

9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

AGRONOMIC AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MICRONUTRIENT FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF WINTER WHEAT ON SOD-PODZOLIC HIGHLY CULTIVATED LIGHT LOAMY SOIL

M. V. Rak, S. A. Titova, N. S. Ivanova, L. N. Hooke, Yu. A. Artyukh

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of using MicroStim liquid micronutrient fertilizers when cultivating winter wheat on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It has been established that foliar top dressing of winter wheat with micronutrient fertilizers during the growing season increases yield, improves grain quality and is a cost-effective method.

Поступила 10.12.19

УДК 631.8(633.16+633.14):631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКОБАКТЕРИАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО И РЖИ ОЗИМОЙ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

**Н. А. Михайловская¹, Д. В. Войтка², Н. Н. Цыбулько¹, Е. К. Юзефович²,
А. М. Устинова¹, Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹**

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь,*

*²Институт защиты растений,
аг. Прилуки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Почвы, подверженные эрозионной деградации, характеризуются неудовлетворительными агрофизическими, агрохимическими и биологическими свойствами вследствие потерь элементов минерального питания, органического вещества и ассоциированных с ним микробной биомассы и абиотических почвенных ферментов. Перечисленные факторы приводят к снижению продукционной способности эродированных почв и ухудшению качества растениеводческой продукции [1, 2, 3, 4].

Применение микробных инокулянтов, в особенности многокомпонентных, может играть существенную роль в повышении адаптации сельскохозяйственных растений при возделывании на эродированных почвах. Многокомпонентные микробные композиции, включающие микроорганизмы разной специализации, способны обеспечить полифункциональное положительное действие на растения: стимулировать рост, улучшать минеральное и водное питание, оказывать защитное действие против корневых инфекций.

Учитывая значимость азотного, калийного питания растений и их синергетический эффект, приоритетно включение в состав комплексных инокулянтов активных азотфиксирующих и калиймобилизующих ризобактерий, а также грибов-антагонистов для активного биологического контроля фитопатогенов.

Для экологизации растениеводства на эродированных почвах разработана трехкомпонентная микобактериальная композиция (МБК), которая включает азотфиксирующие (*Azospirillum brasilense*), калиймобилизующие (*Bacillus circulans*) ризобактерии и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum*. Микроорганизмы, составляющие микобактериальную композицию, имеют широкий спектр приспособительных свойств, что способствует их разностороннему положительному влиянию на инокулированные растения в разных почвенно-экологических условиях.

Ризобактерии *Azospirillum* spp. отличаются многообразием в отношении метаболизма азота, они могут осуществлять все реакции цикла азота, кроме нитрификации. Источниками азота для *Azospirillum* spp. служат атмосферный азот, аммоний, нитраты, нитриты, аминокислоты [5]. При дефиците доступного азота *A. brasilense* проявляют высокую активность азотфиксации [6]. Среди представителей *Azospirillum* spp. наиболее активными стимуляторами роста считаются *A. brasilense* [7, 8, 9].

Слизеобразующие ризобактерии *B. circulans* характеризуются способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия, в том числе из мусковита, гидромусковита и биотита, активно стимулируют рост корневой системы растений [10, 11]. Как *A. brasilense*, так и *B. circulans* проявляют высокую активность по растворению трехзамещенных ортофосфатов кальция, обеспечивая растения физиологическими количествами фосфора [11].

Штамм гриба *Trichoderma* sp. L-7 характеризуется высокой антагонистической активностью по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили и других корневых инфекций зерновых культур – *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum* и *B. sorokiniana*. В количественном отношении антагонистическая активность *Trichoderma* sp. L-7 варьирует в следующих пределах: *Fusarium culmorum* – 66,5–75,0 %, *Fusarium poae* – 73,7–100 %, *Fusarium oxysporum* – 64,5–100 %, *Fusarium solani* – 64,9–71,0 %, *Alternaria alternata* – 68,4–100 %, *Sclerotinia* sp. – 59,8–100 %, *Bipolaris sorokiniana* – 71,7–86,2 %.

Цель исследований – оценить потенциал трехкомпонентной микобактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* по влиянию на урожайность ячменя ярового и ржи озимой, качество продукции и поражаемость растений корневой гнилью (корневыми инфекциями) при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служила микобактериальная композиция и ее составные компоненты: ассоциативные азотфиксирующие бактерии *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Dцbereiner; калиймобилизующие бактерии *Bacillus circulans* Jordan и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum* L-7. Моноинокулянты и МБК включали активные штаммы ризобактерий *Azospirillum brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81 и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 из коллекционных фондов Института почвоведения и агрохимии и Института защиты растений.

Исследования включали постановку лабораторных *in vitro* экспериментов и проведение стационарного полевого опыта «Стоковые площадки».

Оценка антагонистической активности грибного и бактериальных компонентов микобактериальной композиции. Тестирование антагонистического действия штамма гриба *Trichoderma* sp. L-7 проводили методом встречных культур в четырехкратной повторности [12]. В чашки Петри со средой сусло-агар уколком с одной стороны чашки наносили культуру исследуемого фитопатогена. После инкубации в термостате при $t = 25^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов с противоположной стороны чашки Петри уколком наносили культуру антагониста. Чашки после посева инкубировали в термостате при 25°C в течение 14 суток. В качестве контроля использовали чистую культуру фитопатогена. Для оценки антагонистической активности гриба *Trichoderma* sp. L-7 по отношению к фитопатогенным микромицетам рассчитаны величины ростовых коэффициентов (РК) и процент ингибирования роста фитопатогена [13]. Ростовый коэффициент (РК) рассчитывали согласно формуле: $\text{РК} = (d \cdot h \cdot g) / t$, где d – диаметр колонии, мм; h – высота колонии (мм), g – плотность колонии (балл), t – возраст колонии (сутки). Ингибирование роста фитопатогена на учетные сутки культивирования рассчитывали по формуле: $\text{Р} = (K - A) / K \cdot 100\%$, где K – рост гриба в контроле (мм), A – рост гриба в варианте опыта (мм).

In vitro тестирование антагонистической активности ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным грибам *Alternaria* проводили в чашках Петри на среде КГА в четырехкратной повторности [16]. Суточные культуры штаммов ризобактерий наносили петлей на поверхность агара на расстоянии 1 см от края чашки. После инкубации в термостате в течение суток ($t = 28^{\circ}\text{C}$) в центр чашки наносили блоки с активно выросшим фитопатогеном. Результаты учитывали по истечении 3, 5, 7 и 10 суток совместного культивирования. Ингибирование радиального роста гриба вычисляли по формуле: $\text{ИРРГ} (\%) = [1 - \text{рост гриба в варианте опыта} / \text{рост гриба в контроле}] \cdot 100\%$.

Полевой стационар «Стоковые площадки». Сравнительные испытания трехкомпонентной микобактериальной композиции (МБК) и ее отдельных составляющих – моноинокулянтов *A. brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81 и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 проводили в полевом стационаре «Стоковые площадки» на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на мощных лессовидных суглинках в Центральной почвенно-экологической провинции (СПК «Щомыслица», Минский р-н). Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножия склона. Склон северной экспозиции ($5-6^{\circ}$). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы представлены в табл. 1.

Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	ГОСТ 26207-91, мг/кг		ГТК (по Селянинову)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
2017–2018 (сток. площ. 8)	1,8–2,1	5,4–5,8	360–428	233–300	1,44; 1,66

Эффективность обработки посевов МБК и моноинкулянтами изучали на ячмене яровом сорта Стратус (2017 г.) и ржи озимой сорта Пламя (2018 г.). Фоны удобрений – N₉₀₊₃₀P₅₀K₉₀ под ячмень, N₉₀₊₃₀P₅₀K₁₀₀ – под рожь. Фосфорные (аммофос) и калийные удобрения (хлористый калий) применяли для основного внесения, азотные (карбамид) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки – 22 м² (2,2x10), учетная – 20 м² (2,0x10).

Метеорологические условия периодов вегетации (2017–2018 гг.) в сравнении со среднеголетними данными представлены графически (рис.).

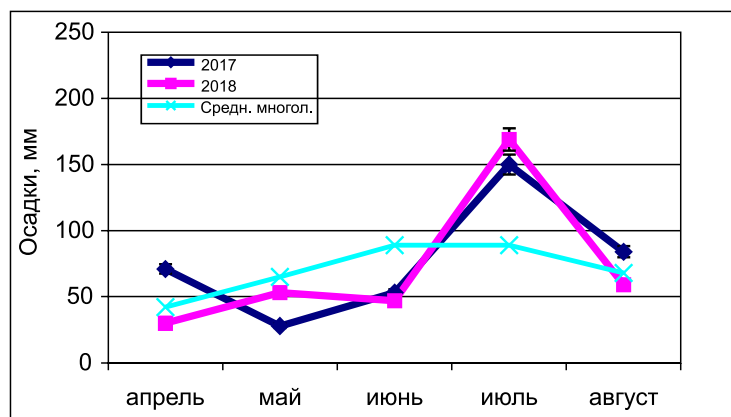
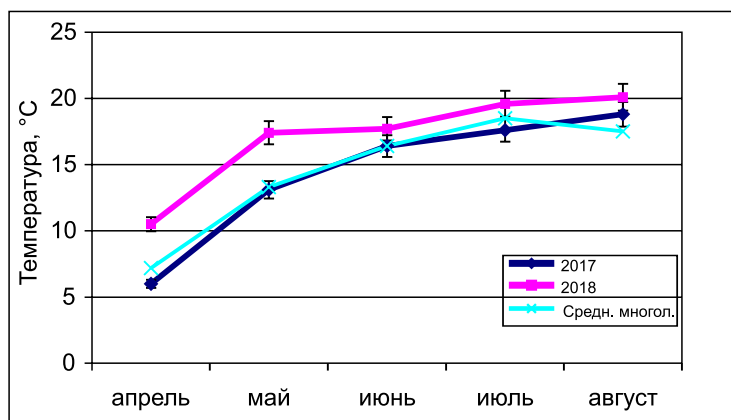


Рис. Метеорологические условия вегетации зерновых культур

Для обработки посевов зерновых культур использовали жидкую препаративную форму инокулянтов. Титры активных агентов в моноинокулянтах – не ниже $1,0 \cdot 10^9$ КОЕ/мл. Микобактериальную композицию готовили непосредственно перед применением при соотношении компонентов 1:1:1. Концентрация микобактериальной композиции *A. brasilense* ($1,0-2,04 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) + *B. circulans* ($1,0-2,04 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) + *T. longibrachiatum* (КОЕ/мл – $1,14 \cdot 10^9$) – 5,0%.

Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили на посевах ячменя отбирали в фазах кущения, выхода в трубку и восковой спелости (2017 г.), озимой ржи – в стадиях колошения и молочной спелости (2018 г.). *Распространенность болезни* (Р, процент пораженных растений) рассчитывали по формуле: $R = (n \cdot 100) : N$, где n – количество больных растений в пробах (экз.), N – общее количество растений в пробах (экз.). *Развитие болезни* (R, %) рассчитывали по формуле: $R = (\sum ab \cdot 100) : (N \cdot k)$, где ab – произведение числа растений (a) на соответствующий балл поражения (b, N – количество взятых для учета растений (экз.), k – наивысший балл шкалы оценки поражения корневой системы в варианте опыта. *Биологическую эффективность* (БЭ, %) рассчитывали по показателю развития болезни, или степени поражения, по формуле: $БЭ = (\Pi_k - \Pi_o) \cdot 100 : \Pi_k$, где Π_k – процент развития, или степень поражения, растений в контроле, Π_o – процент развития или степень поражения на варианте опыта [21]. Шкала оценки степени пораженности корневой системы растений: отсутствие поражения – 0, поражение до 1/3 корневой системы – 1, поражение от 1/3 до 2/3 корневой системы – 2, поражение более 2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур и отбор растительных образцов для определения химического состава продукции производили поделочно. Содержание элементов питания в зерне определяли методом ИК-спектроскопии (NIR Systems 4500). Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние микробных инокулянтов на урожайность ячменя ярового и ржи озимой. Установлено, что применение моноинокулянтов и трехкомпонентной микробной композиции способствовало повышению урожайности ячменя ярового и ржи озимой по всей почвенно-эрозионной катене (на всех элементах склона). Эффективность инокуляции зависела от вида, состава микробного инокулянта, возделываемой зерновой культуры и условий вегетации. Наибольшие прибавки зерна ячменя ярового Стратус – 5,2 (9,3 %) и 4,9 ц/га (9,2 %) обеспечило применение трехкомпонентного инокулянта на незероэродированной и слабоэродированной почвах. На среднеэродированной почве в 2017 г. отмечено нетипичное снижение прибавки от инокуляции посевов МБК до 4,8 %, связанное, очевидно, с дефицитом осадков в начале вегетации ячменя (май) и значительным превышением их нормы в июле по сравнению со средними многолетними показателями. В ранее проведенных исследованиях с яровым ячменем и яровой пшеницей установлено повышение эффективности МБК с увеличением степени эродированности почвы [15, 17]. Этот факт подтверждают данные, полученные при возделывании озимой ржи Пламя: прибавки зерна за счет МБК (*A. brasilense* + *B. circulans* +

T. longibrachiatum) составили 7,0 %, 7,4 % и 9,8 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах (табл. 2). Стрессовые условия активизируют деятельность микроорганизмов.

Эффективность применения отдельных компонентов МБК возрастала с увеличением степени эродированности почвы. Прибавки урожайности ячменя за счет применения азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* составили: на незэродированной почве – 4,9 %, на слабоэродированной – 6,6 % и на среднеэродированной – 6,6 %, за счет внесения калиймобилизирующих ризобактерий *B. circulans* – 3,2, 6,6 и 5,8 % и за счет гриба-антагониста *T. longibrachiatum* – 3,2, 4,3 и 5,8 % соответственно. Эффективность применения моноинокулянтов на посевах ржи озимой также возрастала в стрессовых условиях: прибавки урожайности зерна при инокуляции посевов азотфиксирующими ризобактериями *A. brasilense* составили: на незэродированной почве – 3,9 %, на слабоэродированной – 4,3 % и на среднеэродированной – 6,5 %, за счет калиймобилизирующих ризобактерий *B. circulans* – 3,1, 4,7 и 5,4 % и за счет применения гриба-антагониста *T. Longibrachiatum* – 3,0, 4,3 и 6,1 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние МБК на урожайность зерновых культур
на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках
(«Стоковые площадки», 2017–2018 гг.)**

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
<i>Яровой ячмень Стратус, 2017 г.</i>									
Контроль	56,2	53,0	51,8	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	59,0	56,5	55,2	2,8	4,9	3,5	6,6	3,4	6,6
<i>B. circulans</i>	58,0	56,5	54,8	1,8	3,2	3,5	6,6	3,0	5,8
<i>T. longibrachiatum</i>	58,0	55,3	54,8	1,8	3,2	3,0	4,3	3,0	5,8
МБК	61,4	57,9	54,3	5,2	9,3	4,9	9,2	2,5	4,8
НСР ₀₅ фактор А (почва) – 1,79 фактор В (инокуляция) – 2,82									
<i>Озимая рожь Пламя, 2018 г.</i>									
Контроль	54,0	51,3	46,1	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	56,1	53,5	49,1	2,1	3,9	2,2	4,3	3,0	6,5
<i>B. circulans</i>	55,7	53,7	48,6	1,7	3,1	2,4	4,7	2,5	5,4
<i>T. longibrachiatum</i>	55,6	53,5	48,9	1,6	3,0	2,2	4,3	2,8	6,1
МБК	57,8	55,1	50,6	3,8	7,0	3,8	7,4	4,5	9,8
НСР ₀₅ фактор А (почва) – 1,37 фактор В (инокуляция) – 2,24									
1 – незэродированная почва; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва									

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов ячменя ярового и ржи озимой. На основании учета распространенности и развития корневой гнили в разные фазы развития ячменя установлено, что применение МБК *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижало проявление болезни в течение всего периода вегетации. Наибольшее число пораженных растений ячменя в начале вегетации отмечено в контроле (38,0 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 13,8 % (табл. 3). В фазе восковой спелости зерна распространенность корневой гнили увеличилась

в контрольных вариантах на всех элементах склона. В контрольном варианте корневой гнилью было заражено 76,0–84,0 % растений, максимальный балл поражения – 2. На вариантах опыта с обработкой посевов МБК распространенность болезни на незэродированной почве была ниже контроля на 52,0 %, на слабоэродированной – на 54,0 % и на среднеэродированной – на 58,0 %; развитие корневой гнили снижалось в фазе кущения – в 1,9, 1,8 и 2,4 раза, в фазе восковой спелости зерна – в 2,9, 2,8 и 2,6 раза соответственно. Биологическая эффективность микобактериальной композиции на водоразделе варьировала от 48,2 до 69,5 %, на слабоэродированной почве – от 45,9 до 66,3 % и на среднеэродированной – от 57,9 до 67,6 % (табл. 3).

Таблица 3

Влияние микобактериальной композиции на развитие и распространенность корневой гнили ячменя ярового Стратус на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки», 2017г.)

Вариант	Кущение			Выход в трубку			Восковая спелость		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
<i>Незэродированная почва</i>									
Контроль	33,0	8,3	–	51,0	14,0	–	76,0	20,3	–
МБК	17,0	4,3	48,2	18,0	5,0	64,3	24,0	7,0	69,5
<i>Слабоэродированная</i>									
Контроль	30,0	9,8	–	52,0	16,3	–	81,0	20,8	–
МБК	21,0	5,3	45,9	19,0	6,3	66,3	27,0	7,3	64,9
<i>Среднеэродированная</i>									
Контроль	38,0	13,8	–	56,0	18,5	–	84,0	22,8	–
МБК	23,0	5,8	57,9	20,0	6,0	67,6	26,0	8,8	61,4
P – развитие болезни (%)									
R – распространенность болезни (%)									
БЭ – биологическая эффективность (%)									

При оценке пораженности посевов ржи озимой Пламя также выявлено, что применение микробных инокулянтов способствовало снижению патологического процесса. В фазе молочной спелости максимальное число зараженных растений отмечено на контрольном варианте (85,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 21,3 %, максимальный балл поражения – 1 (табл. 4). Обработка посевов трехкомпонентной микобактериальной композицией способствовала снижению распространенности корневой гнили на 45,0 %, 42,4 % и 42,9 %, развития болезни – в 2,6; 2,1 и 2,0 раза на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность составила 61,2 %, 52,5 % и 50,2 % соответственно.

Среди протестированных моноинокулянтов наибольшая биологическая эффективность отмечена при использовании гриба-антагониста *Trichoderma* sp. L-7: на незэродированной почве – 48,6 %, на слабоэродированной – 42,1 % и на среднеэродированной – 47,4 %. Биологическая эффективность бактериальных инокулянтов была ниже, чем у гриба-антагониста, однако они также вносят вклад в биологический контроль фитопатогенов. При использовании *A. brasilense* биоло-

гическая эффективность составила 11,6, 20,7 и 21,7 %, *B. circulans* – 14,2, 10,9 и 15,5 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

Таблица 4

Влияние микробных инокулянтов на развитие и распространенность корневой гнили ржи озимой Пламя («Стоковые площадки, 2018 г.)

Вариант	Колошение			Молочная спелость		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
Неэродированная почва						
Контроль	53,3	13,3	–	73,3	18,3	–
<i>A. brasilense</i>	48,6	12,1	9,9	65,7	16,4	11,6
<i>B. circulans</i>	49,3	12,3	7,5	62,7	15,7	14,2
<i>T. longibrachiatum</i>	37,7	9,4	29,3	37,7	9,4	48,6
МБК	36,8	9,2	30,8	28,3	7,1	61,2
Слабоэродированная						
Контроль	67,0	16,8	–	80,9	20,2	–
<i>A. brasilense</i>	54,0	13,5	24,4	63,5	15,9	20,7
<i>B. circulans</i>	58,1	14,5	13,7	72,0	18,0	10,9
<i>T. longibrachiatum</i>	44,4	11,1	33,9	46,7	11,7	42,1
МБК	39,6	9,9	41,1	38,5	9,6	52,5
Среднеэродированная						
Контроль	70,6	17,6	–	85,3	21,3	–
<i>A. brasilense</i>	58,5	14,6	20,5	69,8	17,5	21,7
<i>B. circulans</i>	59,8	14,9	15,3	72,2	18,0	15,5
<i>T. longibrachiatum</i>	41,6	10,4	40,9	44,9	11,2	47,4
МБК	39,1	9,8	44,3	42,4	10,6	50,2
P – развитие болезни (%)						
R – распространенность болезни (%)						
БЭ – биологическая эффективность (%)						

Влияние микробных инокулянтов на химический состав и качество зерна ячменя ярового и ржи озимой. С применением метода ИК-спектроскопии определен химический состав зерна ячменя ярового Стратус. Содержание общего азота варьировало по вариантам опыта в пределах 1,53–2,09 %, белкового азота – 1,36–1,90 %, фосфора – 0,99–1,18 %, калия – 0,53–0,62, кальция – 0,03–0,05 %, магния – 0,17–0,20 % (табл. 5). Установлено достоверное повышение содержания общего и белкового азота при использовании бактериальных моноинокулянтов (*A. brasilense* и *B. circulans*) и трехкомпонентной микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* на всех элементах склона. Наиболее значимое влияние на содержание азота в зерне оказывали азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* и трехкомпонентная микробная композиция. На среднеэродированной почве отмечено повышение содержания фосфора в зерне ячменя ярового на вариантах с применением *A. brasilense*. При дефиците доступного фосфора в ризосфере азоспириллы способны мобилизовать фосфор из труднорастворимых ортофосфатов и обеспечивать физиологические потребности

растений [11]. Влияние инокуляции посевов на содержание K_2O , CaO и MgO в зерне ячменя было несущественным. Отмечена тенденция снижения содержания элементов питания в зерне ячменя по почвенно-эрозионной катене, от водораздела к слабо- и среднеэродированной почвам.

Таблица 5

Влияние инокуляции посевов на химический состав зерна ячменя ярового и ржи озимой (процент на сухое вещество, «Стоковые площадки»)

Вариант	Ячмень яровой Стратус						Рожь озимая рожь Пламя					
	N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Неэродированная почва</i>												
Контроль	1,78	1,60	1,16	0,59	0,04	0,19	1,53	1,35	0,70	0,46	0,07	0,15
<i>A. brasilense</i>	2,09	1,90	1,13	0,60	0,04	0,20	1,79	1,59	0,75	0,43	0,07	0,17
<i>B. circulans</i>	1,97	1,76	1,18	0,62	0,05	0,19	1,65	1,46	0,78	0,44	0,07	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,72	1,52	1,08	0,60	0,04	0,18	1,66	1,48	0,79	0,46	0,07	0,18
МБК	2,09	1,87	1,17	0,58	0,04	0,19	1,76	1,56	0,75	0,52	0,07	0,17
<i>Слабоэродированная</i>												
Контроль	1,58	1,42	1,01	0,59	0,04	0,18	1,45	1,29	0,77	0,50	0,07	0,17
<i>A. brasilense</i>	2,00	1,81	1,05	0,57	0,04	0,19	1,74	1,54	0,74	0,39	0,08	0,16
<i>B. circulans</i>	1,78	1,58	1,05	0,60	0,03	0,19	1,61	1,43	0,75	0,45	0,08	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,61	1,43	0,99	0,55	0,03	0,17	1,65	1,46	0,78	0,51	0,07	0,16
МБК	1,90	1,73	1,18	0,61	0,04	0,18	1,68	1,51	0,75	0,42	0,07	0,17
<i>Среднеэродированная</i>												
Контроль	1,53	1,36	1,03	0,60	0,03	0,18	1,44	1,27	0,74	0,49	0,07	0,16
<i>A. brasilense</i>	1,89	1,67	1,14	0,61	0,04	0,18	1,61	1,42	0,75	0,46	0,08	0,16
<i>B. circulans</i>	1,88	1,69	1,06	0,57	0,04	0,19	1,51	1,34	0,78	0,51	0,07	0,17
<i>T. longibrachiatum</i>	1,61	1,43	1,05	0,53	0,03	0,19	1,57	1,39	0,73	0,48	0,07	0,16
МБК	1,88	1,68	1,12	0,59	0,04	0,18	1,59	1,41	0,75	0,49	0,08	0,16
НСР ₀₅ А (почва)	0,09	0,08	0,06	0,02	0,004	0,01	0,06	0,05	0,07	0,05	0,005	0,01
В (инокуляция)	0,14	0,13	0,10	0,04	0,007	0,01	0,11	0,09	0,12	0,03	0,004	0,01

Содержание общего азота в зерне озимой ржи Пламя варьировало в пределах 1,44–1,79 %, белкового азота – 1,27–1,59 %, фосфора – 0,70–0,79 %, калия – 0,39–0,51, кальция – 0,07–0,08 %, магния – 0,15–0,18 % (табл. 5). Все изученные приемы инокуляции повышали содержание общего и белкового азота в зерне озимой ржи на разных элементах склона. Наибольший эффект также отмечен при внесении азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* как в качестве моноинокулянта, так и в составе микобактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum*. На неэродированной почве за счет применения указанных инокулянтов содержание белкового азота повышалось до 1,56–1,59 %, по сравнению с 1,35 % на контроле, на слабоэродированной – до 1,51–1,54 %, по сравнению с 1,29 % на контроле, на среднеэродированной – до 1,41–1,42 %, по сравнению с 1,27 % на контроле. Микробные инокулянты не оказывали значимого действия на содержание K_2O , P_2O_5 , CaO и MgO в зерне ржи озимой на водоразделе, слабо- и среднеэродированной почвах.

Применение микробных инокулянтов повышало массу 1000 зерен, содержание и сбор белка. Наиболее значимый положительный эффект обеспечивало применение микобактериальной композиции и азотфиксирующих ризобактерий *A. brasilense* в качестве инокулянтов (табл. 6).

Таблица 6

Влияние микробных инокулянтов на качество зерновых культур при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах («Стоковые площадки» 2017–2018 гг.)

Вариант	Ячмень яровой Стратус			Рожь озимая Пламя		
	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г
<i>Неэродированная почва</i>						
Контроль	11,1	5,4	52,2	9,6	4,5	45,3
<i>A. brasilense</i>	13,1	6,6	53,8	11,2	5,4	46,6
<i>B. circulans</i>	12,3	6,1	53,3	10,3	4,9	46,3
<i>T. longibrachiatum</i>	10,8	5,4	53,5	10,4	5,0	46,1
МБК	13,1	6,9	54,2	11,0	5,5	47,1
<i>Слабозэродированная</i>						
Контроль	9,9	4,5	51,4	9,1	4,0	42,9
<i>A. brasilense</i>	12,5	6,1	52,4	10,9	5,0	43,6
<i>B. circulans</i>	11,1	5,4	52,4	10,1	4,7	43,4
<i>T. longibrachiatum</i>	10,1	4,8	52,2	10,3	4,7	43,4
МБК	11,9	5,9	53,5	10,5	5,0	44,4
<i>Среднеэродированная</i>						
Контроль	9,6	4,3	50,8	9,0	3,6	41,2
<i>A. brasilense</i>	11,8	5,6	51,6	10,1	4,3	42,8
<i>B. circulans</i>	11,7	5,5	51,5	9,4	3,9	42,1
<i>T. longibrachiatum</i>	10,1	4,8	51,2	9,8	4,1	42,1
МБК	11,7	5,5	52,9	9,8	4,3	43,3
НСП ₀₅ А (почва)	0,56	–	0,30	0,38	–	0,28
В (инокуляция)	0,88	–	0,50	0,69	–	0,46

Антагонистическая активность грибного и бактериальных компонентов микобактериальной композиции. Представителям рода *Trichoderma* принадлежит ведущая роль среди почвенных антагонистов грибного происхождения. Результаты многочисленных исследований показали их высокую эффективность против таких фитопатогенов, как *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* J., Walke и многих других [18–20].

Исследования антагонистической активности грибного компонента микобактериальной композиции *T. longibrachiatum* L-7 проводили в отношении наиболее часто встречающихся возбудителей корневой гнили зерновых культур – *Fusarium culmorum*, *Fusarium poae*, *Fusarium graminearum* и *Bipolaris sorokiniana*. Гриб-антагонист *T. longibrachiatum* L-7 показал высокий эффект по ингибированию роста патогенов. На 7-ые сутки совместного культивирования диапазон ингибирования роста 14 изолятов *F. culmorum* составил 63,7–94,2 %, 12 изолятов *F. poae* – 70,3–

93,8 %, 13 изолятов *F. graminearum* – 58,8–89,5 % и 11 изолятов *B. sorokiniana* – 54,6–88,7 % (табл. 7). В отношении большинства изолятов отмечен гиперпаразитический характер антагонистических отношений. В отношении двух изолятов *F. culmorum* отмечен территориальный антагонизм по III типу. Смешанный антагонизм по II и IV типу наблюдали в отношении 27,3 % изолятов *Bipolaris sorokiniana*, 53,8 % изолятов *F. graminearum*, 28,6 % изолятов *F. culmorum* и 41,7 % изолятов гриба *F. poae*. Результаты исследований свидетельствуют о высокой антагонистической активности грибного компонента микробной композиции – *T. longibrachiatum* L-7.

Таблица 7

Антагонистическая активность гриба *T. longibrachiatum* L-7 в отношении фитопатогенов pp. *Fusarium* и *Bipolaris* (in vitro, 2019 г.)

Изолят	Ростовой коэффициент	Ингибирование роста патогена, %
<i>Fusarium culmorum</i> (1–14)	10,4–64,3	63,7–94,2
<i>Fusarium poae</i> (1–12)	12,0–52,5	70,3–93,8
<i>Fusarium graminearum</i> (1–13)	9,2–73,1	58,8–89,5
<i>Bipolaris sorokiniana</i> (1–11)	12,0–52,5	54,6–88,7

Проведена оценка антагонистической активности азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *B. circulans* К-81 по отношению к фитопатогенным грибам родов *Fusarium* и *Alternaria*. На 10-ые сутки совместного культивирования штамм *A. brasilense* ингибировал радиальный рост гриба (ИРПГ) *Alternaria* sp. на 25,1–29,5 %, штамм *B. circulans* – на 28,4–30,0 %. Диапазон ингибирования радиального роста грибов р. *Fusarium* за счет *A. brasilense* составил 34,3–46,7 %, за счет *B. circulans* – 23,3–44,4 % (табл. 8). Антагонистическая активность ризобактерий значительно ниже по сравнению с *T. longibrachiatum* L-7, однако они также могут вносить вклад в биологический контроль фитопатогенов.

Таблица 8

Антагонистическая активность ризобактерий в отношении фитопатогенов pp. *Fusarium* и *Alternaria* (in vitro, 2019 г.)

Фитопатоген	ИРПГ, %	
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Bacillus circulans</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	34,3–35,3 (34,8)	23,3–29,3 (26,3)
<i>Fusarium poae</i>	41,4–46,7 (44,1)	40,2–44,4 (42,3)
<i>Fusarium graminearum</i>	41,8–42,2 (42,0)	37,8–38,0 (37,9)
<i>Alternaria</i> sp.	25,1–29,5 (27,3)	28,4–30,0 (29,2)

Таким образом, все компоненты микобактериальной композиции прямо или косвенно способствуют повышению адаптационного потенциала зерновых культур при возделывании на эродированных почвах. Бактериальные компоненты оказывают прямое адаптационное действие, стимулируя развитие корневой системы растений и улучшая мобилизацию азота, фосфора и калия из атмосферы, почвы и удобрений [5–9, 10, 11, 15, 17]. Грибной компонент МБК способствует адаптации растений за счет эффективного биологического контроля фитопатогенных микромицетов [15]. Аддитивное действие составных компонентов микобактериальной

композиции обеспечивают полифункциональное положительное воздействие на продуктивный статус зерновых культур, что выражается в повышении урожайности и качества продукции зерновых культур.

ВЫВОДЫ

Установлено, что трехкомпонентная микобактериальная композиция *A. brasilense* + *B. Circulans* + *T. longibrachiatum* является эффективным инокулянтом для ячменя ярового и ржи озимой при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках. Наибольшие прибавки зерна ячменя ярового Стратус – 5,2 (9,3 %) и 4,9 ц/га (9,2 %) обеспечило применение трехкомпонентного инокулянта на незэродированной и слабоэродированной почвах. При возделывании ржи озимой Пламя прибавки зерна за счет применения МБК (*A. brasilense* + *B. Circulans* + *T. longibrachiatum*) составили 7,0 %, 7,4 % и 9,8 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах.

Обработка посевов МБК снижала распространенность корневой гнили ячменя ярового на 52,0, 54,0 и 58,0 %, развитие болезни (восковая спелость) – в 2,9, 2,8 и 2,6 раза, биологическая эффективность МБК составила 69,5, 66,3 и 67,6 % на эродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. На посевах ржи озимой применение МБК снижало распространенность корневой гнили (молочная спелость) на 45,0 %, 42,4 % и 42,9 %, развития болезни – в 2,6, 2,1 и 2,0 раза, биологическая эффективность составила 61,2 %, 52,5 % и 50,2 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. *In vitro* тестирование антагонистической активности грибного компонента МБК – *T. longibrachiatum* L-7 – свидетельствует о его высокой эффективности в качестве агента биологического контроля.

Применение микобактериальной композиции повышало содержание общего и белкового азота в зерне ячменя ярового и ржи озимой. Как правило, наиболее значимое действие оказывали инокулянты, включающие азотфиксирующие бактерии *A. brasilense*. Результаты исследований на почвах, подверженных эрозионной деградации, показали, что микобактериальная композиция сочетает свойства биоудобрения, регулятора роста и биофунгицида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черныш, А. Ф. Экологически безопасное использование земель холмисто-моренных ландшафтов Белорусского Поозерья / А. Ф. Черныш, Ю. П. Качков, И. И. Касьяненко // Природные ресурсы. – 2003. – № 2. – С. 21–36.
2. Косинова, Л. Ю. Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири / Л. Ю. Косинова, Н. И. Гантимурова, А. А. Танасиенко // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 72–80.
3. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
4. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
5. Kennedy, I. R. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances / I. R. Kennedy, Y. Tchan // Plant Soil. – 1992. – V. 141. – P. 93–118.

6. Kennedy, I. R. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I. R. Kennedy, A. T. M. A. Chouhury, M. L. Kecskes // Soil Biol. Biochem. – 2004. – Vol. 36, № 8. – P. 1229–1244.
7. Bashan, Y. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
8. Dobbelaere, S. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere / S. Dobbelaere S., J. Vanderleyden, Y. Okon // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2003. – V. 22. – P. 107–149.
9. Okon, Y. Advances in agronomy and ecology of the *Azospirillum*/plant association. Nitrogen Fixation: Fundamentals and applications / Y. Okon // Kluwer Academic Publishers. – Netherlands, 1995. – P. 635–652.
10. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
11. . Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
12. Тарунина, Т. А. Методы оценки антагонистической активности штаммов *Trichoderma lignorum* Harz / Т. А. Тарунина, Т. Ю. Маслова // Микология и фитопатология. – 1979. – Т. 13, № 6. – С. 511–516.
13. Защита зерновых культур от болезней: монография / А. Ю. Кекалор [и др.]. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 172 с.
14. Gerlach, W. The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin, 1982. – 406 S. – (Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft; H. 209).
15. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 166–176.
16. Старшов, А. А. Микроорганизмы с фосфатрастворяющими и фунгицидными свойствами как основа для создания комплексного препарата, альтернативного фосфорным удобрениям и химическим фунгицидам: дис. ...канд. биол. наук / А. А. Старшов; ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии. – Оболенск, 2013. – 147 с.
17. Эффективность микробных инокулянтов при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения. ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», г. Владимир, 22–24 июня, 2018. – Владимир, 2018. – С. 182–186.
18. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains / T. Benitez [et al.] // Intern. Microbiology. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 249–260.
19. Cook, R. J. Biological control of Plant Pathogens: Theory to Application / R. J. Cook // Phytopatology. – 1985. – Vol. 75. – № 1. – P. 25–29.
20. Chet, I. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naterally supressive to *R. solani* / I. Chet, R. Baker // Phytopatology. – 1981. – Vol. 71, № 3. – P. 286–290.

EFFICIENCY OF MICROBIAL COMPOSITION TREATMENT ON SPRING BARLEY AND WINTER RYE PLANTS GROWING ON ERODED SOD-PODZOLIC SOILS ON LOESSLIKE LOAM

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Viotka, N. N. Tsybulko, E. K. Yuzefovitch,
A. M. Ustinova, T. B. Barashenko, S. V. Dyusova**

Summary

Microbial composition *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* was found to be an effective inoculant for the treatment of spring barley and winter rye plants growing on eroded sod-podzolic soils on loesslike loam. Application of microbial composition resulted in the increase of grain yields of spring barley and winter rye as well as in the improvement of protein content in grain. Microbial composition beneficially influenced on plant growth, mineral nutrition and significantly decreased of plant root infections abundance and development.

Поступила 06.12.19

УДК 631.8:633.35

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, РЕГУЛЯТОРА РОСТА И РИЗОБИАЛЬНОГО ИНОКУЛЯНТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОЛЕВОГО ГОРОХА

И. Р. Вильдфлуш, О. В. Малашевская

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из резервов повышения урожайности и белковой продуктивности зернобобовых культур является применение различных видов и доз удобрений для оптимизации их минерального питания. В настоящее время в сельском хозяйстве многих стран мира большое внимание уделяется некорневым подкормкам посевов как наиболее эффективному способу применения микроудобрений, прежде всего, из-за многократного снижения доз их расхода.

Также уделяется много внимания применению микроэлементов и регуляторов роста на культурах, возделываемых в Республике Беларусь. По литературным данным, включение комплексных удобрений со сбалансированным содержанием макро- и микроэлементов, высокоэффективных микроудобрений и регуляторов роста в систему удобрения позволит оптимизировать питание растений, снизить влияние неблагоприятных условий произрастания и получать более стабильные урожаи сельскохозяйственных культур [1].

В полевых опытах БГСХА с узколистым люпином изучено влияние бактериальных препаратов на урожайность зерна; в среднем за три года исследований