

УДК 631.87:633.1:631.445.24:631.459

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ МИКРОБНОЙ КОМПОЗИЦИИ В ПОСЕВАХ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

© 2021 г. Н. А. Михайловская¹, Д. В. Войтка^{2,*}, Н. Н. Цыбулько¹, Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹

¹ Институт почвоведения и агрохимии
220108 Минск, ул. Казинца, 90, Беларусь

² Институт защиты растений
223011 Прилуки, ул. Мира, 2, Беларусь

*E-mail: bionf1@yandex.ru

**E-mail: d.voitka@tut.by

Поступила в редакцию 31.03.2021 г.

После доработки 13.04.2021 г.

Принята к публикации 11.06.2021 г.

В Центральной почвенной провинции Беларуси в длительном стационарном опыте “Стоковые площадки” на дерново-подзолистой суглинистой почве, в разной степени подверженной водно-эрозионной деградации, изучена эффективность трехкомпонентной микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum*. Установлено, что микробная композиция (МК) сочетает свойства биоудобрения, регулятора роста и биофунгицида. Ее применение для обработки посевов озимых зерновых культур стимулирует развитие корней, формирование продуктивных стеблей, увеличивает число и массу семян в колосе. МК обеспечивает эффективный биологический контроль корневых фитопатогенов в течение вегетации с биологической эффективностью в пределах 50.2–75.2% по почвенно-эрозионной катене. Синергетическое действие бактериальных и грибного компонентов МК способствует адаптации озимых зерновых культур в стрессовых условиях и обеспечивает прибавки урожайности зерна от 4.8 до 9.3%. Компоненты МК влияют на метаболизм растений и активизируют процессы ассимиляции азота, обеспечивая повышение его содержания в зерне озимых зерновых культур. Отмечена тенденция к повышению эффективности МК на эродированных почвах.

Ключевые слова: микробная композиция, *A. brasilense*, *B. circulans*, *T. longibrachiatum*, эродированные дерново-подзолистые суглинистые почвы, озимые зерновые культуры, стимуляция роста, биологический контроль корневой гнили, адаптация.

DOI: 10.31857/S000218812109009X

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы экологизации возделывания зерновых культур на эродированных почвах актуальны для Беларуси, где такие почвы приурочены преимущественно к пахотным землям и составляют 9.4% от общей площади пашни [1]. Перспективным приемом экологизации является применение микробных средств разного назначения, позволяющих активизировать биологические механизмы регуляции роста, минерального питания и защиты растений. Результаты исследований, проведенных с однокомпонентными бактериальными удобрениями, азобактерином и калиплантом, в полевых опытах на эродированных дерно-

во-подзолистых суглинистых почвах, свидетельствовали о существенном стимулирующем действии азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий на продуктивный статус зерновых культур [2–4]. Входящие в состав бактериальных удобрений ризобактерии влияют на метаболизм растений, оказывают гормональный эффект, при дефиците элементов питания активизируют микробную мобилизацию калия, фосфора, фиксацию азота из атмосферы, что способствует повышению продуктивности растений [4–6].

Современным приемом повышения эффективности микробных препаратов является создание многокомпонентных композиций, включаю-

щих микроорганизмы с разными полезными свойствами для полифункционального воздействия на растения. Такой прием биологически обоснован, экологически приемлем и экономически целесообразен.

Принимая во внимание значимость и синергизм азотного и калийного питания зерновых культур, целесообразно совместное применение азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий. Важнейшим условием повышения эффективности микробных препаратов является включение в их состав активных агентов биологического контроля фитопатогенов, способных обеспечить эффективную биологическую защиту от корневых инфекций, которые приводят к значительному снижению урожайности зерновых культур на эродированных почвах. Этот вопрос приобретает особую актуальность при возделывании озимых зерновых культур, подверженных заболеваниям в осенний, зимний и ранневесенний периоды. Наиболее перспективным компонентом для обеспечения эффективного биологического контроля корневых фитопатогенов являются грибы-антагонисты р. *Trichoderma*.

Для экологизации возделывания зерновых культур в эрозионных агроландшафтах создана трехкомпонентная микробная композиция (МК), включающая бактерии *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans* и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum*. Компоненты микробной композиции характеризуются широким спектром приспособительных свойств – гормональным эффектом, азотфиксацией, калиймобилизацией, растворением фосфатов, биологическим контролем фитопатогенов, что способствует их разностороннему положительному влиянию на растения.

Цель работы – изучение эффективности трехкомпонентной микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* в посевах озимых зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила трехкомпонентная микробная композиция, включающая азотфиксирующие ризобактерии *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Döbereiner 2(в)3, калиймобилизующие ризобактерии *Bacillus circulans* Jordan K-81 и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum* L-7 из коллекционных фондов Института почвоведения и агрохимии и Института защиты растений НАН Беларуси.

Азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* 2(в)3 отличаются многообразием метаболизма азота,

осуществляют все реакции цикла азота, исключая нитрификацию, при дефиците доступного азота проявляют высокую активность азотфиксации, способны растворять трехзамещенные фосфаты кальция. Штамм положителен по нитратредуктазе. Среди представителей *Azospirillum* spp. наиболее активными стимуляторами роста считаются *A. brasilense* [5–7].

Калиймобилизующие бактерии *B. circulans* K-81 характеризуются способностью повышать подвижность запасов почвенного калия за счет его мобилизации из труднодоступных форм, в том числе из калийсодержащих минералов – мусковита, гидромусковита и биотита [8], оказывают значимое гормональное действие на растения. К преимуществам штамма относится способность к растворению ортофосфатов кальция, что может обеспечивать растения физиологическими количествами фосфора [7].

Гриб *T. longibrachiatum* L-7 проявляет высокую антагонистическую активность по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили и других корневых инфекций зерновых культур – *F. culmorum* (66.5–75.0%), *F. poae* (73.7–100%), *F. oxysporum* (64.5–100%), *F. solani* (64.9–71.0%), *A. alternata* (68.4–100%), *B. sorokiniana* (71.7–86.2%), *Sclerotinia* sp. (59.8–100%). Штамм характеризуется комплексной антагонистической активностью по отношению к фитопатогенам, включающей антибиотический, территориальный и гиперпаразитический антагонизм.

Исследования включали постановку *in vitro* экспериментов и проведение стационарного полевого опыта “Стоковые площадки”.

Влияние ризобактерий на биометрические показатели тест-культуры пшеницы яровой (in vitro). Стимулирующее действие ризобактерий изучали на проростках яровой пшеницы сорта Тома с применением метода рулонов в соответствии с ГОСТ 12044-93 [9]. Семена пшеницы предварительно калибровали по размеру и выполненности. Поверхностную стерилизацию семян проводили 10%-ным раствором H_2O_2 в течение 30 мин с последующим отмыванием стерильной водой. Стерильные семена обрабатывали по схеме: 1 – контроль, без поверхностной стерилизации и без инокуляции, 2 – поверхностная стерилизация семян без инокуляции, 3) инокуляция семян *A. brasilense*, 4 – инокуляция семян *B. circulans*, 4 – инокуляция семян *A. brasilense* + *B. circulans*. Обработанные семена в течение 1 ч выдерживали на качалке при 160 об./мин и $T = 22^\circ C$. На полосу полиэтиленовой пленки (10 × 55 см) накладывали равную по размеру полосу фильтровальной бума-

Таблица 1. Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследования

Годы исследования	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91), мг/кг		ГТК (по Селянинову)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
2018 г. (стоковая площадка 8)	1.8–2.1	5.4–5.8	360–428	233–300	1.66
2019 (стоковая площадка 7)	2.1–2.2	5.2–5.3	359–434	248–321	1.49
2020 (стоковая площадка 8)	1.8–2.0	5.3–5.5	366–415	231–357	1.95

ги, увлажненную до полной влагоемкости. Обработанные семена раскладывали на фильтровальную бумагу, соблюдая интервал 1–2 см, затем закрывали такой же полосой фильтровальной бумаги, сворачивали в рулоны и устанавливали вертикально в химические стаканы. Экспозиция при $T = 22–25^{\circ}\text{C}$ в течение 7-ми сут. Определяли всхожесть семян и их морфометрические характеристики – длину, количество и сухую массу корней, длину и сухую массу проростков.

Влияние концентрации культуральной жидкости гриба T. longibrachiatum на рост и развитие тест-культуры салата листового (in vitro). Семена тест-культуры – салата листового сорта сорта Афицион – проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, пропитанной культуральной жидкостью (КЖ) гриба *T. longibrachiatum* L-7 различных концентраций: 10.0, 4.0, 2.0, 1.0, 0.1%. Экспозиция происходила при $T = 22^{\circ}\text{C}$ в течение 5-ти сут. В ходе эксперимента определяли следующие показатели: энергию прорастания семян (на 2-е сут), всхожесть семян, длину надземной части проростков и корневой системы (на 5-е сут).

Полевой стационар “Стоковые площадки”. Изучение эффективности микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* проведено в полевом стационаре “Стоковые площадки” на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на мощных лессовидных суглинках в Центральной почвенно-экологической провинции (СПК “Шошислица”, Минский р-н). Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножия склона северной экспозиции ($5–6^{\circ}$). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы и условия вегетации растений представлены в табл. 1.

Эффективность обработки посевов микробной композицией изучали на озимых зерновых культурах – ржи озимой (*Secale cereale* L.) сорта Пламя (2018 г.) и тритикале озимом (*Triticosekale*) сорта Динаро (2019–2020 гг.). Фон минеральных

удобрений под рожь и тритикале – N90+30P50K100. Фосфорные (АФ) и калийные (К_x) удобрения применяли для основного внесения, азотные (N_m) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки 22 м² (2.2 × 10 м), учетная – 20 м² (2.0 × 10 м).

Способ применения микробной композиции – обработка посевов весной в фазе кушения озимых зерновых культур. Рабочую жидкость готовили непосредственно перед применением, соотношение компонентов 1 : 1 : 1. Концентрация рабочей жидкости – 5.0% при следующих титрах компонентов: *A. brasilense* – 1.0–2.0 × 10⁹ КОЕ/мл, *B. circulans* – 1.0–2.0 × 10⁹ КОЕ/мл *T. longibrachiatum* – 1.1 × 10⁹ спор/мл.

Показатели продукционного процесса оценивали в фазе восковой спелости тритикале озимого в 2019–2020 гг.

Оценка фитопатологического состояния посевов. Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили в посевах ржи озимой отбирали в фазе молочной спелости (2018 г.), в посевах тритикале озимого – в фазе цветения (2019 г.) и в фазе колошения (2020 г.). Распространенность болезни (*P*, % пораженных растений) рассчитывали по формуле: $P = (n \times 100) : N$, где *n* – количество больных растений в пробах (экз.), *N* – общее количество растений в пробах (экз.). Развитие болезни (*R*, %) рассчитывали по формуле: $R = (\sum ab \times 100) : (N \times k)$, 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: $БЭ = (P_k - P_0) \times 100 : P_k$, где *P_k* – процент развития или степень поражения растений в контроле, *P₀* – процент развития или степень поражения в варианте опы-

Таблица 2. Влияние *A. brasilense* и *B. circulans* на биометрические показатели проростков пшеницы (*in vitro*, 2017 г.)

Вариант	Число корней		Суммарная длина корней 1 растения		Сухая масса корней		Средняя длина проростка		Сухая масса наземной части, г	
	шт.	%	см	%	г	%	см	%	г	%
Контроль	4.43	%	32.8	100	0.25	100	8.7	100	0.18	100
Поверхностная стерилизация	4.61	100	34.6	105	0.27	108	9.2	106	0.20	111
<i>A. brasilense</i>	4.83	104	40.2	123	0.31	124	10.3	118	0.24	133
<i>B. circulans</i>	4.82	109	40.6	124	0.29	116	10.1	116	0.22	122
<i>A. brasilense</i> + + <i>B. circulans</i>	4.88	109	41.0	125	0.32	128	10.5	121	0.24	133
<i>HCP</i> ₀₅	0.16	110	2.1		0.05		0.3		0.04	

Примечание. Титры *A. brasilense* и *B. circulans* – 1.2×10^7 КОЕ/мл.

та [10]. Балльная 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 >2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур 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 И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние ризобактерий на морфометрические показатели проростков (in vitro). По результатам эксперимента, наиболее значимый гормональный эффект отмечен при совместном применении азотфиксирующих и калиймобилизирующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* для инокуляции семян: стимуляция длины проростка составила 21, суммарной длины корней одного растения – 25, числа корней – 10, сухой массы корней – 28, сухой массы надземной части – 33% (табл. 2). За счет инокуляции семян *A. brasilense* средняя длина проростков пшеницы увеличилась на 18, суммарная длина корней/растение – на 23, число корней – на 9, сухая масса корней – на 24, сухая масса надземной части – на 33%, при инокуляции семян *B. circulans* – на 16, 24, 9, 16 и 22% соответственно.

Полученные данные показали значительный потенциал ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по повышению адаптивных возможностей растений, в особенности при совместном применении. Гормональный эффект часто признается определяющим фактором воздействия азоспирилл на растения [5, 6, 11, 12]. Выраженное гормональное

действие свидетельствовало о перспективности изученных ризобактерий в качестве составных элементов микробной композиции. Следует отметить, что ризобактерии вызывают не только морфологические изменения, увеличивающие поглощающую поверхность, но и физиологические изменения в корнях. Под влиянием азоспирилл происходит снижение активности окислительных ферментов в корнях и повышается скорость усвоения нитратов, калия, фосфатов и воды [13, 14].

Влияние гриба-антагониста на посевные качества и морфометрические показатели проростков (in vitro). В ходе эксперимента фиксировали энергию прорастания, всхожесть, длину надземной части проростков и корня. При использовании 2.0 и 1.0% КЖ отмечено повышение энергии прорастания на 11.3 и 11.0, всхожести – на 8.7% соответственно по сравнению с контролем. Это свидетельствовало о том, что КЖ в указанных концентрациях оказывала стимулирующее действие, которое проявлялось в увеличении длины проростков на 14.3 и 15.4 и длины корня на 26.9 и 31.5% соответственно. По результатам исследований, целесообразно применение 1.0%-ного КЖ в качестве рабочей концентрации грибного компонента МК – *T. longibrachiatum* L-7. При использовании 4.0- и 10.0%-ной концентраций культуральной жидкости *T. longibrachiatum* L-7 отметили среднюю и высокую степень фитотоксичности (табл. 3).

Влияние трехкомпонентной микробной композиции (МК) на показатели продукционного процесса тритикале озимого Динаро. В полевом стационаре “Стоковые площадки” на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах изучено влияние трехкомпонентной МК на густоту продуктивного стеблестоя, число и массу семян в ко-

Таблица 3. Влияние концентрации культуральной жидкости (КЖ) гриба *T. longibrachiatum* L-7 на посевные качества и морфометрические показатели проростков салата листового сорта Афицион

Концентрация КЖ	Энергия прорастания	Всхожесть	Длина корня	Длина проростка
	%		мм	
Контроль (вода)	86.7	89.3	13.0 ± 1.1	27.3 ± 2.3
0.1	82.0	89.7	15.2 ± 0.6	27.2 ± 1.3
1.0	97.7	98.0	17.1 ± 1.3	31.5 ± 1.8
2.0	98.0	98.0	16.5 ± 1.1	31.2 ± 1.7
4.0	47.3	49.5	8.4 ± 0.7	22.0 ± 1.9
10	26.7	28.0	7.8 ± 1.4	17.4 ± 3.0

Примечание. Культуральная жидкость – 1.1×10^9 спор/мл.

Таблица 4. Влияние микробной композиции (МК) на показатели продукционного процесса тритикале озимого сорта Динаро (“Стоковые площадки”, 2019–2020 гг.)

Степень эродированности почвы	Вариант	Число продуктивных стеблей, шт./м ²	Число семян в колосе, шт.	Масса семян в колосе, г
Неэродированная	Контроль	554	33.8	1.21
	МК	559	34.6	1.28
Слабоэродированная	Контроль	538	33.9	1.19
	МК	556	34.8	1.26
Среднеэродированная	Контроль	511	33.4	1.16
	МК	540	34.2	1.23
<i>HCP</i> ₀₅ А (почва)		15	0.5	0.04
	В (инокуляция)	19	0.6	0.05

лозе. По средним данным за 2019–2020 гг., обработка посевов МК обеспечивала число продуктивных стеблей – 540–559 шт./м², число семян в колосе – 34.2–34.8 шт., массу колоса – 1.23–1.28 г на неэродированной, слабо- и среднеэродированных почвах. В контрольных вариантах без инокуляции посевов получены следующие данные: число продуктивных стеблей – 511–554 шт./м², число семян в колосе – 33.4–33.9 шт., масса колоса – 1.16–1.21 г. В полевых условиях применение микробной композиции также способствовало улучшению показателей продукционного процесса тритикале озимого (табл. 4).

Влияние микробной композиции на фитопатологическое состояние посевов озимых зерновых культур. Внесение трехкомпонентной микробной композиции путем обработки посевов снижало интенсивность патологического процесса и поражаемость озимых зерновых культур корневой гнилью в течение всего периода вегетации.

При оценке пораженности посевов ржи озимой сорта Пламя в фазе молочной спелости снижение распространенности корневой гнили со-

ставляло 45.0, 42.4 и 42.9%, развития болезни – в 2.6, 2.1 и 2.0 раза на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. Биологическая эффективность МК варьировала в пределах 50.2–61.2% по почвенно-эрозионной катене (табл. 5).

В посевах тритикале озимого сорта Динаро микробная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* также обеспечивала значимый эффект в качестве биофунгицида. В 2019 г. при оценке фитопатологического состояния посевов в фазе цветения установлено снижение развития болезни в 3.9, в 3.1 и 2.7 раза. При этом распространенность корневой инфекции была меньше контроля на 21.2, 25.5 и 20.0% на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно. Биологическая эффективность МК составила 63.0–74.0% по почвенно-эрозионной катене. По результатам оценки состояния посевов в фазе колошения тритикале озимого (2020 г.), распространенность корневой гнили снижалась на 20, 25 и 21.4%, развитие болезни – в 4.0, 3.9 и 3.3 раза на водоразделе, слабо- и среднеэродированной почвах. Показатели биологической эф-

Таблица 5. Влияние микробной композиции (МК) на развитие и распространенность корневой гнили озимых зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах (“Стоковые площадки”, 2018–2020 гг.)

Степень эродированности почвы	Вариант	Рожь озимая 2018 г. (молочная спелость)			Тритикале озимое					
					2019 г. (цветение)			2020 г. (колошение)		
		<i>P</i>	<i>R</i>	БЭ	<i>P</i>	<i>R</i>	БЭ	<i>P</i>	<i>R</i>	БЭ
		%								
Неэродированная	Контроль	73.3	18.3	–	35.0	18.1	–	30.0	12.5	–
	МК	28.3	7.1	61.2	13.8	4.7	74.0	10.0	3.1	75.2
Слабо-эродированная	Контроль	80.9	20.2	–	43.8	21.9	–	38.8	15.6	–
	МК	38.5	9.6	52.5	18.3	7.0	68.0	13.8	4.1	73.7
Средне-эродированная	Контроль	85.3	21.3	–	42.5	21.9	–	32.5	12.5	–
	МК	42.4	10.6	50.2	22.5	8.1	63.0	11.1	3.8	69.6

Примечание. *P* – развитие болезни (%), *R* – распространенность болезни (%), БЭ – биологическая эффективность (%).

эффективности МК композиции в вариантах опыта были в пределах 69.6–75.2%.

Результаты исследования 2018–2020 гг. свидетельствовали о высоком потенциале микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* в качестве биологического фунгицида на разных этапах развития озимых зерновых культур в течение вегетации.

Влияние микробной композиции на урожайность озимых зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах. Значимое стимулирующее действие микробной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* на развитие растений, продукционный процесс и ее высокая эффективность в качестве биофунгицида обеспечивали повышение урожайности озимых зерновых культур. Синергетический эффект

бактериальных (*A. brasilense* + *B. circulans*) и грибного (*T. longibrachiatum*) компонентов микробной композиции приводил к повышению адаптивных возможностей и продуктивного статуса озимых зерновых культур, что наиболее заметно проявлялось в условиях стресса. По результатам трехлетних исследований можно отметить тенденцию к повышению эффективности МК на среднеэродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах (рис. 1).

При возделывании ржи озимой сорта Пламя прибавки урожайности достигали 3.8, 3.8, 4.5 ц/га (7.0, 7.4, 9.8%) при урожайности в контроле 57.8, 55.1 и 50.6 ц/га по почвенно-эрозионной катене.

В течение 2-х лет изучали эффективность МК в посевах тритикале озимого сорта Динаро. В среднем за 2019–2020 гг. эффективность при-

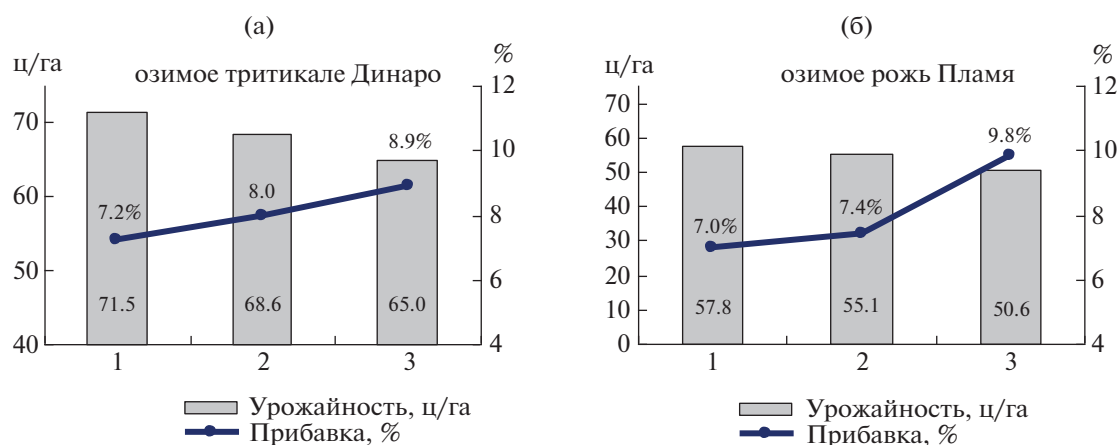


Рис. 1. Влияние МК на урожайность тритикале озимого сорта Динаро (а) и ржи озимой сорта Пламя (б) (2018–2020 гг.) на эродированной дерново-подзолистой суглинистой почве: 1 – неэродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва.

Таблица 6. Влияние микробной композиции (МК) на содержание сырого протеина в зерне озимых зерновых культур (Стоковые площадки, 2018–2020 гг.)

Вариант	Сырой протеин, %		
	1	2	3
Рожь озимая сорта Пламя, 2018 г.			
Контроль	9.6	9.1	9.1
<i>A. brasilense</i> + <i>B. cirulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	11.0	10.5	10.5
<i>HCP</i> ₀₅ фактор <i>A</i> (почва) – 0.4, фактор <i>B</i> (инокуляция) – 0.7			
Тритикале озимое сорта Динаро, 2019–2020 гг.			
Контроль	11.6	10.8	10.3
<i>A. brasilense</i> + <i>B. cirulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12.8	12.5	12.1
<i>HCP</i> ₀₅ фактор <i>A</i> (почва) – 0.4, фактор <i>B</i> (инокуляция) – 0.6			

Примечание. В графе 1 – неэродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва.

менения композиции *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* составила 4.8 (7.2%), 5.1 (8.0%) и 5.3 (8.9%) ц/га при урожайности 71.5, 68.6 и 65.0 ц/га на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

При возделывании озимых зерновых культур микробную композицию применяли путем обработки посевов весной в фазе кушения. В экспериментах *in vitro* по оценке стимулирующего действия бактериальных (табл. 2) и грибного (табл. 3) компонентов МК применяли обработку семян тест-культур. В связи с этим необходимо пояснить, что на начальных этапах исследования проводили сравнение эффективности разных способов внесения бактериальных удобрений – предпосевная инокуляция семян и обработки посевов в полевых условиях. Сравнительные испытания азобактерина (*A. brasilense*) показали, что предпосевная инокуляция семян и обработка посевов сравнимы по эффективности [4]. Это в значительной степени было обусловлено высокой подвижностью ризобактерий, в особенности азоспирилл, что позволяет им передвигаться в зоны с благоприятными условиями питания – к корням растений. В классических работах [15] представлены экспериментальные доказательства свободного движения *A. brasilense* через водную пленку.

Влияние МК на содержание сырого протеина в зерне озимых зерновых культур. Установлено, что микробная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* влияла на метаболизм растений и активизировала процессы ассимиляции азота, обеспечивая повышение его содержания в зерне озимых зерновых культур. При возделывании тритикале озимого содержание сырого про-

теина в зерне в контрольных вариантах варьировало в пределах 10.3–11.6%, в вариантах с обработкой посевов – в пределах 12.1–12.8% на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Сходные данные по влиянию на ассимиляцию азота были получены при возделывании ржи озимой: в вариантах без применения МК содержание сырого протеина в зерне составило 9.1–9.6%, за счет применения микробной композиции содержание сырого белка в зерне возросло до 10.5–11.0% (табл. 6). Наиболее вероятно, что этот эффект был обусловлен 2-мя факторами – наличием в составе МК ассоциативных азотфиксирующих бактерий *A. brasilense*, а также значительным повышением адаптационного потенциала растений. Факт влияния *A. brasilense* на процессы ассимиляции азота неоднократно отмечен в научной литературе [11, 16–18]. Проведенные нами полевые исследования с бинарной бактериальной композицией *A. brasilense* + *B. circulans* показали, что азоспириллы оказывали положительное действие на содержание сырого протеина в зерне как в виде моноинокулянта, так и в сочетании с калиймобилизующими бактериями *B. circulans* [19].

Возможными механизмами влияния азоспирилл на метаболизм азота могут быть как азотфиксация, так и денитрификация. Входящий в состав МК штамм *A. brasilense* положителен по нитратредуктазе, что указывает на определенную роль бактериальной нитратредуктазы в повышенной аккумуляции азота озимыми культурами [20, 21]. Наряду с азотфиксацией и нитратредукцией, большую роль играет фактор улучшения адаптивных возможностей растений, что также приводит к усилению ассимиляции азота [5, 22, 23].

Следует отметить, что калиймобилизующие бактерии *B. circulans* также оказывают влияние на метаболизм растений и качество зерна. В наших исследованиях с однокомпонентным бактериальным удобрением калиплант (*B. circulans*) на дерново-подзолистой супесчаной почве было установлено повышение содержания белка в зерне озимых зерновых культур: озимой ржи – на 0.4–0.5, озимого тритикале – на 0.7–1.3% [8]. При возделывании разных сортов яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах действие калипланта проявлялось в улучшении качества белка по содержанию критических (Lys*, Thr* и Met*) и незаменимых (Val, Phe, Ile, Leu) аминокислот [2].

Применение многокомпонентных микробных препаратов позволяет эффективнее использовать природные механизмы стимуляции роста, минерального питания и защиты растений. В этом их преимущество по сравнению с однокомпонентными препаратами. Актуальность экологизации возделывания зерновых культур не только на эродированных почвах, за счет более широкого использования полифункциональных микробных средств обусловлена их безопасностью для человека и окружающей среды, возможностью снижения химической нагрузки на почвы, а также экономическими преимуществами. В настоящее время вопросы рационального и безопасного поддержания стабильности агроэкосистем приобретают приоритетное значение, т.к. интенсификация сельскохозяйственного производства повышает риск возникновения экологических проблем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, трехкомпонентная микробная композиция (МК) *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. Longibrachiatum* сочетает свойства биоудобрения, регулятора роста и биофунгицида. Ее применение для обработки посевов стимулирует развитие корней, формирование продуктивных стеблей, увеличивает число и массу семян в колосе озимых зерновых культур. Результаты исследований свидетельствуют о высоком потенциале микробной композиции в качестве биологического фунгицида в посевах зерновых культур. МК обеспечивает эффективный биологический контроль корневой гнили в течение вегетационного периода с биологической эффективностью в пределах 50.2–75.2% по почвенно-эрозионной катене. Синергетическое действие бактериальных и грибного компонентов способствует адаптации озимых зерновых культур, существенно повышает их продуктив-

ный статус и обеспечивает прибавки урожайности зерна от 4.8 до 9.3% в зависимости от степени эрозионной деградации почвы и возделываемой культуры. Компоненты МК влияют на метаболизм растений и активизируют процессы ассимиляции азота, обеспечивая повышение его содержания в зерне озимых зерновых культур. Отмечена тенденция к повышению эффективности МК на эродированных почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыбулько Н.Н., Черныш А.Ф. Обработка почвы в эрозийных и загрязненных радионуклидами агроландшафтах. Минск: ИВЦ Минфина, 2014. 423 с.
2. Лана В.В., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Цыбулько Н.Н., Барашенко Т.Б. Эффективность бактериальных удобрений азобактерин и калиплант при возделывании зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2020. № 2. С. 28–36.
3. Черныш А.Ф., Михайловская Н.А., Касьянчик С.А., Юхновец А.В., Тарасюк Е.Г., Барашенко Т.Б. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках // Вести НАН Беларуси. Сер. аграр. наук. 2013. № 1. С. 51–57.
4. Михайловская Н.А., Курилович Н.Н., Барашенко Т.Б., Дюсова С.В. Эффективность бактериализации ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвовед. и агрохим. 2005. № 2 (35). С. 146–152.
5. Bashan Y., Levanyon H. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture // Canad. J. Microbiol. 1990. V. 36. P. 591–608.
6. Dobbelaere S., Vanderleyden J., Okon Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere // Critic. Rev. Plant Sci. 2003. V. 22. P. 107–149.
7. Михайловская Н.А., Миканова О., Барашенко Т.Б., Барашенко Т.В. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий // Почвовед. и агрохим. 2007. № 1 (38). С. 225–231.
8. Михайловская Н.А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи // Вести НАН Беларуси. Сер. аграр. наук. 2006. № 3. С. 41–46.
9. ГОСТ 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. Введен в действие постановлением Белстандарта от 30 декабря 1993 г. № 15 непосредственно в качестве государственного стандарта Республики Беларусь с 1 января 1996 г. Переиздание (январь 2013 г.) с Поправкой (ИУС РБ № 4-2000). Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1993.
10. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты

- растений, под ред. Ф. Буга. Несвиж: типогр. им. С. Будного, 2007. 508 с.
11. Okon Y., Labandera-Gonzalez C.A. Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation // Soil Biol. Biochem. 1994. V. 26. P. 1591–1601.
 12. Okon Y., Vanderleyden J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants // Amer. Soc. Microbiol. News. 1997. V. 63. P. 366–370.
 13. Kennedy I.R., Tchan Y. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances // Plant Soil. 1992. V. 141. P. 93–118.
 14. Okon Y., Kapulnik Y. Development and function of *Azospirillum*–inoculated roots // Plant Soil. 1986. V. 90. P. 3–16.
 15. Bashan Y. Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil // J. Gen. Microbiol. 1986. V. 132. P. 3407–3414.
 16. Михайловская Н.А. Эффективность бактеризации разных видов трав *Azospirillum brasilense* // Почвовед. и агрохим. 2006. № 1 (36). С. 202–207.
 17. Михайловская Н.А., Курилович Н.Н., Барашенко Т.Б., Дюсова С.В. Эффективность бактеризации ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвовед. и агрохим. 2005. № 2 (35). С. 146–152.
 18. Boddey R.M., Baldani V.L.D., Baldani J.I., Dobereiner J. Effect of inoculation of *Azospirillum* spp. on nitrogen assimilation of field-grown wheat // Plant Soil. 1986. V. 95. P. 109–121.
 19. Михайловская Н.А., Цыбулько Н.Н., Войтка Д.В., Касьянчик С.А., Устинова А.М., Барашенко Т.Б., Дюсова С.В. Влияние ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на урожайность, качество и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур при возделывании на эродированных почвах // Почвовед. и агрохим. 2020. № 2 (65). С. 129–140.
 20. Boddey R.M., Dobereiner J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future // Fertil. Res. 1995. V. 42. P. 241–250.
 21. Danneberg G., Kronenberg A., Neuer G., Bothe H. Aspects of nitrogen fixation and denitrification by *Azospirillum* // Plant Soil. 1986. V. 90. P. 193–202.
 22. Michiels K., Vanderleyden J., Gool A. *Azospirillum* – plant root associations: A review // Biol. Fertil. Soils. 1989. V. 8. P. 356–368.
 23. Dobbelaere S., Vanderleyden J., Okon Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere // Critic. Rev. Plant Sci. 2003. V. 22. P. 107–149.

Efficiency of Ternary Microbial Composition for Winter Grain Crops Growing on Eroded Luvisol Sandy Loam Soils

N. A. Mikhailouskaya^{a, #}, D. V. Voitka^{b, ##}, N. N. Tsybulko^a,
T. B. Barashenko^a, and S. V. Dyusova^a

^a Belarusian Research Institute for Soil Science and Agrochemistry
ul. Kazintsa 90, Minsk 220108, Belarus

^b Belarusian Research Institute for Plant Protection
ul. Mira 2, Priluki 223011, Belarus

[#]E-mail: bionf1@yandex.ru

^{##}E-mail: d.voitka@tut.by

Efficiency of ternary microbial composition *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum* was studied in long term stationary field experiment on Luvisol sandy loam soil in different degree undergone by water erosion. It was found that microbial composition (MC) combines growth promotion, biofertilizer and biofungicide properties. Its application for the treatment of winter grain crops sowings on eroded soils resulted in the stimulation of roots growth, formation of generative steams, increasing of number and mass of seeds per one ear. Microbial composition implementation provided effective biological control of root pathogens during grain crops vegetation, in diapason of 50.2–75.2% according soil erosion catena. Synergetic action of bacterial and fungi components of MC promotes better adaptation of winter grain crops in stress conditions on eroded soils that results in significant yield increase and crop responses – from 4.8 up to 9.3%. MC components affect plant metabolism and activate of nitrogen assimilation processes thereby increased its content in grain. The tendency of MC efficiency rise on eroded soils was observed.

Key words: microbial composition *A. brasilense* + *B. circulans* + *T. longibrachiatum*, eroded Luvisol sandy loamy soils, winter grain crops, growth stimulation, biological control of root infection, adaptation.