

УДК 581.1:58.07.071

БИОБЕЗОПАСНАЯ БАКТЕРИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

М.Г. Соколова¹, Г.П. Акимова¹, О.Б. Вайшля², В.В. Верхотуров³

¹ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 132-317, SokolovaMG@sifibr.irk.ru.

²ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050 Томск, ул. Ленина, 36.

³ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074 Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В настоящее время весьма перспективно внедрение в практику развития агропроизводства биологического земледелия - применение бактериальных биоудобрений для улучшения микробоценоза почвы, восстановления техногенно-загрязненных почв, повышения урожая и качества сельхозпродукции. Исследуемые микробиологические биопрепараты Азотобактерин, Фосфобактерин, Кремнебактерин – это жидкие концентраты живых почвенных бактерий на основе, высокотехнологичных штаммов, обладающих антибиотической и гормональной активностью. Они являются экологически чистыми, безопасными препаратами длительного действия, которые обладают целым комплексом иммуностимулирующих и адаптогенных свойств и могут использоваться как экологически чистые биоудобрения.

Табл. 4. Библиограф. 9 назв.

Ключевые слова: бактериальные препараты, Azotobacter, Bacillus, стимуляция роста растений, качество агропродукции.

SAFE BACTERIAL TECHNOLOGY TO IMPROVE THE QUALITY OF PLANT MATERIAL

M.G. Sokolova¹, G.P. Akimova¹, O.B. Vayshlya², V.V. Verkhoturov³

¹Siberian Institute of Physiology and Biochemistry of Plants SB RAS, 132, box 317, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russi, SokolovaMG@sifibr.irk.ru.

²Tomsk State University, 36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia.

³Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov St., 664074, Irkutsk, Russia.

The use of bacterial biological fertilizers is very promising to improve soil microocenose, recovery of contaminated soils, increasing the yield and quality of agricultural products. Microbial fertilizers (Azotobakterin, Fosfobakterin, Kremnebakterin) – are liquid concentrates of soil bacteria containing strains with antibiotic and hormone activity. They are environmentally friendly, safe, long-acting drugs, which have a set of immunostimulatory and adaptogenic properties.

4 tables. 9 sources.

Keywords: microbiology, biological fertilizers, biological agriculture, quality of agroproduction.

Проблема экологического природопользования многогранна, затрагивает разные стороны деятельности человека, начиная с задачи получения высоких урожаев, повышения качества растительного сырья, сохранения и повышения плодородия почв, экономики агропроизводства, охраны окружающей среды и здоровья человека.

В развитых странах мира значительно возрос интерес к производству экологически чистой и безопасной растительной продукции.

Современное агропроизводство потребовало новых концептуальных подходов к регулированию питания растений. Суровые климатические условия сибирского региона усугубляются обострением экономических и экологических проблем в агропроизводстве, которые трудно поддаются решению. Загрязнение почвы вредными химическими элементами, пестицидами, тяжелыми металлами приводит к накоплению их и в агрокультурах, что в свою очередь ведет к снижению качества растительной продукции.

Есть возможность кардинально изменить ситуацию при использовании наукоемких, ресурсосберегающих, экологически чистых технологий, которые соответствуют основным требованиям к построению систем земледелия - высокой экономической эффективности и экологической безопасности.

В связи с этим в настоящее время весьма перспективно внедрение в практику агропроизводства биологического земледелия – использование экологически чистых методов получения растительной продукции – технологии биобезопасности.

На практике доказано, что с помощью биотехнологий, в частности, эффективных микроорганизмов, таких как ризосферные бактерии, стимулирующие рост растений (plant growth-promoting *rhizobacteria*, или PGPR), можно управлять плодородием,

продуктивностью почв и качеством агропродукции [1-3].

Одной из таких современных технологий можно считать применение бактериальных биоудобрений для улучшения микробоценоза почвы, восстановления техногенно-загрязненных почв, повышения урожая и качества сельхозпродукции [2–4]. Кроме того, это направление ориентировано на сокращение применения минеральных удобрений и отказ от опасных для здоровья человека пестицидов.

В литературе подчеркивается многостороннее действие таких ассоциативных микроорганизмов как *Azotobacter* и *Bacillus* [3,5]. Накоплен большой материал о механизмах положительных воздействий ассоциативных ризобактерий на растения: продуцирование биологически активных веществ, биоконтроль фитопатогенов и стимуляция системной устойчивости растения. На базе различных видов ризосферной микрофлоры создан ряд микробных препаратов, полезное действие которых носит универсальный характер в отношении различных культур [3,7].

Одними из таких биоудобрений являются исследуемые нами микробиологические биопрепараты Азотобактерина (*Azotobacter chroococcum*), Фосфобактерина (*Bacillus megaterium*) и Кремнебактерина (*Bacillus mucilaginosus*) – это жидкие концентраты на основе, высокотехнологичных штаммов ассоциативных ризосферных бактерий, обладающих антибиотической и гормональной активностью. Они являются экологически чистыми, безопасными препаратами длительного действия, которые обладают целым комплексом иммуностимулирующих и адаптогенных свойств и могут использоваться как экологически чистые биоудобрения.

В технологическом плане они имеют преимущества перед другими подобными средствами,

так как могут применяться одновременно с гербицидами и фунгицидами, в частности, на основе дельтаметрина (препарат «Децис», которые используют на практике для борьбы с сорняками и патогенными грибами), что экономит горючее, сокращает время агротехнических мероприятий без потери эффекта повышения урожайности.

Основные сферы применения биоудобрений: сельскохозяйственное производство, декоративное цветоводство, лесопарковое хозяйство. Биоудобрения эффективны для зернобобовых, овощных, технических, цветочных и лесных культур.

Бактериальные биодобавки разработаны в Томском госуниверситете и апробированы в производственных условиях на полях хозяйств Алтайского края, Томской, Новосибирской и Кемеровской областей [5]. При этом добавки показали высокую рентабельность и были предложены для испытаний в Иркутской области на базе Сибирского института физиологии и биохимии растений (СИФИБР СО РАН). Включены в перечень проектов для реализации в ООО «Центр инновационных технологий СИФИБР», созданный в 2012 г.

На территории Иркутской области апробация и исследования микробиологических удобрений проводилась в течение 7-и лет (2005-2012) на основе договоров о научном сотрудничестве с ТГУ на базе и под руководством СИФИБР СО РАН на учебно-опытных полях Иркутской государственной сельхоз. академии (ИрГСХА), Иркутского НИИСХ СО РАСХН, на базе Ботанического сада Иркутского государственного университета (ИГУ).

Исследуемые микробиологические биоудобрения Азотобактерин, Фосфобактерин, Кремнебактерин – это общепринятые названия истинно биологических препаратов, поскольку они содержат чистые культуры и метаболиты полезных микроорганизмов, специально отобранных почвенных бактерий с заданными контролируемыми свойствами по улучшению азотного, фосфорного и кремниевого питания растений.

Азотобактерин – препарат на основе азотфиксаторов *Azotobacter chroococcum* (штамм Az d10, ВКМ В-2272 Д), поставляет аммонийную форму азота в ризосферу растений. Это новый уникальный штамм бактерий, селекционирован по свойству к продуцированию ауксинов и цитокининов, антибиотических веществ.

Фосфобактерин – препарат на основе живых почвенных кислотообразующих бактерий *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* (штамм PI-04, ВКМ В-2357 Д). Высвобождает фосфат из нерастворимой формы в доступную для растений; стимулирует корнеобразование у растений.

Кремнебактерин – препарат на основе силикатных бактерий *Bacillus mucilaginosus* (ВКМ В-1574). Бактерии, содержащиеся в этом препарате, выделяют фермент силиказу и поставляют крем-

ний и другие макро- и микроэлементы из природных силикатов в ризосферу растений.

Испытания показали, что препараты лучше работают совместно, то есть при комплексном их использовании происходит более полное снабжение элементами питания, выше проявляется их положительный эффект на растения. Одновременное внесение данных бактериальных препаратов трех видов способствовало усилению микробиологической активности почвы, увеличению степени минерализации органического вещества и, вследствие этого, повышению урожайности различных культур. В ФГБОУ ВПО ТГУ был разработан новый препарат, который в настоящее время прошел процесс госрегистрации и включен в Каталог агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, в котором объединили все три бактерина. Новый коммерческий продукт, на основе трех штаммов бактерий, содержащихся в биопрепаратах «Азотобактерин», «Фосфобактерин», «Кремнебактерин», назван «БиоВайс».

Микроорганизмы, относимые к той или иной физиологической группе: азотобактер, фосформобилизующие, силикатные бактерии в действительности благодаря многогранности функций, могут участвовать в самых различных биохимических процессах почвы и являются мощнейшим фактором продуктивного функционирования агрофитоценоза.

В результате проведенных исследований показана существенная биологическая и экологическая эффективность использования микробиологических биоудобрений Азотобактерина, Фосфобактерина и Кремнебактерина. Они просты в применении, дают значительную прибавку урожая при минимальных затратах. Обсуждается возможность их внедрения в агропроизводство.

Установлено положительное влияние бактериальных биопрепаратов на темпы роста растений, в частности, они повышали прорастание семян и скорость роста проростков (табл. 1). Кроме того, отмечено ускорение роста боковых корней и корневых волосков, что повышает всасывающую способность корня и улучшает питание растений, а далее продуктивность и качество урожая агрокультур, что происходит, в частности, за счет синтеза бактериями фитогормонов [8]. Показан существенный эффект от применения препаратов в полевых условиях [9].

Результаты визуального анализа на момент полной спелости наглядно демонстрируют, что пшеница, обработанная БП, имеет большую длину стебля и колоса, по сравнению с контрольным вариантом. Кроме того, происходит укрепление стебля и снижение полегания злаков, в том числе за счет работы силикатных бактерий. Бактеризация различных зерновых культур показала прибавку урожая от 6 до 50% (табл. 2). Ранее нами показано повышение содержания аминокислот

Таблица 1

Влияние обработки биопрепаратами (БП) на прорастание семян

Агрокультура	Количество непроросших семян, %			
	Контроль, H ₂ O	Азотобактерин 1мл/л	БП 1мл/л	БП 2 мл/л
Горох	30	12	9	10
Огурец	35	21	21	7

(АК) и особенно незаменимых АК в зерне пшеницы, при бактериализации, что свидетельствует о возможности получения биологически ценного зерна.

Обработка БП различных овощных культур (картофель, морковь, капуста, огурцы, томаты), дала прибавку урожая до 50%.

При обработке биопрепаратами картофеля показано, что кроме повышения урожая, при бактериализации клубни формируются более ровные, гладкие, не чернеют и не растрескиваются изнутри. Кроме того, в опытных вариантах картофель более устойчив к заболеваниям и показал более раннее созревание.

Отмечается, что ассоциативные бактерии снижают заболеваемость растений различными вирусными, грибными и бактериальными инфекциями. При бактериализации зараженности клубней картофеля грибным заболеванием паршой обыкновенной (*Streptomyces scabies*) снизилась на 80–90% за один сезон в результате оздоровления почвы за счет подавления патогенной микрофлоры и повышения устойчивости к ней растений картофеля.

В зависимости от культуры БП снижали содержание нитратов в овощах в среднем на 50–70%. Известно, что избыточное накопление нитратов в организме человека, получаемое с пищей, негативно сказывается на его здоровье. Наибольшую опасность представляет восстановленная форма нитратов – нитриты, которые взаимодействуют с оксигемоглобином, образуя метгемоглобин, не способный переносить кислород к тканям, они блокируют окислительно-восстановительные реакции в клетке, обуславливают состояние гипоксии в тканях, вызывая симптомы отравления.

Установлено, что 70-90% суточной дозы нитратов, поступающих в организм человека при сбалансированном питании, приходится на овощи.

Исследовали влияние биопрепаратов на изменение содержания β-каротина в корнеплодах моркови (*Daucus carota* L.) методом комбинационного рассеяния света. Содержание β-каротина в корнеплодах моркови при обработке биопрепаратами на 31 ± 11% больше, чем в необработанном контрольном варианте. Из полученных результатов можно сделать предварительный вывод о том, что биопрепараты способствуют росту антиоксидантной защиты растения и, кроме того, овощная продукция после обработки препаратами повышает свое качество за счет возрастания содержания каротина, потенциального источника витамина А. Обработка фасоли перед посадкой способствовала приросту биомассы растения и увеличения количества семян на 60%.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что инокуляция изучаемыми микробиологическими препаратами Азотобактерин (*Azotobacter chroococcum*), Фосфобактерин (*Bacillus megaterium*) и Кремнебактерин (*Bacillus mucilaginosus*), входящими в состав препарата «БиоВайс», способствует улучшению ряда физиологических показателей овощных и зерновых культур.

Достоинства биопрепаратов:

- обогащают почву основными элементами питания: азотом, фосфором, калием, кремнием и другими в доступной для растений форме;

Таблица 2

Обработка БП зерновых культур

Сельскохозяйственная культура	Показатели урожайности		
	Контроль, ц/га	Опыт, ц/га	Прибавка, %
Ячмень	27,2	32,2	18,3
Пшеница твердая яровая	23,3	36,5	53,4
Пшеница озимая	20,8	24	15,5
Пшеница мягкая яровая	31,1	33,3	8
Гречиха	6,3	8,4	33,3
Кукуруза (20 га)	275	350	27,2
Подсолнечник	22,1	28,5	28

Таблица 3

Обработка БП овощных культур

Сельскохозяйственная культура	Показатели урожайности		
	Контроль, ц/га	Опыт, ц/га	Прибавка, %
Сахарная свекла	279	341	22,3
Картофель	455	670	47
Огурцы открытого грунта	43,4	60,8	39,6
Томаты (10 га)	280	330	25
Морковь	181	190,6	5,6
Капуста	290	325	9,4

Таблица 4

Содержание нитратов и нитритов (мкг/г сырого вещества) в клубнях картофеля при обработке биопрепаратами (БП)

Вариант	Нитраты	Нитриты
Контроль. Без обработки БП. Клубни сильно поражены паршой	10,8 ± 0,9	1,28 ± 0,11
Опыт. Клубни, обработанные БП. Клубни чистые, парши меньше на 80%	4,4 ± 0,3	0,48 ± 0,04

- стимулируют рост растений;
- дают прибавку урожая зерновых 4-9 ц/га, овощных культур 25–80 ц/га;
- повышают качество агропродукции – снижают количество нитратов на 50–70%, снижают зараженность грибными заболеваниями, повышают уровень белка и каротина;
- восстанавливают почвенную микрофлору, что ведет к повышению плодородия почвы биологическим путем и в целом способствует биобезопасному высокоэффективному растениеводству;
- ускоряют созревание урожая на 5–10 дней;
- выделяют биофунгициды, фитогормоны, повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным факторам среды;
- снижают на 20–50% затрат при внесении минеральных удобрений за счет увеличения коэффициента их доступности для растений;
- дешевизна, окупаемость уже в первый год применения;

- длительность действия, простота применения;
- экологическая безопасность для человека, животных, птиц и насекомых.

Бактериальные биопрепараты можно рекомендовать для обработки семян перед посадкой с целью стимуляции прорастания, повышения устойчивости к патогенным инфекциям и улучшения роста и развития растений.

Таким образом, применение подобных препаратов на основе эффективных штаммов ризосферных бактерий является актуальным для практического применения и эффективного развития биобезопасного земледелия. Бактериальные препараты Азотобактерин, Фосфобактерин и Кремнебактерин эффективны на большинстве почв Сибирского региона, однако при необходимости возможна модификация технологии, и данные биопрепараты могут быть адаптированы к конкретным почвам потребителей в разных регионах РФ и за рубежом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bashan Y. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture // *Biotechnol. Adv.* 1998. V.16. № 4. P. 729–770. Vissey J.K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers // *Plant and Soil.* 2003. V.225. P.571–586.
2. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
3. Мачнева В.В., Семина С.А. Бактериальные удобрения при возделывании яровой пшеницы // *Плодородие.* 2007. № 6 (39). С. 19–20.
4. Вайшля О.Б., Трифонова Н.А., Ведерникова А.А. Мобилизация кремния и фосфора бактериями биопрепаратов «Кремнебактерин» и «Фосфобактерин» // *Матер. XXI межд. научн. конф. Томск, 2006. Т. II.* С. 349–351.
5. Вайшля О.Б., Ведерникова А.А., Бондаренко А.П. Микробиологические аспекты гипергенеза. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 288 с.
6. Дахмуш А.С., Кожемяков А.П. Использование ассоциативных ризобактерий в улучшении плодородия почв и питания растений // *Агрохимия.* 2007. № 1. С. 57–61.
7. Соколова М.Г., Акимова Г.П., Вайшля О.Б. Влияние на растения фитогормонов, синтезируемых ризосферными бактериями // *Прикладная биохимия и микробиология,* 2011. Т.47. № 3. С. 302–307.
8. Соколова М.Г., Акимова Г.П., Бойко А.В., Нечаева Л.В., Глянько А.К., Вайшля О.Б., Ведерникова А.А. Влияние бактериальных биопрепаратов на урожай картофеля и его качество // *Агрохимия.* 2008. № 6. С. 62–67.

Поступило в редакцию 4 декабря 2012 г