

УДК 631.53

## МИКРОБНАЯ ИНОКУЛЯЦИЯ СЕМЯН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

**Дондоков Юрий Жигмитович**

Канд. техн. наук, доцент

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

**Дринча Василий Михайлович**

Д-р техн. наук, профессор

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

e-mail: vdrincha@list.ru

**Платонова Агафья Захаровна**

Канд. с.-х. наук

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

**Аммосов Иннокентий Николаевич**

Старший преподаватель

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

**Филиппов Анатолий Анатольевич**

Магистрант инженерного факультета

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

**Аннотация.** Представлены отрицательные последствия влияния на безопасность продуктов питания и экологию интенсивных технологий с.-х. производства. Обосновано, что применение микробных инокулянтов в технологиях выращивания урожая является жизнеспособной альтернативой традиционным интенсивным технологиям, основанных на применении агрохимикатов, таких как пестициды, неорганические удобрения, гербициды и др. и приводящих к разрушительному воздействию на здоровье людей, вследствие потребления небезопасных продуктов питания. Разработана классификация микробных инокулянтов для предпосевной подготовки семян по функциональным признакам. Установлено, что в области предпосевной обработки семян биопрепаратами наиболее распространенным способом является обработка микробными инокулянтами, содержащими клубеньковые бактерии. Представлен перечень применяемых в практике биопрепаратов для защиты растений, а также основные характеристики способов нанесения их на семена перед посевом. Определено, что технологическая эффективность обработки семян микробными инокулянтами зависит от многих факторов, обеспечивающих выживание микроорганизмов при обработке и хранении семян, доминирующими среди которых являются

ся препаративная форма инокулянта, а также его способность размножаться в спермосфере, инфицировать корневую систему, а в некоторых случаях и ризосферу растений.

**Ключевые слова:** семена, агрохимикаты, пестициды, защита растений, безопасность продуктов питания, устойчивость с.-х. производства, предпосевная подготовки семян, инокуляция семян, микробная обработка семян, азотфиксация, биозащита растений.

## MICROBIAL INOCULATION OF SEED FOR INCREASING SAFETY AND SUSTAINABILITY OF CROP PRODUCTION

### **Dondokov Yuriy Zhigmitovich**

PhD in agricultural engineering

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

### **Drincha Vasilii Michailovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

e-mail: vdrincha@mail.ru

### **Platonova Agaphja Zaharovna**

PhD in agricultural science

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

### **Ammosov Innokentiy Nikolaevich**

Assistant Professor

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

### **Philpov Anatoliy Anallyevich**

Graduate Student

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

**Abstract.** The negative adverse effects of intensive agricultural production on food safety and the environment are presented. It has been substantiated that the use of microbial inoculants in plant growing is a viable alternative to traditional industrial technologies based on the use of agrochemicals such as pesticides, inorganic fertilizers, herbicides, etc. and leading to destructive effects on human health due to the consumption of unsafe food. The classification of microbial inoculants for seed treatment according to functional characteristics has been developed. It has been established that in the seed treatment with biological preparations, the most common method is treatment with microbial inoculants containing nodule bacteria. The list of biopreparations used in practice for plant protection is presented, as well as the main characteristics of methods for applying them to seed. It has been determined that the technological effectiveness of seed treatment with microbial inoculants depends on many factors that ensure the survival of

microorganisms during seed processing and storage, the dominant ones being the formulation of the inoculant, as well as its ability to multiply in the spermosphere, infect the root system, and in some cases, the rhizosphere of plants.

**Keywords:** seed, agrochemicals, pesticides, crop protection, food safety, sustainability of agricultural production, presowing seed treatment, seed inoculation, microbial seed treatment, nitrogen fixation, crop bioprotection

### **Введение**

Внедрение индустриальных или интенсивных систем ведения сельского хозяйства, включающих использование химикатов, консервантов, гормонов и антибиотиков, привело к увеличению роста и производства продуктов питания [7].

Интенсивные технологии в сравнении с устойчивым сельским хозяйством, практиковавшимся в прошлом, обеспечивают рост урожайности с.-х. культур и животноводства. В растениеводстве интенсивного сельского хозяйства часто возделывают монокультуру, т.е. одна и та же культура выращивается на одном и том же поле сезон за сезоном. Монокультурные технологии снижают способность почвы естественным образом подавлять вредителей и восполнять запасы питательных веществ.

Для противодействия отрицательным последствиям интенсивных технологий промышленное сельское хозяйство использует большие дозы химических удобрений и пестицидов. Аналогичным образом, огромное количество домашнего скота, такого как коровы, куры, свиньи и индейки, выращивают в закрытых помещениях при высокой плотности и нередко в антисанитарных условиях.

Агрохимикаты обычно используются в с.-х. производстве для борьбы или предотвращения болезней, вредителей и сорняков, чтобы поддерживать высокое качество с.-х. продукции и уменьшать потери урожая. Благодаря такой промышленной системе продукты питания производятся с меньшими затратами, и поэтому хозяйства получают более высокую прибыль от своей деятельности, но возникают серьезные опасения по поводу рисков для здоровья, возникающих в результате загрязнения питьевой воды и продуктов питания, а также влияния технологий на обслуживающий персонал [19].

Большие дозы неорганических удобрений, хотя и приводят к самообеспеченности в производстве продуктов питания, оказывают вредное воздействие на живые организмы и окружающую среду (табл. 1). Химические вещества загрязняют производимые продукты и еще больше изменяют нормальные функции организма потребителя. Водные источники загрязнены используемыми токсичными инсектицидами, гербицидами и химическими удобрениями [7, 9].

Таблица 1. **Заболевания, обусловленные применением некоторых агрохимикатов**

п.н.	Заболевания	Тип агрохимикатов
1	Рак или канцерогенность, врожденные дефекты, последствия для репродуктивной системы, поражение печени и почек, нейротоксичность, нарушение эндокринной системы	Пестициды
2	Острые сердечные заболевания, рак, инсульт, рак кишечника	Неорганические удобрения, пестициды, гербициды и др.
3	Гиперчувствительность фермеров, заболевания легких	Пестициды
4	Расстройства нервной и репродуктивной системы	Пестициды
5	Астма	Пестициды
6	Неврологическая недостаточность	Пестициды
7	Головная боль, усталость, раздражение кожи, раздражение слизистой оболочки глаз	Пестициды
8	Расщелина лица	Пестициды
9	Врожденные дефекты	Пестициды/фунгициды
10	Дефекты редукции конечностей, связанные с аномалиями систем органов	Пестициды
11	Рвота, ожог кожи, зуд, тошнота, усталость и головные боли	Пестициды
12	Боль в животе, беспокойство, репродуктивные расстройства, головные боли, повышенное слюноотделение, нарушение развития и судороги, раздражение глаз	Пестициды

Одним из факторов, повышающих восприимчивость с.-х. рабочих к вредному воздействию агрохимикатов, является отсутствие соответствующих технологий контроля применения химикатов, а также научного и технологического сопровождения, обеспечивающих безопасное применение химических препаратов. Отсутствие опыта работы в сельском хозяйстве у большинства наемных рабочих, которые используют работу в с.-х. секторе в качестве работы начального уровня, может увеличить угрозу здоровью и безопасности занятых в с.-х. производстве. Поэтому, крайне важно искать альтернативные технологии, которые позволят увеличить качество и объемы производства продуктов питания для удовлетворения потребностей в продуктах питания постоянно растущего населения мира. При этом, чрезвычайно важным требованием становится безопасность технологий возделывания с.-х. продукции в отношении занятых рабочих и обслуживающего персонала, с.-х. животных и окружающей среды.

Растущий спрос в обществе на экологически безопасные продукты питания, а также давление потребителей привело к отказу от многих синтетических пестицидов, снижению предельно допустимых концентраций химикатов в выращиваемой продукции, изменениям в нормативной базе. Кроме того, растут затраты на разработку и регистрацию синтетических пестицидов, что существенно сдерживает разработку и регистрацию более безопасных пестицидов [7].

Поиск альтернативных решений для безопасных технологий производства с.-х. продукции побудил исследователей по-новому взглянуть на ряд микроорганизмов, которые, как известно, становятся все более эффективными в с.-х. производстве и способствуют быстрому росту рынков биопестицидов и микроорганизмов, способствующих росту растений, а также повышению качества урожая.

Микробные инокулянты представляют собой препараты, состоящие из полезных микроорганизмов, которые играют важную роль в почвенных экосистемах для устойчивого сельского хозяйства. Они экологически безопасны и являются потенциальной альтернативой химическим удобрениям и пестицидам. Микробные препараты содержат активные штаммы микроорганизмов, которые прямо или косвенно стимулируют микробную активность и, следовательно, улучшают подвижность питательных веществ из почвы [11].

В мировом сельском хозяйстве, в последние десятилетия, растет интерес к использованию полезных микроорганизмов как альтернативы химическим пестицидам и синтетическим удобрениям. Предпосевная обработка полезными микроорганизмами семян является эффективным механизмом для внесения микробного инокулянта в почву, где он хорошо подходит для колонизации корней ростков и защиты растений от почвенных болезней и вредителей.

В настоящее время в литературе по предпосевной подготовке семян вопросы применения микробных препаратов для обработки семян освещены явно недостаточно, а в некоторых руководствах практически отсутствуют [11, 15].

Целью статьи является обобщение современных подходов применения полезных микроорганизмов для предпосевной обработки семян с целью уменьшения техногенного воздействия на обслуживающий персонал, выращиваемую продукцию и на экологию в целом.

#### **Материалы и методы исследования**

Основным методом исследований являлся аналитический метод анализа системных проблем, обусловленных традиционными интенсивными технологиями возделывания с.-х. культур, а также поиска альтернативных технологий, основанных на уменьшении факторов химизации сельского хозяйства путем применения микробных препаратов. Материалы исследований получены в процессе проведения многолетних наблюдений, экспериментальных исследований и анализа современных технологий предпосевной обработки семян.

#### **Результаты и обсуждение**

Многие полезные и эффективные микроорганизмы для выращивания с.-х. культур относятся к видам, колонизирующим ризосферу растений [3, 5].

Анализ литературных источников, посвященных вопросам инокуляции семян с.-х. культур показал, что микробные инокулянты применяют в основном для

повышения продуктивности растений, а также для повышения качества урожая посредством ряда механизмов неполностью изученных [1, 2].

На основании изучения многочисленных литературных источников применения микробных препаратов для предпосевной обработки семян [4, 8, 11] разработана их классификация по функциональным признакам (рис. 1).

Одним из наиболее известных способов применения микробных инокулянтов для предпосевной обработки семян бобовых культур является внесение клубеньковых бактерий в ризосферу растений, что приводит к быстрому инфицированию корневой системы растений путем клубенькообразования и азотфиксации. В настоящее время индустрия производства бобовых инокулянтов хорошо функционирует во всем мире и производит широкий спектр препаратов для инокуляции семян бобовых культур.

Однако, несмотря на столь долгую и успешную историю, по-прежнему существуют проблемы с плохой выживаемостью некоторых ризобий как на семенах, так и после высева семян в ризосфере растений. Например, проведенные исследования предварительно инокулированных семян бобовых в Австралии показали, что жизнеспособное количество ризобий на семенах некоторых бобовых редко соответствуют требуемым количественным стандартам [10, 15].



Рис. 1. Применение микробных инокулянтов для предпосевной обработки семян

Факторы, влияющие на качество инокулянта и выживаемость клубеньковых бактерий на семенах, были в центре внимания многих исследователей, но тем не менее существует еще очевидная потребность в новых решениях научно-доказанной данной проблемы.

Стимулирование роста растений за счет увеличения доступности питательных веществ в ризосфере растений под действием, связанных с растением микроорганизмов и почвенных бактерий можно рассматривать как эффект «биоудобрения» [20].

Обеспокоенность по поводу надежности поставок и колебаний цен на фосфорные удобрения привели к повышенному интересу к микроорганизмам, кото-

рые помогают растениям поглощать фосфор из почвы. Ограниченное количество микробных продуктов, улучшающих усвояемость фосфора растениями, содержит гриб *Penicillium bilaii* и рекомендуется для обработки семян пшеницы и рапса. Грибковым инокулянтом следует обрабатывать семена ближе к сроку посева [12, 13].

Традиционная обработка семян химическими протравителями осуществляется с целью защиты семян и ростков от вредителей и болезней, связанных с семенами или почвой. Предпосевная обработка семян микробными антогонистами к почвенным патогенам является идеальной системой доставки микроорганизмов в ризосферу, где активны патогены растений, такие как *Pythium* и *Rhizoctonia*, вызывая гниение семян в спермосфере и отмирание проростков.

Средства биозащиты или биопротравители семян и растений, используемые для инокуляции семян, предназначены для обеззараживания семян и профилактики инфекционных болезней растений. Для производства инокулянтов с функциями биозащиты используют бактерии с выраженными антагонистическими свойствами (*Ps. aureofaciens*, *B. subtilis*) и грибы-гиперпаразиты фитопатогенов (*Trichoderma viride*). Данные инокулянты являются дополнением химических протравителей семян. Обычно химические фунгициды эффективны главным образом в отношении семенных инфекций, таких как пыльная головня и твёрдая головня пшеницы, пузырчатая головня кукурузы. Основным фактором передачи возбудителей этих болезней являются семена, в меньшей степени – воздушные течения. Биофунгициды защищают от возбудителей почвенных инфекций, в числе которых корнеед сахарной свёклы, а также фузариозная, гельминтоспориозная и южная склероциальная гнили зерновых и бобовых культур [16, 17].

В последние годы растет число разработанных и зарегистрированных биологических препаратов для предпосевной обработки семян или биопротравителей, которые могут иметь особое значение в альтернативном или экологическом земледелии (табл. 2). Механизм действия их пока не выяснен однозначно. Отчасти они обладают антагонистическим действием к патогенам в ризосфере или на поверхности листьев, отчасти они усиливают защитные реакции растений, продуктами метаболизма [6].

После высева семян, обработанных биопрепаратами, вступают во взаимодействие три биологические системы: растение-патоген-биопрепарат. При этом, каждая из этих систем находится в сложной взаимосвязи с факторами внешней среды и их действие сильно зависит от почвенно-климатических условий. В связи с чем, действие биопрепаратов не всегда является устойчивым.

Известны исследования, в которых получены положительные результаты совместной обработки семян биопрепаратами и электронным воздействием. В

опытах с семенами озимой пшеницы препараты на основе *Pseudomonas* дают больший эффект, чем такие же на основе *Bacillus subtilis* [16].

Многие виды бактерий, обладающие свойствами биозащиты, могут относиться к ризобактериям, которые стимулируют рост растений, и иметь такое же действие как общие стимуляторы роста растений.

Инокуляция семян микроорганизмами для защиты с.-х. культур от повреждений, вызванных насекомыми-вредителями, предпринималась не часто несмотря на то, что многие почвенные насекомые-вредители привлекаются к корням и прорастающим семенам летучими соединениями, попадающими в почву.

Насекомые вредители, обитающие в почве, трудно уничтожить, и обработка семян биопрепаратами является эффективным способом внесения средств микробиологического контроля в прикорневую зону, где велика вероятность контакта с вредителями, питающимися корнями. Нематицидные микроорганизмы или бионематициды использовались для обработки семян, и одним из немногих примеров коммерчески доступных биологических средств для обработки семян являются нематицидные бактерии.

Предпосевная обработка семян может быть полезным способом доставки биогербицидов в технологиях растениеводства. Для данного процесса важно, чтобы биогербицидный инокулянт сначала инфицировал корни проростков, а затем – почву ризосферы прилегающих целевых сорняков до уровня, который подавляет рост сорняков.

Стрессоустойчивость растений становится ключевым фактором, ограничивающим производство с.-х. культур. Например, стресс растений, вызванный засухой во многих засушливых и полузасушливых регионах мира, становится растущей проблемой из-за потепления климата.

Возобновился интерес к ассоциированным с растениями микроорганизмам, способным смягчать стресс растений посредством широкого спектра действия механизмов, которые охватывают модификацию уровней растительных гормонов и производство бактериальных экзополисахаридов [14].

Например, штамм *Pseudomonas putida* (выбран из-за его способности выживать при низком потенциале влажности почвы) инфицировал поверхность контакта корней с почвой и почву в ризосфере подсолнечника, при этом увеличился процент устойчивых почвенных агрегатов. Увеличение биомассы растений и устойчивости к стрессу было связано с соединениями, стимулирующими рост растений, вырабатываемые бактериями внутри биопленки, которую они образуют на корнях ростков, и за счет производства экзополисахаридов. Это новый подход повышения стрессоустойчивости растений, который требует дальнейшей проверки [18].

Таблица 2. Биопрепараты для обработки семян зерновых и подсолнечника

Препарат	Действующие вещества	Норма расхода, л/га, кг/га	Культуры	Болезни	Способ применения
Фитоспориин – М, П (титр 150...200 млрд.спор/г)	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм 26 D	0,...0,	Пшеница Ячмень	Плесневение и гниль семян, корневая гниль, нежная плесень Гельминтоспорозная корневая гниль	Предпосевная или заблаговременная обработка семян. Расход: 10л/т семян
Псевдобактерии -2, Ж (титр 2...3х 10 <sup>0...10</sup> )	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> , BS 1393	1	Пшеница	Церкоспореллез, гельминтоспорозные ( <i>Drechslera</i> ) и фузариозные гнили	Протравливание семян за 1...2 суток до посева. Обработанные семена на хранят не более 4 суток. Расход: 10 л/т семян
Агат – 25 К (титр 5...8х 10 <sup>10</sup> до инактивации)	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> , Р 16 и продукты метаболизма	0,03...0,04	Пшеница, рожь озимая, ячмень яровой, овес	Пыльная и твердая головня, гельминтоспорозные зны ( <i>Drechslera</i> ) и фузариозные корневые гнили, снежная плесень (при слабой или средней инфицированное семенного материала). Фузариоз листьев, бурая ржавчина, ринхоспориоз, септориоз, мучнистая роса, сера-бурая пятнистость (при умеренном развитии комплекса болезней)	Протравливание семян не позднее 15 дней до посева. Расход: 10 л/т семян. Возможность использование прилипателей.
Планриз (титр не менее 2х10 <sup>10</sup> )	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , штамм AP-33	0,5	Зерновые	Корневые гнили	Полуухое протравливание семян ранее 1...2 дней до посева. Расход: 10 л/т семян
Вермикулит, П. (титр не менее 5 млрд. спор/г)	<i>Penicillium verticillatum</i> (споровомицелиальная масса)	2,0	Подсолнечник	Белая гниль	Предпосевная обработка семян и с увлажнением и прилипателями. Расход: 30 л/т семян. Просушивание обработанных семян с перелопачиванием в течение суток

В общем, технологическая эффективность обработки семян микробными инокулянтами зависит от многих факторов, обеспечивающих выживание микроорганизмов при обработке и хранении семян, доминирующими среди которых являются препаративная форма инокулянта, а также его способность размножаться в спермосфере, инфицировать корневую систему, а в некоторых случаях и ризосферу растений.

Взаимодействие микроорганизмов, поступающих в почву вместе с обработанными семенами, с другими компонентами почвенной биоты недостаточно изучено, но имеет чрезвычайно важное значение для приживании микроорганизмов в почве и на корнях растений.

Интеграция биологических и химических систем контроля является многообещающим, поскольку может повысить надежность защиты урожая в условиях, которые не оптимальны для биологических методов защиты. Существует особый интерес в использовании синергии между микроорганизмами и так называемыми мягкими химическими веществами, такими как регуляторы роста насекомых. При этом, может быть достигнуто более быстрое уничтожение вредителей при иницировании эпизоотии заболеваний в популяции вредителей и более устойчивое их подавление.

### **Заключение**

Производство продуктов питания с использованием микробных инокулянтов является жизнеспособной альтернативой традиционным интенсивным технологиям, основывающихся на применении агрохимикатов, таких как пестициды, неорганические удобрения, гербициды и др. и приводящих к разрушительному воздействию на здоровье людей, вследствие потребления небезопасных продуктов питания.

Знание механизмов действия микробных инокулянтов будет иметь ключевую роль в технологиях устойчивого растениеводства и с.-х. производства. Обширное применение агрохимикатов в сельском хозяйстве может быть существенно уменьшено вследствие применения для защиты растений биопестицидов и биогербицидов.

Использование природных ресурсов, включая полезные микроорганизмы, является одним из наиболее перспективных подходов к устойчивому с.-х. производству и повышению качества продуктов питания.

Предпосевная обработка семян микробными инокулянтами является эффективным способом внесения их в почву, непосредственно в ризосферу растений, где они хорошо подходят для инфицирования корней растений и защищают их от почвенных болезней и вредителей.

Эффективность микробной инокуляции семян во многом будет зависеть от совместных исследований ученых и промышленников, а также от междисципли-

нарного подхода, включающего несколько областей знаний: микробной, семенной и ризосферной экологии, микробной физиологии, физиологии семян, а также химии.

### Список литературы

1. Дринча В.М. Микробная обработка семян овса с помощью мобильного устройства и её влияние на урожайность зелёной массы в условиях Центральной Якутии / Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Платонова А.З., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П., Осипова В.В., Пахомов В.В. // Кормопроизводство. 2023. № 10. С. 17-20.
2. Дринча В.М. Особенности предпосевной обработки семян с применением микробных препаратов / Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Платонова А.З., Аммосов И.Н., Пахомов В.В. // Вестник АГАТУ. 2023. № 11. С. 16-27.
3. Мишустин Е.Н. Микробиология / Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. // М.: Колос, 1978. С. 352.
4. Пахомов В.В. Применение микробных инокулянтов в сельском хозяйстве / Пахомов В.В., Кузьмин В.И., Черкашин С.С., Григорьев А.А., Харламов А.Н., Дринча В.М., Платонова А.З., Дондоков Ю.Ж. // Материалы конкурса научно-исследовательских работ студентов, магистрантов, аспирантов и школьников «Бойновские чтения» с. Октемцы. Сборник докладов, Якутск, 2023. С. 80-84.
5. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи т.1, т.2 / Хоулт Дж., Криг Н., Снит П. // М.: Мир, 1997, 800 с.
6. Шпаар Д. и др. Посевной и посадочный материал сельскохозяйственных культур (в дух тома) / Под общей редакцией Д. Шпаара//. М.: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2010 – С. 672.
7. Alori E. T. B. Impact of chemical inputs on arbuscular mycorrhiza spores in soil: response of AM Spores to fertilizer and herbicides. / Alori E. T., Fawole O. B. // Alban J. Agric. Sci. 2017. 16 10–13.
8. Babalola O.O. Beneficial bacteria of agricultural importance / Babalola O.O. // Biotechnol Lett. 2010. 32:1559–1570.
9. Berg G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture / Berg G. // Appl Microbiol Biotechnol. 2009. 84:11–18.
10. Deaker R. Legume seed inoculation technology – a review / Deaker R, Roughley R.J., Kennedy I.R. // Soil Biol Biochem. 2004. 36:1275–1288.
11. Drew E. Inoculating Legumes: A Practical Guide / Drew E, Herridge D, Ballard R, O’Hara G, Deaker R, Denton M, Yates R, Gemell G, Hartley E, Phillips L, Seymour N, Howieson J, Ballard N. // GRDC, 2012. 72 p.

12. Glare T. Have biopesticides come of age? / Glare T, Caradus J, Gelernter W, Jackson T, Keyhani N, Köhl J, Marrone P, Morin L, Stewart A // *Trends Biotechnol.* 2012. 30:250–258.
13. Jensen B. Biological seed treatment of cereals with fresh and long-term stored formulations of *Clonostachys rosea*: biocontrol efficacy against *Fusarium culmorum* / Jensen B, Knudsen IMB, Funck Jensen D // *Eur J Plant Pathol.* 2000. 106:233–242.
14. Kaushal M. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands / Kaushal M., Wani S.P. // *Ann Microbiol.* 2016. 66:35–42.
15. Lupwayi NZ. Inoculant quality and its evaluation / Lupwayi NZ, Olsen PE, Sande ES, Keyser HH, Collins MM, Singelton PW, Rice WA // *Field Crop Res.* 2000, 65:259–270.
16. Maureen O’Callaghan. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities / Maureen O’Callaghan. // *Appl Microbial Biotechnol.* 2016, 100: 5729-5746.
17. Philippot L. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere / Philippot L, Raaijmakers JM, Lemanceau P, van der Putten WH // *Nat Rev Microbiol.* 2013. 11:789–79.
18. Sandhya V. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAPP45 // Ali SKZ, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B / *Biol Fertil Soils.* 2009. 46:17–26.
19. Sharma N. Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review int / Sharma N., Singhvi R. // *J. Agric. Environ. Biotechnol.* 2017. 10 675–679. 10.5958/2230-732X.2017.00083.3.
20. Suyal D.C. Microbial inoculants as biofertilizer / Suyal D. C., Soni R., Sai S., Goel R. // *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*, ed. Singh D. P. (New Delhi: Springer India). 2016. 311–318. 10.1007/978-81-322-2647-5 18.