

FEATURES OF STRAW USE AND BLUE LUPINE IN THE FIELD CROP ROTATION ON SOD-PODZOLIC SANDY SOIL

T.Yu. Anisimova

Summary

In field experiences on sod-podzolic sandy soil of Meshchersky lowland high agroeconomic efficiency of an adaptive link of a crop rotation with blue lupine, grown up on grain, a potato and barley is established at entering under lupine winter wheat straw. Straw in a combination with symbiotic nitrogen-fixing crop (lupine) has proved to be effective resource regenerative the factor and a perspective reserve of reproduction soils fertility without participation of nitrogen of mineral fertilizers.

Поступила 20.02.14

УДК 631.86:632.118.3:633.1

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ АЗОБАКТЕРИИ НА УРОЖАЙНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ, КАЧЕСТВО И АККУМУЛЯЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs и ^{90}Sr

Н.А. Михайловская¹, Т.Б. Барашенко¹, С.В. Дюсова¹, П.Т. Пикун², Г.В. Жила²

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Полесский филиал РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В сельскохозяйственном производстве Беларуси используется 998,7 тыс. га почв, загрязненных ^{137}Cs в пределах 37–1480 кБк/м². Около 345,4 тыс. га почв республики одновременно загрязнено ^{90}Sr в пределах 5,5–111 кБк/м². На загрязненных радионуклидами почвах возделываются и многолетние травы, которые отличаются способностью интенсивнее аккумулировать радионуклиды по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами. В связи с этим загрязнение кормовой продукции может быть значительным. Загрязнение кормов представляет особую опасность, так как радионуклиды по пищевой цепочке поступают в молоко [1, 2].

В настоящее время благодаря комплексу защитных мероприятий, проведенных на загрязненной территории, решены первоочередные задачи производства нормативно чистых продуктов питания. В результате защитных мер, а также природных процессов распада, сорбции и миграции радионуклидов переход ^{137}Cs по пищевым цепям снизился более чем на порядок, а ^{90}Sr – в 3 раза. Однако

последствия Чернобыльской катастрофы носят долговременный характер. Основная доля радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr находится в корнеобитаемом слое почв и интенсивно включается в биологический круговорот. Поэтому проблема снижения загрязнения травяных кормов в зоне радиоактивного загрязнения почв по-прежнему остается актуальной [3–5].

Одним из возможных биологических приемов повышения урожайности многолетних трав и снижения перехода радионуклидов в продукцию может быть использование бактериальных удобрений разной специализации. Однако наибольший интерес представляют препараты на основе азотфиксирующих бактерий, так как ведущая роль в формировании урожая многолетних злаковых трав принадлежит азоту. Внесение повышенных доз азотных удобрений усиливает переход радионуклидов в урожай [1, 2], а приемы стимулирования биологической азотфиксации и ограничения доз минерального азота представляют интерес. Следует отметить, что внесение бактериальных удобрений на основе природных штаммов азотфиксирующих бактерий экологически обосновано и не представляет опасности для окружающей среды.

Азоспириллы признаны перспективными инокулянтами для целого ряда злаковых культур, включая разные виды злаковых трав. Агрономическая оценка эффективности 20-летнего применения азоспирилл, проведенная Y. Okon et al. [7], свидетельствует об их способности повышать урожайность и качество злаковых культур на почвах разного генезиса и в разных климатических регионах. К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал по влиянию азоспирилл на урожайность и качество злаковых культур в зонах умеренного и тропического климата [8–10].

В Институте почвоведения и агрохимии разработано бактериальное удобрение Азобактерин на основе зонального штамма азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* ВКПМ В4485 [6]. Испытания на посевах многолетних трав показали, что применение Азобактерина стимулирует развитие корневой системы за счет продукции фитогормонов, улучшает минеральное питание и повышает урожайность многолетних злаковых трав [11–15].

Цель настоящей работы – установить влияние бактериального удобрения Азобактерин на урожайность и аккумуляцию ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетних злаковых травах, определить основные факторы его положительного действия на качество трав при возделывании на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных радионуклидами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на дерново-подзолистых супесчаных почвах, преобладающих в зоне радиоактивного загрязнения почв.

Эффективность Азобактерина на разных видах многолетних злаковых трав при равных условиях минерального питания. Эффективность бактериализации разных видов многолетних злаковых трав Азобактерином изучали в полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 1,4 м моренным суглинком (Гомельская обл., Мозырский р-н). Плотность загрязнения почвы опытного участка ^{137}Cs в пределах 180–185 кБк/м², ^{90}Sr – 12 кБк/м². Агрохимические свойства пахотного слоя

2. Плодородие почв и применение удобрений

почвы: гумус – 2,2% (по Тюрину); рН (KCl) – 6,0–6,2; P_2O_5 – 250–280 мг/кг, K_2O – 180–200 мг/кг (по Кирсанову). Содержание фосфора и калия в почве доведено до оптимального для минимизации перехода радионуклидов в продукцию. Учетная площадь делянки – 6,4 м². Повторность в опыте четырехкратная. Расположение делянок рендомизированное. Тимофеевку луговую (*Phleum pratense*), овсяницу луговую (*Festuca pratensis*), кострец безостый (*Bromus inermis*) и ежу сборную (*Dactylis glomerata*) выращивали в одновидовых посевах при равных условиях минерального питания ($N_{30}P_{60}K_{90}$). Суперфосфат двойной и хлористый калий вносили перед посевом, аммиачную селитру – весной в начале вегетации. Для предпосевной бактериализации семян трав при закладке полевого эксперимента использован торфяной Азобактерин (титр $3,2 \times 10^9$ КОЕ/г). В последующие 3 года посевы ежегодно обрабатывали водной суспензией торфяного бактериального препарата в начале вегетации трав и после первого укоса (титр $3,0\text{--}4,0 \times 10^9$ КОЕ/г). Активность азотфиксации в ризоплане многолетних трав определяли ацетиленовым методом на газовом хроматографе «Хром 4» с пламенноионизационным детектором и выражали в мкг N_2 /г сырых корней. Содержание элементов питания в урожае трав определяли методом ИК-спектрометрии. Учет урожайности многолетних трав проводили в фазу начала цветения. Измерения удельной активности ^{137}Cs в растительных образцах многолетних трав проводили в соответствии с методами испытаний МИ 214391 [16] на гамма-спектрометре Canberra 2000. Удельную активность ^{90}Sr определяли радиохимическим методом по стандартной методике ЦИНАО [17] с радиометрическим окончанием на гамма-бета-спектрометре.

Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

Период исследований характеризовался засушливыми условиями и повышенной температурой воздуха, наибольший дефицит осадков отмечен в год закладки опыта (ГТК 0,60), последующие годы были относительно более благоприятными, ГТК составили 0,95, 1,12 и 1,05.

Эффективность Азобактерина на ежу сборной при разных уровнях азотного питания. Для изучения эффективности бактериального удобрения Азобактерин в зависимости от уровня азотного питания проведен полевой опыт (Гомельская обл., Мозырский рн) с ежой сборной (*Dactylis glomerata* L.), сорт Магутная. Почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на моренном суглинке. Плотность загрязнения почвы опытного участка ^{137}Cs – 5–7 Ки/км². Агрохимические показатели пахотного слоя почвы: гумус – 2,0–2,2% (по Тюрину); рН_{KCl} – 6,0–6,1; P_2O_5 – 190–200 мг/кг, K_2O – 160–170 мг/кг (по Кирсанову). Содержание калия и фосфора оптимально для минимизации перехода радионуклидов в растения. Схема опыта включала три уровня минерального питания: $P_{60}K_{90}$, $N_{30}P_{60}K_{90}$, $N_{60}P_{60}K_{90}$. Минеральные удобрения вносили весной перед посевом в первый год и перед началом вегетации в последующие годы жизни растений. Двойной суперфосфат и хлористый калий вносили перед посевом. Аммиачную селитру из расчета N_{30} вносили весной и после первого укоса на варианте $N_{60}P_{60}K_{90}$ и однократно в начале вегетации на варианте $N_{30}P_{60}K_{90}$. Учетная площадь делянки – 25 м². Повторность в опыте четырехкратная. Бактериальное удобрение Азобактерин было внесено однократно

при проведении предпосевной бактеризации семян в виде торфяного препарата (титр $1,5 \times 10^{10}$ КОЕ/г). Поддерживающее внесение бактериального удобрения в последующие годы использования травостоя не проводили. Численность *A. brasilense* определяли при высеве гомогената корней из соответствующих разведений на агаризованную среду DN, содержащую 0,004% индикатора конго красный. Подсчет колоний азоспирилл проводили после инкубации в термостате при 37 °С в течение трех суток [19].

Учет урожайности ежи сборной проводили в фазу начала цветения. Удельную активность растительных образцов по ^{137}Cs определяли на γ -спектрометре [16]. Результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа. Погодные условия в годы проведения исследований были близки к средним многолетним.

Лабораторный эксперимент. Растения выращивали в водной культуре на модифицированной питательной смеси Кнопа, разведенной водой в соотношении 1:10 [24]. Для посева использовали стерильные семена (10% перекись водорода в течение 30 мин и пары хлороформа – 5 мин). Количество питательной смеси – 150 мл на сосуд, количество растений в сосуде – 2. Для инокуляции в сосуды с питательной смесью вносили по 0,5 мл стандартизованной по мутности бактериальной суспензии. Контроль – чистая питательная смесь. Длительность эксперимента – 30 суток. Повторность в опыте шестикратная. Объем и массу корней, высоту и биомассу надземной части растений определяли в соответствии с общепринятыми методами [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение минеральных удобрений – калийных, фосфорных, азотных – повышает урожайность сельскохозяйственных культур, приводя к разбавлению концентрации радионуклидов в растениеводческой продукции. Внесение калийных удобрений, наряду с прибавкой урожайности и эффектом разбавления, ограничивает поступление ^{137}Cs в растения за счет антагонизма катионов цезия и калия в почвенном растворе. Внесение фосфорных удобрений также снижает содержание радионуклидов в продукции, так как они способствуют закреплению радионуклидов в почве [1, 2].

В отношении азота, который играет решающую роль в формировании урожая многолетних злаковых трав, складывается особая ситуация. С одной стороны, недостаток азота в почве приводит к снижению урожайности и, соответственно, к увеличению концентрации радионуклидов в кормовой продукции. С другой стороны, повышенные дозы азотных удобрений могут способствовать аккумуляции радионуклидов в урожае [1, 3]. В связи с этим в зоне радиоактивного загрязнения целесообразно использовать экологически безопасные заменители минеральных азотных удобрений – бактериальные удобрения, содержащие ассоциативные азотфиксирующие бактерии *Azospirillum brasilense* B4485 [6]. Внесение азотфиксаторов обеспечивает улучшение азотного питания, позволяя частично снижать дозы минерального азота, а также повышает продуктивность многолетних злаковых трав, улучшает питательную ценность кормов [6, 12–15].

Эффективность Азобактерина на разных видах многолетних злаковых трав при равных условиях минерального питания. При изучении

2. Плодородие почв и применение удобрений

эффективности Азобактерина в одновидовых посевах тимфеевки луговой, овсяницы луговой, костреца безостого и ежи сборной на дерново-подзолистой супесчаной почве на фоне $N_{30}P_{60}K_{90}$ установлено, что бактериализация достоверно повышала урожайность четырех изученных видов трав. Наиболее отзывчивыми на инокуляцию в среднем за 4 года исследований оказались кострец безостый и ежа сборная – при средней урожайности 62 и 56 ц/га средний уровень прибавок составил 10 и 9 ц/га сухой массы соответственно. Урожайность тимфеевки луговой и овсяницы луговой составила 48 и 40 ц/га, прибавки от Азобактерина – 7 и 5 ц/га сухой массы соответственно (рис. 1).

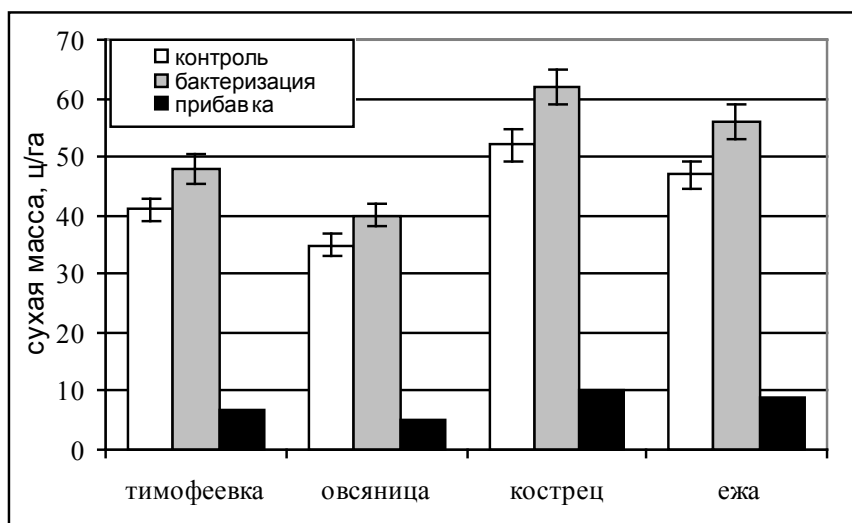


Рис. 1. Влияние Азобактерина (*A. brasilense* B4485) на урожайность многолетних злаковых трав на дерново-подзолистой супесчаной почве ($N_{30}P_{60}K_{90}$)

Одним из основных факторов повышения урожайности при использовании микробных удобрений считается гормональный эффект [8, 9, 11]. При инокуляции азоспириллами обычно наблюдается изменение морфологии корней и корневых волосков, увеличение массы корней, числа и массы побегов [7–9, 22, 23]. Такие явления обычно связаны с действием ростовых веществ, продуцируемых микроорганизмами. Стимуляция развития корневой системы повышает способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания и воду, приводя к повышению урожайности.

Лабораторные эксперименты с водными культурами растений позволили оценить действие азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* B4485 на развитие надземной части и корневой системы. *A. brasilense* B4485 оказывали существенное стимулирующее действие на объем и сырую массу корней инокулированных растений: объем корней увеличивался на 30%, сырая масса – на 54%, высота растений повышалась в среднем на 8%, сырая масса надземной части – на 25% (табл. 1).

Влияние *A. brasilense* B4485 на развитие корневой системы и надземной части инокулированных растений

Штамм	Корневая система					
	объем корней		сырая масса		сухая масса	
	см ³	%	мг	%	мг	%
Контроль	0,099±0,005	100	112,5±17,5	100	6,3±1,2	100
<i>A. brasilense</i>	0,129±0,013	130	173,3±12,5	154	9,6±1,2	152
	Надземная часть					
	высота растения		сырая масса		сухая масса	
	см	%	мг	%	мг	%
Контроль	27,03±4,45	100	159±23	100	18±3	100
<i>A. brasilense</i>	29,19±6,25	108	199±28	125	22±3	122

Одним из факторов положительного действия Азобактерина на урожайность и снижение аккумуляции радионуклидов в продукции является способность *A. brasilense* B4485 фиксировать атмосферный азот в ассоциации с растениями многолетних трав. По литературным данным, эффективность азотфиксирующей ассоциации определяется генотипическими особенностями растений и свойствами штамма-азотфиксатора [7, 9, 10, 12, 14]. Это связано со спецификой корневых выделений растений, являющихся питательным субстратом для развития азотфиксаторов на корнях. Химический состав, количество и скорость выделения корневых метаболитов в ризосферу регулируют активность и длительность функционирования ассоциативной системы. Генотипические различия в корневой экссудации определяют вариабельность ассоциативной азотфиксации у различных видов и сортов растений.

Определение активности азотфиксации в ризоплане изученных многолетних злаковых трав показало, что применение Азобактерина сопровождалось значительным повышением нитрогеназной активности, уровень которой зависел от вида трав. В ризоплане костреца безостого и ежи сборной отмечена более высокая спонтанная нитрогеназная активность. При внесении Азобактерина азотфиксация в ризоплане костреца повышалась в 3,5 раза, ежи – в 3 раза. В ризоплане тимофеевки и овсяницы уровень как спонтанной, так и индуцированной азотфиксации был ниже (рис. 2). За счет Азобактерина азотфиксация в ризоплане тимофеевки возрастала в 2,6 раза, овсяницы – в 2,4 раза. Экспериментальные данные подтверждают существенную роль генотипа растений в формировании ассоциаций и их активности. Азотфиксирующая (нитрогеназная) активность также находится в прямой зависимости от фотосинтетической деятельности макробионта и коррелирует с урожайностью.

2. Плодородие почв и применение удобрений

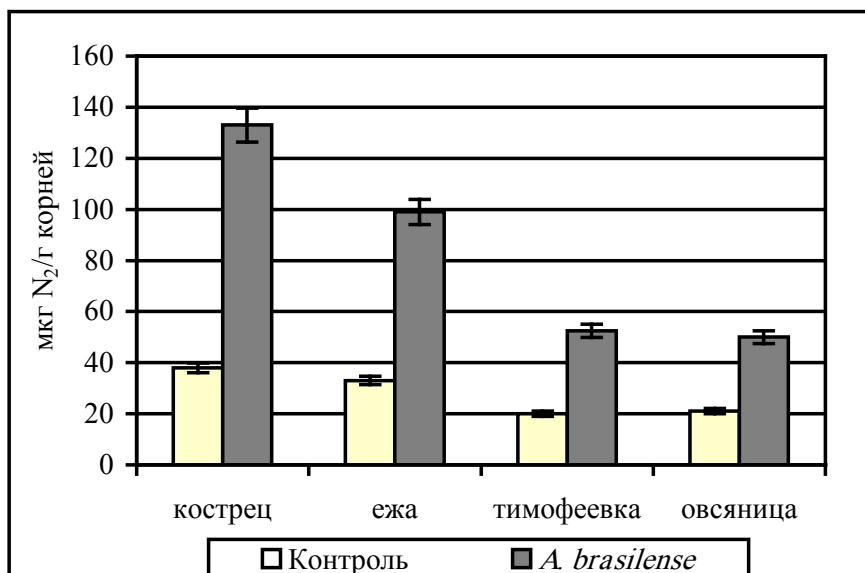


Рис. 2. Активность азотфиксации в ризоплане многолетних злаковых трав ($N_{30}P_{60}K_{90}$)

В микробной клетке процесс азотфиксации катализируется ферментным комплексом нитрогеназой и протекает по восстановительному типу, обеспечивая наличие восстановленных форм азота, среди которых преобладает аммонийная форма. Связывание аммония с кетоксикидлотами приводит к образованию аминокислот, которые поступают в корни и надземную часть растений и расходуются на синтез белка и других органических соединений.

В полевом эксперименте с четырьмя видами трав изучена способность *A. brasilense* B4485 оказывать влияние на синтез белка в растениях. Установлено, что применение Азобактерина приводило к достоверному повышению содержания сырого протеина в урожае многолетних трав. Наиболее значимое повышение содержания белка отмечено в урожае костреца безостого – с 10,2 до 13,6% и ежи сборной – с 10,7 до 12,9% (табл. 2). Эти данные согласуются с тем, что в ризоплане костреца и ежи отмечен более высокий уровень азотфиксации, как спонтанной, так и за счет бактеризации, что указывает на взаимосвязь азотфиксирующего потенциала с процессами синтеза белка у разных представителей многолетних злаковых трав.

Таким образом, достоверное повышение содержания сырого протеина в урожае свидетельствует о реальном улучшении азотного питания многолетних трав при использовании Азобактерина.

Положительное действие целого ряда ассоциативных diaзотрофов на качество урожая многолетних трав отмечается в исследованиях Российского НИИ сельскохозяйственной микробиологии. Установлено повышение содержания протеина в тимopheевке луговой, овсянице тростниковой, лисохвосте луговом, еже сборной, овсянице луговой и овсянице красной под действием *Arthrobacter*, *Aquaspirillum*, *Erwinia* и *Flavobacterium* [20, 21].

Влияние *A. brasilense* на показатели качества многолетних злаковых трав (в среднем за 3 года)

Содержание, % в сухом веществе	Тимофеевка луговая		Овсяница луговая		Кострец безостый		Ежа сборная		НСР ₀₅
	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	
Протеин	9,5	11,1	9,3	11,0	10,2	13,6	10,7	12,9	1,26
P ₂ O ₅	0,65	0,85	0,62	0,74	0,70	0,87	0,62	0,72	0,03
K ₂ O	1,98	2,23	2,19	2,46	2,26	2,85	2,49	3,00	0,08
CaO	0,62	0,62	0,64	0,70	0,74	0,77	0,74	0,71	0,03
MgO	0,22	0,25	0,31	0,35	0,35	0,25	0,34	0,38	0,02

При использовании Азобактерина отмечена тенденция повышения содержания фосфора в сухом веществе многолетних трав (табл. 2), что может быть связано со способностью штамма азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* В4485 к активному растворению ортофосфатов кальция. [12]. Более существенное влияние ассоциативные бактерии *Azospirillum brasilense* В4485 оказывали на содержание калия в растениях. Увеличение поступления калия в растения трав было сопряжено с улучшением азотного питания и повышением содержания азота и белка в результате внесения азотфиксирующих бактерий. При этом концентрация калия в урожае не превышала допустимых нормативов. Содержание кальция и магния в урожае многолетних трав практически не зависело от бактериализации (табл. 1).

При использовании Азобактерина отмечено снижение удельной активности всех испытуемых видов злаковых трав как по ¹³⁷Cs, так и по ⁹⁰Sr. Проявились также различия по способности к аккумуляции ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr разными видами злаковых трав.

Наиболее высокой удельной активностью по ¹³⁷Cs отличалась фитомасса костреца безостого (60 Бк/кг), далее в убывающем порядке – тимофеевки луговой (50 Бк/кг), ежи сборной (43,3 Бк/кг) и овсяницы луговой (36,7 Бк/кг) (табл. 3). Бактеризация *A. brasilense* В4485 обеспечивала снижение удельной активности всех видов испытуемых злаковых трав в 1,2–1,6 раза. Степень снижения перехода радионуклида ¹³⁷Cs из почвы в фитомассу коррелировала с величиной прибавки урожайности от инокуляции (рис. 1). Наибольший положительный эффект отмечен для костреца безостого, тимофеевки луговой и ежи сборной, меньший – для овсяницы луговой.

Полевой эксперимент по бактериализации четырех видов трав показал, что применение ассоциативных азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* В4485

2. Плодородие почв и применение удобрений

в сочетании с невысокой дозой азота (N_{30}) улучшает азотное питание, стимулирует рост и снижает аккумуляцию ^{137}Cs в растениях многолетних злаковых трав. Учитывая зависимость степени снижения перехода ^{137}Cs из почвы в фитомассу от величины урожайности и прибавки от бактеризации, наиболее вероятным механизмом действия *A. brasilense* В4485 является повышение продуктивности, обусловленное стимуляцией роста и улучшением азотного питания, и соответствующее разбавление радионуклида.

Многолетние злаковые травы различались также по способности к аккумуляции радионуклида ^{90}Sr . Наиболее высокой удельной активностью по ^{90}Sr отличалась сухая масса ежи сборной (37 Бк/кг), далее в убывающем порядке – костреца безостого (28 Бк/кг), тимофеевки луговой (20 Бк/кг) и овсяницы луговой (16 Бк/кг) (табл. 3). Бактеризация *A. brasilense* В4485 также обеспечивала снижение удельной активности четырех испытуемых видов злаковых трав. Однако было отмечено, что в среднем за счет бактеризации удельная активность всех видов трав снижалась примерно в 2 раза. Так как степень снижения перехода радионуклида ^{90}Sr из почвы в фитомассу практически не зависела от величины прибавки урожайности, эффект разбавления радионуклида в данном случае нельзя считать единственным действующим фактором, связанным с применением Азобактерина. Следует принять во внимание и другие возможные факторы влияния несимбиотических diaзотрофов. Тесно ассоциированные с корнями многолетних трав азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* В4485, очевидно, способны оказывать непосредственное влияние на переход ^{90}Sr из почвы в растения. Анализ литературных данных показывает, что наиболее вероятно сочетание эффекта разбавления с биосорбцией радионуклида. По результатам исследований российских ученых, оценивавших способность ряда симбиотических и несимбиотических diaзотрофов к иммобилизации радионуклидов и тяжелых металлов, наиболее активными в отношении иммобилизации радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr оказались ассоциативные азотфиксирующие бактерии рода *Azospirillum* [18, 19].

Таблица 3

Удельная активность сухой массы многолетних злаковых трав по ^{137}Cs и ^{90}Sr (в среднем за 4 года)

Показатели	Тимофеевка луговая		Овсяница луговая		Кострец безостый		Ежа сборная	
	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>
Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг (НСР ₀₅ 6,7)	50,0	35,0	36,7	30,0	60,0	41,7	43,3	26,7
Удельная активность ^{90}Sr , Бк/кг (НСР ₀₅ 3,8)	20,0	9,0	16,0	9,0	28,0	15,0	37,0	20,0

Таким образом, при равных условиях минерального питания величина эффекта от Азобактерина и уровень аккумуляции радионуклидов в кормах зависит от генотипических особенностей трав, определяющих функционирование и активность азотфиксирующей ассоциации и соответствующее влияние на урожайность.

Эффективность Азобактерина на еже сборной при разных уровнях азотного питания. Многолетние исследования с азоспириллами, проведенные в разных климатических зонах, показали, что наибольшая эффективность бактеризации отмечается при умеренных уровнях минерального азотного питания, от 30 до 60 кг/га в зависимости от возделываемой злаковой культуры и экологических условий [7–10].

В полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве изучена эффективность применения Азобактерина в зависимости от уровня минерального азотного питания. За счет предпосевной бактеризации семян урожайность сухой массы ежи на фоне РК-удобрений увеличивалась в среднем на 6,5 ц/га (17%), на фоне N_{30} РК – на 13,4 ц/га (16%), на фоне N_{60} РК – на 14 ц/га (19%) при урожайности без бактеризации 36,4, 72,0 и 91,2 ц/га соответственно (рис. 3).

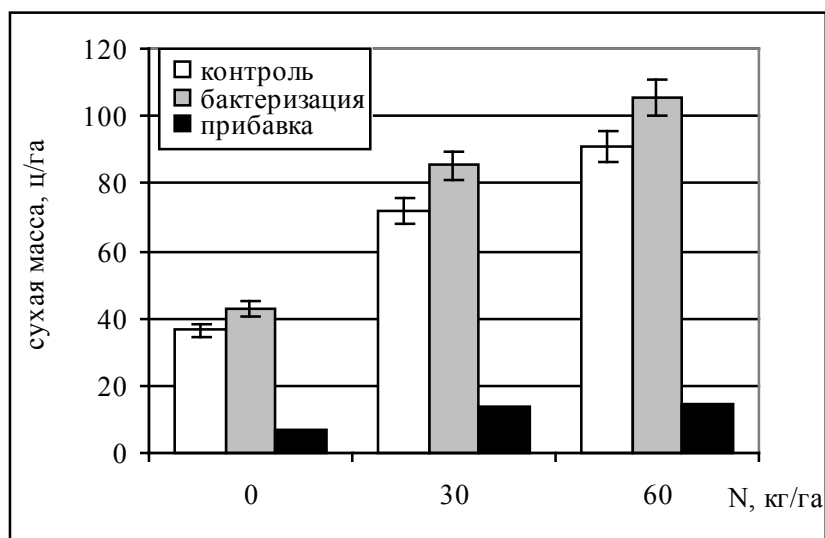


Рис. 3. Эффективность бактеризации семян ежи сборной Азобактерином в зависимости от уровня минерального азотного питания

Активность азотфиксации в ризоплане ежи сборной также существенно зависела от дозы азотного удобрения. При внесении Азобактерина нитрогеназная активность в ризоплане ежи на фоне РК-удобрений повышалась в 1,7 раза, на фоне N_{30} РК – в 3,4 раза, на фоне N_{60} РК – в 3,8 раза (табл. 4). По величине урожайности и активности азотфиксации в ризоплане можно считать, что на дерново-подзолистой супесчаной почве на моренном суглинке оптимальная доза минерального азота для ежи сборной – на уровне N_{60} . Это подтверждают и результаты определения содержания протеина в сухой массе ежи сборной.

2. Плодородие почв и применение удобрений

В среднем за три года лучшие показатели по содержанию протеина в сухом веществе ежи сборной получены на варианте N₆₀PK + Азобактерин (14,6%), на варианте PK + Азобактерин содержание протеина в урожае составило 13%, на варианте N₃₀PK + Азобактерин – 13,4% (табл. 4).

Таблица 4

Влияние Азобактерина на азотфиксацию в ризоплане и содержание протеина в еже сборной при разных уровнях азотного питания

Показатель	PK		N ₃₀ PK		N ₆₀ PK	
	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>	контр.	<i>A. bras.</i>
N ₂ фиксация, мкг/г корней (НСР ₀₅ 22,7)	45	77	76	260	88	334
Протеин, % (сух. в-во) (НСР ₀₅ 1,8)	8,6	13,0	10,2	13,4	11,6	14,6

Применение бактериального удобрения, содержащего азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* В4485, обеспечивало снижение удельной активности сухой массы ежи сборной при разных уровнях азотного питания (рис. 4).

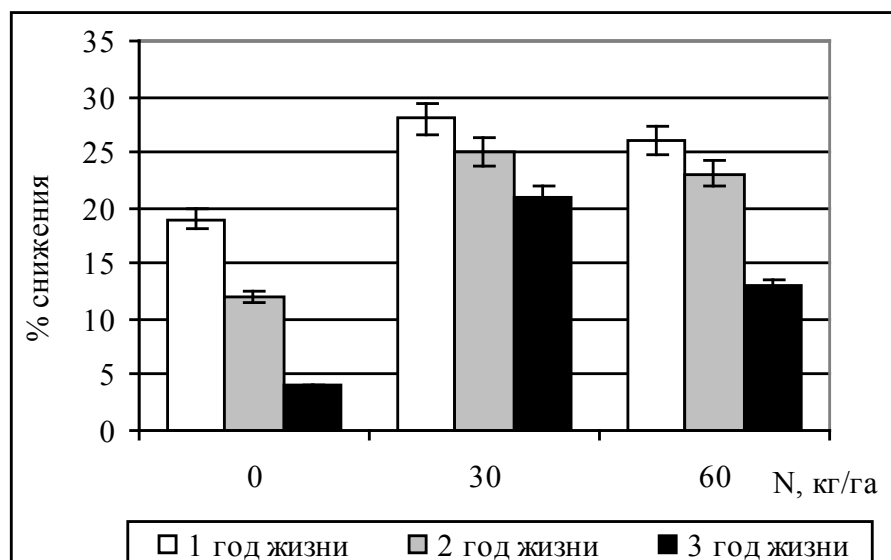


Рис. 4. Влияние возраста ежи сборной на уровень снижения содержания ¹³⁷Cs в сухой массе при использовании Азобактерина

Степень снижения концентрации ^{137}Cs в сухой массе коррелировала с величиной урожайности и прибавкой от бактеризации, указывая на эффект разбавления радионуклида. Наибольший уровень снижения аккумуляции ^{137}Cs под действием предпосевной инокуляции семян Азобактерином отмечали, как правило, в первый год жизни травостоя. С увеличением возраста травостоя эффективность бактеризации снижалась. В первый год жизни травостоя снижение удельной активности ^{137}Cs в сухой массе составляло на фонах РК, N_{30}PK и N_{60}PK – 19, 28 и 26%, во второй год – 12, 25 и 25%, в третий год – 4, 21 и 13% соответственно. В течение трех лет жизни травостоя лучшие показатели снижения удельной активности ежи сборной отмечены на варианте N_{30}PK + Азобактерин.

Одной из причин снижения эффективности бактериального удобрения по мере увеличения возраста травостоя, очевидно, является естественное уменьшение численности ассоциативных бактерий в корневой зоне. В течение четырех лет жизни ежи сборной изучали популяционную динамику интродуцированных бактерий в условиях конкуренции с резидентными микроорганизмами. Наиболее высокая численность бактерий в ризоплане ежи сборной отмечена в первый и второй годы жизни – 9200 и 830 тыс. КОЕ/г корней, на третий и четвертый годы жизни травостоя плотность популяции постепенно снижалась до 25 и 4,2 тыс. КОЕ/г корней.

ВЫВОДЫ

Применение Азобактерина в одновидовых посевах многолетних злаковых трав на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой супесчаной почве при равных условиях минерального питания повышало урожайность и снижало содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в сухой массе трав за счет эффекта разбавления. Наибольший эффект от инокуляции получен на костреце безостом и еже сборной – при средней урожайности 62 и 56 ц/га прибавки от Азобактерина составили 10 и 9 ц/га сухой массы; урожайность и прибавки от бактеризации тимофеевки луговой и овсяницы луговой были ниже и составили 48 и 40 ц/га, 7 и 5 ц/га сухой массы соответственно.

Основные факторы повышения урожайности трав и снижения содержания радионуклидов в кормах при использовании Азобактерина – улучшение минерального питания, обусловленное гормональным действием *A. brasilense* B4485, которое выражалось в увеличении объема корней на 30%, их сырой массы – на 54% и массы надземной части растений – на 25%, а также повышение эффективности ассоциативной азотфиксации (в ризоплане костреца – в 3,5 раза, ежи – в 3 раза, тимофеевки – в 2,6 раза, овсяницы – в 2,4 раза). Реальный вклад азотфиксации в азотное питание подтверждается соответствующим повышением содержания белка в урожае трав: костреца – с 10,2 до 13,6%, ежи – с 10,7 до 12,9%, тимофеевки – с 9,5 до 11,1%, овсяницы – с 9,3 до 11%.

Генотипические особенности трав обусловили различия по реакции на инокуляцию Азобактерином – по активности азотфиксации в ризоплане, по величине урожайности, а также различия по аккумуляции радионуклидов в урожае. Наиболее высокая удельная активность ^{137}Cs отмечена в фитомассе костреца безостого (60 Бк/кг), далее в убывающем порядке – тимофеевки луговой (50 Бк/кг), ежи сборной (43,3 Бк/кг) и овсяницы луговой (36,7 Бк/кг). Применение

2. Плодородие почв и применение удобрений

Азобактерина обеспечивало снижение удельной активности ^{137}Cs в 1,2–1,6 раза, степень снижения коррелировала с величиной прибавки урожайности от инокуляции, наибольший положительный эффект отмечен для костреца безостого, тимфеевки луговой и ежи сборной.

Установлены различия по аккумуляции радионуклида ^{90}Sr в урожае трав, наиболее высокой удельной активностью ^{90}Sr отличалась сухая масса ежи сборной (37 Бк/кг), далее в убывающем порядке – костреца безостого (28 Бк/кг), тимфеевки луговой (20 Бк/кг) и овсяницы луговой (16 Бк/кг). Внесение Азобактерина обеспечивало двукратное снижение аккумуляции ^{90}Sr в урожае трав независимо от прибавки от инокуляции, указывая, что в отношении ^{90}Sr эффект разбавления не является единственным действующим фактором, связанным с применением *A. brasilense* B4485.

В полевом опыте с ежой сборной на дерново-подзолистой супесчаной почве установлена эффективность Азобактерина при разных уровнях минерального азотного питания (0, 30, 60 кг/га). По показателям урожайности сухой массы (105,6 ц/га), прибавки от бактериализации (14,4 ц/га), повышению активности азотфиксации в ризоплане (в 3,8 раза) и содержания протеина в продукции (14,6%) оптимальная доза минерального азота – N_{60} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдевич, И.М. Итоги и перспективы агрохимических защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси / И.М. Богдевич // Весці ААН РБ. – 2011. – № 4. – С. 27–39.
2. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2003. – 71 с.
3. Алексахин, Р.М. Поведение цезия 137 в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р.М. Алексахин, М.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–128.
4. Богдевич, И.М. Эффективность и перспективы защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г.: в 2 ч. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 26–28.
5. Размеры накопления цезия 137 и стронция 90 видами и сортами сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.] // Весці ААН РБ. – 2001. – № 2. – С. 40–45.
6. Штамм ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* B4485 для обработки семян зерновых культур и многолетних злаковых трав: пат. 4632 Респ. Беларусь / В.Н. Нестеренко, Л.А. Карягина, Т.Б. Барашенко, Н.А. Михайловская, Н.А. Курилович, Г.В. Мороз; заявитель Ин-т почвоведения и агрохимии. – № 970432; заявл. 05.08.97 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2002. – № 3. – С. 90.
7. 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.

8. Recent advances in BNF with nonlegume plants / J.I. Baldani [et al.] // Soil. Biol. Biochem. – 1997. – Vol. 29. – P. 911–922.
9. Kennedy, I.R. Biological nitrogen fixation in nonleguminous field crops: recent advances / I.R. Kennedy, Y. Tchan // Plant Soil. – 1992. – Vol. 141. – P. 93–118.
10. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum* / S. Dobbelaere [et al.] // Australian J. of Plant Physiology. – 2001. – Vol. 28. – P. 871–879.
11. Михайловская, Н.А. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская, О. Миканова, Т.Б. Барашенко, Т.В. Барашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
12. Способ повышения продуктивности многолетних трав: пат. 8239 Респ. Беларусь / Н.А. Михайловская, Н.Н. Курилович, Л.Н. Лученок, Л.А. Юрко, С.В. Дюсова; заявитель Ин-т почвоведения и агрохимии. – № а 20010740; заявл. 28.08.01; 20.04.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 3(50). – С. 82.
13. Михайловская, Н.А. Влияние способа применения Азобактерина на продуктивность многолетних злаковых трав на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.А. Михайловская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2(37). – С. 136–143.
14. Эффективность бактеризации разных видов многолетних злаковых трав *Azospirillum brasilense* / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 202–207.
15. Эффективность бактеризации ежи сборной *Azospirillum brasilense* В4485 на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений: сб. науч. тр. – Минск, 2004. – Вып. 28. – С. 217–222.
16. МИ 214391 «Государственная система обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре». – 28.12.1990 г. – Минск, 1990.
17. Методические указания по определению содержания ⁹⁰Sr в почвах и растениях / В.А. Кузнецов [и др.]. – М.: ЦИНАО. – 64 с.
18. Belimov, A.A. Tolerance to and immobilization of heavy metals and radionuclides by nitrogen fixing bacteria / A.A. Belimov, A.M. Kunakova, V.F. Dritchko // Nitrogen Fixation: Fundamentals and application Proceedings of the 10th International Congress on Nitrogen Fixation, St. Petersburg, Russia, May, 28 – June, 3, 1995. – P. 163.
19. Effect of inoculation with nitrogen fixing bacteria on heavy metals and radionuclides uptake by the plants grown in contaminated soils / A.P. Kozhemyakov [et al.] // Nitrogen Fixation: Fundamentals and application Proceedings of the Nitrogen Fixation, St. Petersburg, Russia, May, 28 – June, 3, 1995. – P. 765.
20. Влияние минерального питания на эффективность бактеризации овсяницы луговой *Azospirillum brasilense* В4485 / Н.А. Михайловская [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – № 6. – С. 15–17.
21. Способ снижения аккумуляции радионуклидов в многолетних злаковых травах: пат. 11943 Респ. Беларусь / Н.А. Михайловская, И.М. Богдевич, П.И. Шкуринов; заявитель Ин-т почвоведения и агрохимии. – № а 20080035; заявл. 10.01.08; опубл. 24.02.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 3(68). – С. 169.

2. Плодородие почв и применение удобрений

22. Kapulnik, Y. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation / Y. Kapulnik, Y. Okon, Y. Henis // Can. J. Microbiol. – 1985. – Vol. 31. – P. 881–887.

23. Нестеренко, В.Н. Использование ассоциативных микроорганизмов для повышения урожая ячменя и многолетних злаковых трав: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В.Н. Нестеренко; БелНИИПА. – Минск, 1994. – 16 с.

24. Алешин, Е.П. Физиология растений / Е.П. Алешин, А.А. Пономарев. – М., 1985. – С. 153.

EFFECT OF BIOFERTILIZER AZOBACTERIN ON YIELD, QUALITY AND ACCUMULATION OF ^{137}Cs и ^{90}Sr RADIONUCLIDES IN PERENNIAL GRASSES

N.A. Mikhailovskaya, T.B. Barashenko, S.V. Dyusova, P.T. Pikun, G.V. Zhila

Summary

It was shown in the field experiments that the application of biofertilizer Azobacterin (*A. brasilense* B4485) on contaminated Luvisol loamy sand soils resulted in the increase of perennial grasses yield and reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation in dry mass of grasses. Main factors of positive Azobacterin influence on perennial grass quality were discussed.

Поступила 22.04.14

УДК 631.81.095.337:633.432

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ И ОРОШЕНИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ ПРИ РАННИХ И ПОЗДНИХ СРОКАХ УБОРКИ

Г.В. Пироговская¹, Д.Г. Мысливец¹, И.М. Почицкая²

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Нарастание экологической нагрузки на человека требует особого питания, а овощи выступают как важнейшие поставщики витаминов, пектиновых веществ и активной клетчатки, минеральных элементов щелочного характера, органических