

influenced the increase in the yield of green mass of corn, and the content of necessary macro- and micro-elements in it. Promoted a positive photosynthetic activity of crops. The improvement of all these indicators is affected not only by the correctly selected doses of organic and macronutrient fertilizers, but also by micronutrient fertilizers and growth regulators. The best fertilizer system to obtain a high and high-quality corn silage crop during the experiments was organomineral with foliar top dressing with zinc-containing micronutrient fertilizers.

Поступила 20.04.2020

УДК 631.46:633.1:631.445.24

ВЛИЯНИЕ МОНО- И БИНАРНЫХ ИНОКУЛЯНТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ

При возделывании в эрозионных ландшафтах зерновые культуры испытывают стресс, связанный с неудовлетворительными свойствами почв из-за потерь элементов минерального питания, органического вещества и ассоциированных с ним микробной биомассы и экстрацеллюлярных почвенных ферментов [1–3]. Микробные инокулянты с широким спектром приспособительных свойств могут обеспечить полифункциональное положительное действие на растения, способствуя их адаптации на эродированных почвах [4, 5].

К перспективным инокулянтам относятся ростостимулирующие ризобактерии, среди которых наибольший интерес представляют азотфиксирующие бактерии *Azospirillum* spp. По современным представлениям их положительное действие на растение обусловлено сочетанием многих факторов: гормональный эффект [6, 7], эффективное использования элементов питания из атмосферы, почвы и удобрений [6–9], мобилизация труднорастворимых фосфатов [8], влияние на иммунитет растений и ряд других [6]. Существенным преимуществом *Azospirillum* spp. считается их высокая подвижность как фактор успешной колонизации корней растений [10].

Большой интерес представляет микробная мобилизация калия из труднодоступных почвенных форм. Запасы валового калия в дерново-подзолистых почвах

значительны, основная часть валового калия представлена алюмосиликатными минералами и составляет 98–99 %. Микробная мобилизация почвенного калия, входящего в состав первичных и вторичных минералов, перспективна как биологический способ улучшения калийного питания растений. Наиболее активны в отношении мобилизации почвенного калия слизиобразующие бациллы, широко распространенные в зоне умеренного климата [11, 12].

Гормональный эффект считается одним из основных факторов повышения урожайности при использовании микробных инокулянтов. Отмечаются характерные признаки действия фитогормонов – увеличение объема и массы корней, числа и массы побегов. Эксперименты по количественной оценке влияния *A. brasilense* на развитие растений в начальные стадии онтогенеза показали, что объем корней увеличивался в среднем на 30 %, их сырая масса – на 54 %, сырая масса надземной части – на 25 % [14]. При оценке гормонального эффекта *Bacillus circulans* увеличение объема корней составило 18 %, их сырой массы – 24 %, сухой массы – 40 %, сырой массы надземной части – 18 % [14]. Стимуляция развития корневой системы приводит к увеличению поглощающей поверхности корней и обеспечивает повышение адаптивных возможностей инокулированных растений, что актуально в условиях стресса на эродированных почвах. В коллекции Института почвоведения и агрохимии имеются штаммы и изоляты азотфиксирующих – *Azospirillum* sp. и слизиобразующих бактерий *Bacillus* sp. Многие представители *Azospirillum* spp. и *Bacillus* spp. способны синтезировать и выделять в окружающую среду фитогормоны, антибиотики, другие физиологически активные вещества [13, 14].

В современных условиях большое значение имеет биологизация защиты растений от корневых инфекций. Потери урожайности зерновых культур от корневой гнили могут достигать 30 и более процентов [15]. Для активного биологического контроля корневой гнили злаковых культур актуально применение сапротрофных грибов р. *Trichoderma*, которым принадлежит ведущая роль среди почвенных антагонистов грибного происхождения. Многочисленные исследования свидетельствуют об их высокой эффективности против *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* J., Walke и ряда других [17–19]. Из коллекционного фонда Института защиты растений отобран штамм гриба *T. longibrachiatum* L-7 (IBL273f GenBank KY346984.1, NCBI), который характеризуется высокой антагонистической активностью по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили и других корневых инфекций зерновых культур – *F. poae*, *F. culmorum*, *F. graminearum* и *B. sorokiniana*. Показатели антагонистической активности *Trichoderma* sp. L-7 варьируют в следующих пределах: *Fusarium oxysporum* – 64,5–100 %, *Fusarium poae* – 73,7–100 %, *Fusarium culmorum* – 66,5–75,0 %, *Fusarium solani* – 64,9–71,0 %, *Alternaria alternata* – 68,4–100 %, *Sclerotinia* sp. – 59,8–100 %, *Bipolaris sorokiniana* – 71,7–86,2 %.

Цель исследований – оценка влияния моноинокулянтов *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans*, *Trichoderma longibrachiatum* и их бинарных сочетаний на урожайность и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили моно- и бинарные инокулянты на основе ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Dцbereiner (штамм *Azospirillum brasilense* 2(в)3); калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* Jordan (штамм *Bacillus circulans* K-81) и гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* (штамм *Trichoderma longibrachiatum* L-7).

Полевой стационар «Стоковые площадки». Сравнительные испытания моноинокулянтов *Azospirillum brasilense* 2(в)3, *Bacillus circulans* K-81, гриба-антагониста *Trichoderma longibrachiatum* L-7 и их бинарных композиций 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°. Агрохимические свойства пахотного слоя почвы и условия вегетации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	pH _{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
2018–2019 (сток. площ. 7)	2,1–2,2	5,2–5,3	359–434	248–321	1,49

Эффективность обработки посевов моно- и бинарными инокулянтами изучали на ячмене яровом сорта Стратус (2017 г.), ржи озимой сорта Пламя (2018 г.) и тритикале озимом сорта Динаро (2019 г.). Фоны удобрений – N₉₀₊₃₀P₅₀K₉₀ под ячмень, N₉₀₊₃₀P₅₀K₁₀₀ – под рожь и тритикале. Фосфорные (аммофос) и калийные (хлористый калий) удобрения применяли для основного внесения, азотные (карбамид) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки – 22 м² (2,2х10), учетная – 20 м² (2,0х10).

Метеорологические условия периодов вегетации (2017–2019 гг.) в сравнении со среднемноголетними данными представлены на рис. 1.

Для обработки посевов зерновых культур использовали жидкие препаративные формы микробных инокулянтов. Посевы ячменя обрабатывали в фазе всходы – начало кущения, посевы озимых культур – весной в фазе кущения. Титры бактериальных агентов (*A. brasilense* и *B. circulans*) в моноинокулянтах и бинарных композициях 1,0–2,0·10⁹ КОЕ/мл; титры *T. longibrachiatum* – 1,1·10⁹ КОЕ/мл. Соотношение компонентов в бинарных композициях – 1 : 1. Концентрации инокулянтов – 5,0 %.

Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили на посевах ржи озимой (2018 г.) отбирали в стадиях колошения и молочной спелости, на посевах тритикале озимого (2019 г.) – в стадиях выхода в трубку, набухания колосьев и цветения.

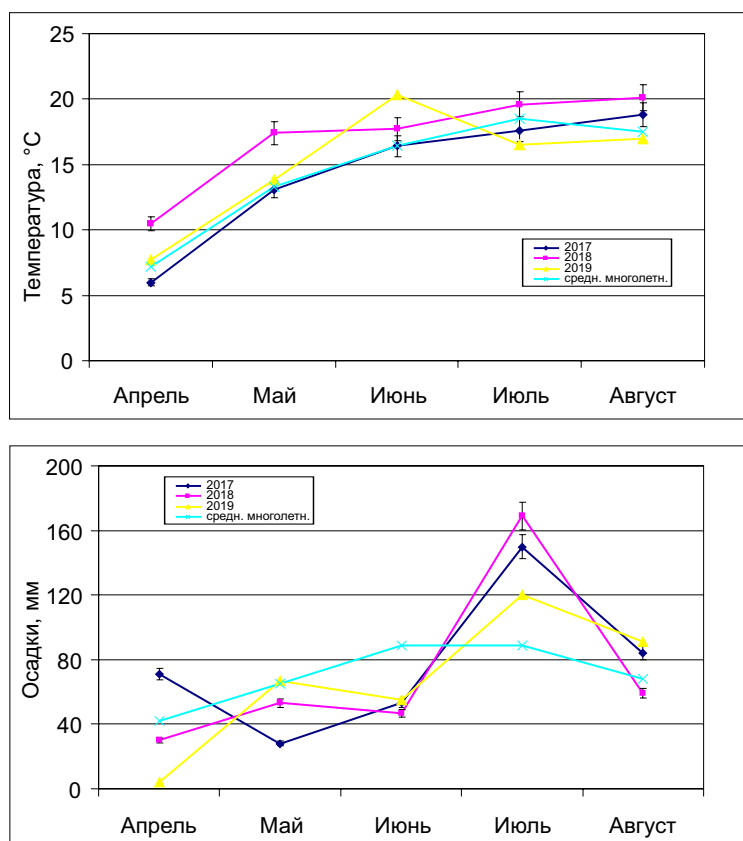


Рис. 1. Метеорологические условия вегетации зерновых культур (2017–2019 гг.)

Распространенность болезни (Р, % пораженных растений) рассчитывали по формуле

$$P = (n \cdot 100) : N,$$

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 в варианте опыта [16].

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 производили поделочно. Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние инокуляции посевов на урожайность ячменя ярового Стратус на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В 2017 г. в стационарном опыте «Стоковые площадки» сравнивали эффективность моно- и бинарных инокулянтов на посевах ячменя ярового. Установлено, что обработка посевов изученными микробными препаратами повышала урожайность зерна. Величина прибавки урожайности зависела от вида инокулянта и степени эродированности почвы.

Моноинокулянты *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* значительно повышали урожайность в условиях стресса на слабо- и среднеэродированной почвах, диапазоны прибавок урожайности составили 4,3–6,6 % (3,0–3,5 ц/га) и 5,8–6,6 % (3,0–3,4 ц/га) соответственно.

Бинарные микробные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, как правило, были эффективны на разных элементах склона. Прибавки урожайности зерна на незэродированной почве варьировали в пределах 3,6–7,3 % (2,0–4,1 ц/га), на слабоэродированной – в пределах 5,2–7,9 % (2,8–4,2 ц/га), на среднеэродированной почве – от 4,6 до 6,6 % (2,4–3,4 ц/га).

В условиях полевого эксперимента 2017 г. наиболее адекватными моноинокулянтами для ячменя ярового были *A. brasilense* и *B. circulans*, из бинарных композиций – *A. brasilense* + *B. circulans* и *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (табл. 2).

Таблица 2

Влияние инокуляции посевов на урожайность ячменя ярового Стратус на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах («Стоковые площадки», 2017 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
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
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	60,3	55,8	54,2	4,1	7,3	2,8	5,2	2,4	4,6
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	58,2	56,9	54,9	2,0	3,6	3,9	7,4	3,1	6,0

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	60,1	57,2	55,2	3,9	6,9	4,2	7,9	3,4	6,6
1 – незеродированная, 2 – слабозеродированная, 3 – среднезеродированная почва									
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,79; фактор В (инокуляция) – 2,82									

Обобщая экспериментальные данные по ячменю яровому Стратус, можно отметить, что инокуляция посевов – эффективный прием повышения урожайности ячменя на эродированных почвах.

Влияние инокуляции посевов на урожайность ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В 2017–2018 гг. в стационаре «Стоковые площадки» изучена эффективность моно- и бинарных инокулянтов на посевах ржи озимой. Как и при возделывании ячменя ярового, применение микробных инокулянтов способствовало повышению урожайности зерна. При использовании всех протестированных моноинокулянтов существенное повышение урожайности зерна получено на среднезеродированной почве, оно составило 5,4–6,5 % (2,5–3,0 ц/га).

Бинарные инокулянты *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* значимо повышали урожайность ржи озимой на разных элементах склона. Диапазоны прибавок урожайности зерна на незеродированной почве составили 4,4–5,7 % (2,4–3,1 ц/га), на слабозеродированной – 5,7–6,2 % (2,9–3,2 ц/га) и на среднезеродированной почве – от 5,2 до 6,9 % (2,4–3,2 ц/га). Как правило, эффективность микробных инокулянтов возрастала в условиях стресса на эродированных почвах.

Лучшие показатели урожайности ржи озимой отмечены при использовании микробных моноинокулянтов *A. brasilense* и *T. longibrachiatum*, а также при обработке посевов бинарными композициями *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* (табл. 3).

Таблица 3

Влияние инокуляции посевов на урожайность ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки, 2018 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
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
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	56,4	54,2	49,2	2,4	4,4	2,9	5,7	3,1	6,7
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	56,6	53,1	48,5	2,6	4,8	1,8	3,4	2,4	5,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	57,1	54,5	49,3	3,1	5,7	3,2	6,2	3,2	6,9
1 – незеродированная, 2 – слабозеродированная, 3 – среднезеродированная почва									
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,37; фактор В (инокуляция) – 2,24									

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса и урожайность тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В полевом стационаре «Стоковые площадки» в 2019 г. изучено влияние микробных инокулянтов на продукционный процесс озимого тритикале. Установлена зависимость показателей продукционного процесса от свойств моноинокулянтов и состава микробной композиции для обработки посевов.

Наибольшее влияние на количество продуктивных стеблей оказывали моноинокулянт *B. circulans* – (588–608 шт./м²) и бинарная композиция *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (574–595 шт./м²), стимуляция формирования продуктивных стеблей составила 4–14 % по почвенно-эрозионной катене.

Применение бинарного инокулянта *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (35,2–38,8 шт.), моноинокулянта *A. brasilense* (35,5–38,5 шт.) и бинарной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* (33,2–36,8 шт.) приводило к увеличению числа зерен в колосе на 8–16 %, 9–15 % и 2–9 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

Наибольшее положительное влияние на массу колоса оказывали моноинокулянты *A. brasilense* (1,15–1,27 г.) и бинарные микробные композиции – *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (1,12–1,28 г) и *A. brasilense* + *B. circulans* (1,07–1,24 г), повышение массы колоса достигало 11–17 %, 8–17 % и 3–11 % соответственно по почвенно-эрозионной катене (табл. 4).

Таблица 4

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса и массу 1000 зерен озимого тритикале Динаро в фазе восковой спелости (Стоковые площадки, 2019 г.)

Вариант		Число продукт. стеблей, шт/м²			Число зерен в колосе, шт.			Масса зерна 1 колоса, г			Масса 1000 зерен, г		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль		564	552	526	33,8	33,5	32,7	1,12	1,09	1,04	33,2	32,2	31,2
A. brasilense		540	508	510	36,8	38,5	35,5	1,24	1,27	1,15	33,4	32,7	31,9
B. circulans		588	608	600	33,1	33,0	32,5	1,13	1,07	1,01	34,1	32,3	31,6
T. longibrachiatum		580	564	534	33,7	34,7	34,9	1,14	1,14	1,09	34,1	33,0	31,4
A.brasilense + T. longibr.		595	574	586	34,1	33,2	33,0	1,14	1,12	1,05	33,8	33,5	32,2
B. circulans + T. longibr.		516	498	526	37,9	38,8	35,2	1,28	1,27	1,12	33,6	32,6	32,0
A.brasilense + B.circulans		542	542	552	36,8	36,3	33,2	1,24	1,20	1,07	34,1	32,9	32,4
НСП ₀₅	А (почва)	13,9			0,52			0,04			0,58		
	В (инокуляция)	20,8			0,65			0,05			0,85		
1 – незеродированная 2 – слабоэродированная 3 – среднеэродированная почва													

В полевом стационаре на посевах тритикале озимого Динаро также установлено повышение урожайности под действием микробных инокулянтов. Эффективность применения азотфиксирующих, калиймобилизующих ризобактерий и

гриба-антагониста (*A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum*) в форме моноинокулянтов на слабо- и среднеэродированных почвах составила 4,3–6,1 % (2,6–3,7 ц/га) и 5,8–6,5 % (3,2–3,6 ц/га) (табл. 5).

Применение бинарных микробных композиций, как правило, обеспечивало положительный эффект на разных элементах склона. Прибавки урожайности зерна на незероэродированной почве варьировали от 3,8 до 5,8 % (2,4–3,7 ц/га), на слабоэродированной – от 5,6 до 6,4 % (3,4–3,9 ц/га) и на среднеэродированной почве – от 6,3 до 7,6 % (3,5–4,2 ц/га). Отмечено антистрессовое действие протестированных микробных инокулянтов.

На посевах тритикале озимого азотфиксирующие ризобактерии *A. brasilense* обеспечили существенные прибавки зерна на всех элементах склона – 4,2 % (2,7 ц/га), 6,1 % (3,7 ц/га) и 5,8 % (3,2 ц/га). Моноинокулянты на основе *B. circulans* и *T. longibrachiatum* были наиболее эффективны на эродированных почвах, прибавки урожайности составили 4,3–6,5 % (2,6–3,6 ц/га).

Из бинарных инокулянтов лучшие показатели урожайности получены за счет использования *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* – 5,3–7,6 % (3,4–4,2 ц/га) и *A. brasilense* + *B. circulans* – 5,8–6,4 % (3,7–3,9 ц/га) соответственно по почвенно-эрозионной катене (табл. 5). Микробные инокулянты эффективнее действовали на урожайность в условиях стресса на эродированных почвах.

Таблица 5

**Влияние инокуляции на урожайность тритикале озимого Динаро
на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах
(Стоковые площадки)**

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка от инокуляции					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	63,8	60,9	55,5	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	66,5	64,6	58,7	2,7	4,2	3,7	6,1	3,2	5,8
<i>B. circulans</i>	65,8	64,2	59,1	2,0	3,1	3,3	5,4	3,6	6,5
<i>T. longibrachiatum</i>	66,0	63,5	58,7	2,2	3,4	2,6	4,3	3,2	5,8
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	67,2	64,5	59,7	3,4	5,3	3,6	5,9	4,2	7,6
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	66,2	64,3	59,2	2,4	3,8	3,4	5,6	3,7	6,7
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	67,5	64,8	59,0	3,7	5,8	3,9	6,4	3,5	6,3
НСР ₀₅ : фактор А (почва) – 1,57; фактор В (инокуляция) – 2,56									
1 – незероэродированная, 2 – слабоэродированная, 3 – среднеэродированная почва									

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Анализ показателей распространенности и развития корневой гнили в течение вегетации в посевах ржи озимой показал максимальное развитие болезней в фазе молочной спелости. Установлено, что применение моно- и бинарных инокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* в разных сочетаниях снижало проявление болезни.

Максимальное число зараженных растений в фазе молочной спелости отмечено в контроле (85,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни до-

стигало 21,3 %, максимальный балл поражения – 1. В вариантах с применением моноинокулянтов и их бинарных сочетаний также отмечено снижение патологического процесса. Наиболее эффективную защиту от корневой гнили обеспечивал моноинокулянт *T. longibrachiatum*, распространенность болезни на незеродированной почве снижалась на 35,6 %, на слабо- и среднеэродированной – на 34,2 % и 40,4 %. Биологическая эффективность *T. longibrachiatum* составила 48,6 %, 42,1 % и 47,4 % соответственно.

Как и следовало ожидать, бактериальные инокулянты были менее эффективны: моноинокулянты *A. brasilense* и *B. circulans* снижали распространенность болезни на незеродированной почве на 7,6 и 10,6 %, на слабоэродированной – на 17,4 и 8,9 % и на среднеэродированной почве – на 15,5 и 13,1 %. Биологическая эффективность бактериальных моноинокулянтов составила 11,6 и 14,2 %, 20,7 и 10,9 %, 21,7 и 15,5 % соответственно (табл. 6).

При использовании бинарного инокулянта *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* распространенность болезни снижалась на 33,9 % на незеродированной почве, на 35,6 % – на слабоэродированной почве, на 40,4 % – на среднеэродированной. Биологическая эффективность *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* составила 46,4; 44,1 и 47,4 % соответственно. Применение бинарной композиции *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижало распространенность корневой гнили на незеродированной и слабоэродированной почвах на 35,1 %, на среднеэродированной почве – на 38,0 %. Биологическая эффективность *B. circulans* + *T. longibrachiatum* составила 47,5; 43,1 и 44,6 % соответственно.

Биологическая эффективность бактериальных моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* варьировала на незеродированной почве от 11,6 до 14,2 %, на слабоэродированной – от 10,9 до 20,7 %, на среднеэродированной – от 15,5 до 21,7 %. Биологическая эффективность бинарной бактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* составила на незеродированной почве 35,0 %, на слабоэродированной – 34,7 %, на среднеэродированной – 25,8 % (табл. 6).

Таблица 6

Влияние микробных инокулянтов на развитие и распространенность корневой гнили зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки, 2017, 2019 гг.)

Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
<i>Неэродированная почва</i>						
Контроль	73,3	18,3	–	35,0	18,1	–
<i>A. brasilense</i>	65,7	16,4	11,6	25,0	12,8	29,3
<i>B. circulans</i>	62,7	15,7	14,2	28,8	14,7	18,8
<i>T. longibrachiatum</i>	37,7	9,4	48,6	19,8	10,5	42,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	39,4	9,8	46,4	18,8	9,7	46,4
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	38,2	9,6	47,5	21,3	10,0	44,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	47,6	11,9	35,0	23,0	11,6	35,9
<i>Слабоэродированная почва</i>						
Контроль	80,9	20,2	–	43,8	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	63,5	15,9	20,7	30,0	15,3	30,1

Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
	Р, %	R, %	БЭ	Р, %	R, %	БЭ
<i>B. circulans</i>	72,0	18,0	10,9	32,5	16,9	22,8
<i>T. longibrachiatum</i>	46,7	11,7	42,1	23,8	11,9	45,7
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	45,3	11,3	44,1	23,8	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	45,8	11,5	43,1	22,5	11,3	48,4
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	52,9	13,2	34,7	30,0	15,0	31,5
<i>Среднеэродированная почва</i>						
Контроль	85,3	21,3	–	42,5	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	69,8	17,5	21,7	32,5	15,9	27,4
<i>B. circulans</i>	72,2	18,0	15,5	33,8	17,2	21,5
<i>T. longibrachiatum</i>	44,9	11,2	47,4	25,0	12,5	42,9
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	44,9	11,2	47,4	26,3	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	47,3	11,8	44,6	28,8	13,1	40,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	63,2	15,8	25,8	31,3	15,3	30,1
Р – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность						

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Сравнительный анализ экспериментальных данных по учету пораженности растений корневой гнилью в полевом стационаре (фаза цветения) указывает на снижение патологического процесса по почвенно-эрозионной катене при обработке посевов микробными инокулянтами. За счет внесения моноинокулянта *T. longibrachiatum* распространенность корневой гнили на незэродированной снижалась на 15,2 %, на слабо- и среднеэродированной – на 20,0 и 17,5 %. Биологическая эффективность моноинокулянта *T. longibrachiatum* составила 42,0; 45,7 и 42,9 % соответственно. Как и в посевах ржи озимой, бактериальные моноинокулянты уступали по эффективности *T. longibrachiatum* в отношении защиты растений от корневой гнили. Биологическая эффективность моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* на незэродированной почве составила 29,3 и 18,8 %, на слабоэродированной – 30,1 и 22,8 %, на среднеэродированной – 27,4 и 21,5 % соответственно.

Среди бинарных композиций наиболее высокую эффективность по защите от корневой гнили обеспечивали инокулянты, содержащие гриб-антагонист *T. longibrachiatum*. Так, бинарная композиция *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* снижала распространенность болезни на 16,2; 20,0 и 16,2 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах, биологическая эффективность – 46,4; 44,3 и 44,3 % соответственно. Бинарный инокулянт *B. circulans* + *T. longibrachiatum* снижал распространенность болезни на 13,7; 21,3 и 13,7 % на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах, биологическая эффективность – 44,8; 48,4 и 40,2 % соответственно. Биологическая эффективность бинарной бактериальной композиции *A. brasilense* + *B. circulans* на незэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах была ниже и составила 35,9; 31,5 и 30,1 % соответственно (табл. 6).

ВЫВОДЫ

Установлено влияние моноинокулянтов на основе азотфиксирующих (*A. brasilense*), калиймобилизующих (*B. circulans*) ризобактерий и гриба-антагониста (*T. longibrachiatum*) и их бинарных композиций на показатели продукционного процесса, фитопатологическое состояние посевов и урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. Обработка посевов моно- и бинарными микробными инокулянтами стимулировала формирование продуктивных стеблей, увеличение числа и массы зерен в колосе, а также приводила к снижению патологического процесса в посевах зерновых культур на разных элементах склона. Наиболее эффективную защиту от корневой гнили обеспечивали моноинокулянт *T. longibrachiatum* и бинарные микробные композиции, включающие гриб-антагонист. Биологическая эффективность *T. longibrachiatum* на посевах ржи озимой составила 42,1–48,6 %, на посевах тритикале озимого – 42,0–45,7 % по почвенно-эрозионной катене. Биологическая эффективность бинарных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *B. circulans* + *T. longibrachiatum* на посевах ржи озимой – 44,1–47,4 % и 43,1–47,5 %, на посевах тритикале озимого – 44,3–46,4 % и 40,2–48,4 % соответственно. Положительное действие микробных инокулянтов на продукционный процесс и фитопатологическое состояние посевов обеспечивает повышение урожайности зерновых культур на эродированных почвах. Величина прибавки урожайности зависит от состава микробного инокулянта, степени эродированности почвы и возделываемой зерновой культуры. В большинстве случаев наиболее значимый эффект от моноинокулянтов отмечается на эродированных почвах (прибавки урожайности 4,3–6,6 %), бинарные микробные композиции эффективны на разных элементах склона (прибавки урожайности – 3,4–7,9 %). Как правило, эффективность моно- и бинарных инокулянтов возрастает с увеличением степени эродированности почвы, что указывает на антистрессовое действие азотфиксирующих, калиймобилизующих ризобактерий и гриба-антагониста.

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. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
3. Михайловская, Н. А. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н. А. Михайловская, А. Ф. Черныш, Т. В. Погирницкая, А. В. Юхновец // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
4. Михайловская, Н. А. Эффективность микробных инокулянтов при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с между-

нар. участием, Владимир, 22–24 июня 2018 г. / ВНИИОУ – ф-л ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». – Иваново: ПресСто, 2018. – С. 182–186.

5. Михайловская, Н. А. Влияние бинарного инокулянта на урожайность и качество озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 201–210.

6. Boddy, R. M. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future / R. M. Boddy, J. Dobereiner // Fertilizer Research. – 1995. – Vol. 42. – P. 241–250.

7. Okon, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – V. 90. – P. 3–16.

8. Михайловская, Н. А. Изучение способности штамма *A. brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 325–332.

9. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I.R. Kennedy [et al.] // Soil Biol. Biochem. – 2004. – Vol 36, № 8. – P. 1229–1244.

10. Bashan, Y. Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil / Y. Bashan // J. Gen. Microbiol. – 1986. – Vol. 132. – P. 3407–3414.

11. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.

12. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

13. 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.

14. Михайловская, Н. А. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.

15. Желтова, К. В. Корневые гнили озимой пшеницы и их вредоносность / К. В. Желтова, В. И. Долженко // Вестник ОрелГАУ. – 2017. – № 1(64). – С. 45–51.

16. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений; ред. Ф. Буга. – Несвиж, 2007. – 508 с.

17. Cook, R. J. Biological control of Plant Pathogens: Theory to Application / R. J. Cook // Phytopatology. – 1985. – Vol. 75, № 1. – P. 25–29.

18. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains / T. Benitez [et al.] // Intern. Microbiology. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 249–260.

19. Chet, I. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naturally suppressive to *R. solani* / I. Chet, R Baker // Phytopatology. – 1981. – Vol. 71, № 3. – P. 286–290.

EFFECT OF MONO- AND BINARY INOCULANTS ON YIELD AND PHYTOPATHOLOGY STATUS OF GRAIN CROPS GROWING ON LUVISOL LOAMY SAND ERODED SOILS

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Voitka, N. N. Tsybulko, A. M. Ustinova,
T. B. Barashenko, C. V. Dyusova**

Summary

Application of mono inoculants *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans*, *Trichoderma longibrachiatum* (sowing treatment) as well as their binary compositions stimulates the formation of generative stems, the increase of grain's number in spike and spike mass, as well as results in the reduction of pathological process in grain crops growing on different slope elements of Luvisol loamy sand eroded soils. Anti stress action of microbial inoculants provides the increase of grain crop yields on eroded soils. As a rule most significant effects from mono inoculants were obtained on eroded soils (yield responses – 4,3–6,6 %). Binary compositions were effective at different slope elements of Luvisol loamy sand eroded soils (yield responses 3,4–7,9 %).

Поступила 26.03.2020