

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ  
И ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЯ БАКТЕРИАЛЬНОГО  
УВЯДАНИЯ (ВИЛТА) КУКУРУЗЫ *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith)  
Mergaert et al.  
(обзор)**

А.Б. ЯРЕМКО<sup>1</sup> ✉, К.П. КОРНЕВ<sup>1, 2</sup>, С.И. ПРИХОДЬКО<sup>1</sup>, О.Ю. СЛОВАРЕВА<sup>1, 2</sup>

В статье представлен детализированный обзор, посвященный карантинному объекту — возбудителю бактериального увядания (вилта) кукурузы *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith) Mergaert et al. Описаны систематическое положение, история изменения номенклатуры, географическое распространение, фитосанитарный статус, биологические особенности и существующие методы диагностики экономически значимой фитопатогенной бактерии, поражающей кукурузу (*Zea mays* L.). Систематическое положение бактерии и история открытия показывают сложный путь идентификации *P. stewartii* subsp. *stewartii* с конца XIX века. Таксономическое положение возбудителя, впервые описанного F.C. Stewart в США (F.C. Stewart, 1897), неоднократно менялось (от *Pseudomonas stewartii* до *Erwinia stewartii*), и в 1993 году на основе филогенетического анализа бактерия была отнесена к роду *Pantoea* (J. Mergaert с соавт., 1993). Важным таксономическим событием стало одновременное описание непатогенного для кукурузы подвида *P. stewartii* subsp. *indologenes* Mergaert et al. 1993, что в дальнейшем оказалось центральной проблемой при идентификации (J. Mergaert с соавт., 1993) возбудителя бактериального увядания кукурузы. Морфологически бактерия характеризуется как грамотрицательная, факультативно анаэробная, способная изменять подвижность в зависимости от условий (С.М. Негера с соавт., 2008). Анализ географического распространения показывает, что первичным очагом фитопатогена была Северная Америка (E.F. Smith, 1903), откуда произошел завоз с семенным материалом на другие континенты. В настоящее время ареал увеличился в пределах очагов в Северной и Южной Америке, Африке и Евразии (EPPO Global Data Base, 2025). Особое внимание в статье уделяется обнаружению и распространению *P. stewartii* subsp. *stewartii* в Европе, которое варьирует от полного отсутствия (Бельгия, Нидерланды) до периодического возникновения очагов (Италия, Словения, Украина) (EPPO Global Data Base, 2025; EFSA PHL Panel, 2018). Такая неоднородность напрямую связана с риском заноса бактерии с импортным семенным материалом, что подчеркивает важность надежного фитосанитарного контроля и сертификации семян. С момента первого выделения и описания фитопатогена и до настоящего времени симптоматика заболевания на кукурузе незначительно менялась и в основном представляет собой хлоротичные полосы с последующим некрозом и отмиранием листьев, увядание растений, пожелтение сосудистых пучков на срезах (EPPO PM 7/60, 2016; EFSA PHL Panel, 2018). Отмечается, что наибольшую опасность бактериальное увядание кукурузы представляет для всходов (M.C. Rorer, 2011). При этом основные пути сохранения и распространения бактерии определяются насекомыми-переносчиками и зараженными семенами. Несмотря на низкую частоту передачи через семена, именно этот путь остается ключевым для международного распространения, что привело к введению жестких фитосанитарных ограничений более чем в 60 странах. Бактерия способна длительно сохраняться в семенах в латентной форме и поражать, помимо основного растения-хозяина — кукурузы, некоторые другие культуры. Для выявления и идентификации *P. stewartii* subsp. *stewartii* невозможно обойтись без современных методов диагностики. Отмечается, что существующие стандартные методы — иммуноферментный анализ (ИФА) и многие протоколы полимеразной цепной реакции (ПЦР) — обладают недостаточной специфичностью (N. Pal с соавт., 2019). Основная проблема заключается в невозможности с их помощью достоверно дифференцировать патогенный для кукурузы подвид *P. stewartii* subsp. *stewartii* от присутствующего на растениях не экономически значимого и непатогенного подвида *P. stewartii* subsp. *indologenes*. Это приводит к ложноположительным результатам, что имеет серьезные экономические последствия для семеноводства и международной торговли. Показано, что для определения *P. stewartii* subsp. *stewartii* существуют методы как широко распространенные и имеющие недостаточную специфичность (ИФА, классическая ПЦР), так и более точные, но дорогостоящие и трудоемкие (мультилокусное секвенирование, MLST, анализ профилей жирных кислот) (J.T. Tambong, 2015; EPPO PM 7/60, 2016). На основе изложенного в статье материала предполагается, что только использование комплекса существующих методов позволит надежно идентифицировать возбудителя бактериального увядания (вилта) кукурузы. Таким образом, обзор не только систематизирует фундаментальные знания о *P. stewartii* subsp. *stewartii*, но и показывает главную научно-практическую проблему: острую необходимость в разработке и валидации высо-

коспецифичных, быстрых и экономически доступных методов выявления и идентификации карантинного объекта. Решение этой задачи — обязательное условие для эффективного управления фитосанитарными рисками, обеспечения биобезопасности и беспрепятственной торговли семенами кукурузы.

Ключевые слова: бактериальное увядание кукурузы, *Zea mays* L., защита и карантин растений, карантинный объект, идентификация фитопатогена, методы диагностики, ИФА, MALDI-TOF MS, MLST, SNP, ПЦР, ЕАЭС, ЕОКЗР, ЕРРО.

Бактериальное увядание (вилт) кукурузы, вызываемое бактерией *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*, относится к числу экономически значимых заболеваний, способных наносить существенный урон сельскому хозяйству. Регулирование возбудителя в Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС) в качестве карантинного объекта обязывает осуществлять фитосанитарный контроль в отношении подкарантинной продукции, поражаемой фитопатогеном. В настоящее время комплексные исследования этого фитопатогена в Российской Федерации носят фрагментарный характер. Также в связи с постоянным обновлением мировой научной информации о растениях-хозяевах, географическом распространении объекта и существующих методах диагностики необходим комплексный анализ международного опыта для полного понимания биологии вредного организма, совершенствования методов его выявления и идентификации.

Цель представленного обзора — комплексный анализ современных сведений о карантинном объекте *P. stewartii* subsp. *stewartii* с акцентом на систематизацию данных о его таксономии, географическом распространении, биологических особенностях и путях распространения, а также оценка существующих методов диагностики, определения проблем, препятствующих осуществлению эффективного фитосанитарного контроля, и путей их решения.

Систематическое положение, номенклатура и история открытия фитопатогена. Возбудитель бактериального увядания кукурузы *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith 1898) Mergaert et al. 1993 систематически относится к типу *Pseudomonadota*, классу *Gammaproteobacteria*, порядку *Enterobacteriales*, семейству *Enterobacteriaceae* и роду *Pantoea* (1). Подвид представляет собой грамотрицательную, не образующую спор, неподвижную, палочковидную (0,4-0,8 мкм×0,9-2,2 мкм) и факультативно анаэробную бактерию (2). При этом она может становиться подвижной при посеве на питательные среды, то есть обладает способностью менять подвижность в зависимости от условий (3).

Впервые бактерия обнаружена F.C. Stewart в 1894 году (по некоторым источникам в 1895 году) на территории Лонг-Айленда в штате Нью-Йорк (4, 5). F.C. Stewart описал симптомы болезни и выделил бактерию из зараженных растений. В 1897 году культура была направлена E.F. Smith с просьбой определить и уточнить название бактерии. После серии культуральных тестов E.F. Smith описал бактерию как палочку среднего размера, закругленную на концах, с одним полярным жгутиком и дал ей название *Pseudomonas stewarti* в честь первооткрывателя (6). В публикациях с 1901 по 1909 год E.F. Smith (7, 8) сообщал, что бактерия передается через семена, продемонстрировал наличие возбудителя во всех сосудистых тканях растения и описал культурально-морфологические свойства на питательных средах. L.A. McCulloch (9) в 1918 году, не сумев обнаружить жгутики с помощью специальных красителей, переименовал бактерию в *Aplanobacter stewarti* (Smith). Позже бактерию переименовали в *Phytomonas*

*stewartii* (Smith) Bergey et al. (10). В 1910-1935 годы фитопатогену присваивали названия, основываясь преимущественно на культурально-морфологических свойствах (11). Позднее для *Pseudomonas stewartii* subsp. *stewartii* были предложены два наиболее часто используемых названия. В 1962 году D.W. Дюе описал фитопатогенную бактерию как *Erwinia stewartii* на основе культурально-морфологических и биохимических свойств (12, 13).

Название *Pantoea stewartii* было предложено J. Mergaert с соавт. (14) в 1993 году в результате исследования электрофореграмм растворимых белков. Это сравнение также привело к описанию нового подвида *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* (2, 14). Тем не менее название *Erwinia stewartii* Дюе 1963 использовали в качестве основного еще длительное время, пока оно не перешло в разряд синонимов.

Географическое распространение и фитосанитарный статус. После открытия и описания болезни в 1894 году *P. stewartii* subsp. *stewartii* стремительно распространилась на территории штатов США, где кукуруза выращивалась в коммерческих целях (5). Позднее стали поступать сообщения о болезни из южных регионов Канады (вспышки отмечали в отдельные годы) (15), а также некоторых регионов выращивания кукурузы в Мексике. Среди стран Южной Америки бактериоз распространен в Аргентине, Гайане, Перу и Боливии (16, 17). Активно развивавшаяся в XX веке международная торговля способствовала проникновению возбудителя с зараженными семенами кукурузы из Северной Америки в Евразию, Африку и Австралию. Получаемые в дальнейшем сведения о географическом распространении, а также современный ареал *P. stewartii* subsp. *stewartii* тесно связаны с ее фитосанитарным регулированием, поскольку высокая вредоносность фитопатогена сделала его объектом карантина и внимательного контроля в широком перечне стран (см. табл.).

#### Фитосанитарный статус *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* в разных странах

Страна/объединение	Статус	Ссылка
Азербайджан	Отсутствующий карантинный вредный организм	(18)
Алжир	Регулируемый организм	(19)
Аргентина	Регулируемый организм	(20)
Бангладеш	Регулируемый организм	(21)
Бахрейн	Регулируемый карантинный организм	(22)
Бенин	Регулируемый вредный организм	(23)
Ботсвана	Регулируемый карантинный вредный организм	(24)
Бразилия	Отсутствующий карантинный вредный организм	(25)
Буркина-Фасо	Ограниченно распространенный карантинный организм	(26)
Вьетнам	Регулируемый организм	(27)
Гватемала	Регулируемый карантинный объект	(28)
Гвинея	Регулируемый организм	(29)
Гвинея-Бисау	Отсутствующий карантинный организм	(30)
Грузия	Отсутствующий карантинный вредный организм	(31)
Египет	Регулируемый карантинный организм	(32)
Зимбабве	Регулируемый организм	(33)
Израиль	Карантинный вредный организм	(34)
Индия	Регулируемый вредный организм	(35)
Индонезия	Карантинный объект	(36)
Иордания	Регулируемый присутствующий карантинный организм	(37)
Иран	Отсутствующий карантинный организм	(38)
Йемен	Регулируемый организм	(39)
Канада	Ограниченно распространенный карантинный организм	(40)
Катар	Вредный организм, запрещенный к ввозу	(41)
Кения	Условия отсутствия в продукции и происхождение из свободных зон	(42)
Китай	Регулируемый организм	(43)
КНДР	Карантинный вредный организм	(44)
Колумбия	Регулируемый присутствующий вредный организм	(45)
Демократическая Республика Конго	Регулируемый организм	(46)
Куба	Отсутствующий карантинный организм	(47)

Страны Персидского залива	Отсутствующий карантинный организм	(48)
Лаос	Карантинный объект	(49)
Маврикий	Карантинный объект	(50)
Мадагаскар	Карантинный вредный организм	(51)
Малайзия	Карантинный объект	(52)
Мали	Карантинный вредный организм	(53)
Мексика	Карантинный объект	(54)
Мозамбик	Карантинный объект	(55)
Монголия	Карантинный объект	(56)
Молдова	Регулируемый вредный организм	(57)
Намибия	Условие происхождения из свободных зон	(58)
Никарагуа	Отсутствующий регулируемый вредный организм	(59)
Парагвай	Карантинный объект	(60)
Республика Северная Македония	Регулируемый вредный организм	(61)
Сенегал	Карантинный организм	(62)
Сербия	Отсутствующий регулируемый вредный организм	(63)
Сирия	Отсутствующий карантинный организм	(64)
Судан	Карантинный вредный организм	(65)
Таиланд	Условие происхождения из свободных зон	(66)
Тайвань	Регулируемый организм	(67)
Танзания	Карантинный организм	(68)
Того	Регулируемый некарантинный организм	(69)
Тунис	Карантинный организм	(70)
Туркменистан	Отсутствующий карантинный организм	(71)
Турция	Отсутствующий регулируемый вредный организм	(72)
Уганда	Карантинный организм	(73)
Узбекистан	Отсутствующий карантинный организм	(74)
Украина	Отсутствующий карантинный организм	(75)
Уругвай	Отсутствующий карантинный организм	(76)
Чили	Карантинный вредный организм	(77)
Шри-Ланка	Регулируемый организм	(78)
Эквадор	Отсутствующий карантинный вредный организм	(79)
Эфиопия	Отсутствующий карантинный организм	(80)
ЮАР	Регулируемый организм	(81)
Япония	Условие происхождения из свободных зон	(82)
ЕАЭС	Отсутствующий карантинный вредный организм	(83)
АРППС	Ограниченно распространенный карантинный организм	(16)
COSAVE	Ограниченно распространенный карантинный организм	
EPPO	Ограниченно распространенный карантинный организм	
EU	Отсутствующий карантинный организм	
IAPSC	Отсутствующий карантинный организм	
PPPO	Отсутствующий карантинный организм	

Примечание. ЕАЭС — Евразийский экономический союз, АРППС — Asia and Pacific Plant Protection Commission (Азиатско-Тихоокеанская комиссия по защите растений), COSAVE — the Plant Protection Committee for the South Cone (Комитет по защите растений Южного Конуса), EPPO — European and Mediterranean Plant Protection Organization (Европейская и Средиземноморская организация по защите растений), EU — European Union (Европейский союз), IAPSC — Inter-African Phytosanitary Council (Межафриканский фитосанитарный совет), PPPO — Pacific Plant Protection Organization (Тихоокеанская организация по защите растений).

По последним имеющимся данным, возбудитель бактериального увядания кукурузы присутствует в Африке, Северной и Южной Америке, а также в Евразии (16).

На Евразийском континенте, по данным Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР, The European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO), ситуация с распространением *P. stewartii* subsp. *stewartii* различается.

Так, в Австрии в 1992 году опубликовано первое сообщение об обнаружении возбудителя, после чего во всех районах выращивания кукурузы в течение трех лет проводились обследования по результатам которых выявить и подтвердить бактериальное увядание кукурузы не удалось (16, 17). В Польше после перехвата партии зараженных семян кукурузы из Италии в 2013 году около 200 образцов семян были собраны с полей по всей стране в рамках фитосанитарного мониторинга, однако по результатам проведенных тестов подтвердить наличие *P. stewartii* subsp. *stewartii* не удалось (16, 17).

В Италии вплоть до 1950-х годов серьезный ущерб урожаю в регионе

Венето наносился вследствие использования семенного материала, импортированного из США (17). В 1980-х годах также отмечались отдельные очаги болезни, статус которых впоследствии был определен как «ликвидированные» (17). Позднее бактерия была обнаружена во время официальных мониторинговых обследований, проведенных на посевах кукурузы в Венеции летом 2017 года. Площадь очага составила около 7 га, на зараженной территории и в окрестностях кукуруза выращивалась только на кормовые цели (17, 84, 85).

В 2018-2022 годах отмечались вспышки бактериального увядания в различных регионах выращивания кукурузы (16). Официальный статус *P. stewartii* subsp. *stewartii* в Италии в настоящее время обозначен как «присутствует, промежуточная ситуация»; согласно последним данным, выявленные очаги находятся в стадии ликвидации (16). Такой же статус патогена отмечается в Словении, где *P. stewartii* subsp. *stewartii* впервые была обнаружена в 2018 году на посевах кукурузы вблизи города Нова Горица (Nova Gorica). После ликвидации очага вспышки болезни отмечались в западной части Словении, а также по меньшей мере в четырех местах в том же административном районе, что и первый очаг (статус очагов на стадии ликвидации) (16, 17).

На территории Украины бактериальное увядание кукурузы впервые обнаружено в 2014 году в Полтавской области на площади около 100 га. К 2018 году общая зараженная площадь оценивалась примерно в 3500 га в различных регионах страны, также отмечалось, что очаги находятся на стадии ликвидации. В настоящее время статус изменился на «присутствует, промежуточная ситуация» (17).

В ряде стран карантинный объект, по последним данным, отсутствует или ликвидирован. Так, в Греции (ЕОКЗР проведена оценка статуса на основе информации от 1992 года), Румынии (подробного описания ситуации нет, ЕОКЗР проведена оценка статуса на основе информации от 1992 года), Хорватии (информация от 1996 года) и Нидерландах (информация от 2017 года) данные подтверждены обследованиями. Объект «отсутствует» в Бельгии (нет данных о присутствии/отсутствии вредных организмов) (17).

В Азии подтвержденными считаются несколько случаев выявления возбудителя в КНР, Южной Корее, Индии, Иордании, Таиланде, Малайзии и на Филиппинах без подробного описания (16).

На Африканском континенте в 2013 и 2014 годах в основных регионах выращивания риса в Того (Ковье, Kovié и Кпалиме, Kpalimé) бактерия *P. stewartii* была выявлена на растениях риса. Этот случай был первым обнаружением возбудителя бактериального увядания (вилта) кукурузы на рисе, однако подтвердить, какой именно подвид вызвал поражение, не удалось (16, 86). В 2011 и 2015 годах авторы также выявили *P. stewartii* в регионах выращивания риса в Бенине, при этом установить принадлежность подвида с точной достоверностью так и не удалось. По последним данным ЕОКЗР, в Бенине и Того статус объекта — «присутствует, ограниченное распространение» (16, 86).

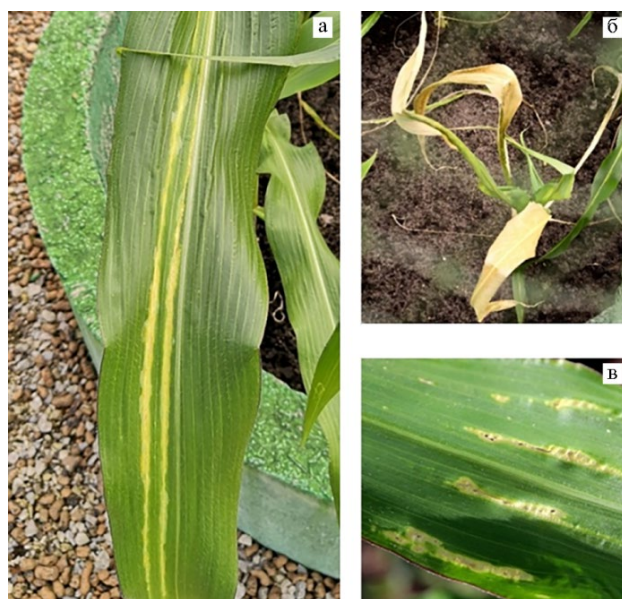
В 2025 году было опубликовано сообщение об обнаружении фитопатогена в Иране, где в результате обследования полей кукурузы удалось выявить *P. stewartii* subsp. *stewartii* и выделить в чистую культуру (87).

Симптомы болезни, вредоносность и пути распро-

странения. F.C. Stewart в 1897 году описывал симптомы болезни как увядание и последующий некроз листьев (рис. 1, А, Б), а в некоторых случаях и как гибель всего растения кукурузы (4).



**Рис. 1.** Симптомы бактериального увядания (вилта) кукурузы, вызванного *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*, по данным различных источников: а — общий вид растения с симптомами, б — всходы с симптомами увядания, в — срез стеблей с потемнением и отмиранием сосудистой системы растения (11, 88).



**Рис. 2.** Симптомы бактериального увядания (вилта) кукурузы, вызванного *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*: а — хлоротичные полосы на листьях кукурузы, б — проявление симптомов увядания, в — симптомы вдоль жилкования листа (фото А.Б. Яремко, интродукционно-инфекционный участок, ФГБУ ВНИИКР, Московская обл.).

Также он отмечал характерный симптом: из-за обильного числа бактерий в сосудистой системе при разрезании стебля сосудистые пучки были желтыми и чередовались с черными штрихами вследствие отмирания (см. рис. 1, В). Если срезанный стебель оставляли на некоторое время в таком состоянии, из сосудистых тканей выделялись капли экссудата (4).

Симптомы можно наблюдать в любую фазу развития растения, но чаще всего их фиксируют в фазу цветения—выметывания метелок. На листьях

образуются хлоротичные полосы от светло-зеленого до белого цветов вдоль жилкования, позднее пораженные участки высыхают и желтеют, возможно отмирание и выпадение таких участков, а в ряде случаев — отмирание всего листа (рис. 2, А, В) (17, 89, 90). Подобные симптомы часто наблюдаются у растений от фазы выметывания метелок до созревания початков. Они возникают из-за переносчиков бактерии.

Переносчиком бактерии в США были кукурузные листоблошки (*Chaetocnema pulicaria* Melsheimer, 1847), которые способствуют распространению патогена на большие расстояния в течение всего периода вегетации растений (90-92). Бактерия при этом проникает в растения через повреждения, вызываемые листоблошками, затем попадает в межклеточное пространство листа, а также в ксилему, вызывая тем самым так называемые «водянистые» поражения и увядание листьев (93). По данным литературы, выделяют и других переносчиков, таких как *Chaetocnema denticulata* (Illiger, 1807), *Diabrotica undecimpunctata howardi* Barber, 1947, *Diabrotica longicornis* (Say, 1824), *Delia platura* (Meigen, 1826), *Agriotes mancus* (Say, 1823), и *Phyllorhaga* sp. (17). Однако достоверных данных о том, что эти насекомые-переносчики могут способствовать распространению *P. stewartii* subsp. *stewartii*, в настоящее время не существует.

Характерное увядание и поражение сосудистой системы может происходить на любой стадии развития растений кукурузы, но наибольшую опасность патоген представляет для всходов в фазу 2-3 листьев, поскольку такие растения быстро увядают и чаще всего погибают (см. рис. 2, Б). Если растение выживает, в течение вегетации можно наблюдать отставание в росте, отсутствие образования початков или уменьшение урожайности и выхода зерна с одного растения.

Разные виды кукурузы поражаются в неодинаковой степени (8, 94, 95). Так, при сравнении интенсивности поражения зубовидная кукуруза *Zea mays* var. *indentata* (Sturtev.) L.H. Bailey, как правило, менее восприимчива к увяданию, чем сахарная *Zea mays* var. *saccharata* (Sturtev.) L.H. Bailey. Ранее также сообщалось о значительных потерях урожая у восприимчивых и умеренно восприимчивых гибридов сахарной кукурузы (94, 96).

Отмечается, что кукуруза служит основным растением-хозяином для *P. stewartii* subsp. *stewartii*. Известно, что бактерия также может вызывать бактериальное увядание сахарного тростника (*Saccharum* sp.) (97), бронзовость листьев джекфрута (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) (98-101), бактериальное увядание (вилт) драцены Сандера (*Dracaena sanderiana* Mast.) (102), бактериальный ожог листьев риса (*Oryza sativa* L.) (103) и предположительно может поражать другие растения семейства *Poaceae* (достоверные данные отсутствуют) (8, 16). При отсутствии видимых симптомов на вегетирующих растениях бактерия присутствует в латентной форме и в дальнейшем сохраняется в семенах кукурузы до трех лет (104). Согласно С.С. Block с соавт. (105), бактериальная инфекция локализуется в сосудистой ткани в основании семени, в эндосперме и снаружи на семенной оболочке, но не внутри зародыша. Другие исследователи упоминают, что бактерия может достичь зародыша, если семена формируются на восприимчивых растениях (17, 106).

Многие страны Европы и Азии ввели строгие карантинные правила при импорте семян кукурузы из регионов, где присутствует возбудитель (107). При этом не остается сомнений в вопросе вредоносности *P. stewartii* subsp. *stewartii*, ведь в годы эпифитотий она может достигать на восприим-

чивых сортах сахарной кукурузы до 100 %, на более устойчивых сортах — 30-80 % (107).

Экономическая значимость болезни в Северной Америке с 1930-х годов снизилась, что связано прежде всего с появлением более устойчивых гибридов и постоянным использованием системных инсектицидов против насекомых — переносчиков бактерии. Несмотря на то, что вероятность передачи инфекции с коммерческими партиями семенного материала достаточно низкая, сохраняется определенный риск при выявлении зараженных семян (108).

Первые данные о передаче бактерии семенами продемонстрировали С.С. Block с соавт. (109). По результатам исследований, частота передачи бактерии с семенами составила 0,022 % от семян, зараженных естественным путем (одно зараженное растение из 4563 зараженных семян) (109). Позже Р.М. Michener с соавт. (110) сообщили о схожей частоте передачи бактерии с семенами — 0,038 % (22 зараженных растения из 58300 зараженных семян).

В 2019 году были опубликованы данные о построении концептуальной количественной модели рисков проникновения возбудителя бактериального увядания кукурузы. Единственным путем проникновения, рассматриваемым в модели, был импорт в Европейский Союз (ЕС) семян кукурузы для посева из США (108). При моделировании учитывались все данные по передаче бактерии растениям из семян, опубликованные ранее, и представлялись различные сценарии развития при проникновении бактерии на территорию ЕС. Согласно этой количественной модели, вероятность заноса патогена представляется незначительной (108, 110, 111). Также отмечено, что вероятность проникновения зависит не только от распространенности бактериоза в месте происхождения и скорости передачи от растения к семенам и от семян к растениям, но и от ежегодного потока импортируемых семян.

На сегодняшний день для подтверждения отсутствия *P. stewartii* subsp. *stewartii* репрезентативная выборка для проведения лабораторных исследований составляет 400 семян от партии (согласно стандарту ЕОКЗР РМ 7/060(2) 2016) (89, 112). Такой размер выборки не подходит для обнаружения патогена на уровнях распространенности (например, если имеется одно зараженное семя на 1 000 000 или одно инфицированное семя на 100 000 000 семян), которые можно ожидать, согласно представленной модели (108). То есть необходим пересмотр репрезентативной выборки для проведения лабораторной диагностики в лабораториях. В связи с этим группой экспертов Европейского агентства по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority, EFSA) по здоровью растений было предложено увеличить размер выборки тестируемых семян из стран, где бактериальное увядание (вилт) кукурузы распространено или имеет ограниченное распространение, но в импортируемых партиях семян кукурузы их точное число для выборки не было определено (108).

В настоящее время бактериальное увядание кукурузы по-прежнему остается серьезной проблемой, особенно в случаях производства семян для экспорта. Свыше 100 стран ввели фитосанитарные ограничения на импорт семян кукурузы и требуют подтверждения отсутствия в партиях возбудителя бактериального увядания посредством фитосанитарной сертификации. Фитосанитарные ограничения оказывают существенное влияние на сферу семеноводства и торговую сферу с точки зрения затрат на тестирование семенного материала кукурузы и потенциальную потерю экспортных рынков

в случае выявления объекта. Следовательно, быстрое и точное обнаружение *P. stewartii* subsp. *stewartii* в семенном материале имеет важное значение для предотвращения распространения бактерии (108, 111, 112).

Методы выявления и идентификации. Недостатки современной диагностики *P. stewartii* subsp. *stewartii* обусловлены отсутствием достоверных и высокоэффективных методов идентификации, которые позволили бы не только выявлять бактерии в семенном и посадочном материале, но и проводить дифференциацию. Связано это, прежде всего, с низкой чувствительностью существующих методов, а также с генетическими и культурально-морфологическими особенностями фитопатогена. Существует группа других близкородственных бактерий, которые могут присутствовать на растениях кукурузы и влиять на специфичность тестов, используемых в мировой практике. Среди близкородственных бактерий отмечается непатогенный для кукурузы подвид *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* Mergaert et al. 1993, который может быть обнаружен на семенах, а также в растениях как резидентная бактериальная микробиота (113). Следовательно, при диагностике возбудителя бактериального увядания возникает риск получения ложноположительных результатов.

Множество методов были разработаны для обнаружения *P. stewartii* subsp. *stewartii* в зараженных растительных тканях или семенах, а также для идентификации бактериальной культуры (113-115).

Из серологических методов часто применяются иммунофлуоресцентный (ИФ) и иммуноферментный анализ (ИФА) (13) с использованием поликлональных или моноклональных антител (86). Недостаточная чувствительность и специфичность делает метод ИФ неприменимым для прямого выявления *P. stewartii* subsp. *stewartii* в растительном материале, в связи с чем используется в некоторых лабораториях только для идентификации чистой культуры возбудителя. ИФА-диагностика бактериального увядания кукурузы широко применяется в США при коммерческой сертификации семян (89). Следует отметить, что этот метод в лабораторной практике используют как отборочный, поэтому он не перспективен как основной метод идентификации. С.С. Block с соавт. (116) обнаружили, что ИФА, а также девять опубликованных методов ПЦР показали ложноположительные результаты с различными изолятами рода *Pantoea*, выделенными из семян тропической или субтропической кукурузы. Позднее изоляты были идентифицированы с помощью мультилокусного секвенирования (multilocus sequence typing, MLST) как *P. stewartii* subsp. *indologenes* (117).

S.P. Thapa с соавт. (118) разработали мультиплексную ПЦР для *P. stewartii* subsp. *stewartii* с тремя парами праймеров для трех разных участков генов: *wtsE* («водянистые» поражения), *cpsA* (продуцирование внеклеточного полисахарида) и *hrpN* (реакция гиперчувствительности у растений, не являющихся растением-хозяином). Каждая пара праймеров была определена как специфичная для *P. stewartii* subsp. *stewartii* (118).

Позднее J. Nechwatal с соавт. (119) при валидации мультиплексной ПЦР в соответствии с S.P. Thapa с соавт. (118), показали наличие ложноположительных реакций с *P. stewartii* subsp. *indologenes*. Также в рекомендованном диагностическом протоколе ЕОКЗР РМ 7/60 (ЕРРО 2016) часть тестов показала ложноположительные результаты (119). J. Nechwatal с соавт. (119) провели оценку нескольких наборов праймеров и пришли к выводу, что праймеры, ориентированные на участок гена *galE* (ген, кодирующий

UDP-глюкозо-4-эпимеразу) согласно I. Gehring с соавт. (120), позволяли дифференцировать два подвида методом ПЦР в режиме реального времени (ПЦР-РВ) на основе однонуклеотидного полиморфизма (single nucleotide polymorphism, SNP). SNPs присутствуют в качестве последнего основания на 3'-конце прямого и обратного праймеров (119). Праймеры на основе участка гена *galE* были проверены на изолятах *P. stewartii* subsp. *indologenes*, выделенных из семян и вегетативных частей растений кукурузы, и семи изолятах из других растений-хозяев (119, 120). Были получены ложноположительные реакции в этом тесте с другими изолятами *P. stewartii* subsp. *indologenes*, выделенными в различных регионах. В настоящее время мало что известно об изменчивости *P. stewartii* subsp. *indologenes*, при этом существуют риски ложноположительных результатов ПЦР с праймерами, основанными на различиях в одной паре SNP (113). В связи с большой гетерогенностью подвида *indologenes* при лабораторных исследованиях нельзя обойтись без подтверждающих тестов на основе методов определения биохимических, генетических и патогенных свойств бактерий.

N. Pal с соавт. (113) изучили 26 штаммов *P. stewartii* subsp. *stewartii*, 17 штаммов *P. stewartii* subsp. *indologenes*, 11 штаммов *P. agglomerans*, 13 штаммов *P. ananatis* и других штаммов родов, близких к *Pantoea* spp. Подобраны авторами праймеры, основанные на межгенной области генов *cpsA* (кодирует WceG, белок гликозилтрансферазы) и *cpsB* (кодирует Wza, периплазматический белок, который участвует в экспорте экзополисахарида стевартана EPS) сравнивали с ранее представленными тест-системами для выявления и идентификации возбудителя бактериального увядания кукурузы (113). В результате все тест-системы, с которыми сравнивали разработанные праймеры, показали ложноположительные реакции с подвидами *indologenes*, а в случае некоторых тест-систем также регистрировали кросс-реакции со штаммами *P. ananatis* и частично со штаммами *P. agglomerans*. Стоит отметить, что виды *P. ananatis* и *P. agglomerans* довольно часто обнаруживаются в растительных экстрактах кукурузы и других зерновых культур (121).

Результаты сравнения ИФА и девяти ПЦР-тестов добавили важную информацию и подтвердили выводы более ранних исследований (119, 120, 122). Было продемонстрировано, что ни один из тестов для обнаружения *P. stewartii* subsp. *stewartii* не достоверен на 100 % (113, 116). Несмотря на то, что все методы позволяют легко обнаружить *P. stewartii* subsp. *stewartii*, они также демонстрируют ложноположительные результаты, особенно с ДНК *P. stewartii* subsp. *indologenes* и некоторыми изолятами *P. ananatis*, *P. agglomerans* (113). По имеющимся данным, между двумя подвидами *P. stewartii* наблюдается высокая гомология последовательностей ДНК в сайтах связывания праймеров, что становится проблемой при разработке надежных тест-систем, позволяющих отделять подвиды друг от друга (113). *P. stewartii* subsp. *indologenes* обитает на растениях не только как эндофит, но может также вызывать заболевания: пятнистость листьев могоара и проса (14), гниль ананаса (14), центральную гниль лука (123). Бактерию удавалось обнаружить в воде, почве, и у нее может быть более гетерогенный геном (124), чем у *P. stewartii* subsp. *stewartii* как узко специализированного фитопатогена.

В работе N. Pal с соавт. (113) 7 штаммов *P. stewartii* subsp. *indologenes*, полученные от растений-хозяев (не кукурузы), показали отрицательный результат при исследовании методом ИФА, а 9 из 10 штаммов, выделенных

из семян кукурузы, показали положительный результат. То есть представлено различие между выделенными изолятами в зависимости от вида растения, на котором бактерия изначально была обнаружена (113). Были подобраны праймеры, основанные на участке гена *galE* (120), которые, как утверждают авторы, могут быть использованы для идентификации патогена и позволяют распознавать подвиды *P. stewartii*, но результаты зависят от различий в одной паре оснований. Тест потребует дополнительного этапа секвенирования ампликонов для подтверждения наличия специфичных SNP *galE*, поскольку метод электрофореза не обладает достаточными характеристиками для визуализации различий. Более того, постоянное наличие SNP еще недостаточно подтверждено и требует дополнительной проверки на различных штаммах *P. stewartii* subsp. *indologenes*, полученных из семян кукурузы, а также, возможно, и других изолятов, выделенных из различных растений-хозяев.

Анализ существующих молекулярно-генетических методов показывает, что наиболее перспективным остается ПЦР-РВ, способный обеспечить прямое выявление *P. stewartii* subsp. *stewartii* в растительном материале и дифференцировать ее с близкородственными бактериями. Применимость такого метода напрямую зависит от генетического разнообразия и эволюции штаммов *Pantoea* spp. и требует периодической актуализации.

С.И. Приходько с соавт. (125) применяли подход сравнительной геномики при разработке специфичных пар праймеров для обнаружения бактериальных патогенов. Используя сборки геномов из базы GenBank NCBI, корейские исследователи К.У. Ваек с соавт. (126) сравнили геномы *P. stewartii* subsp. *stewartii* и близкородственных видов бактерий и получили несколько пар праймеров на основе гипотетических белков; праймеры в последующем были апробированы и показали надежные результаты в отношении специфичности.

Для дифференциации подвидов *P. stewartii* также разработаны другие, более сложные методы. Q. Wu с соавт. (127) для выявления различий в профилях экспрессии белков двух подвидов использовали протеомный подход. Метод генотипирования, разработанный R. Xu с соавт. (128), включает ДНК-фингерпринтинг. В диагностическом протоколе ЕОКЗР (РМ 7/60 (2) 2016) в качестве метода идентификации *P. stewartii* subsp. *stewartii* предлагается анализ профилей жирных кислот бактерий с помощью системы MIDI (США) и оборудования компании «Agilent Technologies» (США) (89, 129, 130). Перечисленные методы трудоемки, требуют дорогостоящего оборудования и специальных знаний и не подходят для рутинной проверки образцов в испытательных и исследовательских лабораториях. Метод мультилокусного секвенирования (MLST), описанный J.T. Tambong (120), включает реакции ПЦР, процедуру описания изолятов бактерий с использованием последовательностей фрагментов генов, обычно семи генов домашнего хозяйства (117, 128). Этот метод рассчитан на готовую базу данных и оказывается довольно затратным при диагностике в исследовательских и испытательных лабораториях (132-134).

A. Wensing с соавт. (135) для анализа белковых профилей использовали времяпролетную масс-спектрометрию с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF MS). По результатам анализа белковых профилей *P. stewartii* subsp. *stewartii* дифференцировался от таких видов, как *P. agglomerans*, *P. dispersa* и *P. ananatis* (135). Анализ белковых

профилей *P. stewartii* subsp. *stewartii* и *P. stewartii* subsp. *indologenes* не позволяя достоверно их дифференцировать. Следует учитывать, что для эффективного применения MALDI-TOF MS и точной идентификации требуется наличие в библиотеке прибора максимально возможного количества белковых профилей искомой бактерии и близкородственных подвидов, а также видов (136).

Иммуноферментный анализ для диагностики *P. stewartii* и ее подвидов широко используется для фитосанитарной сертификации семян, но сам метод обладает низкой специфичностью и чувствительностью. Разработанный N. Pal с соавт. (113) метод ПЦР-РВ с интеркалирующим красителем SYBR рассматривается авторами как отдельный тест, который может использоваться в сочетании с ИФА. Партии семян кукурузы с положительным результатом ИФА могут быть дополнительно исследованы на наличие *P. stewartii* subsp. *stewartii* с помощью ПЦР-РВ или классической ПЦР либо обоими методами.

В 2023 году в Италии, где возникновение очагов бактериального увядания кукурузы остается актуальной проблемой, были разработаны праймеры на основе собранных геномов итальянских изолятов *P. stewartii* subsp. *stewartii* и *P. stewartii* subsp. *indologenes*. При сравнении геномов подвидов *P. stewartii* были отмечены множественные интрогрессионные события. Полученные результаты позволили разработать специфический молекулярный тест, при валидации которого в семенном материале получена чувствительность  $10^3$  КОЕ/мл (137). Однако во избежание ложноположительных реакций необходимо не забывать про альтернативные методы подтверждения присутствия *P. stewartii*, в частности биохимические методы и тест на патогенность. Так, описана специфическая реакция *P. stewartii* subsp. *stewartii* (гидролиз эскулина и индола на питательной среде) в сравнении с различными видами *Pantoea* (138, 139).

Таким образом, комплексный анализ современного состояния сведений о возбудителе бактериального увядания (вилта) кукурузы показывает, что с 1993 года фитопатоген сохраняет валидно описанное научное название *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith 1898) Mergaert et al. 1993 в рамках семейства *Enterobacteriaceae*. Несмотря на фитосанитарный контроль со стороны более чем 60 стран и попытки искоренения популяций этого карантинного объекта, возникают его новые очаги. Современный ареал охватывает все континенты, где выращивается кукуруза, и распространяется на такие страны, как США, Канада, Аргентина, Гайана, Перу, Боливия, Бенин, Того, Словения, Италия, Иран, КНР, Южная Корея, Индия, Иордания, Таиланд, Малайзия и Филиппины. Риск дальнейшего распространения патогена напрямую связан с международной торговлей семенным материалом и наличием насекомых — переносчиков возбудителя, что требует применения мер фитосанитарного контроля. Основное препятствие для выявления возбудителя бактериального увядания кукурузы — это отсутствие доступного и на 100 % специфического диагностического метода. Существующие коммерческие наборы ИФА и многие молекулярные (ПЦР) тесты демонстрируют ложноположительные реакции с близкородственными непатогенными для кукурузы бактериями. Ошибочная идентификация приводит к значительным экономическим потерям в семеноводстве сельскохозяйственных культур. Часто для проведения диагностики возбудителя требуется применение не одного метода, а нескольких независимых тестов.

Существующие высокоточные методы (например, мультилокусное секвенирование и анализ профилей жирных кислот) по-прежнему остаются мало-доступными для рутинного использования в лабораторной диагностике из-за высокой стоимости, сложности и необходимости применения специального оборудования. В этой связи при исследовании образцов на наличие возбудителя бактериального увядания кукурузы необходимо опираться на совокупность методов, основанных на разных биологических принципах. Представленный обзор консолидирует актуальные научные данные и четко определяет стратегические направления прикладных фитосанитарных исследований по снижению рисков, связанных с возбудителем бактериального увядания кукурузы *P. stewartii* subsp. *stewartii*.

<sup>1</sup>ФГБУ Всероссийский центр карантина растений,  
140150 Россия, Московская обл., м.о. Раменский, пгт. Быково,  
ул. Пограничная, 32,  
e-mail: an\_ya94@mail.ru ✉, konstantin.kornev@gmail.com, svet-  
lana.prik@yandex.ru, slovareva.olga@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГАУ ВО Российский университет дружбы народов  
им. Патриса Лумумбы,  
117198 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

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

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2026, V. 61, № 1, pp. 20-39

BIOLOGICAL FEATURES AND METHODS OF DETECTION  
AND IDENTIFICATIONS OF *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith)  
Mergaert et al., THE CAUSATIVE AGENT OF MAIZE BACTERIAL WILT  
(review)

A.B. Iaremko<sup>1</sup> ✉, K.P. Kornev<sup>1, 2</sup>, S.I. Prikhodko<sup>1</sup>, O.Y. Slovareva<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Plant Quarantine Center, 32, ul. Pogranichnaya, Bykovo, Ramensky Municipal District, Moscow Province, Russia 140150, e-mail an\_ya94@mail.ru (✉ corresponding author), konstantin.kornev@gmail.com, svetlana.prik@yandex.ru, slovareva.olga@gmail.com;

<sup>2</sup>RUDN University, 6, ul. Miklukho-Maklaya, Moscow, 117198 Russia

ORCID:

Iaremko A.B. [orcid.org/0000-0003-3295-8080](https://orcid.org/0000-0003-3295-8080)

Prikhodko S.I. [orcid.org/0000-0002-1281-4410](https://orcid.org/0000-0002-1281-4410)

Kornev K.P. [orcid.org/0000-0002-3490-1857](https://orcid.org/0000-0002-3490-1857)

Slovareva O.Y. [orcid.org/0000-0001-6022-5955](https://orcid.org/0000-0001-6022-5955)

The authors declare no conflict of interests

Final revision received April 22, 2025

doi: 10.15389/agrobiology.2026.1.20eng

Accepted July 06, 2025

Abstract

This article provides a detailed review dedicated to a quarantine pest, bacterial wilt of maize caused by *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (Smith) Mergaert et al. The taxonomic position, history of nomenclature changes, geographical distribution, phytosanitary status, biological characteristics, and existing diagnostic methods for this economically significant phytopathogenic bacterium affecting maize (*Zea mays* L.) are described. The systematic position of the bacterium and the history of its discovery illustrate the complex path of identifying *P. stewartii* subsp. *stewartii* since the end of the 19<sup>th</sup> century. The taxonomic status of the pathogen, first described by F.C. Stewart in the USA (F.C. Stewart, 1897), has changed multiple times, from *Pseudomonas stewartii* to *Erwinia stewartii*. In 1993, based on phylogenetic analysis, the bacterium was assigned to the genus *Pantoea* (J. Mergaert et al., 1993). A significant taxonomic event was the simultaneous description of the non-pathogenic to maize subspecies *P. stewartii* subsp. *indologenes* Mergaert et al. 1993, which subsequently became a central issue in the identification (J. Mergaert et al., 1993) of the bacterial wilt of maize. Morphologically, the bacterium is characterized as gram-negative, facultative anaerobe, capable of altering motility depending on environmental conditions (C.M. Herrera et al., 2008). Analysis of geographical distribution indicates that the primary source of the phytopathogen was North America (E.F. Smith, 1903), from where it was introduced via seed material to other continents. Currently, its range has expanded, with foci present in North and South America, Africa, and Eurasia (EPPO Global Data Base, 2025). Special attention in the article is given to the detection and distribution of *P. stewartii* subsp. *stewartii* in Europe, which varies from complete absence (Belgium, Netherlands) to the periodic pest outbreaks

(Italy, Slovenia, Ukraine) (EPPO Global Data Base, 2025; EFSA PHL Panel, 2018). This heterogeneity is directly linked to the risk of pathogen introduction with imported seed material, emphasizing the importance of reliable phytosanitary control and seed certification. Since the initial isolation and description of the phytopathogen to the present day, the symptomatology of the disease on maize has changed insignificantly, primarily manifesting as chlorotic streaks followed by necrosis and leaf dieback, plant wilting, and yellowing of vascular bundles in cross-sections (EPPO Global Data Base, 2025; EFSA PHL Panel, 2018). It is noted that bacterial wilt of maize poses the greatest danger to seedlings (M.C. Roper, 2011). The main pathways for bacteria distribution are insect vectors and infected seeds. Despite the low frequency of seed transmission, this pathway remains key for international dissemination, leading to the imposition of strict phytosanitary regulations in over 60 countries. The bacterium can persist latently in seeds for extended periods and can infect, besides its main host plant maize, several other crops. The detection and identification of *P. stewartii* subsp. *stewartii* cannot be accomplished without laboratory diagnostic methods. It is noted that existing standard methods, the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) test and polymerase chain reaction (PCR) protocols lack sufficient specificity (N. Pal et al., 2019). The main problem lies in the inability to reliably differentiate the maize-pathogenic subspecies *P. stewartii* subsp. *stewartii* from the non-pathogenic, economically insignificant subspecies *P. stewartii* subsp. *indologenes* present on plants. This leads to false-positive results, which have serious economic consequences for seed production and international trade. It has been shown that for identification of *P. stewartii* subsp. *stewartii*, there exist methods with insufficient specificity (ELISA, conventional PCR) and more accurate but costly and labor-intensive (multilocus sequence typing (MLST), fatty acid profiling) (J.T. Tambong, 2015; EPPO PM 7/60, 2016). Based on the material presented in the article, it is assumed that only the use of a combination of existing methods will allow reliable identification of the bacterial wilt of maize. Thus, this review systematizes fundamental knowledge about *P. stewartii* subsp. *stewartii* and highlights the main fundamental and practical challenges, namely the urgent need for the development and validation of novel highly specific, rapid, and cost-effective methods for the detection and identification of this quarantine pest. Addressing this issue is a prerequisite for effective phytosanitary risk management, ensuring biosafety, and facilitating unhindered trade in maize seeds.

Keywords: bacterial wilt of maize, *Zea mays* L., plant protection and quarantine, quarantine pest, identification of phytopathogen, diagnostic methods, ELISA, MALDI-TOF MS, MLST, SNP, PCR, EAEU, EPPO.

## REFERENCES

1. *Natsional'niy tsentr biotekhnologicheskoy informatsii. Pantoea stewartii subsp. stewartii*. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/www-tax.cgi?mode=Info&id=66271&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>. Accessed: 02/20/2025.
2. Cushatt J. *Pantoea stewartii subspecies detection. Creative component submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Program of Study Committee: Gary Munkvold, Major Professor (or Co-Major Professor) Anthony Townsend*. Iowa State University. 2020.
3. Herrera C.M., Koutsoudis M.D., Wang X., von Bodman S.B. *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* exhibits surface motility, which is a critical aspect of Stewart's wilt disease development on maize. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2008, 21(10): 1359-1370 (doi: 10.1094/MPMI-21-10-1359).
4. Stewart F.C. A bacterial disease of sweet corn. *New York Agricultural Experiment Station Bulletin* 1897, No.130: 421-439.
5. Clinton G.P., Singleton W.R. Stewart's bacterial wilt on sweet corn. *Connecticut Agricultural Experiment Station*, 1934, Circular 96: 25-36.
6. Smith E.F. *The cultural characters of Pseudomonas hyacinthi, Ps. campestris, Ps. phaseoli, and Ps. stewartii — four one-flagellate, yellow bacteria parasitic on plants*. Washington, 1901.
7. Smith E.F. Seed corn as a means of disseminating *Bacterium stewartii*. *Science*, 1909, 30: 223-224.
8. Roper M.C. *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*: lessons learned from a xylem-dwelling pathogen of sweet corn. *Molecular Plant Pathology*, 2011, 12(7): 628-637 (doi: 10.1111/j.1364-3703.2010.00698.x).
9. McCulloch L.A. Morphological and cultural note on the organism causing Stewart's disease of sweet corn. *Phytopathology*, 1918, 8: 440-442.
10. McNew G.L. Factors Influencing Attenuation of *Phytomonas stewartii* Cultures. *J. Bacterio.*, 1940, 39(2): 171-186 (doi: 10.1128/jb.39.2.171-186.1940).
11. Pataky J.K. Stewart's wilt of corn. *The Plant Health Instructor*, 2004, 04 (doi: 10.1094/PHI-I-2004-0113-01).
12. Dye D.W. The Inadequacy of the Usual Determinative Tests for the Identification of *Xanthomonas* spp. *New Zealand Journal of Science*, 1962, 5(4): 393-416.
13. Lamka G.L., Hill J.H., McGee D.C., Braun E.J. Development of an immunosorbent assay for

seedborne *Erwinia stewartii* in corn seeds. *Phytopathology*, 1991, 81: 839-846 (doi: 10.1094/Phyto-81-839).

14. Mergaert J., Verdonck L., Kersters K. Transfer of *Erwinia ananas* (synonym, *Erwinia uredovora*) and *Erwinia stewartii* to the Genus *Pantoea* emend. as *Pantoea ananas* (Serrano 1928) comb. nov. and *Pantoea stewartii* (Smith 1898) comb. nov., Respectively, and Description of *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* subsp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1993, 43(1): 162-173 (doi: 10.1099/00207713-43-1-162).
15. Uematsu H., Inoue Y., Ohto Y. Detection of *Pantoea stewartii* from sweet corn leaves by loop-mediated isothermal amplification (LAMP). *Journal of General Plant Pathology*, 2015, 81(3): 173-179 (doi: 10.1007/s10327-015-0580-4).
16. EPPO Global Data Base. *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* (ERWIST). Available: <https://gd.eppo.int/taxon/ERWIST>. Accessed: 02/20/2025.
17. EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health), Jeger M., Bragard C., Candresse T., Chatzivassiliou E., Dehnen-Schmutz K., Gilioli G., Grégoire J.-C., Jaques Miret J.A., MacLeod A., Navajas Navarro M., Niere B., Parnell S., Potting R., Rafoss T., Rossi V., Urek G., Van Bruggen A., Van der Werf W., West J., Winter S., Manceau C., Pautasso M., Caffier D. Scientific opinion on the pest categorisation of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*. *EFSA Journal*, 2018, 16(7): 5356 (doi: 10.2903/j.efsa.2018.5356).
18. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Azerbaydzhanskoy Respubliki* [Phytosanitary requirements of the Republic of Azerbaijan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/aktualnye-fitosanitarnye-trebovaniya-azerbaydzhanskoy-respubliki-2023/>. Accessed: 15.12.2025.
19. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Alzhirskoy Respubliki* [Phytosanitary requirements of the Republic of Algeri]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/alghir/export-6/>. Accessed: 12/18/2025.
20. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Argentini k semenam i posadochnomu materialu* [Phytosanitary requirements of Argentina for seeds and planting material]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/argentina/export-9/>. Accessed: 12/15/2025.
21. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Bangladesha* [Phytosanitary requirements of Bangladesh]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/bangladesh/export-13/>. Accessed: 12/15/2025.
22. Rossel'khoznadzor. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov Korolevstva Bakhreyn* [List of regulated pests of the Kingdom of Bahrain]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/bahreyn/export-14/>. Accessed: 12/15/2025.
23. Rossel'khoznadzor. *Trebovaniya, pred'yavlyaemie Beninom k zernovoy produkcii i rastitel'nim maslam* [Benin's requirements for cereals and vegetable oils]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/trebovaniya-predjavljaemye-beninom-k-zernovoj-produkcii-i-rastitel-nym-maslam/>. Accessed: 12/15/2025.
24. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Botsvani* [List of quarantine pests of Botswana]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/aktualizirovannyj-perechen-karantinnih-vrednyh-organizmov-botsvana/>. Accessed: 12/20/2025.
25. Rossel'khoznadzor. *Spisok otsutstvuyushchikh karantinnikh vrednikh organizmov dlya Brazilii* [List of missing quarantine pests for Brazil]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/braziliya/jek-sport-zerna-3/>. Accessed: 12/15/2025.
26. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov dlya Burkina-Faso* [List of quarantine pests for Burkina Faso]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/burkina-faso/burkina-faso-fitosanitarnye-trebovaniya/>. Accessed: 12/15/2025.
27. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya V'etnama* [Phytosanitary requirements of Vietnam]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/vetnam/export-31/>. Accessed: 12/25/2025.
28. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Gvatemali* [Phytosanitary requirements of Guatemala]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/gvatemala/export-37/>. Accessed: 12/25/2025.
29. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Gvinei* [Phytosanitary requirements of Guinea]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/gvineya/export-38/>. Accessed: 12/25/2025.
30. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot Guinea-Bissau*. [Quarantine pests and diseases in Guinea Bissau]. Available: [https://assets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2022/07/22/Organismos\\_nocivos\\_de\\_quarentenada\\_Guini-Bissau.pdf](https://assets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2022/07/22/Organismos_nocivos_de_quarentenada_Guini-Bissau.pdf). Accessed: 02/09/2026.
31. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Gruzii* [List of quarantine pests of Georgia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/gruziya/export-46/>. Accessed: 12/17/2025.
32. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya Egipta k produkcii rastitel'nogo proizvodstva* [Egyptian phytosanitary quarantine requirements for plant products]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/egipet/export-52/>. Accessed: 12/25/2025.
33. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Zimbabve v otnoshenii reguliruemikh ob'ektov pri importe kukuruzy i pshenitsy* [Zimbabwe's phytosanitary requirements for regulated items for imported maize and wheat]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/zimbabve/export-54/>. Accessed: 12/15/2025.

34. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Izrayila* [List of quarantine pests of Israel]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/izrail/export-55/>. Accessed: 12/15/2025.
35. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya pri importe produktsii rastitel'nogo proiskhozhdeniya v Indiyu* [Phytosanitary requirements for import of plant products into India]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/indiya/export-56/>. Accessed: 12/15/2025.
36. Rossel'khoznadzor. *Spisok karantinnikh ob'ektov dlya Indonezii* [List of quarantine objects for Indonesia]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/indoneziya/export-57/>. Accessed: 12/15/2025.
37. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Iordanii* [List of quarantine pests of Jordan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnyh-vrednyh-organizmov-iordanii/>. Accessed: 12/27/2025.
38. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov, imeyushchikh znachenie dlya Irana* [List of quarantine pests of significance to Iran]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/iran/export-60/>. Accessed: 12/27/2025.
39. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya Yemena* [Phytosanitary quarantine requirements of Yemen]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/karantinnye-fitosanitarnie-trebovaniya-k-importiruemoj-v-jemen-zer-novoj-produkcii/>. Accessed: 12/27/2025.
40. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Kanadi* [Phytosanitary requirements of Canada]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/kanada/export-70/>. Accessed: 12/27/2025.
41. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya i perechen' karantinnikh vrednikh organizmov dlya Katara* [Quarantine phytosanitary requirements and list of quarantine pests for Qatar]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/katar/gosudar-stvo-katar-jeksport-zerna/>. Accessed: 12/28/2025.
42. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Kenii k zernu* [Kenya's phytosanitary requirements for grains]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/keniya/export-72/>. Accessed: 12/28/2025.
43. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie trebovaniya k importu rasteniy ili rastitel'noy produktsii v Kitajskuju 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-rasteniy-ili-rastitel'noj-produkcii-v-kitajskuju-respubliku/>. Accessed: 12/28/2025.
44. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya KNDR* [Phytosanitary quarantine requirements of the DPRK]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/kndr/export-76/>. Accessed: 12/15/2025.
45. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrednikh organizmov Kolumbii* [List of pests of Colombia]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/kolumbiya/export-77/>. Accessed: 12/15/2025.
46. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya DR Kongo* [Phytosanitary requirements of the DR Congo]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/kongo-demokraticheskaya-respublika/export-80/>. Accessed: 12/15/2025.
47. Rossel'khoznadzor. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov Kubi* [List of regulated pests of Cuba]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/kuba/jeksport-zerna-7/>. Accessed: 01/04/2026.
48. Rossel'khoznadzor. *Zakon o karantine rasteniy stran Persidskogo Zaliva, s perechenem karantinnikh vrednikh organizmov* [Plant quarantine law of the Gulf States, with a list of quarantine pests]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/kuvejt/kuvejt-jeksport-zerna/>. Accessed: 01/04/2026.
49. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrednikh organizmov, imeyushchikh karantinnoe znachenie dlya Laosa* [List of pests of quarantine significance for Laos]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/laos/export-86/>. Accessed: 01/04/2026.
50. Rossel'khoznadzor. *Obnovlennye fitosanitarnie trebovaniya Mavrikiya* [Updated phytosanitary requirements of Mauritius]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/mavrikiy/export-95/>. Accessed: 01/04/2026.
51. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya pri importe produktsii rastitel'nogo proiskhozhdeniya v respubliku Madagaskar* [Phytosanitary requirements for importing plant products into the Republic of Madagascar]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/madagaskar/export-97/>. Accessed: 01/04/2026.
52. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Malayzii k importiruemu zernu* [Malaysia's phytosanitary requirements for imported grains]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/malayziya/export-99/>. Accessed: 01/04/2026.
53. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Mali* [Phytosanitary requirements of Mali]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/mali/export-100/>. Accessed: 01/04/2026.
54. Rossel'khoznadzor. *Spisok reglamentiruemikh ob'ektov dlya Meksiki* [List of regulated objects for Mexico]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/meksika/meksika-jeksport-zerna/>. Accessed: 01/04/2026.
55. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya Mozambika k produktsii rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Mozambique's phytosanitary quarantine requirements for plant products]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/mozambik/mozambik-jeksport-zerna/>. Accessed: 01/06/2026.

56. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Mongolii* [Phytosanitary requirements of Mongolia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/mongoliya/export-107/>. Accessed: 01/06/2026.
57. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrednikh organizmov, imeyushchikh karantinnoe znachenie dlya Respubliki Moldova* [List of pests of quarantine significance for the Republic of Moldova]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/moldova/export-106/>. Accessed: 01/06/2026.
58. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti zerna, pred'yavlyaemie Respublikoy Namibiya* [Phytosanitary requirements for grain quality and safety imposed by the Republic of Namibia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/namibiya/export-109/>. Accessed: 01/06/2026.
59. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Nikaragua* [List of quarantine pests of Nicaragua]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnyh-vrednyh-organizmov-nikaragua/>. Accessed: 01/06/2026.
60. Rossel'khoznadzor. *Spisok karantinnikh ob'ektov Paragvaya* [List of quarantined objects in Paraguay]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/paragvay/export-124/>. Accessed: 01/06/2026.
61. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Makedonii* [Phytosanitary requirements of Macedonia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/respublika-severnaya-makedoniya/export-130/>. Accessed: 01/06/2026.
62. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Senegala* [List of quarantine pests of Senegal]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnyh-vrednyh-organizmov-senegal/>. Accessed: 01/06/2026.
63. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Serbii* [Phytosanitary requirements of Serbia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/serbiya/export-138/>. Accessed: 01/06/2026.
64. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Sirii* [Phytosanitary requirements of Syria]. Available: <https://fsv-ps.gov.ru/importexport/siriya/export-140/>. Accessed: 01/06/2026.
65. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh ob'ektov Sudana* [List of quarantine pests of Sudan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/sudan/export-143/>. Accessed: 01/06/2026.
66. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Tailanda pri vvoze semyan kukuruzy (Zea mays) dlya poseva* [Phytosanitary requirements of Thailand for import of corn (*Zea mays*) seeds for sowing]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/tailand/export-148/>. Accessed: 01/06/2026.
67. Rossel'khoznadzor. *Karantinnie fitosanitarnie trebovaniya Tayvani (Kitay) dlya vvoza rasteniy i rastitel'noy produktsii* [Phytosanitary quarantine requirements of Taiwan (China) for import of plants and plant products]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/tay-van-kitay/export-149/>. Accessed: 01/06/2026.
68. Rossel'khoznadzor. *Trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti zerna i produktov ego pererabotki pri postavke v Tanzaniyu* [Requirements for the quality and safety of grain and its processed products when supplied to Tanzania]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/tanzaniya/export-150/>. Accessed: 01/08/2026.
69. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot Togo* [Lists of regulated pests in Togo]. Available: [https://asets.ipcc.int/static/media/files/reportingobligation/2024/02/19/Arrete\\_portant\\_etablissement\\_des\\_listes\\_des\\_organismes\\_nuisibles\\_reglementés\\_du\\_Togo.pdf](https://asets.ipcc.int/static/media/files/reportingobligation/2024/02/19/Arrete_portant_etablissement_des_listes_des_organismes_nuisibles_reglementés_du_Togo.pdf). Accessed: 02/09/2026.
70. Rossel'khoznadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Tunisa* [List of quarantine pests of Tunisia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/tunis/export-153/>. Accessed: 01/08/2026.
71. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrediteley, bolezney rasteniy i sornyakov, imeyushchikh karantinnoe znachenie dlya Turkmenistana* [List of pests, plant diseases and weeds of quarantine significance for Turkmenistan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/turkmeniya/export-154/>. Accessed: 01/08/2026.
72. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Turtsii* [Phytosanitary requirements of Turkey]. Available: <https://fsvps.gov.ru/im-portexport/turciya/export-155/>. Accessed: 01/08/2026.
73. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Ugandi* [Phytosanitary requirements of Uganda]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/uganda/export-156/>. Accessed: 01/08/2026.
74. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrednikh organizmov karantinno go znacheniya dlya Respubliki Uzbekistan* [List of pests of quarantine significance for the Republic of Uzbekistan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/uzbekistan/export-157/>. Accessed: 01/08/2026.
75. Rossel'khoznadzor. *Perechen' vrednikh organizmov, imeyushchikh karantinnoe znachenie dlya Ukraini* [List of pests of quarantine significance for Ukraine]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/ukraina/export-158/>. Accessed: 01/08/2026.
76. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Urugvaya* [Phytosanitary requirements of Uruguay]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/urugvay/export-159/>. Accessed: 01/08/2026.
77. Rossel'khoznadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya pri importe produktsii rastitel'nogo proiskhozhdeniya v Chili* [Phytosanitary requirements for importing plant products into Chile]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/chili/export-172/>. Accessed: 01/08/2026.
78. Rossel'khoznadzor. *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/importexport/shri-lanka/export-173/>. Accessed: 01/08/2026.

- Lanka]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/karantinnye-fitosanitarnye-trebovaniya-s-perechnem-karantinnih-vrednyh-organizmov/>. Accessed: 01/08/2026.
79. Rossel'khoz nadzor. *Perechen' karantinnikh vrednikh organizmov Ekvadora* [List of quarantine pests of Ecuador]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnih-vrednyh-organizmov-jekvadora/>. Accessed: 01/08/2026.
  80. Rossel'khoz nadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya Efiopii* [Phytosanitary requirements of Ethiopia]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/efiopiya/export-178/>. Accessed: 01/08/2026.
  81. *Spisok reguliruemikh vrednikh organizmov ot South Africa. Importation of controlled goods without an import permit* [List of regulated pests from South Africa]. Available: [https://as-sets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2015/04/10/1162888824234\\_R\\_1013\\_Master\\_Document\\_2013090215-25En.pdf](https://as-sets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2015/04/10/1162888824234_R_1013_Master_Document_2013090215-25En.pdf). Accessed: 02/09/2026.
  82. Rossel'khoz nadzor. *Fitosanitarnie trebovaniya pri importe produktsii rastitel'nogo proiskhozhdeniya v Yaponiyu* [Phytosanitary requirements for importing plant products into Japan]. Available: <https://fsvps.gov.ru/importexport/yaponiya/export-183/>. Accessed: 01/08/2026.
  83. *Reshenie Soveta Evraziyskoy ekonomicheskoy komissii ot 30.11.2016 N 158 (red. ot 25.01.2023) «Ob utverzhdenii edinogo perechnya karantinnikh ob'ektov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuz»* [Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of 30.11.2016 N 158 (as amended on 25.01.2023) "On approval of a unified list of quarantine objects of the Eurasian Economic Union"]. Available: <https://fsvps.gov.ru/files/reshenie-soveta-evraziyskoj-ekonomich-7/>. Accessed: 02/03/2026.
  84. Anon. 2018. EPPO Reporting Service, 2018-02. No. 2, Paris, France, 17 pp. Available online: <http://archives.eppo.int/EPPOReporting/2018/Rse-1802.pdf>.
  85. Anon, 2018. Stewart's wilt on maize in Italy. SeedQuest, February 2018. Available online: [http://www.seedquest.com/news.php?type=news&id\\_article=96568&id\\_region=&id\\_category=&id\\_crop=](http://www.seedquest.com/news.php?type=news&id_article=96568&id_region=&id_category=&id_crop=).
  86. Kini K., Agnimonhan R., Afolabi O., Milan B., Soglonou B., Gbogbo V., Koebnik R., Silué D. First report of a new bacterial leaf blight of rice caused by *Pantoea ananatis* and *Pantoea stewartii* in Benin. *Plant Disease*, 2017, 101(1): 241-242 (doi: 10.1094/PDIS-06-16-0940-PDN).
  87. Alvandi H., Taghavi S.M., Zarei S., Ansari M., Heidari M., Fazliarab A., Aeini M., Portier P., Osdaghi E. Monitoring the occurrence and distribution of Stewart's wilt of maize in Iran. *Plant Disease*, 2025 (doi: 10.1094/PDIS-03-25-0509-SR).
  88. Pataky J.K., University of Illinois at Urbana-Champaign. *Stewart's wilt (Pantoea stewartii ssp. stewartii (Smith 1898) Mergaert et al. 1993)*. Available: <https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=1263103>. Accessed: 02/24/2025.
  89. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). PM 7/60 (2) *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 2016, 46(2): 226-236.
  90. Rice M.E., Munkvold G. Biology and management of the corn flea beetle in Iowa field corn: Thoughts for 2001. *Proc. 12th Annual Integrated Crop Management Conference*. Ames, IA, 2000: 169-172 (doi: 10.31274/icm-180809-690).
  91. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2022. EPPO Datasheets: *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*. In: Németh J. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. Available: [https://gd.eppo.int/taxon/ERWIST/download/datasheet\\_pdf](https://gd.eppo.int/taxon/ERWIST/download/datasheet_pdf). No date.
  92. Schattman R.E., Merrill S.C., Tracy W.F. Shifts in geographic vulnerability of US corn crops under different climate change scenarios: corn flea beetle (*Chaetocnema pulicaria*) and Stewart's Wilt (*Pantoea stewartii*) bacterium. *Environmental Entomology*, 2024, 53(6): 1102-1110 (doi: 10.1093/ee/nvae099).
  93. Cook K.A., Weinzierl R.A., Pataky J.K., Esker P.D., Nutter Jr. F.W. Population densities of corn flea beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and incidence of Stewart's wilt in sweet corn. *Journal of Economic Entomology*, 2005, 98(3): 673-682 (doi: 10.1603/0022-0493-98.3.673).
  94. Freeman N.D., Pataky J.K. Levels of Stewart's wilt resistance necessary to prevent reductions in yield of sweet corn hybrids. *Plant Disease*, 2001, 85(12): 1278-1284 (doi: 10.1094/PDIS.2001.85.12.1278).
  95. Pataky J.K., Bohn M.O., Lutz J.D., Richter P.M. Selection for quantitative trait loci associated with resistance to Stewart's wilt in sweet corn. *Phytopathology*, 2008, 98(4): 469-474 (doi: 10.1094/PHYTO-98-4-0469).
  96. Suparyono, Pataky J.K. Influence of host resistance and growth stage at the time of inoculation on Stewart's wilt and Goss's wilt development and sweet corn hybrid yield. *Plant Disease*, 1989, 73(4): 339-345.
  97. Cui D., Huang M.T., Hu C.Y., Su J.B., Lin L.H., Javed T., Deng Z.H., Gao S.J. First report of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* causing bacterial leaf wilt of sugarcane in China. *Plant Disease*, 2020, 105(4): 1190 (doi: 10.1094/PDIS-09-20-2015-PDN).
  98. Abidin N., Ismail S.I., Vadamalai G., Yusof M.T., Hakiman M., Karam D.S., Ismail-Suhaimy N.W., Ibrahim R., Zulperi D. Genetic diversity of *Pantoea stewartii* subspecies *stewartii* causing jackfruit-bronzing disease in Malaysia. *PLoS ONE*, 2020, 15(6): e0234350 (doi: 10.1371/journal.pone.0234350).
  99. Gapasin R.M., Garcia R.P., Advincula C.T., De la Cruz C.S., Borines L.M. Fruit bronzing: a

new disease affecting jackfruit caused by *Pantoea stewartii* (Smith) Mergaert et al. *Annals of Tropical Research*, 2014, 36(1): 17-31.

100. Hernandez-Morales A., Perez-Casillas J.M., Soria-Guerra R.E., Velazquez-Fernandez J.B., Arvizu-Gomez J.L. First report of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* causing jackfruit bronzing disease in Mexico. *Journal of Plant Pathology*, 2017, 99(3): 799-818.
101. Zulperi D., Manaf N., Ismail S.I., Karam D.S., Yusof M.T. First report of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* causing fruit bronzing of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*), a new emerging disease in Peninsular Malaysia. *Plant Disease*, 2017, 101(5): 831 (doi: 10.1094/PDIS-11-16-1689-PDN).
102. Choi O., Kim J. *Pantoea stewartii* causing Stewart's wilt on *Dracaena sanderiana* in Korea. *Journal of Phytopathology*, 2013, 161(7/8): 578-581 (doi: 10.1111/jph.12090).
103. Arayaskul N., Poompouang S., Lithanatudom P., Lithanatudom S.K. First report of a leaf blight in rice (*Oryza sativa*) caused by *Pantoea ananatis* and *Pantoea stewartii* in Thailand. *Plant Disease*, 2020, 104(2): 562-562 (doi: 10.1094/PDIS-05-19-1038-PDN).
104. Guo Y.F., Liang Z.Q., Lu G.Q., Xie B.C. Survival conditions of *Erwinia stewartii* in stored corn. *Acta Phytophylactica Sinica*, 1987, 14(1): 39-44.
105. Block C.C., Hill J.H., McGee D.C. Relationship between late-season severity of Stewart's bacterial wilt and seed infection in maize. *Plant Disease*, 1999, 83(6): 527-530 (doi: 10.1094/PDIS.1999.83.6.527).
106. Khan A., Ries S.M., Pataky J.K. Transmission of *Erwinia stewartii* through seed of resistant and susceptible field and sweet corn. *Plant Disease*, 1996, 80(4): 398-403 (doi: 10.1094/PD-80-0398).
107. Pataky J., Ikin R. *Pest risk analysis. The risk of introducing Erwinia stewartii in maize seed*. International Seed Federation, Nyon, Switzerland, 2003.
108. EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health), Bragard C., Dehnen-Schmutz K., Di Serio F., Gonthier P., Jacques M.-A., Jaques Miret J.A., Justesen A.F., MacLeod A., Magnusson C.S., Milonas P., Navas-Cortes J.A., Parnell S., Potting R., Reignault P.L., Thulke H.-H., Vicent Civera A., Yuen J., Zappala L., Battilani P., Pautasso M., van der Werf W. Scientific Opinion on the risk assessment of the entry of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* on maize seed imported by the EU from the USA. *EFSA Journal*, 2019, 17(10): e5851 (doi: 10.2903/j.efsa.2019.5851).
109. Block C.C., Hill J.H., McGee D.C. Seed transmission of *Pantoea stewartii* in field and sweet corn. *Plant Disease*, 1998, 82(7): 775-780 (doi: 10.1094/PDIS.1998.82.7.775).
110. Michener P.M., Pataky J.K., White D.G. Transmission of *Erwinia stewartii* from plants to kernels and reactions of corn hybrids to Stewart's wilt. *Plant Disease*, 2002, 86(2): 167-172 (doi: 10.1094/PDIS.2002.86.2.167).
111. Esker P.D., Nutter Jr. F.W. Temporal dynamics of corn flea beetle populations infested with *Pantoea stewartii*, causal agent of Stewart's disease of corn. *Phytopathology*, 2003, 93(2): 210-218 (doi: 10.1094/PHYTO.2003.93.2.210).
112. Coplin D.L., Majerczak D.R., Zhang Y., Kim W.S., Jock S., Geider K. Identification of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* by PCR and strain differentiation by PFGE. *Plant Disease*, 2002, 86(3): 304-311 (doi: 10.1094/PDIS.2002.86.3.304).
113. Pal N., Block C.C., Gardner C. A real-time PCR differentiating *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* from *P. stewartii* subsp. *indologenes* in corn seed. *Plant Disease*, 2019, 103(7): 1474-1486 (doi: 10.1094/PDIS-06-18-0936-RE).
114. Tambong J.T., Mwange K.N., Bergeron M., Ding T., Mandy F., Reid L. M., Zhu X. Rapid detection and identification of the bacterium *Pantoea stewartii* in corn by Taqman real-time PCR assay targeting the *cpsD* gene. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 104(5): 1525-1537 (doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03674.x).
115. Wilson W.J., Wiedmann M., Dillard H.R., Batt C.A. Identification of *Erwinia stewartii* by a ligase chain reaction assay. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, 60(1): 278-284 (doi: 10.1128/AEM.60.1.278-284.1994).
116. Block C.C., Shepherd L.M., Munkvold G.P. Comparison of nine PCR primer sets designed to detect *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* in maize. *Phytopathology*, 2011, 101: S16.
117. Brady C., Cleenwerck I., Venter S., Vancanneyt M., Swings J., Coutinho T. Phylogeny and identification of *Pantoea* species associated with plants, humans and the natural environment based on multilocus sequence analysis (MLSA). *Systematic and Applied Microbiology*, 2008, 31(6-8): 447-460 (doi: 10.1016/j.syapm.2008.09.004).
118. Thapa S.P., Park D.H., Wilson C., Hur J.H., Lim C.K. Multiplex PCR assay for the detection of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* using species-specific genetic markers. *Australasian Plant Pathology*, 2012, 41: 559-564 (doi: 10.1007/s13313-012-0123-9).
119. Nechwatal J., Friedrich-Zorn M., Theil S., Gebauer P., Wensing A. Validation of a specific PCR screening test for *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* in maize (*Zea mays*) samples. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 2018, 48(1): 78-85 (doi: 10.1111/epp.12448).
120. Gehring I., Wensing A., Gernold M., Wiedemann W., Coplin D. L., Geider K. Molecular differentiation of *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* from subspecies *stewartii* and identification of

- new isolates from corn seeds. *Journal of Applied Microbiology*, 2014, 116(6): 1553-1562 (doi: 10.1111/jam.12467).
121. Slovareva 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'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2023, 58(1): 184-199 (doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.184rus).
  122. Tambong J.T. Specific identification and detection of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* using a membrane-based multi-gene oligonucleotide array. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2015, 37(4): 414-426 (doi: 10.1080/07060661.2015.1113442).
  123. Stumpf S., Kvitko B., Gitatitit R., Dutta B. Isolation and characterization of novel *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* strains exhibiting center rot in onion. *Plant Disease*, 2018, 102(4): 727-733 (doi: 10.1094/PDIS-08-17-1321-RE).
  124. Walterson A. M., Stavrinides J. *Pantoea*: insights into a highly versatile and diverse genus within the *Enterobacteriaceae*. *FEMS Microbiology Reviews*, 2015, 39(6): 968-984 (doi: 10.1093/femsre/fuv027).
  125. Prikhod'ko S.I., Yaremko A.B., Starikova E.V., Kornev K.P. *Fitosanitariya. Karantin rasteniy*, 2022, 2: 50-59 (doi: 10.69536/s9564-4378-7598-q) (in Russ.).
  126. Baek K.Y., Lee H.H., Son G.J., Lee P.A., Roy N., Seo Y.S., Lee S.W. Specific and sensitive primers developed by comparative genomics to detect bacterial pathogens in grains. *The Plant Pathology Journal*, 2018, 34(2): 104-112 (doi: 10.5423/PPJ.OA.11.2017.0250).
  127. Wu Q., Jiang Z., Liao J., Chen Z., Li H., Mei M., Zhang L.H. Identification of genetic markers to distinguish the virulent and avirulent subspecies of *Pantoea stewartii* by comparative proteomics and genetic analysis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007, 74: 186-193 (doi: 10.1007/s00253-006-0656-3).
  128. Xu R., Chen Q., Djama Z.R., Tambong J.T. Miniprimer PCR assay targeting multiple genes: a new rapid and reliable tool for genotyping *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*. *Letters in Applied Microbiology*, 2010, 50(2): 216-222 (doi: 10.1111/j.1472-765X.2009.02780.x).
  129. Janse J.D. Infra- and intraspecific classification of *Pseudomonas solanacearum* strains, using whole cell fatty acid analysis. *Systematic and Applied Microbiology*, 1991, 14(4): 335-345 (doi: 10.1016/S0723-2020(11)80307-3).
  130. Stead D.E., Sellwood J.E., Wilson J., Viney I. Evaluation of a commercial microbial identification system based on fatty acid profiles for rapid accurate identification of plant pathogenic bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*, 1992, 72(4): 315-321 (doi: 10.1111/j.1365-2672.1992.tb01841.x).
  131. Brady C.L., Venter S.N., Cleenwerck I., Engelbeen K., Vancanneyt M., Swings J., Coutinho T.A. *Pantoea vagans* sp. nov., *Pantoea eucalyptii* sp. nov., *Pantoea deleyi* sp. nov. and *Pantoea anthophila* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59(9): 2339-2345 (doi: 10.1099/ijs.0.009241-0).
  132. Sullivan C.B., Diggle M.A., Clarke S.C. Multilocus sequence typing: Data analysis in clinical microbiology and public health. *Mol. Biotechnol.*, 2005, 29(3): 245-254 (doi: 10.1385/MB:29:3:245).
  133. Young J.M., Park D.C., Shearman H.M., Fargier E. A multilocus sequence analysis of the genus *Xanthomonas*. *Systematic and Applied Microbiology*, 2008, 31(5): 366-377 (doi: 10.1016/j.syapm.2008.06.004).
  134. Almeida N.F., Yan S., Cai R., Clarke C.R., Morris C.E., Schaad N.W., Schuenzel E.L., Lacy G.H., Sun X., Jones J.B., Castillo J.A., Bull C.T., Leman S., Guttman D.S., Setubal J.C., Vinatzer B.A. PAMDB, a multilocus sequence typing and analysis database and website for plant-associated microbes. *Phytopathology*, 2010, 100(3): 208-215 (doi: 10.1094/PHYTO-100-3-0208).
  135. Wensing A., Zimmermann S., Geider K. Identification of the corn pathogen *Pantoea stewartii* by mass spectrometry of whole-cell extracts and its detection with novel PCR primers. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, 76(18): 6248-6256 (doi: 10.1128/AEM.01032-10).
  136. Kononova E.P., Korpev K.P., Ignat'eva I.M. et al. *Baza dannikh dlya identifikatsii vzbuditeley bakterial'nikh bolezney rasteniy metodom mass-spektrometricheskogo analiza (Maldi-TOF). Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazi dannikh № 2025626024 Rossiyskaya Federatsiya. Zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie Vserossiyskiy tsentr karantina rasteniy. Zayavl. 02.12.2025. Opubl. 11.12.2025* [Database for the identification of bacterial plant pathogens using mass spectrometric analysis (Maldi-TOF). Certificate of state registration of the database No. 2025626024, Russian Federation. Applicant: Federal State Budgetary Institution All-Russian Plant Quarantine Center. Appl. 12/02/2025. Published 12/11/2025] (in Russ.).
  137. Scala V., Faino L., Costantini F., Crosara V., Albanese A., Pucci N., Reverberi M., Loreti S. Analysis of Italian isolates of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* and development of a real-time PCR-based diagnostic method. *Front. Microbiol.*, 2023, 14: 1129229 (doi: 10.3389/fmicb.2023.1129229).
  138. Schaad N.W., Jones J.B., Chun W. *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria, 3rd ed.* Amer Phytopathological Society, St. Paul, US, 2001.
  139. Block C.C., Shepherd L.M., Pataky J.K. Detection of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* in maize seeds. In: *Detection of plant-pathogenic bacteria in seed and other planting material, second edition.* M. Fatmi, R.R. Walcott, N.W. Schaad (eds.). Amer Phytopathological Society, 2017, 6: 33-37 (doi: 10.1094/9780890545416.006).