

УДК 579.64

## Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (Обзор)

© 2018 Р.Р. АЗИЗБЕКЯН

*ФГБУ Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»–ГосНИИгенетика), 117545, Москва*

*e-mail: raziz@genetika.ru*

Поступила 24.04 2018 г.

Принята в печать 23.07.2018 г.

Защита растений от болезней, вызываемых различными патогенами, является важной экономической и социальной проблемой – потери продукции растениеводства в различных районах мира составляют до 20% урожая. Основным способом защиты растений является использование химических пестицидов. В настоящее время все более активное применение находят биологические препараты для защиты растений (БСЗР). Интерес к средствам биологического контроля проявляют крупнейшие в мире химические компании – BASF, Bayer CropScience AG (Германия) и Syngenta (Швейцария). В обзоре представлены данные о рынках биопрепаратов для защиты сельскохозяйственных растений в различных регионах мира – Северной Америке, Европе, Китае, Латинской Америке, России. По экспертным данным, до 2025 г. рынки биопрепаратов в этих ареалах (за исключением России) превысят 1 млрд. долл. В России только 0,3% сельскохозяйственных земель обрабатывают биологическими препаратами. Показана высокая эффективность биофунгицидов, полученных в ГосНИИгенетика, для защиты пшеницы, картофеля и овощных культур.

*Ключевые слова:* растения зерновые культуры, овощные культуры, картофель болезни, фитопатогенные грибы, препаративная форма, рынок биологических средств защиты растений.

**doi:** 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47

Рост населения и, как следствие, спроса на сельскохозяйственную продукцию влияет на продовольственную безопасность. Согласно прогнозам, к 2050 г. численность населения мира вырастет до 10 млрд. человек, это приведет к увеличению мирового спроса на сельскохозяйственную продукцию на 50%, по сравнению с текущим уровнем. Для удовлетворения спроса в 2050 г., согласно расчетам экспертов Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), мировая продуктивность зерна должна вырасти на 50%, а производство мяса – на 200% (ФАО ООН, 2017). Однако эти показатели могут быть достигнуты лишь при ак-

тивной борьбе с различными видами вредителей, которые снижают урожай и качество сельскохозяйственной продукции.

Сельскохозяйственный сектор составляет около 6% от общего объема мирового экономического производства, в котором страны, такие как США, Россия, Китай, Индия, Бразилия, Аргентина, являются основными лидерами мирового сельскохозяйственного производства. Различные вредители растений наносят ущерб качеству и количеству урожая. В настоящее время защита растений от различных возбудителей болезней (бактерии, фитопатогенные грибы, насекомые, вирусы) является важнейшей экономической

*Список сокращений:* БСЗР – биологические средства защиты растений; ФАО ООН – Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (Food and Agriculture Organization, FAO).

и социальной задачей, поскольку потери продукции растениеводства в отдельных странах мира достигают до 20% урожая. Для защиты растений широко используются химические методы защиты (химические пестициды). Несмотря на высокую эффективность, химические пестициды обладают рядом серьезных недостатков: отсутствие избирательности при воздействии на вредителей и возбудителей болезней растений, загрязнение окружающей среды, возможность возникновения резистентности у растений и т.д. Практика применения химических средств в борьбе с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур показала, что экономическая эффективность их использования со временем снижается. Появляются устойчивые к действию пестицидов возбудители болезней растений, возрастают затраты на разработку новых препаратов, что, в конечном итоге, повышает стоимость производства сельскохозяйственной продукции. Постоянное применение пестицидов нарушает биологическое равновесие, загрязняет окружающую среду и приводит к их накоплению в почве, водоемах, грунтовых водах и в сельскохозяйственной продукции.

Резкое возрастание интенсивности загрязнения окружающей среды и снижение качества сельскохозяйственной продукции в результате применения химических пестицидов послужило мощным стимулом внедрения биологических методов в практику защиты растений во всех странах мира. В последние годы наблюдается тенденция к более широкому использованию экологически безопасных биологических средств защиты растений. В развитых странах экологически чистые биологические препараты для контроля над насекомыми-вредителями и болезнями становятся все более существенным дополнением к химической защите растений. Мировой рынок биологических средств защиты растений (БСЗР) составляет небольшую часть используемых в мире средств защиты растений. В большинстве своем некрупные компании, производящие БСЗР, не могут себе позволить аккумулировать средства для разработки и последующего вывода на рынок новых биопрепаратов. В настоящее время в Европе регистрация БСЗР для выхода на рынок длится до 7 лет и обходится ~1 млн. евро. В результате

вышеприведенных проблем на рынке наблюдается неудовлетворенный спрос на БСЗР. По экспертным данным в Европе рынок покрывает лишь 45% спроса. Среднегодовой рост этого рынка составляет 27%. Наибольшее развитие БСЗР ожидается в Латинской Америке (до 830 млн. долл.), Европе (до 762 млн. долл.) и Северной Америке. Возможно, рынки в этих ареалах перейдут черту в 1 млрд. долл. В последнее время к рынку средств биологического контроля все больший интерес проявляют крупнейшие мировые компании, в числе которых BASF, Bayer CropScience AG (Германия) и Syngenta (Швейцария). Так, в составе компании Syngenta имеется подразделение по производству микробиологических пестицидов. Bayer является совладельцем крупнейшей европейской компании в сфере биоконтроля Корперт В.В., он также приобрел американскую компанию Monsanto, которая широко известна созданием генномодифицированных препаратов, используемых в сельском хозяйстве. Представители Bayer сделали заявление, о том, что к 2020 г. портфолио компании будет на 20% состоять из биопрепаратов. BASF заключил контракт на эксклюзивную продажу биопрепаратов в Европе, Африке, Латинской Америке. Все эти факты свидетельствуют о растущем интересе к экологически безопасным средствам биоконтроля, в целом и к биологическим средствам защиты растений, в частности. Росту рынка также будет способствовать увеличение числа коммерчески доступных биопестицидов<sup>1-5</sup> [1, 2]. Наиболее перспективными в настоящий момент являются биопестициды, проявляющие активность в отношении грибковых заболеваний (биофунгициды).

Дальнейшему расширению биопестицидного рынка, по мнению экспертов, будет способствовать общемировая тенденция экологизации защиты растений от болезней и вредителей, а также употребление для питания органических продуктов. Оптимизм в этом плане вселяет и планируемый рост производства БСЗР в различных регионах мира: в США в 2022 г. БСЗР будет произведено на 8,82 млрд. долл; в Европе в 2024 г. – на 8 млрд. долл; в Китае в 2025 г. – на 1,363 млрд. долл; в Латинской Америке также резко возрастает объем производства БСЗР.

<sup>1</sup>Rohan M. Marketsand Market™.

<sup>2</sup>United States Biopesticides Market Biopesticides Market United States Industry Growth, Trends, Forecast for the period (2017–2022).

<sup>3</sup>United States Biopesticides Market, 2017.

<sup>4</sup>GlobalBiopesticides Market: Rising Awareness about Environment Spices Demand, TMR finds.

<sup>5</sup>Trimmer D. Biological Market Overview. 2017.

Для сравнения, в России из ~962 млн. га в 2011 г. обрабатывали БСЗР только 0,3% площадей, отметим, что в 2009 г. – 1,2%.

Результаты исследований остатков химических пестицидов в продуктах питания большинства стран доказали, что в 2011 г. повышенную остаточную концентрацию пестицидов имели в среднем 36% проб, а в 2012 г. – 29%. В последние годы в ряде ареалов мира (США, Европа, Китай, Латинская Америка) большое внимание уделяется альтернативным методам защиты растений с применением биологических пестицидов, существуют специальные программы или стандарты по расширению экологически безопасных методов получения сельскохозяйственной продукции («green food», «organic food»). Правительства ряда стран реализуют программы по сокращению применения химических пестицидов и, соответственно, повышению доли биологических средств защиты растений. Такие меры диктует необходимость ужесточения контроля за сельскохозяйственными продуктами на рынке. По экспертным оценкам, рынки биопестицидов к концу 2017 г. достигнут 1 млрд. долл. США, а мировой рынок биопестицидов к 2022 г. достигнет 8658,65 млн. долл.

К преимуществам биологических средств защиты растений следует отнести их безопасность для теплокровных организмов и окружающей среды, избирательность пестицидного действия, безопасность при применении, отсутствие или слабую фитотоксичность, низкую степень риска выработки стойкости к их активному веществу при длительном применении. Биологический метод защиты растений основан на использовании микроорганизмов-антагонистов (бактерии и фитопатогенные грибы). В настоящее время описан ряд бактерий, оказывающих антагонистическое действие на возбудителей болезней растений: *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Candida*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, *Streptomyces* spp.

Однако задача поиска активных антагонистов фитопатогенных микроорганизмов и разработки на их основе препаратов для защиты растений от болезней остается актуальной. Следует отметить, что по сравнению с другими продуцентами биологически активных соединений, относительной простотой и дешевизной использования в производстве обладают спорообразующие бактерии (бациллы). Ареалом распространения спорообразующих бактерий, в основном, является почва, она обеспечивает оптимальное развитие антагонистов – бацилл – при обработке семян растений и внесении их в почву для подавления возбудителей различных болезней. В настоя-

щее время описан ряд бацилл, которые используются в качестве продуцентов биофунгицидов – *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *Paenibacillus polymyxa*, *B. pumilus*, *B. amyloquiefaciens*, *B. mycoides*, *B. cereus*, *B. brevis*, *B. thuringiensis*, *B. megaterium*, *B. mojavensis*, *Brevibacillus laterosporus* [3–9]. Механизмы действия микроорганизмов на фитопатогены различны и включают конкуренцию за питание, колонизацию ризосферы и листовых поверхностей, синтез антибиотических веществ, ферментов.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОПЕСТИЦИДОВ В РАЗЛИЧНЫХ АРЕАЛАХ МИРА

### Европа

В последние десятилетия в Европе интерес к биопестицидам заметно повысился. Это связано с увеличением потребности рынка в экологических средствах защиты растений и обусловлено расширением площадей органических хозяйств (в Европе они занимают порядка 6,5 млн. га). Основным сдерживающим фактором развития рынка БСЗР является поиск более эффективных антагонистических агентов и препаративных форм (суспензии, эмульсии, сухая форма, гранулы, порошок). Создаваемые препаративные формы призваны обеспечить возможность применения их в различных условиях обработки (листья, посевной материал, почва, корни, урожай) и отсутствие специфических требований к условиям хранения. По прогнозам, рынок биопестицидов в Европе к 2024 г. должен составить около 1 млрд. долл. В настоящее время в Европейском Союзе, согласно программе REAC, регламентировано использование химикатов при производстве и применении продуктов сельского хозяйства. Летом 2016 г. правительство Швейцарии разработало на последующие 10 лет план действий, целью которого является сокращение в 2 раза рисков, связанных с использованием в сельском хозяйстве химии. В Испании в 2008 г. была реализована программа по сокращению использования пестицидов на 20 тыс. га.

### США

В США ущерб растениям, наносимый вредителями и болезнями, оценивается примерно в 20 млрд. долл. Защита растений, в основном, проводится химическими препаратами. Однако в последние годы страны Северной Америки (США и Канада) стали основными производителями и потребителями БСЗР (около 30% мирового рынка). В США зарегистрировано и производится около 140 наименований биопестицидов и феромонов,

а объемы продаж биопестицидов и биоконтролирующих агентов составляют 125 млн. долл. в год. Выше указывался ряд крупнейших американских химических компаний, все большее внимание уделяющих исследованиям по созданию новых БСЗР.

### Китай

Китай входит в число стран с растущими темпами производства и применения биологических препаратов. По экспертным данным, к 2020 г. объем БСЗР составит 20% и будет использован на площади около 27 млн. га. В Китае зарегистрированы более 90 биопестицидных ингредиентов. Китайский рынок биопестицидов составляет 8%. В качестве биологических средств защиты используют микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, феромоны и макроорганизмы. Отметим, что основную долю БСЗР составляют биоинсектициды и биофунгициды, далее следуют биогербициды и бионематоциды. Высокая стоимость и специфичность действия БСЗР, а также отсутствие практики их применения в мелких хозяйствах сдерживают темпы роста использования БСЗР в этой стране. Однако в настоящее время в Китае закрываются заводы, наносящие вред окружающей среде, вместе с тем, согласно решениям правительства, биологические препараты освобождаются от ряда лабораторных тестов, в том числе, оценки токсичности, что делает рынок привлекательным для производителей<sup>6-9</sup>.

### Латинская Америка

Страны Латинской Америки экспортируют фрукты и овощи в Северную Америку, различные европейские страны, Китай. Для обеспечения высокого уровня и качества продукции широко используются химические средства защиты растений. По данным ФАО, в 2011 г. Латинская Америка потребляла более 800 тыс. т пестицидов. Чрезмерное использование химических пестицидов привело к негативным последствиям для окружающей среды, что сказалось на здоровье людей и изменило микробиологический состав почвы. Правительства таких стран, как Бразилия, Аргентина, Колумбия, Чили, вынуждены были увеличить долю биологических препаратов в сельском хозяйстве.

Транснациональные компании по производству биологических средств защиты растений также расширяют доступность своих продуктов. В Бразилии и Аргентине повышается количество сельскохозяйственных угодий. Ожидается, что Бразилия, которая уже является одним из самых сильных сельскохозяйственных рынков в мире, значительно превысит средний мировой показатель роста агросектора. Рынок биоконтроля в Латинской Америке в 2015 г. оценивался в 423,7 млн. долл. и, по прогнозам, к 2021 г. достигнет 1050,7 млн. долл. Этот рынок уже представлен такими агрохимическими гигантами, как Syngenta AG, Bayer CropScience (Германия), BASF, Certis USA LLC (США), Valent BioSciences Corporation (США) и Sumitomo Chemical (Япония). Планировалось, что в 2017 г. 30% прибыли от продаж средств защиты растений будут получены за счет продажи биопестицидов. В настоящее время в Латинской Америке 41% продаж фунгицидов занимают биофунгициды, уступая лишь биопестицидам на основе *Bacillus thuringiensis* (>80%). Использование биологических методов позволило повысить урожайность, снизить потери в растениеводстве, внедрить интегрированные системы защиты растений<sup>10,11</sup>.

### Россия

Общий объем потребления средств биологического контроля в России составляет лишь 1% от общего объема применения синтетических пестицидов. Отметим, что примерно 90% используемых в России биопрепаратов являются импортными. Основные потребители биопестицидов в России – это предприятия защищенного грунта и лесные хозяйства (80%), личные подсобные хозяйства (15%) и предприятия открытого грунта (5%). В некоторых районах России доля обработки отдельных культур биопрепаратами достигает 10%. Сравнительно высокими остаются показатели по предпосевной подготовке сельскохозяйственных растений – биологическими методами обрабатывается до 8% всего посевного материала (~500 тыс. т). Анализ использования биопрепаратов выявил несколько причин крайне низкого их применения: 1) государственная политика в области сельского хозяйства субсидирует

<sup>6</sup>Biopesticide Market and Prospects in China. Antares, 2017.

<sup>7</sup>Crop Protection China Market Opportunities and Challenges, CCM International Ltd., 2016.

<sup>8</sup>Chinese biopesticides Market – growth, trends and forecasts (2017–2022).

<sup>9</sup>Chinese-Danish in net working system approaches to pest management without pesticides. 2012 (Guo Y. Present practice, on-going research and future potential for non-chemical disease management in vegetable production in China).

<sup>10</sup>Biopesticides Market – Latin America industry growth, trends and forecasts (2017–2022), 2017.

<sup>11</sup>Latin America Biopesticides Market Forecast (2018–2026).

производителей химических средств защиты; 2) низкий уровень культуры в сельском хозяйстве, когда цель минимизировать расходы для повышения рентабельности производства достигается любой ценой; 3) отсутствие в России крупнотоннажного производства биопестицидов и, как следствие, зависимость от дорогих импортных средств защиты. Однако спрос на биопестициды превышает предложение, что, безусловно, оказывает влияние на аграрную политику государства<sup>12</sup> ([10]; Обзор мирового рынка биопестицидов, 2015; Российский рынок биологических средств защиты растений на 2014 г.).

В конце XX века в республиках СССР на заводах микробиологической промышленности было создано крупнотоннажное производство биологических препаратов, которые нашли широкое применение в различных отраслях сельского хозяйства. Продукция производилась методом глубинного культивирования микробных культур с последующим концентрированием культуральной жидкости и стандартизацией препаратов. Высокое качество препаратов обеспечивалось соблюдением требований регламента и контролем технологических параметров на всех стадиях производственного процесса, что подтверждалось наличием ГОСТ. Биопестициды производились также в биолaborаториях и на биофабриках во многих сельскохозяйственных регионах. Высокая эффективность биопрепаратов в подавлении вредных организмов была доказана многочисленными исследованиями 70–80-х гг. XX века и практикой применения в течение трех десятилетий.

В настоящее время в России выпускается около 30 наименований микробиологических препаратов для сельского хозяйства, в том числе 11 фунгицидов, 17 инсектицидов. Некоторые ареалы России (Башкирия, Татарстан, Краснодарский край и др.) обеспечивают аграрный сектор биопрепаратами для защиты растений, культивируемых в этих районах.

Учитывая недостаточно высокий уровень научно-технологического развития в России, Президентом РФ 1 декабря 2016 г. был подписан Указ, в котором в качестве приоритетных и перспективных направлений указаны «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная

переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».

В 2014 г. российский рынок биологических средств защиты растений составлял не более 3,5% рынка химических пестицидов, что, по мнению экспертов, определялось рядом причин, в том числе, низкой рентабельностью сельскохозяйственного производства. Между тем, рынок БСЗР можно охарактеризовать как быстрорастущий. Так, за последние 5 лет его объем в натуральном выражении вырос в 2 раза. В структуре российского рынка биологических средств защиты растений (без учета энтомофагов) в настоящее время преобладают препараты фунгицидного действия, на долю которых приходится свыше 50%.

По мнению участников рынка, преобладание биофунгицидов в структуре российского рынка БСЗР определено рядом факторов, наиболее значимыми из которых являются ценовая конкурентоспособность данных препаратов и их широкий спектр действия, в сравнении с другими биологическими средствами защиты растений. При этом следует отметить, что биофунгициды обладают рядом недостатков (например, проявляют только контактное действие), которые будут усиливать конкуренцию на рынке БСЗР.

## ОТБОР ШТАММОВ-ПРОДУЦЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОФУНГИЦИДА

Выше мы отмечали, что одним из важнейших моментов в создании биопестицидов является поиск активных штаммов-продуцентов. В ряде научных организаций России (Всероссийский институт защиты растений, С. Петербург; ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, С.Петербург; ГосНИИгенетика, Москва; ВНИИ биологической защиты растений, Краснодар и др.) ведется систематическая работа по выделению максимально активных штаммов-продуцентов биопестицидов и созданию на их основе биологических средств защиты растений [11–18].

Фунгицидный эффект микроорганизмов может быть обусловлен различными метаболитами – антибиотиками, пептидами, ферментами, низкомолекулярными соединениями. Мишенью микроорганизмов, обладающих фунгицидным эффектом, могут стать клеточные мембраны и стенки фитопатогенов, а также ферменты, участвующие в патологическом процессе. В некоторых

<sup>12</sup>Biopesticide Europe 2016. Aberdeen Group.

случаях фунгицидный эффект микроорганизмов, в частности бацилл, определяется индукцией у растений резистентности к патогенам [19–22].

В общих чертах, можно выделить четыре основных механизма действия биофунгицидов [9]: 1) образование защитного барьера вокруг корней; 2) конкуренция за питание и пространство; 3) синтез летальных для фитопатогенных грибов химических соединений (бактерия-продуцент питается фитопатогенными грибами); 4) запуск бактериальной-продуцентом механизма резистентности к фитопатогенным грибам у растения.

### Зерновые культуры

В России большой вклад в сельскохозяйственную продукцию вносят зерно-фуражные культуры – пшеница, ячмень, кукуруза, овес и т.д. Зерновые культуры – основа питания человека и источник кормов для сельскохозяйственных животных. Кроме того, зерно является сырьем для многих отраслей промышленности. Объемы производства пшеницы в России позволяют снабдить страну собственной пшеницей и обеспечить продовольственную безопасность. Кроме того, Россия экспортирует пшеницу. В силу ряда экономических причин, зерновые культуры, необходимо запасать, а хранение в зернохранилищах и амбарах приводит к потере зерна и снижению его качества. Основными возбудителями болезней зерновых культур (пшеница, рожь, ячмень, кукуруза, рис) являются *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum* Sacc., *F. graminearum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Magnaporthe grisea*, *Alternaria tenuis*, *Phoma*, *Phythium*, *Aspergillus*. В поражении растений участвует комплекс фузариевых грибов. Грибы являются основными возбудителями болезней растений. Ущерб, наносимый грибными болезнями культурных растений, во всем мире исчисляется в миллиардах долларов. Экспертные оценки свидетельствуют, что грибные болезни уничтожают от 10–20% потенциального урожая. К числу

наиболее опасных возбудителей относится *Fusarium sporotrichioides*, продуцирующий группу трихотененовых микотоксинов, в частности, токсин Т-2 [13]. В Российской Федерации, согласно стандартам контроля безопасности пищевых и кормовых продуктов, в различных видах зерновой продукции регулируется содержание этого микотоксина с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) – 100 мкг на кг зернового сырья. Эта величина значительно ниже ПДК для других видов микотоксинов, что свидетельствует о высокой токсичности.

Микотоксины образуются в процессе заражения зерна в поле, а также, при благоприятных для грибов условиях, при хранении собранного урожая. Токсины грибов *Fusarium*, как правило, достаточно длительное время сохраняются в продуктах питания и кормах, на основе зернового сырья. Загрязненность зерна микотоксинами определяется степенью заражения и видовым составом развивающихся на зерне грибов. Микотоксины накапливаются в зерне, что ухудшает потребительские качества сельскохозяйственного пищевого сырья, его биологическую ценность и безопасность для теплокровных организмов. В России около 5% площади посевов зерновых культур, находится в зоне рискованного земледелия по данному критерию. Так, микотоксинами на стадии вегетативной фазы роста загрязнено от 25% до 70% зерновых культур.

В ГосНИИгенетика был создан экологически безопасный биологический фунгицид на основе *Bacillus amyloliquifaciens* для борьбы с грибными болезнями зерновых культур, который подавлял развитие 15 видов грибов. Биофунгицид относился к 4-му классу опасности. Отметим, что используемые для борьбы с фузариозами химические фунгициды относятся к 2–3-му классам опасности. В табл. 1 и 2 приведены результаты испытания этого биофунгицида [23, 24].

Мониторинг семян яровой пшеницы выявил резкое снижение инфицированности фитопатогенными грибами, т.е. снижение возможного уровня микотоксинов в сельскохозяйственной продукции.

Таблица 1

**Урожай озимой пшеницы (Кавказский регион)**  
The winter wheat crop (Caucasus region)

Вариант	Урожай, ц/га				Урожай (среднее)	
	1 поле	2 поле	3 поле	Всего	ц/га	%
Контроль, без обработки	42,8	51,4	55,9	150,0	50,0	100
Обработка препаратом <i>Bacillus amyloliquifaciens</i>	48,3	59,9	61,5	169,6	56,5	113
Обработка химическим фунгицидом Фоликур (Bayer)	46,3	56,8	57,9	161,0	53,6	107

**Мониторинг семян пшеницы после сбора урожая**

**Monitoring of wheat seeds after harvest**

Вариант	Инфицированность семян пшеницы фитопатогенными грибами, %
Контроль, без обработки	28,66
Обработка препаратом <i>Bacillus amyloliquifaciens</i>	7,99
Обработка химическим фунгицидом Фоликур (Bayer)	12,99

*Примечание:* яровая пшеница обрабатывалась фунгицидами на стадии вегетативного роста (Кавказский регион).

*Note:* spring wheat was treated with fungicides at the stage of vegetative growth (Caucasus region).

**Картофель**

Картофель является одной из основных продовольственных культур. Объем производства картофеля в мире в последние 50 лет вырос в 1,4 раза и в 2014 г. составил около 385 млн. т. К числу крупнейших производителей картофеля в мире относятся Китай – 96,1 млн. т (25% мирового производства), Индия – 46,4 млн. т (12%), Россия – 31,5 млн. т (8 %). Посевные площади под картофель в России занимают >2000 тыс. га. В России на хранение закладывается >3 млн. т клубней картофеля. При хранении картофеля теряется до 30% собранного урожая. Основной причиной гибели картофеля в период хранения являются гнили грибного происхождения. Основные возбудители грибных болезней

картофеля: *Phytophthora infestans*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuis*. Фитопатогенные грибы поражают картофель на протяжении всего периода вегетации и во время хранения клубней. Болезни, вызываемые фитопатогенными грибами, также снижают качество продовольственного и семенного картофеля. Зараженный посадочный материал становится источником заболевания картофеля в период вегетации. Таким образом, проблема защиты картофеля от грибных болезней является весьма важной продовольственной и экономической задачей. Биологические фунгициды могут быть использованы для борьбы с фитопатогенными грибами, поражающими как растения картофеля на стадии вегетативного роста, так и клубни картофеля при хранении. В табл. 3 и 4 приведены

Таблица 3

**Эффект биофунгицида на основе *Brevibacillus* на клубни картофеля при хранении в контролируемых условиях картофелехранилища [24]**

**Effect of of *Brevibacillus* – biofungicides in potato tubers during in controlling conditions storage [24]**

Вариант	60 дн		120 дн		180 дн	
	Больные клубни, %	Отходы, %	Больные клубни, %	Отходы, %	Больные клубни, %	Отходы, %
Контроль без обработки	13,1	6,5	16,0	10,2	16,8	11,2
Обработка клубней биофунгицидом	7,6	4,1	8,5	5,5	8,9	6,0
Обработка клубней химическим фунгицидом Текто (Bayer)	12,1	4,4	12,4	5,3	13,0	6,0

Таблица 4

**Урожай картофеля при обработке на вегетативной фазе роста [24]**

**The potato crop when processing in the vegetative growth phase [24]**

Вариант	Больные клубни, %	Здоровые клубни	
		т/га	%
Контроль, без обработки	27,9	21,8	100,0
Обработка картофеля биофунгицидом	20,6	26,8	119,3
Обработка картофеля химическим фунгицидом Арцерид (Bayer)	26,7	24,8	113,8

результаты испытаний биофунгицидов на основе спорообразующих бактерий *Brevibacillus*, созданных в ГосНИИгенетика.

Отметим, что в ГосНИИгенетика для отбора более активных штаммов-продуцентов использовались два метода оценки фунгицидной активности – метод лунок и оценки скорости линейного роста [25].

Обработка клубней картофеля российским биофунгицидом на протяжении 180 дней хранения препятствовала развитию комплекса болезней, вызываемых *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuis*, *Phoma solanicola*.

Как видно из рис. 1, имеющиеся в почве грибы резко снижают эффективность прорастания клубней, тем самым подтверждается необходимость обработки почвы фунгицидами. В данном случае был использован биофунгицид.

### Овощные культуры

В сельском хозяйстве выращиваются свыше 100 видов овощных культур. Овощные культуры подвержены болезням, основными возбудителями которых также являются грибы: *Alternaria*, *Anthraco*, *Cercospora*, *Fusarium*, *Phoma*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Septoria*, *Verticillium*. Ниже представлены результаты, по отбору в ГосНИИгенетика штаммов-продуцентов для создания биофунгицидов против наиболее опасных фитопатогенных грибов – возбудителей болезней овощных культур. Отбор проводили среди различных видов бацилл. Критериями отбора служили фунгицидная активность культуральной жидкости штаммов бацилл различных видов, оцениваемая двумя методами – методом определения ли-



**Рис. 1.** Ингибирующий эффект при искусственном заражении клубней картофеля фитопатогенным грибом *Rhizoctonia solani*. *a* – использован биофунгицид; *b* – без биофунгицида

**Fig. 1.** The inhibitory effect at artificial infection of potato potato tubers by the plant pathogenic fungus *Rhizoctonia solani*, *a* – with biofungicides; *b* –without biofungicides

нейного роста (табл. 5), методом лунок (табл. 6). Использовали бактерии из Лаборатории биологически активных соединений ГосНИИгенетика.

Результаты определения фунгицидной активности двумя методами позволили выделить наиболее активные штаммы – 2260 и 2435. Следующим этапом была оценка<sup>13</sup> фитотоксичности штамма 2260 (табл. 7).

Таблица 5

### Фунгицидная активность (мм) штаммов бацилл различных видов, оцененная методом лунок

Fungicidal activity (mm) of different types of *Bacillus* strains, estimated by the method of well

Штамм бацилл	Фитопатогенные грибы			
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
621	2	1	0	0
867	1	0	0	0
1841	5	5	3	3
1925	5	4	3	1
2260	5	8	9	2
2435	4	6	8	3

<sup>13</sup>Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности». М.: ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. 2007.

Таблица 6

**Фунгицидная активность (%) штаммов бацилл различных видов, оцененная по скорости линейного роста**  
**Fungicidal activity (%) of different types of *Bacillus* strains, estimated linear growth rate**

Штамм бацилл	Фитопатогенные грибы			
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
621	100,0	74,7	100,0	100,0
867	97,7	96,5	100,0	100,0
1841	23,6	25,4	29,5	60,5
1925	26,4	26,6	31,0	25,3
2260	21,9	25,3	26,4	21,8
2435	23,0	25,9	25,9	24,1

Примечание: контроль принимали за 100%.

Note: the control was taken as 100%.

Таблица 7

**Оценка фитотоксичности штамма 2260 с использованием семян**

**The evaluation of phytotoxicity of strain 2260 using seeds**

Разведение культуральной жидкости	L <sub>ср</sub> ,		ЕТ, %	Тест-реакция
	мм	% к контролю		
Контроль	127,00	100,00	0,00	Норма
1:1000	121,00	95,27	4,72	то же
1:100	119,00	93,70	6,29	««
1:10	107,40	84,56	15,43	««
1:5	102,50	80,70	19,29	««
1 (без разведения)	67,20	52,91	47,08	Разрыв

Примечание: L<sub>ср</sub> – средняя длина корня; ЕТ – фитотоксический эффект. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Note: L<sub>ср</sub> – average root length; ЕТ – phytotoxic effect. Distilled water was used as a control.

Полученные данные по фунгицидной активности и отсутствию фитотоксического эффекта позволили использовать штамм 2260 в качестве продуцента для создания биофунгицида для защиты овощных культур.

Итак, в результате проведенного анализа рынков биопрепаратов для защиты сельскохозяйственных растений в различных регионах мира, можно с уверенностью утверждать, что в ближайшие годы будут наблюдаться серьезные изменения в программе экологизации сельского хозяйства, особенно в развитых странах Северной Америки, Европы, Латинской Америки, Китая.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Koul O. Microbial biopesticides: opportunities and challenges. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2011, 6(5), 6.
2. Thakore Y. The biopesticide market for global use. *Industrial. Biotechnology*, 2006, 2, 194–208.
3. Nagorska K., Bikowski M., Obuchowski M. Multicellular behavior and production of a wide variety of toxic substances support usage of *Bacillus subtilis* as a powerful biocontrol agent. *Acta Biochimica Polonica*, 2007, 54 (3), 495–508.
4. Duby F., Jourdan E., Beandry T., et al. *Bacillus subtilis* M4 decreases plant susceptibility towards fungal pathogens by increasing host resistance associated with differential gene expression. *Applied Microbiology Biotechnology*, 2005, 67, 692–698.

5. Xu Z., Shao J., Li B., et al. Contribution of bacillomycin D in *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to antifungal activity and biofilm formation, *Applied Environmental Microbiology*, 2013, 79(3), 808–815.
6. Chen Y., Yan F., Chai Y., et al. Biocontrol of tomato wilt disease by *Bacillus subtilis* isolates from natural environments depends on conserved genes mediating biofilm formation. *Applied Environmental Microbiology*, 2013, 15(3). 848–864.
7. Bargabus N., Zidak J., Sherwood J., Jacobson B. Characterization of systemic resistance in sugar beet elicited by a non-pathogenic phyllosphere-colonizing *Bacillus mycoides* biological control agent. *Mol. Plant Pathol.*, 2002, 61, 289–298.
8. Zheng X., and Singlair J. The effects of traits of *Bacillus megaterium* on seed and root colonization of *Rhizoctonia solanii*. *J. Biocontrpl.*, 2000, 45, 223–243.
9. Azizbekyan R., The fungicidal activity of spore-forming bacteria. In bacterial spore formers, probiotics and emerging applications, horizon bioscience. Eds. E. Ricca, A. Henriques, S. Cutting. Norfolk, UK. 2004, 229.
10. Монастырский О.Ф. Опасные грибы. Сельскохозяйственные аспекты исследований фитопатогенных токсинообразующих грибов. *Агро XXI*, 1998, 10, 18–19.
11. Кузин А.И., Кузнецова Н.И., Николаенко М.А, Азизбекян Р.Р. Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* 16-K11, обладающий фунгицидной активностью против возбудителей фузариоза зерновых культур. *Биотехнология*, 2013, 5, 31–39.
12. Новикова И.И., Бойкова И.В, Павлюшин В.А. и др. Перспективы использования биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для защиты картофеля при хранении. *Вестник защиты растений*, 2013, 4, 12–21.
13. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Кузин А.И. и др. Влияние бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* на рост и токсинообразование гриба *Fusarium sporotrichioides*. *Биотехнология*, 2014, 1, 32–37.
14. Азизбекян Р.Р. Кузин А.И. Кузнецова Н.И. и др. Штамм бактерий *Bacillus thuringiensis*, обладающий множественной пестицидной активностью. Патент РФ 2347809, 27.02.2009.
15. Новикова И.И., Бойкова И.В., Павлюшин В. Н. и др. Биологическая эффективность препаративных форм на основе микробов-антагонистов для защиты картофеля от болезней при вегетации и хранении. *Вестник защиты растений*, 2015, 86(4), 12–19.
16. Азизбекян Р.Р. Использование спорообразующих бактерий в качестве биологических средств защиты растений. *Биотехнология*, 2013, 1, 69–77.
17. Новикова И.И., Титова Ю.А. Бойкова И.В. и др. Биологическая эффективность новых биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для контроля возбудителей болезней картофеля при вегетации и хранении клубней. *Биотехнология*, 2017, 33, 6, 68–76.
18. Франк Р.И., Кищенко В.Н. Биопрепараты в современном земледелии. *Защита и карантин растений*, 2008, 4, 30–32.
19. Choudhary D., Prakash A., Johri B. Induced system resistance (ISR) in plants: mechanisms of action Indian. *J. Microbiol.*, 2007, 47, 289–297.
20. Choudhary D., Johri B. Interactions of *Bacillus* spp. and plants – With special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 2009, 164(5), 493–513.
21. Jacobson B., Zidack N., Larsen R. *Bacillus* isolates and methods of their use to protect against plant pathogen. Patent US №8025875, 2011.
22. Jacobson B., Zidack N., Larsen R. *Bacillus* isolates and methods of their use to protect against plant pathogen. Patent US №824469656, 2012.
23. Азизбекян Р.Р. Смирнова Т.А. Николаенко М.А. и др. Штамм бактерий *Brevibacillus laterosporus*, обладающий широким спектром фунгицидного действия, и биологический препарат для защиты клубней картофеля от грибных заболеваний в период хранения на основе биомассы этого штамма. Патент РФ № 2242125, 2001.
24. Азизбекян Р.Р., Кузнецова Н.И., Кузин А.И., Николаенко М.А Штамм бактерий *Bacillus amyloliquefaciens*, обладающий фунгицидным и бактерицидным действием, и биологический препарат для защиты зерновых растений от заболеваний, вызываемых фитопатогенными грибами. Патент РФ № 2528058. 16.07.2014.
25. Nirenberg H. I. Untersuchungen über die morphologische und biologische Differenzierung in der *Fusarium*-Sektion *Liseola*. Mill. Biolog. Bundesan. für Land- und Forstwirt. Berlin-Dahlem, 1976, 169.

## Biological Preparation for Agricultural Plants Protection

R.R. AZIZBEKYAN

*State Research Institute for Genetics and Selection of Industrial Microorganisms of National Research Center «Kurchatov Institute» (NRC «Kurchatov Institute» – GOSNIIGENETIKA), 117545, Moscow Russia*

*e-mail: raziz@genetika.ru*

Received April 24, 2018

Accepted July 23, 2018

**Abstract**—The protection of plants from diseases caused by various pathogens is an economically and socially important problem; the losses in the crop production make up 20% of the harvest in different parts of the world. The use of chemical pesticides is the main way to protect plants. However, chemical preparations have a number of serious disadvantages. Nowadays, biologicals for plant protection (BPP) are being developed more intensely. The world biggest chemical companies, BASF, Bayer and Syngenta, show great interest in the market of preparations for biological control. The data on markets of biologicals for the agricultural plants protection over various parts of the world, North America, Europe, China, Latin America and Russia, are represented. According to expert data, the biological markets in these areas (with the exception of Russia) will exceed \$ 1 billion by 2025. In Russia, only 0.3% of agricultural land is treated by biological products. The review contains the data on the application of biofungicides obtained in GosNIIGenetika for the protection of wheat, potato and vegetable crops. A high efficiency of the biofungicides is demonstrated.

*Key words:* plants, cereal crops, vegetable crops, potato diseases, phytopathogenic fungi, formulation, market of biological for plant protection.

**doi:** 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47