

Вредоносные бактериальные болезни риса в современных условиях

Брагина О.А.[✉], Гаркуша С.В., Лыско И.А.

Федеральный научный центр риса, г. Краснодар, Краснодарский край, Россия

[✉]olesya.bragina.1984@mail.ru

Аннотация. Рис является одной из важнейших продовольственных зерновых культур для половины населения земного шара. Крупнейшими мировыми производителями риса являются страны Азии, где сосредоточено 87 % мирового объема производства. Стабильное производство риса имеет ключевую роль в решении стратегической проблемы обеспечения продовольственной безопасности. Возделываемый рис подвергается множеству биотических и абиотических стрессов, которые приводят к серьезному снижению урожайности и безопасности пищевых продуктов и, как следствие, резкому усугублению проблемы продовольственной безопасности. Наиболее разрушительными являются бактериальные болезни, вызывающие потери урожая до 70 %. Разработка эффективных методов контроля распространения патогенов затруднена недостаточной изученностью бактериальных возбудителей. Данный обзор призван восполнить пробел в информации о вредоносных бактериальных болезнях риса. В статье приведена информация об основных бактериальных заболеваниях риса по следующим аспектам: возбудители и симптомы, круг хозяев, физиологическое воздействие, факторы вирулентности, экология возбудителей, эпидемиология и воздействие, ареал и зона вредоносности, а также методы борьбы. Наиболее эффективным способом борьбы с распространением заболеваний является использование устойчивых сортов риса совместно с оптимальным комплексом агротехнических мероприятий. В России и странах Европейского союза бактериальные болезни не являются эндемичными, включены в список карантинных объектов. В связи с этим необходимо пристально следить за фитосанитарным состоянием генетических ресурсов риса при обмене с другими странами, осуществлять регулярные обследования посевов в течение всего вегетационного периода, а также профилактические мероприятия, предупреждающие распространение вредных организмов.

Ключевые слова: рис; бактериальные болезни; вредоносность; урожайность; меры борьбы; продовольственная безопасность.

Для цитирования: Брагина О.А., Гаркуша С.В., Лыско И.А. Вредоносные бактериальные болезни риса в современных условиях. «Магарах». Виноградарство и виноделие. 2025;27(3):239-246. EDN PFSZUU.

ANALYTICAL REVIEW

Harmful bacterial diseases of rice in present-day conditions

Bragina O.A.[✉], Garkusha S.V., Lysko I.A.

Federal Scientific Center of Rice, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia

[✉]olesya.bragina.1984@mail.ru

Abstract. Rice is one of the most important food grain crops for half of the world population. The largest global rice producers are Asian countries, where 87% of global production is concentrated. Sustainable rice production plays a key role in solving the strategic problem of ensuring food security. Cultivated rice is subject to many biotic and abiotic stresses followed by a serious decrease in cropping capacity and food safety, and, as a consequence, a sharp aggravation of the problem of acute food insecurity. The most destructive are bacterial diseases causing yield losses of up to 70%. The development of effective methods for controlling the spread of pathogens is hampered by insufficient knowledge of bacterial agents. This review aims at filling the gap in the information on harmful bacterial diseases of rice. The article provides information on the main bacterial diseases of rice in the following aspects: pathogens and symptoms, host range, physiological effects, virulence factors, ecology of pathogens, epidemiology and effects, range and zone of harmfulness, as well as control methods. The most effective way to combat the spread of diseases is the use of resistant rice varieties together with an optimal set of agrotechnical practices. In Russia and in the EU countries, bacterial diseases are not endemic, but are included in the list of quarantine objects. In this regard, it is necessary to closely monitor the phytosanitary condition of rice germplasm when exchanging with other countries, to carry out regular surveys of crops throughout the growing season, as well as preventive measures from the spread of harmful organisms.

Key words: rice; bacterial diseases; harmfulness; cropping capacity; control measures; food security.

For citation: Bragina O.A., Garkusha S.V., Lysko I.A. Harmful bacterial diseases of rice in present-day conditions. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2025;27(3):239-246. EDN PFSZUU (in Russian).

Введение

Рис (*Oryza sativa* L.) – одна из важнейших сельскохозяйственных зерновых культур, обеспечивающая продовольственную безопасность более половины населения мира. Спрос на рис ежегодно возрастает, и по прогнозу ФАО к 2030 г. он составит 790 млн. т, превысив на 2–3 % спрос на пшеницу. Основным районом рисосеяния является Азия (87 % мирового объема производства). В целом на рис приходится почти 30 % калорий, потребляемых

более чем 3 млрд жителей Азии [1].

По данным ФАОСТАТ в 2024 г. посевы риса размещены в 118 странах на площади 167 млн га, годовое производство его зерна – более 780 млн т [1, 2].

Стабильное производство риса играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, улучшении качества питания и поддержании хорошего здоровья людей, а также содействии глобальной продовольственной и пищевой безопасности.

Однако посевы риса зачастую подвергаются множеству биотических и абиотических стрессов, которые приводят к серьезному снижению урожайности и безопасности пищевых продуктов [3, 4]. У

риса зарегистрировано более 80 болезней, вызываемых грибами, бактериями и вирусами. Наряду с пирикулярриозом риса наиболее разрушительными являются и бактериальные инфекции, которые приводят к потере до 50 % урожая в зависимости от сорта, стадии роста, географического положения и условий окружающей среды [5].

Значительный экономический ущерб рису наносят бактериальные болезни в Южной Азии и Африке, где рис является основным продуктом питания. Наиболее распространенными бактериозами посевов риса на разных стадиях роста являются бактериальное заболевание всходов (*Burkholderia* (*Pseudomonas*) *plantarii*), бактериальная коричневая полосатость (*Pseudomonas* *avenae*), бактериальная пятнистость или бактериальный ожог (*Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* (*Xoo*)), бактериальная полосатость листьев (*Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzicola*), корневая гниль (*Erwinia* *chrysanthemi*), бактериальная гниль зерна (*Burkholderia* *glumae*), бурая гниль оболочки (*Pseudomonas* *fuscovaginae*) [4, 6, 7]. При благоприятных условиях бактериальные болезни, такие как бактериальный ожог и бактериальная полосатость листьев, становятся очень опасными для восприимчивых сортов риса и приводят к потере до 70 % урожая [8–10]. Эти бактериозы вызывают внезапные вспышки и ведут к резкому усугублению проблемы продовольственной безопасности, достигающей кризисного уровня.

Цель данной работы – аналитический обзор наиболее вредоносных бактериальных болезней риса, а именно: бактериальной пятнистости или бактериального ожога, бактериальной полосатости листьев, бактериальной гнили зерна, бурой гнили оболочки риса; изучение вирулентности возбудителей, методов контроля распространения патогенов для решения проблем продовольственной безопасности.

Объекты и методы исследования

Основные материалы для проведения аналитического обзора основных бактериальных болезней риса были взяты из материалов статей в научной электронной библиотеке elibrary.ru (РИНЦ), а также в международных базах данных научного цитирования Web of Science (WoS), Scopus, Science Direct и др. Источники статистических данных – международные платформы и базы данных о сельском хозяйстве и продовольствии (CABI, EFSA, FAOSTAT) [1, 4].

Результаты и их обсуждение

Согласно Единому перечню карантинных объектов Евразийского экономического союза одним из наиболее опасных бактериальных заболеваний является бактериальная пятнистость (бактериальный ожог) [6].

Возбудитель бактериального ожога *Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* был впервые зарегистрирован в 1884 г. в Японии. Болезнь широко распространена в странах Юго-Восточной Азии, Африки, Австралии и Северной Америки (штаты Луизиана и Техас), а

также из Центральной и Южной Америки [4, 11, 12].

Бактериальный ожог листьев встречается как в умеренных, так и в тропических климатических зонах, где выращивают рис, при температуре от 25 до 34 °C и относительной влажности более 70%. Наиболее благоприятными для развития бактериоза являются районы с кислой почвой, высоким уровнем грунтовых вод. При этом отмечается снижение всхожести семян, гибель всходов и изреживание посевов. Недобор урожая зерна в случае сильного развития болезни составляет 20–30 %, а в отдельные годы достигает 50 % [10, 13].

Основным хозяином *Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* является культурный рис *Oryza* *sativa*. Бактерии поражают также семейство злаковых, как дикорастущие, так и культивируемые виды, а также однолетние и многолетние травы [4, 14–16].

Возбудителем бактериального ожога листьев риса является бактерия *Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* (Ishiyama) Swings et al. Бактерия классифицируется в пределах царства бактерий, типа *Proteobacteria*, класса *Gammaproteobacteria*, отряда *Lysobacterales*, семейства *Lysobacteraceae*, рода *Xanthomonas*, вида *Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* [17].

Бактерии подвижные, палочковидные, с закругленными краями, размером 0,5–0,8 × 1,0–2,0 мкм, имеют 1–2 полярных жгутика, неспороносные, аэробы, грамотрицательные. Клетки расположены одиночно и парами, иногда короткими цепочками, клетка заключена в капсулу. На агаре образуют восковидно-желтые круглые, гладкие, выпуклые блестящие колонии размером 1–2 мм. Оптимальная температура развития бактерий 25–30 °C, минимальная 5–10 °C, максимальная 40 °C. Погибают они при 53 °C [18–20].

Бактерия *Xanthomonas* *oryzae* *pv.* *oryzae* проникает в растение через водяные поры (гидатоды) на кончиках и краях листьев, а также через устьица и повреждения на листьях, стеблях или корнях. При заражении гидатоды бактерии размножаются в паренхимных клетках, а затем перемещаются в сосуды ксилемы, вызывая типичные симптомы бактериальной пятнистости на листьях риса [12]. После размножения бактерии могут выделяться в виде капель слизи и снова проникать в растение через гидатоды. Внутри сосудистой системы бактерии размножаются и перемещаются в обоих направлениях [21, 22].

Бактериальный ожог риса встречается в трех формах: листовой ожог, «крзек» (увядание) и пожелтение.

При поражении листьев риса бактериальным ожогом на концах и по краям листьев, а также вдоль центральной жилки растений риса через 3–4 недели после высадки появляются палево-зеленые или серо-зеленые водянистые штрихи, сливающиеся в желтоватобелые полосы, при этом край листа становится волнистым. При сильном поражении растений появляется пустозерность метелок риса. На пораженных листьях могут выступать капли экссудата

желтого цвета [11, 23–26].

Наиболее вредоносно заболевание для растений риса в возрасте от 1 до 6 недель эти растения увядают из-за закупорки сосудов бактериальной массой. Больные стебли нередко ломаются, при сильном заражении могут полегать целые плантации. Выжившие растения выглядят низкорослыми и желтоватыми. Этот тип поражения называют «крзек» [19, 27].

Форма пожелтения отмечается при позднем заражении на листьях созревающих растений, причем заболевание поражает только молодые листья. Бактерии, как правило, обнаруживаются в междоузлиях и в верхних частях пораженных стеблей, но не в самих листьях [11, 26].

Отличительным признаком бактериального ожога от физиологического нарушения, сопровождающегося пожелтением листьев, является выделение вязкой жидкости желтого цвета при срезе пораженного листа или растения.

Источниками инфекции являются зараженный посадочный материал (в том числе зараженные семена), самосевные растения риса, поливная вода, солома, стерня или мякина, а также сорные растения [28].

Заболевание может переноситься насекомыми или клопами, такими как *Leptocoris acuta* Thun, обнаруженными в посевах риса в Индии [29].

Наиболее быстро болезнь распространяется на плохо осушенных землях, вдоль рек и озер. Развитие болезни усиливается при избытке в почве азота, кремния и магния, а также дефиците фосфора и калия [30, 31].

Основным средством борьбы с бактериальным ожогом риса является выведение устойчивых сортов.

Одним из самых разрушительных бактериальных заболеваний во всем мире, как в тропических, так и в умеренных регионах, является бактериальная полосатость риса. Потери урожая составляют 5–30 % и более [19, 32].

Бактериальная полосатость листьев впервые была обнаружена на Филиппинах в 1918 г. Болезнь широко распространена в тропической и субтропической Азии, включая Китай, Малайзию, Индию, Индонезию, а также в Северной Австралии и в Западной и Восточной Африке, включая Мадагаскар [33].

Основным растением-хозяином является рис *Oriza sativa*. Бактерии поражают также семейство злаковых, как дикорастущие, так и культивируемые, однолетние и многолетние виды [4, 16].

Возбудителем бактериальной полосатости листьев риса является бактерия *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* (Fang et. al.) Swings et al. Бактерия классифицируется в пределах царства бактерий, типа *Proteobacteria*, класса *Gamma proteobacteria*, отряда *Lysobacterales*, семейства *Lysobacteraceae*, рода *Xanthomonas*, вида *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* [17].

Бактерии представляют собой короткие палочки с закругленными концами размером 1,2–1,4 × 0,3–0,5 мкм, подвижные, с одним полярным жгутиком,

грамотрицательные, не образующие спор, аэробы. Капсул и спор не имеет [19, 34]. На питательной среде колонии *X. oryzae* pv. *oryzicola* имеют круглую, цельную, гладкую, выпуклую, непрозрачную форму, цвет от бледно-соломенно-желтого до соломенно-желтого, размер – 1–2 мм. Благоприятными условиями развития для бактерии являются температура 25–30 °C и высокая влажность воздуха 80–90 % [20].

X. oryzae pv. *oryzicola* обычно проникает в растение-хозяина через устьица или повреждения листьев, вызванные насекомыми, сильным дождем или ветром. Бактерия размножается в апопласте мезофильных клеток паренхимы и активно распространяется в межклеточных пространствах. *X. oryzae* pv. *oryzicola* обладает высокой активностью в отношении разрушения клеточных стенок (целлюлозы) [22, 35]. Патоген вызывает появление линейных водянистых некротических пятен на листьях, не проникая в сосудистые ткани. Постепенно полосы увеличиваются параллельно жилкам листа, достигая иногда 15–17 мм в длину и 0,5–2 мм в ширину, повреждения расширяются, становятся от оранжево-желтых до коричневых, листья отмирают. На поверхности листьев может выступать экссудат. У восприимчивых сортов вокруг пятен иногда появляется желтый ореол.

Отличительная особенность бактериальной полосатости от бактериального ожога состоит в том, что при полосатости поражаются в основном паренхимные ткани, но никогда не поражаются листовые влагалища и сосудистая система растений. Кроме того, при бактериальном ожоге края листьев бывают волнистыми, в отличие от прямых краев при бактериальной полосатости [24].

Главным источником инфекции являются зараженные семена. Патоген сохраняется в семенах до 5 месяцев при хранении при температуре 15–30 °C. Бактерия выживает в воде до 90 дней при температуре 15–20 °C и до 60 дней при температуре 25–45 °C. Загрязненная поливная вода может переносить бактерию на соседние поля [36].

Перенос возбудителя возможен самосевом риса, остатками пораженных растений. Распространение происходит ветром, дождем, но преимущественно водой для орошения и при наводнениях.

Важное значение имеют соблюдение профилактических и агротехнических мероприятий, но главным образом выращивание устойчивых сортов. Необходимо строго соблюдать карантинные мероприятия, препятствующие завозу инфекции с семенами и другим материалом.

Из всех бактериальных болезней риса наиболее опасными и вредоносными являются бактериозы, вызывающие бесплодие цветков и типичные некротические поражения зерна. К ним относят бактериальную гниль зерна риса и бурая гниль оболочки риса.

Впервые бактериальная гниль зерна риса обнаружена и описана в 1956 г. в Японии. В настоящее время заболевание зарегистрировано в странах

Южной Африки, Юго-Восточной Азии, Южной и Центральной Америки [37–40].

Рис является основным растением-хозяином. Бактерии поражают также семейство Пасленовые, однолетние и многолетние виды трав [7, 41, 42].

Возбудителем бактериальной гнили зерна риса является бактерия *Burkholderia glumae* Kurato et Tabei. Бактерия классифицируется в пределах царства бактерий, типа *Pseudomonadota*, класса *Betaproteobacteria*, отряда *Burkholderiales*, семейства *Burkholderiaceae*, рода *Burkholderia*, вида *Burkholderia glumae* [17].

Burkholderia glumae Kurato et Tabei. – это палочки с закругленными концами, размером 0,5–0,7 × 1,5–2,5 мкм, подвижные, с 2–4 полярными жгутиками, грамотрицательные, беспоровые. Температура роста бактерий варьирует от 11 до 40 °С. Оптимальная температура роста 30–35 °С. Бактерии гибнут при температуре 70 °С. На среде образуют колонии желтого цвета [7, 43].

Благоприятными условиями развития для бактерий являются дневные температуры выше 32 °С, ночные температуры более 25 °С и высокая относительная влажность воздуха [38]. При массовом поражении растений бактериальной гнилью потери урожая достигают 75 % урожая [9].

Бактериальная гниль зерна риса проявляется в фазе колошения в виде зеленовато-белых пятен на поверхности цветковых и колосковых чешуй. Постепенно пятна увеличиваются и темнеют, что обычно наблюдается в фазе молочной спелости зерна. Типичные симптомы заболевания – загнивание проростков, изменение цвета зерна, гниение зерна и побурение листовых влагалищ, а также бесплодие цветков и уменьшение массы зерна. В пораженных метелках наблюдается до 50 % пустых колосков, а созревшие семена щуплые, темно-желтые или коричневые [44, 45].

Основным источником инфекции являются зараженные семена. Распространение этих патогенов через семена может способствовать их широкому распространению [46, 47].

Бурая гниль оболочки риса – это заболевание, вызванное бактериальным патогеном *Pseudomonas fuscovaginae*. Впервые он был обнаружен и оценен как наиболее важное бактериальное заболевание риса на Хоккайдо в Японии [48]. В настоящее время болезнь зарегистрирована в 31 стране: бывшей Югославии, Российской Федерации, Китае, Индонезии, Японии, Непале, Филиппинах, Бурунди, Конго, Мадагаскаре, Руанде, Танзании, Коста-Рике, Кубе, Доминиканской Республике, Сальвадоре, Гватемале, Ямайке, Никарагуа, Панаме, Тринидаде и Тобаго, Мексике, Аргентине, Боливии, Бразилии, Чили, Колумбии, Эквадоре, Перу, Суринаме и Уругвае [4]. Из-за высокой распространенности бактерии потери урожая риса составляют 50–70 %, в отдельные годы до 100 % [8, 49].

Бактерии *Pseudomonas fuscovaginae* поражают дикорастущие и культивируемые злаковые [48, 50]. Па-

тоген обнаружен на растениях кукурузы (*Zea mays*), сорго (*Sorghum bicolor*) и пшеницы (*Triticum aestivum*) с типичными симптомами бурой гнили влагалища листа [51].

Возбудителем бурой гнили оболочки риса является бактерия *Pseudomonas fuscovaginae* [48]. Бактерия классифицируется в пределах царства бактерий, типа *Proteobacteria*, класса *Gammaproteobacteria*, отряда *Pseudomonadales*, семейства *Pseudomonadaceae*, рода *Pseudomonas*, вида *Pseudomonas fuscovaginae* [17]. Бактерия является грамотрицательной, не образующей спор, аэроб, клетки имеют форму палочек с закругленными концами, размером 0,5–0,8 × 2,0–3,5 мкм. Клетки располагаются поодиночке или парами, подвижны, двигательная способность обуславливается наличием от одного до четырех полярных жгутиков. На питательном агаре образует белые или светло-коричневые полупрозрачные гладкие блестящие приподнятые колонии с ровным краем, диаметр которых на 4–5-е сутки культивирования составляет 3–5 мм [52].

Бурая гниль оболочки риса характеризуется типичными некротическими поражениями рисовой пленки, обесцвечиванием зерна и бесплодием. Симптомы заболевания можно было обнаружить уже на стадии проростков, и обычно зараженные проростки погибают. На более поздних стадиях роста поле зараженных растений риса становится желтоватым. Нижние части листовой оболочки обычно становятся светло- или темно-коричневыми. Зерна, полученные от зараженных метелок, деформируются и становятся пустыми.

P. fuscovaginae способна колонизировать все растение как эндофит. Если проросток выживает, *P. fuscovaginae* находится в эпифитном состоянии до стадии выхода в трубку. На этой стадии происходит заражение колоса, что впоследствии приводит к образованию зараженных семян или стерильных колосков.

Основным способом распространения *P. fuscovaginae* являются инфицированные семена [53].

Распространение *P. fuscovaginae* может вызывать серьезные экономические потери в растениеводстве из-за ухудшения качества продукции и снижения урожайности культуры. Воздействие *P. fuscovaginae* на урожайность сельскохозяйственных культур связано с тем, что вызывает стерильность зерна и влияет на его качество. Это выражено в пустозерности зерна и пятнистости. Все вышеперечисленное оказывает негативное влияние на последующее использование зерна в качестве семенного материала [46].

В настоящее время не существует 100 % эффективного способа уничтожения фитопатогенных бактерий. Меры борьбы с бактериальными патогенами риса включают комплекс агротехнических мероприятий, организационно-хозяйственных, профилактических приемов с учетом применения химических и биологических препаратов для снижения или подавления возбудителя болезни. Эта система меро-

приятий направлена на создание для растений оптимальных условий возделывания, что усиливает их защитные реакции к болезням, а также снижает распространенность и развитие бактериальных заболеваний. Она включает в себя целый перечень приемов, необходимых для проведения перед посевом и во время вегетации, уборки и хранения урожая.

Агротехнические методы борьбы включают соблюдение севооборота, очистку семенного фонда от щуплых, поврежденных и больных семян, дезинфекцию их перед посевом, тщательное уничтожение растительных остатков и других потенциальных источников инфекции. На стадии выращивания риса на рисовых полях рекомендуется рациональное внесение удобрений и правильное расстояние между растениями [54, 55]. При внесении удобрений следует избегать избытка азота, так как он стимулирует быстрый вегетативный рост растений, что способствует развитию болезней. Необходимо вносить удобрения, богатые калием и фосфором, на стадиях максимального ветвления и бутонизации [54–56].

Химические меры борьбы заключаются в применении антибиотиков или бактерицидов – соединений меди или других тяжелых металлов, которые могут быть объединены с фунгицидами или другими химикатами [7].

Биологический контроль считается экологически безопасной и экономически выгодной альтернативой химическому контролю. В настоящее время созданы препараты на основе бактерий антагонистов фитопатогенным бактериям родов *Xanthomonas* и *Pseudomonas*. Однако биологические агенты не получили широкого распространения в борьбе с бактериальными патогенами [57].

Выведение и внедрение устойчивых сортов, несущих основные гены устойчивости (*R*), стало наиболее эффективным подходом к борьбе с бактериозами. Так на сегодняшний день выявлено более 50 генов устойчивости (*R*) к бактериальной пятнистости риса, происходящих в основном от сортов *O. sativa* подвид *indica*, а также от некоторых подвидов *japonica* [58]. Большинство генов (*R*) являются доминантными, но некоторые из них рецессивны (например, *xa5*, *xa13*), а некоторые проявляют полудоминантность (например, *Ха27*). Среди нескольких клонированных генов наблюдается значительное структурное разнообразие. Большинство генов (*R*), устойчивых к бактериальной пятнистости, были интрогрессированы в восприимчивый к *indica* сорт IR24 для получения набора почти изогенных линий, а некоторые из них были скомбинированы либо с помощью классической селекции и маркер-опосредованной селекции, либо с помощью геномной инженерии для получения новых типов растений и изогенных линий [59, 60]. С помощью пирамидальных линий можно проводить количественный анализ влияния каждого гена и их взаимодействия, но самое главное – максимально повышать эффективность и устойчивость генетической резистентности.

Бактериальные болезни распространены повсеместно как в тропических, так и в умеренных зонах возделывания риса. В России и странах Европейского союза, где выращивают рис, бактериальная пятнистость или бактериальный ожог (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo)) объявлена карантинным объектом. В СССР впервые бактериальная пятнистость риса была зарегистрирована в 1938 г. В 80-х гг. бактериоз был выявлен в Краснодарском и Приморском краях, Республике Дагестан, Казахстане и Узбекистане [56]. В эти же годы была начата работа по скринингу сортов на устойчивость к данному заболеванию, но вскоре прекращена ввиду отсутствия необходимости, так как не наблюдалось интенсивного развития болезни в регионах рисосеяния. В связи с изменением климата увеличивается риск появления заболеваний нетипичных для данного региона возделывания риса. Таким образом, очень важно следить за фитосанитарным состоянием генетических ресурсов риса при обмене с другими странами, особенно в отношении карантинных объектов, с целью предупреждения распространения вредных организмов.

Выводы

Рис является стратегически значимой сельскохозяйственной культурой для обеспечения продовольственной безопасности. Рисовая крупа представляет собой источник макро- и микроэлементов, витаминов и питательных веществ для значительной части населения планеты. Примерно четверть всех потребляемых в мире калорий приходится на рис. Потери урожая могут нанести ощутимый социальный вред, так как для многих рис является одним из основных продуктов питания. Самыми разрушительными являются бактериальные болезни, вызывающие значительное снижение урожайности и ухудшения качества зерна и, как следствие, резкое усугубление проблемы продовольственной безопасности. Однако различные методы борьбы с бактериозами не всегда эффективны. Ключевым фактором сдерживания распространения бактериальных болезней является создание генетически однородных линий и ротацию генов устойчивости (*R*), которые позволяют снизить адаптивное давление на патогены за счет присутствия нескольких генов (*R*), чередования различных генов устойчивости в севообороте, введение сортов, обладающих естественной устойчивостью. Применение мультилиний с различными генами (*R*) также является эффективным подходом для достижения широкой и долгосрочной защиты от бактериальных болезней.

Разнообразие имеющейся в мире зародышевой плазмы чрезвычайно ценно. Для России и стран Европейского союза бактериальные заболевания не являются эндемичными, объявлены карантинными объектами. В связи с этим необходимо пристально следить за фитосанитарным состоянием генетических ресурсов риса для проведения совместных селекционных работ при обмене с другими странами,

осуществлять регулярные обследования посевов в течение всего вегетационного периода, а также проводить профилактические мероприятия, предупреждающие распространение вредных организмов.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания № FGRG-2022-0010.

Financing source

The work was conducted under public assignment No. FGRG-2022-0010.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Assess mode: <http://www.fao.org> (date of access: 26.06.2025).
2. Mohidem N.A., Hashim N., Shamsudin R., Che Man H. Rice for food security: revisiting its production, diversity, rice milling process and nutrient content. *Agriculture*. 2022;12(6):741. DOI 10.3390/agriculture12060741.
3. Oerke E.C. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*. 2006;144(1):31-43. DOI 10.1017/S0021859605005708.
4. CABI *Xanthomonas Oryzae* pv. *oryzicola* (bacterial leaf streak of rice). Assess mode: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/56977> (date of access: 26.06.2025).
5. Степанов К.М. Грибные эпифитотии. М.: Сельхозиздат. 1961:1-471.
Stepanov K.M. Fungal epiphytories. M.: Selkhozizdat. 1961:1-471 (in Russian).
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 30.11.2016 №158 «Об утверждении единого перечня карантинных объектов Евразийского экономического союза». Assess mode: <http://www.fsvps.gov.ru> (date of access: 20.06.2025).
7. Lee H.-H., Park J., Kim J., Park I., Seo Y.-S. Understanding the direction of evolution in *Burkholderia glumae* through comparative genomics. *Current Genetics*. 2016;62(1):115-123. DOI 10.1007/s00294-015-0523-9.
8. Razak A.A., Zainudin N.A.I.M., Sidiq S.N.M., Ismail N.A., Mohamad N.M.I.N., Salleh B. Sheath brown rot disease of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in the Peninsular Malaysia. *Journal of Plant Protection Research*. 2009;49(3):244-249.
9. Ham H., Sreelatha A., Orth K. Manipulation of host membranes by bacterial effectors. *Nature Reviews Microbiology*. 2011;9(9):635-646. DOI 10.1038/nrmicro2602.
10. Prasad D., Singh R., Deep S. *In-vitro* and *in-vivo* efficacy of antibacterial compounds against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, a cause of bacterial leaf blight of rice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018;7(5):2960-2969. DOI 10.20546/ijcmas.2018.705.344.
11. Sharma P., Bora L.C., Puzaril K.C., Baruah A.M., Baruah R., Talukdar K., Katakya L., Phukan A. Review on bacterial blight of rice caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*: different management approaches and role of *Pseudomonas fluorescens* as a potential biocontrol agent. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6:982-1005. DOI 10.20546/ijcmas.2017.603.117.
12. Mouria A., Hmouni A., Mouria B., Touhami A.O., Benkirane R., Semaoui K., Douira A. Efficiency of selected fungicides on blast and blight of rice leaves. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 2017;1(1):1-9. DOI 10.9734/AJAAR/2017/33787.
13. Swati Kumar A., Roy S.P., Kumari P. Studies on efficacy of different chemicals treatments against bacterial leaf blight of rice in Bihar. *An International Quarterly Journal of Life Sciences*. 2015;2(1, 2):56-61.
14. Noda T., Yamamoto T. Reaction of *Leersia* grasses to *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* collected from Japan and Asian countries. *Journal of General Plant Pathology*. 2008;74:395-401. DOI 10.1007/s10327-008-0118-0.
15. Lang J.M., Pérez-Quintero A.L., Koebnik R., Du Charme E., Sarra S., Doucoure H., Keita I., Ziegler J., Jacobs J.M., Oliva R., Koita O., Szurek B., Verdier V., Leach J.E. A pathovar of *Xanthomonas oryzae* infecting wild grasses provides insight into the evolution of pathogenicity in rice agroecosystems. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10(507):15. DOI 10.3389/fpls.2019.00507.
16. Jeger M., Candresse T., Chatzivassiliou E., Dehnen-Schmutz K., Gilioli G., Gregoire 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., Bragard C., Szurek B., Hollo G., Caffier D. Pest categorization of *Xanthomonas oryzae* pathovars *oryzae* and *oryzicola*. *EFSA Journal*. 2018;16(5109):25. DOI 10.2903/j.efsa.2018.5109.
17. EPPO diagnostic standard *Xanthomonas oryzae*. EPPO Bulletin. 2007;37:543-553.
18. Sakthivel N., Mortensen C., Mathur S. Detection of *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* in artificially inoculated and naturally infected rice seeds and plants by molecular techniques. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2001;56(4):435-441. DOI 10.1007/s002530100641.
19. Niño-Liu D.O., Ronald P.C., Bogdanove A.J. *Xanthomonas oryzae* pathovars: model pathogens of a model crop. *Molecular Plant Pathology*. 2006;7(5):303-324. DOI 10.1111/J.1364-3703.2006.00344.X.
20. Каримова Е.В., Шнейдер Ю. А., Заец В.Г., Смирнова И.П. Микроорганизмы, вызывающие карантинные для Российской Федерации бактериальные болезни растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2013;2:27-37. DOI 10.22363/2312-797X-2013-2-27-37.
Karimova E.V., Shneyder Yu.A., Zaets V.G., Smirnova I.P. Microorganisms causing plant quarantine bacterial diseases in Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2013;2:27-37. DOI 10.22363/2312-797X-2013-2-27-37 (in Russian).
21. Noda T., Kaku H. Growth of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in plants and in guttation fluid of rice. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1999;65:9-14. DOI 10.3186/jjphytopath.65.9
22. Cao J., Chu C., Zhang M., He L., Qin L., Li X., Yuan M. Different cell wall-degradation ability leads to tissue-specificity between *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* and *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*. *Pathogens*. 2020;9:187. DOI 10.3390/pathogens9030187.
23. Данкверт С.А., Маслов М.И., Магомедов У.Ш., Мордкович Я.Б. Вредные организмы, имеющие ка-

- рантинное фитосанитарное значение для Российской Федерации. Воронеж: Научная книга. 2009:1-464.
- Dankvert S.A., Maslov M.I., Magomedov U.Sh., Mordkovich Ya.B. Harmful organisms of quarantine phytosanitary significance for the Russian Federation. Voronezh: Nauchnaya Kniga. 2009:1-464 (in Russian).
24. Khan M., Rafi A., Abbas A., Ali T., Hassan A. Assessment of yield losses caused by bacterial blight of rice in upper Khyber Pakhtunkhwa province. *Asian Journal Agricultural Biology*. 2015;3(2):74-78.
 25. Bala A., Rai B., Priya S., Kumar R. In vitro evaluation of various fungicides and plant extracts against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolated from rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(5):421-427. DOI 10.20546/ijcmas.2017.605.048.
 26. Qudsia H., Akhter M., Riaz A., Haider Z., Mahmood A. Comparative efficacy of different chemical treatments for paddy blast, brown leaf spot and bacterial leaf blight diseases in rice (*Oryza sativa* L.). *Applied Microbiology Open Access*. 2017;3:138. DOI 10.4172/2471-9315.1000138.
 27. Kumar M., Parate R.L., Ninawe B.N. Effect of botanicals, bioagents and some chemicals against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Journal of Plant Disease Science*. 2009;4(1):60-63.
 28. Gnanamanickam S.S., Priyadarisini V.B., Narayanan N.N., Vasudevan P., Kavitha S. An overview of bacterial blight disease of rice and strategies for its management. *Current Science*. 1999;77:1435-1443.
 29. Mohiuddin M.S., Rao Y.P., Mohan S.K., Verma J.P. Role of *Leptocorisa acuta* Thun. in the spread of bacterial blight of rice. *Current Science*. 1976;45:426-427.
 30. Mandal D., Pal R., Mohanty A.K. Management of bacterial leaf blight of rice in an integrated way. *Journal of Mycopathological Research*. 2017;54(4):539-541.
 31. Parthasarathy R., Indira J., Appu, Manikandan A., Karthikeyan A. To study the antagonistic organism and new chemicals against the bacterial blight pathogen (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) of rice. *International Journal of Research in Biotechnology and Biochemistry*. 2014;4:6-11.
 32. Mew T. Current status and future prospects of research on bacterial blight of rice. *Annual Review of Phytopathology*. 1987;25:359-382. DOI 10.1146/annurev.py.25.090187.002043.
 33. Ou S.H. Rice diseases. 2nd ed. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, United Kingdom. 1985:61-96.
 34. Bradbury J.F. Guide to plant pathogenic bacteria. Farnham Royal, Slough, UK: CAB International. 1986:1-332.
 35. Tsuno K., Wakimoto S. Ultrastructural investigations on the host parasite interactions in the rice leaf parenchymatous tissue infiltrated with bacterial leaf blight and leaf streak pathogens. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1983;49:659-669.
 36. Devadath S., Raychaudhuri S.P., Verma J.P. Bacterial leaf streak of rice. *Review of Tropical Plant Pathology*. 1984;1:155-179.
 37. Nandakumar R., Shahjahan A.K.M., Yuan X.L., Dickstein E.R., Groth D.E., Clark C.A., Cartwright R.D., Rush M.C. *Burkholderia glumae* and *B. gladioli* cause bacterial panicle blight in rice in the southern United States. *Plant Disease*. 2009;93(9):896-905. DOI 10.1094/PDIS-93-9-0896.
 38. Cui Z-Q., Zhu B., Xie G-L., Li B., Huang S-W. Research status and prospect of *Burkholderia glumae*, the pathogen causing bacterial panicle blight. *Rice Science*. 2016;23(3):111-118. DOI 10.1016/j.rsci.2016.01.007.
 39. Zhou X.G. Sustainable strategies for managing bacterial panicle blight in rice. Protecting rice grains in the post-genomic era. London: IntechOpen. 2019:67-86. DOI 10.5772/intechopen.84882.
 40. Islam M.R., Jannat R., Protic I.A., Happy M.N., Samin S.I., Mita M.M., Bashir S., Masud M.M., Islam M.H., Uddin M.N., Akter M.A. First report of bacterial panicle blight in rice caused by *Burkholderia gladioli* in Bangladesh. *Plant Disease*. 2023;107(9):2837. DOI 10.1094/PDIS-02-23-0229-PDN.
 41. Magbanua Z.V., Arick M., Buza T., Hsu C-Y., Showmaker K-C., Chouvarine P., Deng P., Peterson D.G., Lu S. Transcriptomic dissection of the rice-*Burkholderia glumae* interaction. *BMC Genomics*. 2014;15:755. DOI 10.1186/1471-2164-15-755.
 42. Sharma S., Hirabuchi A., Yoshida K., Fujisaki K., Ito K., Uemura A., Terauchi R., Kamoun S., Sohn K.H., Jones J.D.G., Saitoh H. Deployment of the *Burkholderia glumae* type III secretion system as an efficient tool for translocating pathogen effectors to monocot cells. *The Plant Journal*. 2013;74(4):701-712. DOI 10.1111/tbj.12148.
 43. Jeong Y., Kim J., Kim S., Kang Y., Nagamatsu T., Hwang I. Toxoflavin produced by *Burkholderia glumae* causing rice grain rot is responsible for inducing bacterial wilt in many field crops. *Plant Disease*. 2003;87(8):890-895. DOI 10.1094/PDIS.2003.87.8.890.
 44. Hikichi J. Relationship between population dynamics of *Pseudomonas glumae* on rice plants and disease severity of bacterial grain rot of rice. *Journal of Pesticide Science*. 1993;18(4):319-324. DOI 10.1584/jpestics.18.4_319.
 45. Cottyn B., Cerez M.T., Van Outryve M.F., Barroga J., Swings J., Mew T.W. Bacterial diseases of rice. I. Pathogenic bacteria associated with sheath rot complex and grain discoloration of rice in the Philippines. *Plant Disease*. 1996;80(4):429-437. DOI 10.1094/PD-80-0429.
 46. Cottyn B., Debode J., Regalado E., Mew T.W., Swings J. Phenotypic and genetic diversity of rice seed-associated bacteria and their role in pathogenicity and biological control. *Journal of Applied Microbiology*. 2009;107:885-897. DOI 10.1111/j.1365-2672.2009.04268.x.
 47. Monira U.S., Rashid M.O., Parvin R., Doha S. Bacterial panicle blight: a new challenge of rice. *Bangladesh Journal of Plant Pathology*. 2020;36(1,2):61-68.
 48. Tanii A., Miyajima K., Akita T. The sheath brown rot disease of rice plant and its causal bacterium, *Pseudomonas fuscovaginae*. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1976;42:540-548. DOI 10.3186/jphytopath.42.540.
 49. Jaunet T., Notteghem J., Rapilly F. Pathogenicity process of *Pseudomonas fuscovaginae*, the causal agent of sheath brown rot of rice. *Journal of Phytopathology*. 1996;144(9-10):425-430. DOI 10.3186/jphytopath.42.540.
 50. Miyajima K., Tanii A., Akita T. *Pseudomonas fuscovaginae* sp. nov., nom. rev. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 1983;33:656-657. DOI 10.1099/00207713-33-3-656.
 51. Patel H.K., Da Silva D.P., Devescovi G., Maraite H., Paszkiewicz K., Studholme D.J., Venturi V. Draft genome

- sequence of *Pseudomonas fuscovaginae*, a broad-host-range pathogen of plants. Journal of Bacteriology. 2012;194:2765-2766. DOI 10.1128/JB.00341-12.
52. González D., Corzo-Lopez M., Márquez O.P., Cruz A., Martínez B., Martínez Y. Characterization and diagnosis of *Pseudomonas fuscovaginae* Miyajima, Tani and Akita, causal agent of the Brown Sheath Rot in rice. Biotecnología Aplicada. 2017;34:2101-2108.
53. Tambong J. Bacterial pathogens of wheat: symptoms, distribution, identification and Taxonomy. Wheat - Recent Advances. 2022:1-25. DOI 10.5772/intechopen.102855.
54. Goto M. Fundamentals of bacterial plant pathology. San Diego: Academic Press. 1992:1-342.
55. Mizukami T., Wakimoto S. Epidemiology and control of bacterial leaf blight of rice. Annual Review of Phytopathology. 1969;7:51-72. DOI 10.1146/annurev.py.07.090169.000411.
56. Матвеева Е.В., Вартапетов С.Г., Мепарашвили Г.В. Бактериозы риса // Защита растений от вредителей и болезней. 1987:49-53.
- Matveeva E.V., Vartapetov S.G., Meparashvili G.V. Bacteriosis of rice. Plant Protection from Pests and Diseases. 1987:49-53 (in Russian).
57. Kornienko N., Kharina A., Zrellov N., Jindřichová B., Moravec T., Budzanivska I., Burketová L., Kalachova T. Isolation and characterization of two lytic phages efficient against phytopathogenic bacteria from *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. Frontiers in Microbiology. 2022;13:853593. DOI 10.3389/fmicb.2022.853593.
58. Yogesh V., Dharminder B. Genetics and genomics of bacterial blight resistance in rice. Advances in International Rice Research. 2017:67361. DOI 10.5772/67361.
59. Hutin M., Sabot F., Ghesquière A., Koebnik R., Szurek B. A knowledge-based molecular screen uncovers a broad-spectrum OsSWEET14 resistance allele to bacterial blight from wild rice. The Plant Journal. 2015;84:694-703. DOI 10.1111/tpj.13042.
60. Jiang N., Yan J., Liang Y., Shi Y., He Z., Wu Y., Zeng Q., Liu X., Peng J. Resistance genes and their interactions with bacterial blight/leaf streak pathogens (*Xanthomonas oryzae*) in rice (*Oryza sativa* L.). An updated review. Rice. 2020;13(3). DOI 10.1186/s12284-019-0358-y.

Информация об авторах

Олеся Анатольевна Брагина, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории иммунитета и защиты растений; e-mail: olesya.bragina.1984@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>;

Сергей Валентинович Гаркуша, д-р с.-х. наук, чл.-корр. РАН, директор; e-mail: arrri_kub@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3974-9153>;

Ирина Анатольевна Лыско, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории иммунитета и защиты растений; e-mail: ilysko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>.

Information about the authors

Olesya A. Bragina, Cand. Biol. Sci., Leading Staff Scientist, Laboratory of Immunity and Plant Protection; e-mail: olesya.bragina.1984@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>;

Sergey V. Garkusha, Dr. Agric. Sci., Corresponding Member of the RAS, Director; e-mail: arrri_kub@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3974-9153>;

Irina A. Lysko, Cand. Biol. Sci., Leading Staff Scientist, Laboratory of Immunity and Plant Protection; e-mail: ilysko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>.

Статья поступила в редакцию 23.07.2025, одобрена после рецензии 07.08.2025, принята к публикации 20.08.2025.