

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЬНОГО И СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ *A. BRASILENSE*, *B. CIRCULANS* И *T. LONGIBRACHIATUM* НА ПОСЕВАХ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

Н. А. Михайловская¹, Д. В. Войтка², А. В. Юхновец¹,
Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹

¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

²Институт защиты растений,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Биологизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур предполагает применение микробных препаратов разной специализации, чтобы эффективно использовать широкий спектр приспособительных свойств полезных микроорганизмов. Вопросы биологизации технологий возделывания зерновых культур на эродированных почвах актуальны для республики, так как такие почвы составляют 9,4 % от общей площади пашни [10]. На эродированных почвах растения подвержены стрессу в результате поверхностного смыва, вызывающего потери элементов минерального питания, органического вещества, микробной биомассы и абиотических почвенных ферментов [11, 12, 13]. Ухудшение агрофизических, агрохимических и биологических свойств эродированных почв приводит к снижению урожайности и качества продукции зерновых культур.

Применение микробных препаратов может значительно повышать адаптивные возможности растений за счет действия таких факторов как гормональный эффект, фиксация атмосферного азота, мобилизация калия из труднодоступных почвенных форм, увеличение подвижности трудно растворимых почвенных фосфатов, биологический контроль фитопатогенов. Гормональное действие – наиболее часто регистрируемый эффект от инокуляции. Возможно, он является и наиболее значимым для повышения урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах, так как более развитая корневая система обеспечивает увеличение поглощающей поверхности корней и потребления элементов минерального питания и воды.

Активными стимуляторами роста являются ассоциативные diaзотрофы *Azospirillum brasilense* [1–5] и калиймобилизующие слизистые бациллы *Bacillus circulans* [5–8]. Наряду с гормональным действием, бактерии *Azospirillum brasilense* при дефиците азота в почве активно усваивают его из атмосферы [4]. *Bacillus circulans* способны повышать подвижность труднодоступных почвенных форм калия [6]. Обе ризобактерии, как *A. brasilense* так и *B. circulans*, проявляют активность в отношении растворения трехзамещенных фосфатов при недостатке подвижного фосфора в почве [6]. Ризобактерии *A. brasilense* и *B. circulans* представляют

интерес как перспективные компоненты микробных удобрений, которые могут способствовать адаптации зерновых культур на эродированных почвах.

Актуальной проблемой при возделывании озимых зерновых культур на эродированных почвах является защита растений от (болезней) поражения фитопатогенами. Озимые зерновые подвержены заболеваниям в осенний, зимний и ранневесенний периоды и нуждаются в защите от корневых инфекций. Грибы-антагонисты *Trichoderma longibrachiatum* способны обеспечить эффективную биологическую защиту зерновых культур от корневых инфекций. Они проявляют высокую антагонистическую активность по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили – родов *Fuzarium*, *Alternaria*, *Sclerotinia* и других корневых инфекций зерновых культур [9]. Способность контролировать болезни растений, вызываемые грибковыми или бактериальными патогенами, также может быть фактором положительного влияния интродуцированных микроорганизмов на урожайность озимых зерновых культур на эродированных почвах [11].

Представляет интерес сравнить эффективность отдельного и совместного применения *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans* и *Trichoderma longibrachiatum* на посевах озимой зерновой культуры на эродированных почвах. Совместное применение микроорганизмов с разными полезными свойствами – один из приемов повышения эффективности микробных препаратов. Создание микробных композиций экологически обосновано и экономически целесообразно.

Тритикале озимое в структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в Республике Беларусь занимает 18 %. Эта озимая культура отличается зимостойкостью и менее требовательна к условиям произрастания по сравнению с озимой пшеницей. В связи с этим тритикале озимое предпочтительнее при возделывании на эродированных почвах.

Цель исследований – сравнительная оценка влияния отдельного и совместного применения ассоциативных diaзотрофов *A. brasilense*, калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* на продукционный процесс, поражаемость корневыми инфекциями, урожайность и качество продукции тритикале озимого при возделывании на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевой стационар «Стоковые площадки». Сравнительная эффективность отдельного и совместного применения ассоциативных diaзотрофов *A. brasilense*, калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* изучена в полевом стационаре «Стоковые площадки, заложенном по геоморфологическому профилю (катене) от водораздела до подножья склона на дерново-подзолистых почвах на мощных лессовидных суглинках. Агрохимические свойства пахотного слоя почвы и условия вегетации представлены в таблице 1.

В полевом стационаре возделывали тритикале озимое (*Triticosekale*) сорта Динаро (2019–2020 гг.). Фон минеральных удобрений – $N_{90}+30P_{50}K_{100}$. 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 (2,2 × 10), учетная – 20 м² (2,0 × 10).

Таблица 1

Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований (СПК «Щомыслица», Минский р-н)

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91), мг/кг		ГТК (по Се- лянинову)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	
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

Объектами исследования служили азотфиксирующие ризобактерии *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Dцbereiner 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.

Способ применения микробных инокулянтов – обработка посевов весной в фазе кущения озимого тритикале. Титры микробных 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. При использовании бинарных композиций рабочую жидкость готовили непосредственно перед применением при соотношении компонентов 1:1.

Показатели продукционного процесса оценивали в фазе восковой спелости тритикале озимого сорта Динаро в 2019 и 2020 гг.

Оценка фитопатологического состояния посевов. Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили в посевах тритикале озимого в 2019 г. отбирали в стадиях 32–33 (выход в трубку), 47–49 (набухание колосьев) и 61–65 (цветение) в соответствии с ВВСН, в 2020 г. – в фазах выхода в трубку, начала колошения и цветения (2020 г.). 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:

$$БЭ = (П_k - П_0) \cdot 100 : П_k,$$

где П_к – процент развития или степень поражения растений в контроле; П₀ – процент развития или степень поражения в варианте опыта [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 более 2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур производили поделаячно. Содержа-ние элементов питания в зерне определяли методом ИК-спектрометрии (NIR Systems 4500). Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса тритикале озимого Динаро. Установлена зависимость показателей продукционного процесса тритикале озимого от свойств моноинокулянтов и состава микробных композиций, использованных для обработки посевов. По средним данным за 2019–2020 гг. наибольшее влияние на число продуктивных стеблей тритикале озимого оказывали бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (553–573 шт./м²), *A. brasilense* + *B. circulans* (536–545 шт./м²). Из моноинокулянтов наибольший положительный эффект отмечен при использовании калиймобилизующих бактерий *B. circulans* (560–570 шт./м²) и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* (525–561 шт./м²).

Применение бинарных композиций микроорганизмов оказывало более значимое воздействие и на число зерен в колосе тритикале озимого по сравнению с применением моноинокулянтов. Наиболее высокие показатели отмечены при использовании *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (34,6–36,2 шт.) и *A. brasilense* + *B. circulans* (33,8–35,3 шт.). Среди моноинокулянтов наибольшее влияние на число зерен в колосе оказывали азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* (34,6–36,3 шт.).

Микробные инокулянты оказывали положительное действие на массу колоса тритикале озимого. Наиболее значимый эффект давало применение двухкомпонентных микробных композиций: *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (1,21–1,30 г) и *A. brasilense* + *B. circulans* (1,20–1,29 г). Результаты исследований показали, что среди протестированных моноинокулянтов наиболее эффективны были диазо-рофные ризобактерии *A. brasilense* (1,21–1,30 г) (табл. 2).

Таблица 2

Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)

Вариант опыта	Число продукт. стеблей, шт./м ²			Число зерен в колосе, шт.			Масса зерна 1 колоса, г			Масса 1000 семян, г		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	554	538	511	33,8	33,9	33,4	1,21	1,19	1,16	35,6	35,0	34,3
<i>A. brasilense</i>	538	513	516	35,7	36,3	34,6	1,30	1,30	1,21	36,2	35,7	34,7
<i>B. circulans</i>	567	570	560	33,5	34,0	33,9	1,21	1,19	1,16	36,0	34,9	34,3
<i>T. longibrachiatum</i>	561	547	525	33,6	34,3	34,7	1,23	1,22	1,19	36,7	35,7	34,3
<i>A. bras.</i> + <i>T. longibrach.</i>	573	553	557	34,2	33,8	33,5	1,25	1,23	1,19	36,7	36,3	35,6
<i>B. circ.</i> + <i>T. longibrach.</i>	537	523	525	35,8	36,2	34,6	1,30	1,28	1,21	36,4	35,4	35,1
<i>A. bras.</i> + <i>B. circulans</i>	545	536	536	35,3	35,3	33,8	1,29	1,27	1,20	36,8	36,0	35,5
НСП ₀₅ :												
А (почва)	14,6			0,45			0,04			0,36		
В (инокуляция)	18,7			0,62			0,05			0,58		

Примечание. 1 – незеродированная; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва.

Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов озимого тритикале Динаро. Учеты пораженности растений корневой гнилью проведены в стадиях 32–33 (выход в трубку), 47–49 (набухание колосьев) и 61–65 (цветение). В фазах 32–33 и 47–49 развитие болезни за счет применения гриба-антагониста *T. longibrachiatum* снижалось в 2,0–2,3 раза по почвенно-эрозийной катене. Распространенность корневой гнили на незеродированной почве была ниже контроля: на незеродированной почве на 8,7–10,1 %, на слабо- и средне эродированной почвах – на 12,5–15,0 % и 12,5–14,0 %.

Развитие болезни за счет применения бинарного инокулянта *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* снижалось в 1,7–2,6 раза, распространенность корневой гнили была ниже контроля на 7,5–16,3 % по катене, за счет применения *B. circulans* + *T. longibrachiatum* – в 1,5–2,8 раза и за счет применения *A. brasilense* + *B. circulans* на 5,0–16,3 % соответственно. Биологическая эффективность бинарных инокулянтов в фазу выхода в трубку составила 23,9–52,3 %, в фазу набухания колосьев – 35,3–64,6 % (табл. 3)

Таблица 3

Влияние микробных инокулянтов на развитие корневой гнили тритикале озимого Динаро на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах («Стоковые площадки», 2019 г.)

Вариант опыта	Стадия 32–33 (выход в трубку)			Стадия 47–49 (набухание колосьев)			Стадия 61–65 (цветение)		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
Незеродированная почва									
Контроль	15,0	5,0	–	20,0	8,8	–	35,0	18,1	–
<i>A. brasilense</i>	8,8	3,1	38,0	10,0	4,4	49,7	25,0	12,8	29,3
<i>B. circulans</i>	11,3	3,8	24,0	15,0	4,7	46,3	28,8	14,7	18,8
<i>T. longibrachiatum</i>	6,3	2,2	56,0	9,9	4,3	50,9	19,8	10,5	42,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	7,5	2,5	50,0	8,8	3,4	61,1	18,8	9,7	46,4
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	10,0	2,8	44,0	11,3	3,1	64,6	21,3	10,0	44,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,0	3,4	32,0	12,5	4,1	53,1	23,3	11,6	35,9
Слабозеродированная почва									
Контроль	23,8	7,9	–	28,8	16,7	–	43,8	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	13,8	4,6	37,5	15,0	7,9	52,7	30,0	15,3	30,1
<i>B. circulans</i>	15,0	5,0	33,0	17,5	10,0	40,1	32,5	16,9	22,8
<i>T. longibrachiatum</i>	11,3	3,8	46,6	13,8	7,5	55,1	23,8	11,9	45,7
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	10,0	3,3	52,3	12,5	7,1	57,5	23,8	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	12,5	4,2	42,0	12,5	6,7	59,9	22,5	11,3	48,4
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	17,5	5,8	23,9	20,0	11,7	42,7	30,0	15,0	31,5
Среднеэродированная почва									
Контроль	26,3	8,8	–	27,5	16,7	–	42,5	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	20,0	6,7	23,9	22,5	12,9	22,8	32,5	15,9	27,4
<i>B. circulans</i>	16,3	5,4	38,6	18,8	10,4	37,7	33,8	17,2	21,5
<i>T. longibrachiatum</i>	12,3	4,1	53,4	15,0	8,3	50,3	25,0	12,5	42,9
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	15,0	5,0	43,2	17,5	9,6	42,5	26,3	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	17,3	5,8	34,1	20,0	10,8	35,3	28,8	13,1	40,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	18,8	6,3	28,4	21,3	12,1	38,0	31,3	15,3	30,1

Примечание. P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность.

Установлено, что в стадии 61–65 (фаза цветения по ВВСН) за счет применения гриба *T. longibrachiatum* распространенность корневой гнили на незеродированной почве снижалась на 15,2 %, на слабо- и среднеэродированной – на 20,0 % и 17,5 %. Биологическая эффективность грибного компонента составила 42,0 %, 45,7 % и 42,9 % соответственно.

При использовании бинарной композиции *A. brasilense* + *Trichoderma* sp. L-7 распространенность болезни снижалась на 16,2 %, 20,0 % и 16,2 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность – 46,4 %, 44,3 % и 44,3 % соответственно. Обработка посевов бинарным инокулянтом *B. circulans* + *T. longibrachiatum* способствовала снижению распространенности болезни на 13,7 %, 21,3 % и 13,7 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность – 44,8 %, 48,4 % и 40,2 % соответственно. Бинарная композиция *A. brasilense* + *B. circulans*, обеспечивала биологическую эффективность 35,9 %, 31,5 % и 30,1 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах (табл. 3).

В 2020 г. учет пораженности тритикале озимого корневой гнилью проведен в фазах 30–31 (выход в трубку), 49–51 (начало колошения) и 61–65 (цветение). Установлено, что максимальное число зараженных растений, 22,5 %, в фазе выхода в трубку отмечено на контроле на среднеэродированной почве – развитие болезни достигало 5,6 %, максимальный балл поражения – 1. При учете в стадии начала колошения распространение болезни на слабоэродированной и среднеэродированной почвах – на уровне 38,8 и 32,5 %, показатели развития болезни – 15,6 и 12,5 % соответственно (табл. 4).

Применение для обработки посевов гриба-антагониста *T. longibrachiatum* L-7 обеспечивало снижение распространенности корневой гнили на 5,0–14,0 % на водоразделе, на 6,2–18,8 % на слабоэродированной и на 10,2–20,0 % на среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность составила 29,5–57,6 %, 32,0–51,9 % и 44,6–62,4 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

При использовании для инокуляции посевов бинарной композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* L-7 распространенность болезни была ниже контроля на 6,2–13,7 %, на 10,0–21,3 % и на 11,2–20,0 % по почвенно-эрозийной катене. Биологическая эффективность составила 36,4–57,6 %, 50,0–57,7 % и 50,0–60,0 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

Применение двухкомпонентной микробной композиции *B. circulans* + *T. longibrachiatum* L-7 снижало распространенность корневой гнили на 7,5–13,7 %, 7,5–20,0 % и 8,9–18,7 % на водоразделе слабо- и среднеэродированных почвах; биологическая эффективность составила 43,2–55,2 %, 38,0–53,8 % и 39,3–55,2 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

При использовании двухкомпонентного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* биологическая эффективность варьировала на незеродированной почве в пределах 29,5–52,8 %, на слабоэродированной – 24,0–47,2 %, на среднеэродированной – 44,6–52,8 % соответственно фазам учета.

В фазе цветения максимальное число зараженных растений отмечено на контроле (61,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 25,3 %. Максимальный уровень поражения растений соответствовал 3 баллам. Биологическая эффективность применения гриба-антагониста *Trichoderma* sp.

L-7 составила 51,8–55,3 %, раздельного применения бактериальных инокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* – 35,6–50,0 % и 32,0–54,6 % соответственно. Использование двухкомпонентных микробных композиций, содержащих в составе гриб-антагонист *Trichoderma* sp. L-7, обеспечило биологическую эффективность в диапазоне 50,0–56,7 %. Биологическая эффективность обработки посевов бинарной бактериальной композицией *A. brasilense* + *B. circulans* варьировала в пределах – 39,5–48,4 % (табл. 4).

Таблица 4

Влияние микробных инокулянтов на развитие корневой гнили тритикале озимого Динаро на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах («Стоковые площадки», 2020 г.)

Вариант опыта	Стадия 30–31 выход в трубку			Стадия 49–51 начало колошения			Стадия 61–65 цветение		
	P %	R %	БЭ	P %	R %	БЭ	P %	R %	БЭ
Неэродированная почва									
Контроль	17,5	4,4	–	30,0	12,5	–	42,5	18,8	–
<i>A. brasilense</i>	12,5	3,1	29,5	16,3	8,1	35,2	25,0	9,4	50,0
<i>B. circulans</i>	13,8	3,4	22,7	17,5	7,2	42,4	23,8	10,0	46,8
<i>T. longibrachiatum</i>	12,5	3,1	29,5	16,0	5,3	57,6	21,0	8,4	55,3
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	11,3	2,8	36,4	16,3	5,3	57,6	21,3	8,8	53,2
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	10,0	2,5	43,2	16,3	5,6	55,2	22,5	9,4	50,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,5	3,1	29,5	16,3	5,9	52,8	22,5	9,7	48,4
Слабозэродированная почва									
Контроль	20,0	5,0	–	38,8	15,6	–	42,5	19,4	–
<i>A. brasilense</i>	11,3	2,8	44,0	17,5	6,3	59,6	32,5	12,5	35,6
<i>B. circulans</i>	15,0	3,8	24,0	22,5	8,4	46,2	23,8	8,8	54,6
<i>T. longibrachiatum</i>	13,8	3,4	32,0	20,0	7,5	51,9	22,5	9,1	53,1
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	10,0	2,5	50,0	17,5	6,6	57,7	21,3	8,4	56,7
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,5	3,1	38,0	18,8	7,2	53,8	21,3	8,8	54,6
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	15,0	3,8	24,0	25,0	10,6	47,2	28,8	11,3	41,8
Среднеэродированная почва									
Контроль	22,5	5,6	–	32,5	12,5	–	61,3	25,3	–
<i>A. brasilense</i>	15,0	3,8	32,1	16,3	6,9	44,8	35,0	16,3	35,6
<i>B. circulans</i>	13,8	3,4	39,3	12,5	5,3	57,6	36,3	17,2	32,0
<i>T. longibrachiatum</i>	12,3	3,1	44,6	12,5	4,7	62,4	28,8	12,2	51,8
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	11,3	2,8	50,0	12,5	5,0	60,0	27,5	11,9	53,0
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	13,6	3,4	39,3	13,8	5,6	55,2	30,0	12,2	51,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,5	3,1	44,6	13,8	5,9	52,8	32,5	15,3	39,5

Примечание. P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность.

Влияние микробных инокулянтов на урожайность тритикале озимого Динаро. По результатам лабораторных исследований установлено, что микробные инокулянты *A. brasilense*, *B. circulans* и *Trichoderma* sp. L-7 способны стимулировать рост и повышать адаптивные возможности растений. Результаты полевых исследований свидетельствуют об эффективном действии *A. brasilense*, *B. circulans* и *Trichoderma* sp. L-7 на показатели продукционного процесса и по-

раженность растений корневой гнилью, то есть в качестве биофунгицидов. Перечисленные факторы способствовали повышению урожайности тритикале озимого. Наиболее высокая эффективность обработки посевов отмечена при использовании бинарных микробных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, которая составила 4,3–5,8 % на незэродированной, 5,5–6,6 % на слабоэродированной и 6,4–7,0 % на среднеэродированной почвах. Эффективность применения моноинокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* варьировала в пределах 4,0–5,9 %, 1,9–5,5 % и 3,6–5,0 % по почвенно-эрозионной катене. Прослеживается тенденция повышения эффективности бинарных композиций микроорганизмов и моноинокулянтов на эродированных почвах, что указывает на их антистрессовое действие (табл. 5).

Таблица 5

Влияние микробных инокулянтов на урожайность тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	66,7	63,5	59,7	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	69,4	66,7	63,2	2,7	4,0	3,2	5,0	3,5	5,9
<i>B. circulans</i>	68,0	66,6	63,0	1,3	1,9	3,1	4,9	3,3	5,5
<i>T. longibrachiatum</i>	69,2	65,8	62,7	2,5	3,7	2,3	3,6	3,0	5,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	70,6	67,7	63,9	3,9	5,8	4,2	6,6	4,2	7,0
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	69,6	67,0	63,9	2,9	4,3	3,5	5,5	4,2	7,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	70,3	67,7	63,5	3,6	5,4	4,2	6,6	3,8	6,4
НСР ₀₅ фактор А (почва) –1,41; фактор В (инокуляция) – 2,31									

Примечание. 1 – незэродированная; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва.

Влияние микробных инокулянтов на качество зерна тритикале озимого Динаро. Внесение микробных инокулянтов влияет на метаболизм растений, повышает их адаптацию в стрессовых условиях, что проявляется в повышении качества зерна по содержанию сырого протеина и в увеличении сбора белка. В среднем за два года наилучшие показатели по содержанию сырого белка в зерне тритикале озимого обеспечивали: бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (11,1–12,8 %), *A. brasilense* + *B. circulans* (11,6–12,7 %), и моноинокулянт *A. brasilense* (11,8–12,8 %) на незэродированных, слабо- и среднеэродированных почвах по сравнению с 10,3–11,6 % на контроле без инокуляции (табл. 6).

Таблица 6

Влияние микробных инокулянтов и степени эродированности почвы на содержание протеина в зерне тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)

Вариант опыта	Сырой белок, %			Сбор сырого белка, ц/га		
	1	2	3	1	2	3
Контроль	11,6	10,8	10,3	6,7	5,9	5,3
<i>A. brasilense</i>	12,8	12,3	11,8	7,6	7,1	6,4
<i>B. circulans</i>	11,9	11,4	11,0	7,0	6,5	6,0

Вариант опыта	Сырой белок, %			Сбор сырого белка, ц/га		
	1	2	3	1	2	3
<i>T. longibrachiatum</i> .	12,5	11,6	10,2	7,4	6,6	5,5
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,8	12,1	11,1	7,8	7,0	6,1
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,4	11,8	10,9	7,4	6,8	6,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,7	11,7	11,6	7,7	6,8	6,3
НСП ₀₅ :						
фактор А (почва)	0,38			0,31		
фактор В (инокуляция)	0,56			0,56		

ВЫВОДЫ

В полевых исследованиях на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах получены количественные показатели влияния микробных инокулянтов (обработка посевов) на продукционный процесс тритикале озимого по увеличению числа продуктивных стеблей, числа и массы семян в колосе. Установлено эффективное действие раздельного и совместного применения *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* в качестве биофунгицидов. Применение микробных инокулянтов способствовало повышению урожайности тритикале озимого Динаро. Наиболее эффективны бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, прибавки урожайности составили: 4,3–5,8 % на незэродированной, 5,5–6,6 % на слабоэродированной и 6,4–7,0 % на среднеэродированной почвах. Эффективность моноинокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* варьировала в пределах 4,0–5,9 %, 1,9–5,5 % и 3,6–5,0 % по почвенно-эрозионной катене. Повышение эффекта от микробных инокулянтов, отмеченного на эродированных почвах, свидетельствует об их антистрессовом действии. Применение бинарных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* и моноинокулянта *A. brasilense* обеспечивало повышение содержания сырого белка в зерне тритикале озимого на 11,1–12,8 %, 11,6–12,7 % и 11,8–12,8 % на незэродированных, слабо- и среднеэродированных почвах по сравнению с 10,3–11,6 % на контроле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Okon, Y. Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C. A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem. – 1994. – Vol. 26. – P. 1591–1601.
3. 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.
4. Эффективность бактеризации разных видов трав *Azospirillum brasilense* / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 202–207.

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

6. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

7. Лапа, В. В. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием / В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 29–38.

8. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках / А. Ф. Черныш [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2013. – № 1. – С. 51–57.

9. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений; ред. Ф. Буга. – Несвиж: Несвижская укрупн. типогр. им. С. Будного, 2007. – 508 с.

10. Цыбулько, Н. Н. Обработка почвы в эрозионных и загрязненных радионуклидами агроландшафтах / Н. Н. Цыбулько, А. Ф. Черныш. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 423 с.

EFFICIENCY OF SEPARATE AND COMBINE APPLICATION OF *A. BRASILENSE*, *B. CIRCULANS* AND *T. LONGIBRACHIATUM* FOR THE TREATMENT OF WINTER TRITICALE SOWING ON ERODED LUVISOL SANDY LOAM SOILS

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Voitka, A. V. Yukhnovets,
T. B. Barashenko, C. V. Dyusova**

Summary

Separate and combine application of *A. brasilense*, *B. circulans* and *T. longibrachiatum* in laboratory and field experiments showed their capability of plant growth stimulation, improvement of plant adaptation and productive process parameters of winter triticale. It was found the essential fungi static effect of separate and combine microbial inoculants on root rot development. Application of binary compositions *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* and *A. brasilense* + *B. circulans* resulted in grain yield responses in diapason of 4,3–7,0 %. Yield responses from monoinoculants varied as follows: 1,9–5,9 % according soil erosion catena.

Поступила 27.04.21