

Обосновано взаимодействие растений и микроорганизмов в целях регулирования продукционного процесса. Приведены данные по влиянию биопрепаратов на сельскохозяйственные растения. Показано, что биопрепараты положительно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, улучшают качество получаемого урожая, увеличивают вынос урожаем элементов питания, что сказывается на повышении окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая.

Ключевые слова: взаимодействие растений и микроорганизмов, биопрепараты, удобрения, урожайность, использование элементов питания, окупаемость удобрений.

Широта распространения симбиозов и универсальность кооперативных отношений партнеров определяется тем, что к длительному автономному существованию в абиотической среде способны лишь немногие низшие организмы, например цианобактерии. Высшие эукариоты, утратив в ходе прогрессивной морфологической эволюции многие биохимические функции, уже не могут обходиться без объединения с другими организмами [4]. Использование методов генетики открыло новую страницу в изучении симбиоза как фундаментального биологического явления с особым проявлением законов изменчивости и наследственности. Выяснение структурно-функциональной организации генетических систем, контролирующей развитие растительно-микробных симбиозов, позволило: 1 – подтвердить справедливость и наполнить конкретным содержанием концепцию симбиоза как важнейшей адаптивной стратегии организмов, осуществляемой посредством кардинальных изменений их фенотипов и необходимых для этого реорганизаций наследственного материала; 2 – показать роль симбиоза как одного из ключевых факторов органической эволюции, связанной с объединением независимо возникших генных систем партнеров (интегративная эволюция); 3 – создать методологию направленной регуляции симбиотических отношений, которая основана на генетическом конструировании и биоинженерии новых надорганизменных комплексов.

Развитие симбиологии и симбиогенетики как биологических дисциплин XXI в. представляет не только ярко выраженный академический, но и практический интерес, так как дает методологию для принципиального повышения эффективности, качества и экологической безопасности сельскохозяйственного производства, основанного на широком применении симбиотических отношений между компонентами агроценозов.

Изучение растительно-микробных взаимодействий позволяет предложить целостную стратегию экологически устойчивого растениеводства, основанную на использовании микробных препаратов [2, 3], что служит дополнительным источником снабжения растений элементами питания [1]. Реализация этой стратегии уже не может быть сведена к поиску новых микроорга-

низмов и к совершенствованию технологий инокуляции: она требует существенной перестройки генных комплексов, формируемых партнерами, которая может обеспечить не только улучшение уже существующих, но и создание принципиально новых симбиотических союзов. Поскольку в природных условиях растения образуют многокомпонентные симбиозы, в которых участвуют микоризные грибы, ризобактерии, а в случае бобовых – и ризобии, важное значение в генетическом улучшении таких симбиозов может сыграть использование в селекции универсальных факторов, обеспечивающих регуляцию растением разных типов симбиотических сообществ.

К основным механизмам полезного действия микроорганизмов на растения относятся: фиксация атмосферного азота (улучшение азотного питания); оптимизация фосфорного питания растений; стимуляция роста и развития растений (более быстрое развитие растений и созревание урожая); подавление развития фитопатогенов (контроль за развитием болезней и снижение пораженности ими растений, улучшение хранения продукции); улучшение питания растений (повышение коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы); повышение устойчивости растений к стрессовым условиям (возможность повышения продуктивности растений на фоне водного дефицита, неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы).

Активизация микробно-растительного взаимодействия – мощный фактор продуктивного функционирования агрофитоценоза, используемый сегодня крайне неудовлетворительно. Накопленные знания о механизмах взаимодействия микробов и растений позволяют ставить вопрос о направленном конструировании фитомикробных систем и оптимизации их адапционных свойств с целью обеспечения воспроизводства почвенного плодородия, высокой продуктивности растений, их устойчивости к неблагоприятным факторам и стрессам при минимальных ресурсах и энергозатратах.

За последнее время в практику введены многие виды ризосферной микрофлоры и на базе этих видов созданы десятки микробных препаратов, положительное действие которых носит универсальный характер в отношении различных групп сельскохозяйственных культур. Применение препаратов тем более актуально, что за многие годы интенсификации сельского хозяйства в почвах отмечена тенденция исчезновения полезных групп микроорганизмов и повышения численности и разнообразия вредных видов, что вызывает резкое и часто необратимое снижение почвенного плодородия. Микробные препараты позволяют направленно регулировать состав и численность микробного комплекса на корнях в соответствии с потребностями и возможностями растений. Реализация потенциальных

возможностей растительно-микробного взаимодействия возможна только при определенной агротехнике. Так, некоторые пестициды по своей химической структуре являются имитаторами биологически активных соединений, выделяемых растениями для подавления процесса образования клубеньков. При использовании данных пестицидов симбиоз невозможен даже при наличии активных штаммов и соответствующих растений. Во многом слабая эффективность взаимодействия объясняется также особенностями сортов интенсивного типа, которые часто генетически не способны к продуктивным отношениям с полезными микроорганизмами, растения потеряли способность конкурировать за почвенную микрофлору и расселять ее на своих корнях. Арбускулярная микориза (АМ) – это наиболее распространенный и наиболее древний симбиоз высших растений и грибов типа *Glomeromycota*. АМ способствует адаптации растений к низкому уровню содержания фосфора в почве, доступного для питания растений, увеличивает поступление элементов минерального питания (особенно фосфора) в растения и повышает продуктивность надземной фитомассы и корней, а также иммунитет растений к патогенной корневой инфекции. В этой связи производство биопрепаратов на основе микоризных грибов – практически значимо для растениеводства.

Механизмы положительного влияния микроорганизмов на растения можно условно разделить на три типа: прямая стимуляция роста растений за счет синтеза различных метаболитов, полезных для растений; опосредованная стимуляция роста растений за счет вытеснения и подавления развития почвенных фитопатогенных микроорганизмов, угнетающих рост растений; фиксация атмосферного азота, доступного растениям после отмирания бактерий и минерализации их клеток. Бактерии способны контролировать развитие фитопатогенов в ризосфере растений за счет конкуренции за источники углерода и энергии и продуцирования различных антифунгицидных метаболитов или гидролитических ферментов, разрушающих клеточные стенки грибов.

В полевых опытах при инокуляции семян ризоагрином и флавобактерином выявлены снижение развития корневых гнилей у озимой пшеницы при различных погодных условиях вегетационного периода на 14-45%, возрастание действия биопрепаратов при бинарной инокуляции семян. На озимой тритикале биопрепараты снижали в 1,2-1,3 раза развитие и в 1,3-1,7 раз пространенность корневых гнилей, при этом более эффективной была бинарная инокуляция семян ризоагрином и флавобактерином. Пораженность растений озимой ржи корневыми гнилями при применении биопрепаратов снижалась в 1,5 раза. Эти биопрепараты, как при отдельной, так и бинарной инокуляции семян повышали перезимовку озимых культур.

Биопрепараты положительно влияют на всхожесть семян и образование корней, снижают развитие корневых гнилей, улучшают нарастание биомассы растений по фазам вегетации, при этом характер их действия определяется видом используемого препарата, а также штаммом микроорганизмов и сортовыми особенностями растений.

В полевых опытах с озимой пшеницей, озимой рожью, озимой тритикале, яровой пшеницей, ячменем, овсом, кукурузой на зерно и на силос, картофелем на различных типах почв во многих регионах России установлено, что при инокуляции семенного материала биопрепаратами ризосферных диазотрофов не изме-

нялась концентрация азота, фосфора и калия в растениях в начальные фазы вегетации. Действие биопрепаратов на содержание этих элементов в органах растений проявляется в более поздние фазы – трубкования и колошения зерновых. Растения потребляли больше элементов питания, что создавало предпосылки для формирования более высокого урожая основной и побочной продукции, по сравнению с вариантом без инокуляции семян. Инокуляция семян кукурузы, озимой пшеницы флавобактерином или препаратами на основе псевдомонад повышала концентрацию в растениях фосфора и калия, что сказывалось на энергетическом обмене растений, повышении устойчивости их к болезням и неблагоприятным факторам среды – в условиях пониженных температур воздуха возрастала всхожесть семян ячменя.

Действие биопрепаратов и минеральных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур определяется погодными условиями вегетационного периода и уровнем плодородия почвы. При недостатке атмосферных осадков в период вегетации урожайность от инокуляции и азотных удобрений не увеличивается. При количестве осадков, близком к среднегодовой норме, применение ассоциативных биопрепаратов эквивалентно внесению азотного удобрения под озимые пшеницу, рожь, тритикале, ячмень и овес в дозе 30 кг/га, яровую пшеницу – 30-45, под кукурузу – 45-60 и – 40-45 кг/га под картофель. Максимальные прибавки урожая зерна ячменя от биопрепаратов без внесения азотного удобрения получены на среднеплодородной светло-серой лесной почве. Высоко эффективны биопрепараты при выращивании кукурузы на Предкавказском черноземе, где урожайность зерна возрастала с 39 до 66-68 ц/га.

При использовании биопрепаратов на деградированных горных кормовых угодьях Северного Кавказа увеличивалась продуктивность естественного травостоя с 182 до 323 ц/га зеленой массы, повышалась доля бобового компонента с 6 до 27% и с 46 до 57% ценных злаков. При применении препаратов клубеньковых и ассоциативных микроорганизмов увеличивалось содержание сырого белка в урожае с 7,4 до 9,1%.

Впервые проведена оценка использования биопрепаратов в зернотравяных севооборотах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Выявлено, что продуктивность севооборотов за счет минеральных удобрений возрастала с 25-32 до 33-42 ц к.ед/га, при инокуляции семян она достигала 38-48 ц к.ед/га. Инокуляция семян многолетних трав, озимой ржи и овса соответствующими биопрепаратами повысила окупаемость фосфорно-калийных удобрений в севообороте с клевером и клеверо-тимофеечной смесью в 2 раза, в севообороте с тимофеевкой в 1,7 раза. При дополнительном внесении азотного удобрения на РК-фоне окупаемость полного минерального удобрения возросла в севообороте с клевером в 4,2 раза, с тимофеевкой в 6 раз и в севообороте с бобово-злаковыми травами в 5,2 раза, достигнув 13-14 кг к.ед/кг удобрений (табл.2).

Применение в севооборотах препаратов способствует дополнительному накоплению в урожае основных элементов питания из удобрений и повышению коэффициента их использования в 1,5-2 раза. При инокуляции семян биопрепаратами повышается накопление биологического азота в урожае в 2,3-6,5 раз, снижается отрицательный баланс азота, обеспечивается поступление в почву пожнивных-корневых остатков, в результате минерализации которых в пахотном слое накапливается 1,2-1,4 т/га гумуса.

1.

			N	NPK +	/
-	-	-	12,0		19,8
-	-	-	20,0		37,7 33,0
-	-	-	16,3	Pseudomonas	20,3 27,0
-	-	-	2,3		20,3 21,3
-	-	-	15,3		22,0 22,7
-	-	-	13,0		29,7 25,7
-	-	-	14,0		23,7 23,3
-	-	-	8,0		10,7
-	-	-	18,0		22,3 24,0 20,3
-	-	-	3,6		13,3 13,0
-	-	-	6,7		15,3 16,0
-	-	-	11,1		14,2
-	-	-	8,7		18,7 19,7
-	-	-	9,3		20,3 21,0
-	-	-	36,3		43,3
-	-	-	18,1		34,5 41,1
-	-	-	60,0		220,0

2.

	NPK	N	NPK	N	NPK	N
	2,6/5,2	-	1,4/2,8	-	1,8/3,2	-
	6,8/9,5	-	4,6/6,0	-	4,2/6,8	-
	11,0/13,3	44,0/46,1	8,5/9,8	37,2/43,3	9,4/10,7	40,0/46,6
	15,3/17,9	66,0/78,8	12,0/13,1	54,4/60,0	13,3/14,8	59,9/66,7

Применение в севооборотах препаратов способствует дополнительному накоплению в урожае основных элементов питания из удобрений и повышению коэффициента их использования в 1,5-2 раза. При инокуляции семян биопрепаратами повышается накопление биологического азота в урожае в 2,3-6,5 раз, снижается отрицательный баланс азота, обеспечивается поступление в почву пожнивно-корневых остатков, в результате минерализации которых в пахотном слое накапливается 1,2-1,4 т/га гумуса.

С использованием стабильного изотопа ^{15}N установлена доля биологического азота в формировании урожая при применении биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов. На среднекультуренной серой лесной почве в урожае ячменя доля биологического азота максимальна. На низкоплодородной почве азотфиксация снижается из-за недостатка субстрата для diaзотрофов. На высокоплодородной почве органического ве-

щества достаточно для функционирования азотфиксирующей системы, кроме того, потребность растений в азоте удовлетворяется за счет текущей минерализации. Роль органического вещества почвы в функционировании азотфиксирующей системы подтверждается внесением органических субстратов (солома, навоз) в слабокультуренную дерново-подзолистую почву, на фоне которых ризоагрии достоверно повышал урожай зерна яровой пшеницы и увеличивал долю биологического азота в его формировании. На низко- и высокоплодородных почвах diaзотрофы увеличивают использование растениями азота из удобрения. Они снижают неучтенные потери ^{15}N на почвах со средним и высоким содержанием гумуса и увеличивают его закрепление в почве, а на низкоплодородной почве инокулянты снижают закрепление азота в почве и повышают неучтенные потери. Не выявлено усиления минерализации азота свежевношенного органического вещества при

инокуляции семян яровой пшеницы ризоагрином, однако при применении азотного удобрения имеется тенденция к повышению усвоения его инокулированными растениями.

Выявлено также влияние биопрепаратов на распределение потребленного азота в основной и побочной продукции растений. Ризоагрин на слабо- и высокоплодородной почвах повышал долю азота удобрения в зерне от общего его накопления в растениях ячменя и снижал – в соломе и в корнях. На среднеплодородной почве, наоборот, доля азота удобрения возрастала в соломе и снижалась в зерне. Флавобактерин уменьшал долю азота удобрения в зерне независимо от окультуренности почвы и повышал ее в соломе на средне- и высокоокультуренной и в корнях – на низкоплодородной. Выявлены также сортовые особенности использования растениями азота. Например, сорт ячменя Риск формирует урожай на 51-70% за счет азота почвы, сорт Добрый – на 54-82%. Доля азота удобрений, независимо от сорта, была 6-8%. Без внесения азотного удобрения доля биологического азота составляла 30-49% у сорта Риск и 14-24% у сорта Добрый. На формирование урожая растения использовали больше биологического азота при инокуляции ризоагрином и меньше – биоплантом. При внесении азотного удобрения и применении биопрепаратов в урожае накапливалось 35% «экстра азота» у сорта Риск и 24% у сорта Добрый. Максимальная доля биологического азота, установленная разностным методом с использованием ^{15}N , получена по ризоагрину на сорте Риск (8%) и по флавобактерину на сорте Добрый (17%). Вместе с тем, не выявлено различий в использовании сортами ячменя азота удобрения (39-43%), ризоагрин и флавобактерин увеличивали использование азота на 7-8% у сорта Риск и не изменяли его у сорта Добрый, а биоплант снижал его использование у сорта Добрый.

При инокуляции семян кукурузы ассоциативными диазотрофами увеличивалось в 1,6-2,2 раза использование растениями азота удобрений. Основная роль в формировании урожайности зеленой массы кукурузы на светло-серой лесной почве на фоне РК принадлежит азоту – 79-86% и 62-67% при внесении азотного удобрения. Без внесения N – удобрения биологический азот в урожае кукурузы составляет 14-21%, а при внесении N – удобрения его содержание снижается до 8-13%.

Перспективное направление в растениеводстве – выращивание в смешанном посеве зернобобовых и злаковых культур. При применении биопрепаратов зерно пшеницы, соответствующее по содержанию сырой клейковины (32-36%) первому классу качества, формируется при выращивании ее в смешанном посеве с горохом (при 1/2 нормах высева в чистом виде), высшего класса (более 36% клейковины) – только в благоприятные по увлажнению годы. При этом доза азотного удобрения может быть снижена (с N_{60} до N_{30}) по сравнению с монопосевом пшеницы, поскольку злаковая культура использует биологический азота, фиксируемый клубеньковыми бактериями на корнях гороха.

Дополнительный источник улучшения фосфорного питания растений – использование арбускулярной микоризы. Впервые оценено действие эндомикоризного гриба (AM) *Glomus intraradices* на растения на дерново-подзолистых почвах. В Верхневолжье инокуляция семян вики посевной яровой увеличивала площадь листьев без внесения и при использовании РК-удобрений на слабоокультуренной почве, на среднеокультуренной почве эффективность гриба AM прояв-

лялась только в варианте без внесения РК-удобрений. Использование AM положительно влияло на фотосинтетический потенциал, который достоверно возрастал у растений, выращиваемых на слабоокультуренной почве, во все фазы вегетации. На среднеокультуренной почве эффект от AM наблюдали в бутонизацию и плодобразование в варианте без внесения фосфорных удобрений.

Рост урожая вики посевной от инокуляции семян AM на среднеокультуренной почве соответствовал внесению $\text{P}_{45}\text{K}_{60}$, а на слабоокультуренной почве прибавки от AM превышали прибавки от удобрения. На среднеокультуренной почве с повышенным содержанием P_2O_5 и средним K_2O инокуляция семян не увеличивала биомассу вики при внесении РК-удобрений, тогда как на слабоокультуренной почве получен ее достоверный рост при внесении $\text{P}_{45}\text{K}_{60}$ и $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$.

В Вологодской области в одновидовых и смешанных посевах ячменя и гороха флавобактерин увеличивал урожайность зерна и зеленой массы ячменя как без внесения, так и при внесении минеральных удобрений. Использование гриба арбускулярной микоризы обеспечивало прибавку урожайности одновидового посева гороха. В смешанном посеве ячменя и гороха урожайность зеленой массы и зерна возрастала при инокуляции семян азотфиксирующими и фосфатмобилизующими препаратами, достигая максимальных значений при внесении минеральных удобрений. В смешанном посеве с горохом для ячменя создаются благоприятные условия азотного питания растений, позволяющие без внесения азотного удобрения накапливать в зерне такое же количество сырого белка, как при внесении N_{30} . При применении ассоциативного, симбиотического и микоризного биопрепаратов повышается использование растениями элементов минерального питания из удобрений, увеличивается их окупаемость прибавкой урожая зерна. Полученные результаты служат основанием для использования гриба арбускулярной микоризы в качестве эффективного штамма для создания нового биопрепарата.

Создан биопрепарат на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13, который может быть использован для нанесения на гранулы минеральных удобрений. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве внесение под яровую пшеницу аммиачной селитры в дозе 45 кг/га, на гранулы которой нанесен этот биопрепарат, достоверно увеличивало урожайность зерна. При этом действие биопрепарата лучше проявлялось при дефиците или, наоборот, избытке атмосферных осадков. В результате внесения обработанной биопрепаратом аммиачной селитры в 1,2-1,5 раза повышались коэффициент использования растениями азота из удобрения, в 1,1-1,4 раза оплата 1 кг азота удобрения прибавкой урожая зерна и накопление фосфора и калия в урожае яровой пшеницы.

Итак, биопрепараты положительно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, улучшают качество получаемого урожая, увеличивают вынос урожая элементов питания, что сказывается на повышении окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая (табл. 1, 2). Биопрепараты (ризоторфин, экстрасол, фармат, бисолби-микс, и др.), созданные на основе новых и ранее выделенных штаммов микроорганизмов, производят на биофабриках Российской Федерации и применяют для инокуляции семян бобовых и небобовых культур на площади 1,5 млн га, обеспечивая дополнительно вовлечение в агроценозы до 100 тыс. т биологического азота.

Литература

1. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. – М.: ВНИИА, 2005. – 302 с.
2. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Эколого-генетические принципы селекции растений на повышение эффективности взаимодействия с микроорганизмами // С.-х. биология. – 2003. – № 3. – С. 11-25.

3. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Кооперация растений и микроорганизмов: новые подходы к конструированию экологически устойчивых агросистем // Успехи современной биологии. -2007. -Т. 127. -№ 4. – С. 339-357.
4. Douglas A.E. Symbiotic Interactions. Oxford; New York; Toronto: Oxford Univ. Press. – 1994. – 148 с.

THE USE OF BIOPREPARATION – AN ADDITIONAL SOURCE OF POWER PLANTS

Tikhonovich I.A.¹, Zavalin A.A.², Blagoveschenskaya G.G.²,

Kozhemyakov A.P.¹,

All Russia Research Institute for Agricultural Microbiology

All Russia Research Institute of Agrochemistry named by D.N.Pryanishnikov

E-mail bioazot@mail.ru

Based on the interaction between plants and microorganisms in order to re-regulation of productive process. Presents data on the bio-preparation effect for agricultural plants. It is shown that bio-preparation have positive influence on productivity of agricultural crops, improve the quality of the harvest, increase the removal of crop elements of the power supply, which affects the increase of cost of mineral fertilizers an increase of the crop.
