявляются на растениях как минимум 20 ботанических семейств. Фитопатоген широко распространен в странах мира, при этом было только четыре случая его выявления на территории Российской Федерации. В то же время бактерия может нанести существенный ущерб урожаю сельскохозяйственных культур и стать причиной ограничения экспорта российского зерна. Штаммы *E. rhapontici* обладают высокой степенью вариабельности биохимических признаков, что делает классические тесты малопригодными для идентификации бактерии при отсутствии иных диагностических методов. Кроме того, для регулирования фитопатогена как вида, значимого для экспорта, необходимы экспресс-методы диагностики. Дальнейшие исследования, на наш взгляд, должны включать разработку тестов ПЦР-РВ как для тестирования чистых бактериальных культур, так и анализа растительных экстрактов. Это будет возможно только при наличии большого числа штаммов *E. rhapontici* и их полногеномных последовательностей. Особенно важен для указанной цели поиск штаммов российского происхождения, преимущественно с зерновых культур, поскольку экспресс-методы анализа будут применяться при проверке экспортируемого Россией зерна. Выделенные штаммы должны быть включены в библиотеку MALDI, чтобы в будущем обеспечить еще большую достоверность идентификации. Другим перспективным направлением служит разработка селективной питательной среды, которая позволит ускорить процесс изоляции новых штаммов *E. rhapontici*. Эта задача может быть выполнена с использованием представленных в настоящей работе сведений о чувствительности и толерантности бактерии к различным противомикробным веществам.

¹ФГБУ Всероссийский центр карантина растений,
140150 Россия, Московская обл., м.о. Раменский,
пгт. Быково, ул. Пограничная, 32,
e-mail: avdeevfey@mail.ru ✉, ksushik96@mail.ru, slova-
reva.olga@gmail.com;

²ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы,
117198 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Поступила в редакцию
21 апреля 2025 года
Принята к публикации
6 июля 2025 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2026, V. 61, № 1, pp. 40-56

BIOLOGICAL FEATURES AND IDENTIFICATION METHODS OF *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 (review)

I.S. Avdeev^{1, 2} ✉, K.V. Panchenko¹, O.Yu. Slovaeva^{1, 2}

¹All-Russian Plant Quarantine Center, 32, ul. Pgranichnaya, Bykovo, Ramensky Municipal District, Moscow Province, Russia 140150, e-mail avdeevfey@mail.ru (✉ corresponding author), ksushik96@mail.ru, slovaeva.olga@gmail.com
²RUDN University, 6, ul. Miklouho-Maclay, Moscow, Russia 117198

ORCID:

Avdeev I.S. orcid.org/0009-0006-9266-7073

Slovaeva O.Yu. orcid.org/0000-0001-6022-5955

Panchenko K.V. orcid.org/0009-0007-1308-8645

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Written within the framework of the State assignment, registration number EGISU NIOKTR 124022800050-6

Final revision received April 21, 2025

doi: 10.15389/agrobiol.2026.1.40eng

Accepted July 06, 2025

Abstract

The phytopathogenic bacterium *Erwinia rhapontici* (= *Pectobacterium rhapontici*) causes

bacteriosis in a number of crops and causes significant economic damage in its distribution areas (H.C. Huang et al., 2003). In Russia, *E. rhapontici* as a phytopathogen has been poorly studied, and only four cases of its detection are known (R.I. Gvozdyak et al., 1987; A.M. Lazarev et al., 2020; A.S. Dymnich, E.V. Glinskaya, 2022; O.Yu. Slovaeva et al. 2025). Exacerbation of the epiphytotic situation involving *E. rhapontici* (M.J. Jeger et al., 2023), as well as the need to ensure the absence of a pathogen in exported from Russia to China, Sudan, etc. grain products, determine the relevance of collecting and analyzing information on the biological features and identification methods of *E. rhapontici*. The phytopathogen was first discovered in 1924 in England. Since then, the nomenclature of the bacterium has changed many times, and currently the full approved name is *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 (G.M. Garrity et al., 2007). The range of the phytopathogen is located in a number of countries in America, Asia, Europe and Oceania. The bacterium causes pink grain bacteriosis in cereals and legumes, as well as mild rot and other symptoms in a wide range of plants from such botanical families as *Actinidiaceae*, *Araceae*, *Amaranthaceae*, *Amaryllidaceae*, *Apiaceae*, *Asparagaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ericaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Moraceae*, *Poaceae*, *Polygonaceae*, *Primulaceae*, *Orchidaceae*, *Rosaceae*, *Rutaceae*, *Solanaceae*. The source of infection is seeds, plant residues and soil (H.C. Huang, R.S. Erickson, 2003). The determining condition for the development of bacteriosis is mechanical damage to plants (J.E. Sellwood, R.A. Lelliott, 1978). The bacterium is rod-shaped, gram-negative, facultatively anaerobic, motile, and has several peritrichial flagella (Y. Hashidoko et al., 2002). *E. rhapontici* is capable of fermenting a wide range of carbohydrates, but the main feature that distinguishes it from most other species is its ability to ferment isomaltulose and its bioconversion from sucrose (A.J. Sardica-Peca et al., 2023). The bacterium demonstrates sensitivity to certain antimicrobial substances, such as erythromycin, streptomycin, neomycin, meropenem, enrofloxacin, cefoperazone, ceftazidime, ciprofloxacin, gentamicin, oregano oil and compounds produced by *Bacillus velezensis* (H.C. Huang et al., 2003; I.S. Avdeev et al. 2025; M.J. Simirgiotis et al., 2020; J. Wilson et al., 2023). Detection of *E. rhapontici* in plant and seed material is carried out using pre-sample preparation methods, which consist in surface sterilization of samples and preparation of flushes or extraction, sometimes followed by centrifugation in order to increase the concentration of bacterial cells in the sample (D. Wang et al., 2017). The culture of the phytopathogen is isolated on general purpose media. The isolated cultures are identified by biochemical, molecular genetic, and mass spectrometric methods. Classical methods such as Hiss's "Color Row" and commercial test systems are used for biochemical identification (R.R. Salikhov et al., 2021; K.A. Wise et al., 2008). PCR amplification of various regions of the *E. rhapontici* genome, followed by sequencing, is widely used worldwide (A.O. Adesemoye et al., 2016; J. Wang et al., 2022; O.Yu. Slovaeva et al. 2025). There are several species-specific PCR assays that target different nucleotide sequences unique to *E. rhapontici* (M. Tsuji et al., 2020; S.P. Thapa et al., 2012; I. Gehring, K. Geider, 2012; T. Naas et al., 2004). Time-of-flight mass spectrometry with laser desorption-ionization assisted by a matrix (MALDI-TOF MS) can be used to identify *E. rhapontici* with a high degree of reliability (T. Kovacs et al., 2020). The collected information on the biological properties and existing methods of identification of *E. rhapontici* can be used in the development of diagnostic techniques and identification of promising areas for further study of this phytopathogen.

Keywords: bacterioses of grain crops, crown rot, identification of phytopathogens, pink grain of wheat and rye, MALDI-TOF, PCR, plant protection and quarantine.

REFERENCES

1. Jeger M.J., Fielder H., Beale T., Szyniszewska A.M., Parnell S., Cunniffe N.J. What can be learned by a synoptic review of plant disease epidemics and outbreaks published in 2021? *Phytopathology*, 2023, 113(7): 1141-1158 (doi: 10.1094/PHYTO-02-23-0069-IA).
2. Pilgrim J. Comparative genomics of a novel *Erwinia* species associated with the Highland midge (*Culicoides impunctatus*). *Microbial Genomics*, 2024, 10(4): 001242 (doi: 10.1099/mgen.0.001242).
3. Talhi L., Barbé S., Navarro-Herrero I., Sebahia M., Marco-Noales E. Intraspecific diversity of *Erwinia amylovora* strains from northern Algeria. *BMC Microbiol.*, 2024, 24(1): 389 (doi: 10.1186/s12866-024-03555-3).
4. Drenova N.V., Shamshin I.N., Dubrovskiy M.L., Maslova M.V., Ignatov A.N., Dzhailov F.S. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2024, 76: 99-112 (doi: 10.31676/2073-4948-2024-76-99-112) (in Russ.).
5. Jo S.J., Kim S.G., Lee Y.M., Giri S.S., Kang J.W., Lee S.B., Jung W.J., Hwang M.H., Park J., Cheng C., Roh E., Park S.C. Evaluation of the antimicrobial potential and characterization of novel T7-like *Erwinia* bacteriophages. *Biology (Basel)*, 2023, 12(2): 180 (doi: 10.3390/biology12020180).
6. Ham H., Kim K., Yang S., Kong H.G., Lee M.H., Jin Y.J., Park D.S. Discrimination and

- Detection of *Erwinia amylovora* and *Erwinia pyrifoliae* with a single primer set. *Plant Pathol. J.*, 2022, 38(3): 194-202 (doi: 10.5423/PPJ.OA.03.2022.0027).
7. Choi J.H., Kim J.Y., Park D.H. Evidence of greater competitive fitness of *Erwinia amylovora* over *E. pyrifoliae* in Korean isolates. *Plant Pathol. J.*, 2022, 38(4): 355-365 (doi: 10.5423/PPJ.OA.04.2022.0056).
 8. Yao B., Huang R., Zhang Z., Shi S. Seed-borne *Erwinia persicina* affects the growth and physiology of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Front. Microbiol.*, 2022, 13: 891188 (doi: 10.3389/fmicb.2022.891188).
 9. Wasendorf C., Schmitz-Esser S., Eiseheid C.J., Leyhe M.J., Nelson E.N., Rahic-Seggerman F.M., Sullivan K.E., Peters N.T. Genome analysis of *Erwinia persicina* reveals implications for soft rot pathogenicity in plants. *Front. Microbiol.*, 2022, 13: 1001139 (doi: 10.3389/fmicb.2022.1001139).
 10. He L., Huang R., Chen H., Zhao L., Zhang Z. Discovery and characterization of a novel pathogen *Erwinia pyri* sp. nov. associated with pear dieback: taxonomic insights and genomic analysis. *Front. Microbiol.*, 2024, 15: 1365685 (doi: 10.3389/fmicb.2024.1365685).
 11. Valenzuela M., MacLellan M.P., Guajardo J., Dorta F., Seeger M., Dutta B. First report of *Erwinia aphidicola* causing bulb rot of onion in Chile. *Plant Disease*, 2024, 108(9): 2915 (doi: 10.1094/PDIS-05-24-1020-PDN).
 12. Waje A.F., Lantican D.V., Pathania N., Dela Cueva F.M. Draft genomes of six philippine *Erwinia mallozivora* isolates: comparative genomics and genome-wide analysis of candidate secreted proteins. *Curr. Microbiol.*, 2022, 79(6): 164 (doi: 10.1007/s00284-022-02857-x).
 13. Olawole O.I., Gleason M.L., Beattie G.A. Expression and functional analysis of the type III secretion system effector repertoire of the xylem pathogen *Erwinia tracheiphila* on cucurbits. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2022, 35(9): 768-778 (doi: 10.1094/MPMI-01-22-0002-R).
 14. Fu B., Zhai Y., Gleason M., Beattie G.A. Characterization of *Erwinia tracheiphila* Bacteriophage FBBI isolated from spotted cucumber beetles that vector *E. tracheiphila*. *Phytopathology*, 2021, 111(12): 2185-2194 (doi: 10.1094/PHYTO-03-21-0093-R).
 15. Dutrecq A., Debras P., Stevaux J., Klaessens D. Estimation of bacterial flora on scalded wheat heads. *Parasitica*, 1990, 2-3(46): 69-84.
 16. Roberts P. *Erwinia rhapontici* (Millard) Burkholder associated with pink grain of wheat. *The Journal of Applied Bacteriology*, 1974, 37: 353-358.
 17. Huang H.C., Erickson R.S., Hsieh T.F. Lack of host specificity of strains of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed of pulse and cereal crops. *Botanical Studies*, 2007, 2(48): 181-186.
 18. Schroeder B.K., Lupien S.L., Dugan F.M. First report of pink seed of pea caused by *Erwinia rhapontici* in the United States. *Plant Disease*, 2002, 2(86): 188 (doi: 10.1094/PDIS.2002.86.2.188A).
 19. Kotan R., Sahin F., Ala A. Identification and pathogenicity of bacteria isolated from pome fruit trees in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2006, 113(1): 8-13.
 20. Wang D., Yang X., Chen H., Kan Y.Y., Yao J.X., Li Q., Liu Y., Gong G.S., Yang H. First report of *Erwinia rhapontici* causing bacterial leaf spot on kiwifruit in China. *Plant Disease*, 2017, 101(7): 1315 (doi: 10.1094/PDIS-10-16-1408-PDN).
 21. Kahala M., Blasco L., Joutsjoki V. Molecular characterization of spoilage bacteria as a means to observe the microbiological quality of carrot. *Journal of Food Protection*, 2012, 75(3): 523-532 (doi: 10.4315/0362-028X.JFP-11-185).
 22. Wang J., Han W., Pan Y., Guo A., Zhang D., Zhao D., Li Q., Zhu J., Yang Z. First report of stalk rot of celery caused by *Erwinia rhapontici* in China. *Plant Disease*, 2022, 106(5): 1513 (doi: 10.1094/PDIS-07-21-1364-PDN).
 23. Ramírez-Rojas S., Osuna-Canizalez F.J., García-Pérez F., Canul-Ku J., Palacios-Talavera A., Hernández-Romano J., Ornelas-Ocampo K., Landa-Salgado P. Molecular identification of bacteria associated to ornamental plants obtained in vitro. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 2016, 34(2): 173-183 (doi: 10.18781/R.MEX.FIT.1511-3).
 24. Mayboroda V.A. *Naukoviy visnik NLTU Ukraini*, 2010, 20(12): 27-34.
 25. Slovareva O.Yu. *Agrarniy vestnik Severnogo Kavkaza*, 2023, 3(51): 47-54 (in Russ.).
 26. *Cpisok otsutstvuyushchikh karantinnikh vrednikh organizmov (PQA) dlya Brazili* [List of missing quarantine pests (PQAs) for Brazil]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/braziliya/jeksport-zerna-3/>. Accessed: 12/10/2025.
 27. *Normativnie akti, zakon o karantine rasteniy i perechen' karantinnikh vrednikh organizmov dlya Burkina-Faso, perevod* [Normative acts, plant quarantine law and list of quarantine pests for Burkina Faso, translation]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/burkina-faso/burkina-faso-fitosanitarnye-trebovaniya/>. Accessed: 12/20/2025.
 28. *Fitosanitarnie trebovaniya Gvatemali* [Phytosanitary requirements of Guatemala]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/gvatemala/export-37/>. Accessed: 04/19/2025.

29. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot Guinea-Bissau*. [*Quarantine pests and diseases in Guinea Bissau*]. Available: https://assets.ipcc.int/static/media/files/reportingobligation/2022/07/22/Organismos_nocivos_de_quarentenada_Guiné-Bissau.pdf. Accessed: 02/09/2026.
30. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Venesueli* [List of quarantine pests of Venezuela]. Available: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/files/ehksport-import/venezuela/perechen_quarantin.pdf. Accessed: 04/19/2025.
31. *Spisok karantinnikh ob'ektov dlya Indonezii* [List of quarantine objects for Indonesia]. Available: https://fsvps.gov.ru/sit-es/default/files/fsvps-docs/ru/importExport/indonezia/files/phyto_quarantin_list.pdf. Accessed: 04/19/2025.
32. *Karantinnie trebovaniya k importu rasteniy ili rastitel'noy produktsii v Kitayskuyu Respubliku* [Quarantine requirements for the import of plants or plant products into the Republic of China]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/karantinnye-trebovaniya-k-importu-rastenij-ili-rastitelnoj-produktsii-v-kitajskuju-respubliku/>. Accessed: 04/19/2025.
33. *Perechen' vrednikh organizmov Kolumbii* [List of harmful organisms of Colombia]. Available: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/importExport/columbia/files/export_denied_list.pdf. Accessed: 04/19/2025.
34. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Kosta-Riki* [List of quarantine pests of Costa Rica]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnih-vrednyh-organizmov-kosta-riki/>. Accessed: 04/19/2025.
35. *Fitosanitarnie trebovaniya Mali 2015* [Phytosanitary requirements of Mali 2015]. Available: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/fsvps-docs/ru/importExport/mali/files/phyto_mali_new.pdf. Accessed: 04/19/2025.
36. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Nikaragua* [List of quarantine pests of Nicaragua]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnih-vrednyh-organizmov-nikaragua/>. Accessed: 04/19/2025.
37. *Perechen' karantinnikh vrednikh ob'ektov Sudana* [List of quarantine pests of Sudan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/sudan/export-143/>. Accessed: 04/19/2025.
38. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya dlya vvoza rasteniy i rastitel'noy produktsii v Tayvan' (Kitay)* [Phytosanitary quarantine requirements for import of plants and plant products into Taiwan (China)]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/tayvan-kitay/export-149/>. Accessed: 04/19/2025.
39. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot Togo*. [*Lists of regulated pests in Togo*]. Available: https://assets.ipcc.int/static/media/files/reportingobligation/2024/02/19/Arrete_portant_ét-ablissement_des_listes_des_organismes_nuisibles_règlementés_du_Togo.pdf. Accessed: 02/09/2026.
40. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya s perechnem karantinnikh vrednikh organizmov Shri-Lanka* [Quarantine phytosanitary requirements with a list of quarantine pests of Sri Lanka]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/karantinnye-fitosanitarnye-trebovaniya-s-perechnem-karantinnih-vrednyh-organizmov/>. Accessed: 04/19/2025.
41. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Ekvadora* [List of quarantine pests of Ecuador]. Available: <https://fsvps.gov.ru/fil-es/perechen-karantinnih-vrednyh-organizmov-jekvadora/>. Accessed: 04/19/2025.
42. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot South Africa. Importation of controlled goods without an import permit* [List of Regulated Pests from South Africa]. Available: https://assets.ipcc.int/static/media/files/reportingobligation/2015/04/10/1162888824234_R._1013_Master_Document_2013090215-25En.pdf. Accessed: 02/09/2026.
43. «Argus-Fito» — *Federal'naya gosudarstvennaya informatsionnaya sistema (FGIS)* ["Argus-Fito" — Federal State Information System (FSIS)]. Available: <http://argusfito.fitorf.ru>. Accessed: 02/05/2026.
44. White H.L. Diseases of early vegetables. *Rep. Exp. Sta. Cheshunt.*, 1936, 42-43.
45. Garrity G.M., Lilburn T.G., Cole J.R., Harrison S.H., Euzéby J., Tindall B.J. *The taxonomic outline of bacteria and archaea, Release 7.7*. Michigan State University Board of Trustees, 2007 (doi: 10.1601/toba7.7).
46. Parte A.C., Sarda Carbasse J., Meier-Kolthoff J.P., Reimer L.C., Göker M. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2020, 70(11): 5607-5612 (doi: 10.1099/ijsem.0.004332).
47. Oren A., Arahall D.A., Göker M., Moore E.R.B., Rossello-Mora R., Sutcliffe I.C. International Code of Nomenclature of Prokaryotes. Prokaryotic Code (2022 Revision). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2023, 73(5a): 005585 (doi: 10.1099/ijsem.0.005585).
48. Millard W.A. Crown rot of rhubarb. *Yorks. Council Agr. Ed. Bull.*, 1924, 138: 28.
49. Metcalfe G. *Bacterium rhaponticum* (Millard) Dowson, A cause of crown-rot disease of rhubarb. *The Annals of Applied Biology*, 1940, 27: 502-508.

50. Savulescu T. Contribution a la classification des bacteriacees phytopathogenes. *Anal. Acad. Romane*, 1947, 22(4): 1-26.
51. Breed R.S., Murray E.G.D., Hitchens A.P. In: *Bergey's manual of determinative bacteriology*, 6th ed. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1948: 463-478.
52. Krasil'nikov N.A. Guide to the Bacteria and *Actinomycetes* [Opredelitel'v Bakterii i *Actinomycetov*]. *Akad. Nauk SSSR*, 1949, 222-241.
53. Patel M.K., Kulkarni Y.S. Nomenclature of bacterial plant pathogens. *Indian Phytopathology*, 1951, 4: 74-84.
54. Bergey D.H., Breed R.S., Murray R.G.E., Smith N.S. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. *ASM*, 1957, Ed. 7: 359.
55. Dye D.W. A taxonomic study of the genus *Erwinia*. II. The 'carotovora' group. *N.Z. J. Sci.*, 1969, 12: 81-97.
56. Buddingh G.J. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Eighth edition. R.E. Buchanan, N.E. Gibbons (eds.). Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1975: 333-339.
57. Goker M., Oren A. Valid publication of names of two domains and seven kingdoms of prokaryotes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2024, 74(1): 6242 (doi: 10.1099/ijsem.0.006242).
58. Feistner G., Korth H., Ko H., Pulverer G., Budzikiewicz H. Ferrerosamine A from *Erwinia rhapontici*. *Current Microbiol.*, 1983 8(4): 239-243 (doi: 10.1007/BF01579553).
59. Feistner G.J., Mavridis A., Rudolph K. Proferrerosamines and phytopathogenicity in *Erwinia* spp.. *Biometals*, 1997, 1(10): 1-10 (doi: 10.1023/a:1018397031232).
60. Born Y., Remus-Emsermann M.N.P., Bieri M., Kamber T., Piel J., Pelludat C. Fe²⁺ chelator proferrerosamine A: a gene cluster of *Erwinia rhapontici* P45 involved in its synthesis and its impact on growth of *Erwinia amylovora* CFBP1430. *Microbiology*, 2016, 162(2): 236-245 (doi: 10.1099/mic.0.000231).
61. Huang H.C., Erickson R.S. Impact of pink seed of pea caused by *Erwinia rhapontici* in Canada. *Plant Pathology Bulletin*, 2004, 13(4): 261-266 (doi: 10.6649/PPB.200412_13(4).0003).
62. McMullen M.P., Stack R.W., Miller J.D., Bromel M.C., Youngs V.L. *Erwinia rhapontici*, a bacterium causing pink wheat kernels. *Proceedings of the North Dakota Academy of Sciences*, 1984, 38: 78.
63. Sellwood J.E., Lelliott R.A. Internal browning of hyacinth caused by *Erwinia rhapontici*. *Plant Pathology*, 1978, 27(3): 120-124 (doi: 10.1111/j.1365-3059.1978.tb01095.x).
64. Avdeev I.S., Slovaeva O.Yu. *Sadovodstvo i pitomnikovodstvo Rossii: sovremennye tendentsii, problemi i perspektivi*, 2024, 2912(500): 17-21 (in Russ.).
65. Riekkilä R., Palomäki T., Virtaharju O., Kokko H., Romantschuk M., Saarilahti H.T. Members of the amylovora group of *Erwinia* are cellulolytic and possess genes homologous to the type II secretion pathway. *Mol. Gen. Genet.*, 2000, 263(6): 1031-1037 (doi: 10.1007/pl00008691).
66. Kwon S.W., Go S.J., Kang H.W., Ryu J.C., Jo J.K. Phylogenetic analysis of *Erwinia* species based on 16S rRNA gene sequences. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1997, 47(4): 1061-1067 (doi: 10.1099/00207713-47-4-1061).
67. Morohoshi T, Nameki K, Someya N. Comparative genome analysis reveals the presence of multiple quorum-sensing systems in plant pathogenic bacterium, *Erwinia rhapontici*. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2021, 85(8): 1910-1914 (doi: 10.1093/bbb/zbab104).
68. Campbell W.P. A cause of pink seeds in wheat. *Plant Disease Reporter*, 1958, 42: 1272.
69. Wise K.A., Zhao Y.F., Bradley C.A. First report of pink seed of pea caused by *Erwinia rhapontici* in North Dakota. *Plant Disease*, 2008, 92(2): 315 (doi: 10.1094/PDIS-92-2-0315A).
70. Adesemoye A.O., Wei H.H., Harveson R.M. Identification of *Erwinia rhapontici* as the causal agent of crown and shoot rot and pink seed of pea in Nebraska. *Plant Health Progress*, 2016, 17(3): 155-157 (doi: 10.1094/PHP-BR-15-0056).
71. Forster R.L., Bradbury J.F. Pink seed of wheat caused by *Erwinia rhapontici* in Idaho. *Plant Disease*, 1990, 74(1): 81 (doi: 10.1094/PD-74-0081C).
72. Zhang Z. F., Shi S. L., Su J. First report of pink seed of lucerne caused by *Erwinia rhapontici* in China. *Plant Disease*, 2018, 102(6): 1171 (doi: 10.1094/PDIS-07-17-1089-PDN).
73. Gonzalez M.L., Rodriguez M.M de L. Isolation, identification and pathogenicity of bacteria of *Amaranthus hybridus* L. and possibilities of their biological control. *Revista Chapingo*, 1990, 15: 66-69.
74. Tsuji M., Kadota I., Takikawa Y. Genetic and phenotypic characterization of bacterial strains isolated in Japan that resemble *Erwinia rhapontici* and *E. persicinus*. *J. Gen. Plant. Pathol.*, 2020, 1(86): 24-33 (doi: 10.1007/s10327-019-00873-7).
75. Snieškienė V. Bacterial diseases found in Lithuania in 1983-1994 in flowers grown on closed ground. *Biologija*, 1995, 3-4: 148-149.
76. Gvozdyak R.I., Ogorodnik L.E., Yakovleva L.M., Romanenko V.M. Biology of the pathogens of bacterial rot of *Gerbera*. *Mikrobiologicheskii Zhurnal*, 1987, 49: 7-11.

77. Kokošková B. The appearance of *Erwinia rhapontici* on hyacinth in Czechoslovakia. *Ochrana Rostlin*, 1992, 2(28): 146-148.
78. Gehring I., Geider K. Identification of *Erwinia* species isolated from apples and pears by differential PCR. *Journal of Microbiological Methods*, 2012, 89(1): 57-62 (doi: 10.1016/j.mimet.2012.01.018).
79. Thapa S.P., Cho S.Y., Hur J.H., Lim C.K. Phenotypic and genetic characterization of *Erwinia rhapontici* isolated from diseased Asian pear fruit trees. *Phytoparasitica*, 2012, 40(5): 507-514 (doi: 10.1007/s12600-012-0251-3).
80. Tsuji M., Nagasaka A., Kadota I. Causal agent of bacterial rot of onion (*Allium cepa*) bulbs in the Tohoku region of Japan. *Jpn. J. Phytopathol.*, 2019, 85(3): 205-210 (doi: 10.3186/jjphyto-path.85.205).
81. Tharreau D., Gaignard J.L., Luisetti J., Gibbon C.B. Presence d'une microflore bacterienne abondante et variee a la surface de trois plantes aromatiques et medicinales. *Herba Gallica*, 1992, 2: 79-89.
82. Kovacs T., Schneider G., Nagy I.K., Ravasz S.L., Rakhely G., Kovacs K., Ball D. First report of *Erwinia rhapontici* causing bacterial rot on peach, detected in Hungary. *Plant Disease*, 2020, 104(12): 3248 (doi: 10.1094/PDIS-04-20-0868-PDN).
83. Letal J.R. Crown rot of rhubarb in Alberta. *Canadian Plant Disease Survey*, 1976, 56: 67-68.
84. Hassanzadeh N. Taxonomic study on some bacterial plant pathogens in Iran. *Appl. Entomol. Phytopathol.*, 1993, 1-2(60): 17-18.
85. Shaban M.A., Kabashnaya L.V., Gvozdyak R.I., Vakulenko A.K. Bacteria of genus *Erwinia*: Pathogens of tomato diseases in the Ukraine (USSR). *Mikrobiologicheskii zhurnal*, 1991, 53: 58-63.
86. Carta C. *Erwinia rhapontici* (Millard) Burkholder: a new report from cyclamen (*Cyclamen persicum* Mill.). *Phytopathologia Mediterranea*, 1993, 3(32): 257-260.
87. Choi J.E., Han K.S. Studies on the bacterial soft rot disease of *Liliaceae* crops in Korea: 2. Soft rot of garlic caused by *Erwinia*. *The Plant Pathology Journal*, 1989, 3(5): 271-276.
88. Choi S.H., Kim Y.T., Lee K.H., Kim C.U. The shoot and stem rot of mulberry caused by *Erwinia rhapontici*. *The Plant Pathology Journal*, 1990, 1(6): 106-112.
89. Volcani Z. *Erwinia rhapontici* pathogenic to citrus fruits. *Bull. Res. Council. Isr.*, 1955, 5: 129-130.
90. Chu X.L., Yang B., Gao L., Li H.L., Hu L., Yang N. Species diversity of cultivable bacteria isolated from the roots of *Cymbidium faberi* Rolfe. *J. Wuhan Bot. Res.*, 2010, 2(28): 99-205.
91. National Center for Biotechnology Information (NCBI). *Genome assembly ASM4919972v1*. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/genome/GCF_049199725.1/. No date.
92. Escalante A., Giles-Gómez M., Hernández G., Córdova-Aguilar M.S., López-Munguía A., Gosset G., Bolívar F. Analysis of bacterial community during the fermentation of pulque, a traditional Mexican alcoholic beverage, using a polyphasic approach. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 124(2): 126-134 (doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.003).
93. Hashidoko Y., Itoh E., Yokota K., Yoshida T., Tahara S. Characterization of five phyllosphere bacteria isolated from *Rosa rugosa* leaves, and their phenotypic and metabolic properties. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2002, 66(11): 2474-2478 (doi: 10.1271/bbb.66.2474).
94. National Center for Biotechnology Information (NCBI). *Genome assembly ASM1832632v1*. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/genome/GCF_018326325.1/. No date.
95. Lazarev A.M., Ignatov A.N., Voronina M.V. *Vestnik zashchiti rasteniy*, 2020, 103(2): 87-93 (doi: 10.31993/2308-6459-2020-103-2-13571) (in Russ.).
96. Slovareva O.Yu., Avdeev I.S., Yaremko A.B., Panchenko K.V. *Fitosanitariya. Karantin rasteniy*, 2025, 4: 44-53 (in Russ.).
97. Dimnich A.S., Glinskaya E.V. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2022, 22(1): 99-109 (in Russ.).
98. Huang H.C., Hsieh T.F., Erickson R.S. Biology and epidemiology of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed and crown rot of plants. *Plant Pathology Bulletin*, 2003, 12: 69-76 (doi: 10.6649/PPB.200306_12(2).0001).
99. Huang H.C., Erickson R.S. Overwintering of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed of pea, on the Canadian prairies. *Plant Pathology Bulletin*, 2003, 12(2): 133-136 (doi: 10.6649/PPB.200306_12(2).0008).
100. Bruun H.H., Haarder S., Buhl P.N., Askew R.R. Hymenopteran parasitoids reared from European gall midges (Diptera, Cecidomyiidae). *Biodiversity Data Journal*, 2024, 12: e118487 (doi: 10.3897/BDJ.12.e118487).
101. Moller V. Simplified tests for some amino acid decarboxylases and for the arginine dihydrolase system. *Act. Pathol. Microbiol. Scand.*, 1955, 36(2): 158-172 (doi: 10.1111/j.1699-0463.1955.tb04583.x).
102. Muñoz P., Parra F., Simirgiotis M.J., Sepúlveda Chavera G.F., Parra C. Chemical characterization, nutritional and bioactive properties of *Physalis peruviana* fruit from high areas of the Atacama Desert. *Foods*, 2021, 10(11): 2699 (doi: 10.3390/foods10112699).
103. Sinn M., Hauth F., Lenkeit F., Weinberg Z., Hartig J.S. Widespread bacterial utilization of

- guanidine as nitrogen source. *Mol. Microbiol.*, 2021, 116(1): 200-210 (doi: 10.1111/mmi.14702).
104. Sinn M., Techel J., Joachimi A., Hartig J.S. Characterization of guanidine carboxylases. *Methods in Enzymology*, 2024, 708: 105-123 (doi: 10.1016/bs.mie.2024.10.013).
 105. Zhan Y., Zhu P., Liang J., Xu Z., Feng X., Liu Y., Xu H., Li S. Economical production of isomaltulose from agricultural residues in a system with sucrose isomerase displayed on *Bacillus subtilis* spores. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 2020, 43(1): 75-84 (doi: 10.1007/s00449-019-02206-6).
 106. Sardiña-Peña A.J., Ballinas-Casarrubias L., Siqueiros-Cendón T.S., Espinoza-Sánchez E.A., Flores-Holguín N.R., Iglesias-Figueroa B.F., Rascón-Cruz Q. Thermostability improvement of sucrose isomerase PalI NX-5: a comprehensive strategy. *Biotechnol. Lett.*, 2023, 45(7): 885-904 (doi: 10.1007/s10529-023-03388-6).
 107. Zhou X., Zheng Y., Wei X., Yang K., Yang X., Wang Y., Xu L., Du L., Huang R. Sucrose isomerase and its mutants from *Erwinia rhapontici* can synthesise α -arbutin. *Protein & Peptide Letters*, 2011, 18(10): 1028-1034 (doi: 10.2174/092986611796378774).
 108. Kaur T., Devi R., Negi R., Kour D., Yadav A.N. Mutualistic effect of macronutrients availing microbes on the plant growth promotion of finger millet (*Eleusine coracana* L.). *Curr. Microbiol.*, 2023, 80(5): 186 (doi: 10.1007/s00284-023-03255-7).
 109. Avdeev I.S., Ignatov A.N., Slovaeva O.Yu. *Vestnik zashchiti rasteniy*, 2025, 108(4): 245-254 (doi: 10.31993/2308-6459-2025-108-4-17334) (in Russ.).
 110. Simirgiotis M.J., Burton D., Parra F., López J., Muñoz P., Escobar H., Parra C. Antioxidant and antibacterial capacities of *Origanum vulgare* L. essential oil from the arid andean region of Chile and its chemical characterization by GC-MS. *Metabolites*, 2020, 10(10): 414 (doi: 10.3390/metabo10100414).
 111. Wilson J., Cui J., Nakao T., Kwok H., Zhang Y., Kayrouz C.M., Pham T.M., Roodhouse H., Ju K.S. Discovery of antimicrobial phosphonopeptide natural products from *Bacillus velezensis* by genome mining. *Applied and Environmental Microbiology*, 2023, 89(6): e0033823 (doi: 10.1128/aem.00338-23).
 112. Slovaeva O.Yu., Muvingi M., Iaremko A.B., Igonin V.N., Rubets V.S. Detection of bacteriosis pathogens significant for grain export and a complex of associated microorganisms in grain crops (on the example of Timiryazevskaya Field Experimental Station). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2023, 1(58): 184-199 (doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.184rus).
 113. Slovaeva O.Yu. *Nezavisimie mikrobiologicheskie issledovaniya*, 2020, 1(7): 1-12 (in Russ.).
 114. Ma B., Hibbing M.E., Hye-Sook K., Reedy R.M., Yedidia I., Breuer J., Breuer J., Jeremy D.G., Perna N.T., Kelman A., Charkowski A.O. Host range and molecular phylogenies of the soft rot enterobacterial genera *Pectobacterium* and *Dickeya*. *Phytopathology*, 2007, 9(97): 1150-1163 (doi: 10.1094/PHYTO-97-9-1150).
 115. Muvingi M., Slovaeva O.Yu., Zargar M. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družbi narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2022, 4(17): 473-483 (doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-473-483) (in Russ.).
 116. Tarakanov R.I., Ignat'eva I.M., Beloshapkina O. O., Chebanenko S.I., Karataeva O.G., Dzhalilov F.S. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2024, 1: 41-52 (doi: 10.26897/0021-342X-2024-1-41-52) (in Russ.).
 117. Desyaterik A.A., Slovaeva O.Yu., Kononova E.P. *Fitosanitariya. Karantin rasteniy*, 2023, 4(16): 67-76 (doi: 10.69536/d2760-4051-0503-z) (in Russ.).
 118. BacDive Explore Bacterial Diversity. *Erwinia rhapontici*. *Culture and growth conditions*. Available: <https://bacdive.dsmz.de/strain/4389>. Accessed: 01/25/2024.
 119. Salikhov R.R., Borisova S.V., Avdeeva N.G., Samokhvalova Yu.I., Volokh O.A. *Problemi osobopasnikh infektsiy*, 2021, 4: 137-142 (doi: 10.21055/0370-1069-2021-4-137-142) (in Russ.).
 120. Galkiewicz J.P., Kellogg C.A. Cross-kingdom amplification using bacteria-specific primers: complications for studies of coral microbial ecology. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(24): 7828-31 (doi: 10.1128/AEM.01303-08).
 121. Walker A.W., Martin J.C., Scott P., Parkhill J., Flint H.J., Scott K.P. 16S rRNA gene-based profiling of the human infant gut microbiota is strongly influenced by sample processing and PCR primer choice. *Microbiome*, 2015, 3: 26 (doi: 10.1186/s40168-015-0087-4).
 122. Barghouthi S.A. A universal method for the identification of bacteria based on general PCR primers. *Indian J. Microbiol.*, 2011, 51(4): 430-444 (doi: 10.1007/s12088-011-0122-5).
 123. Waleron M., Waleron K., Geider K., Lojkowska E. Application of RFLP analysis of recA, gyrA and rpoS gene fragments for rapid differentiation of *Erwinia amylovora* from *Erwinia* strains isolated in Korea and Japan. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, 121(2): 161-172 (doi: 10.1007/s10658-007-9260-3).
 124. Naas T., Aubert D., Vimont S., Nordmann P. Identification of a chromosome-borne class C beta-lactamase from *Erwinia rhapontici*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2004, 54(5): 932-935 (doi: 10.1093/jac/dkh446).

125. Ashfaq M.Y., Da'na D.A., Al-Ghouti M.A. Application of MALDI-TOF MS for identification of environmental bacteria: a review. *Journal of Environmental Management*, 2022, 305: 114359 (doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114359).