

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИЗОАГРИНА НА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕ

А.А. Алферов, к.с.-х.н., Л.С. Чернова, к.с.-х.н., Н.Я. Шмырева, к.б.н., А.А. Завалин, акад. РАН, ВНИИ

Представлены результаты исследований по изучению влияния биопрепарата ризоагрин на урожайность зерна яровой пшеницы на разных фонах минерального питания. Установлено, что инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратом обеспечивает прибавку урожайности зерна 19,5 %, а азотное удобрение в дозе N_{45} – 29,5%. В структуре выноса азота с урожаем доля ассоциативного азота, фиксированного ризосферными diaзотрофами, на фоне РК достигает 20%. Метод изотопной индикации с применением стабильного изотопа азота ^{15}N позволил установить, что коэффициент использования азота из аммиачной селитры равен 45%, а при совместном применении азотного удобрения и ризоагрина – возрастает до 56%. Количество «экстра»-азота составило 13% от «нетто-минерализации». При инокуляции семян биопрепаратом увеличивался вынос азота: на 25% на фоне РК и на 18% в варианте с НРК. На дерново-подзолистой почве с невысоким содержанием органического вещества иммобилизовалось 32% от азота, внесенного с минеральными удобрениями. Эффективность применения ризоагрина увеличивалась на фоне внесения азота в дозе N_{45} . При инокуляции семян яровой пшеницы препаратом ассоциативных diaзотрофов и применении азотного удобрения дефицит баланса азота сократился на 9% по сравнению с РК.

Ключевые слова: ризоагрин, урожайность зерна, яровая пшеница, минеральные удобрения, вынос азота урожаем, «экстра»-азот, иммобилизация, «нетто-минерализация» азота, баланс азота.

Научно обоснованное применение удобрений – неотъемлемая основа, обеспечивающая высокую урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур при своевременном и качественном выполнении других агротехнических приемов. На бедных гумусом дерново-подзолистых почвах даже со средней обеспеченностью фосфором и калием главная роль в формировании урожая зерновых культур принадлежит азоту [1–4].

Применение минеральных удобрений глубоко воздействует на процессы трансформации почвенного азота, прежде всего на одновременно происходящий в почве синтез органических соединений (иммобилизацию) и их разложение (минерализацию). В обычных условиях (без применения удобрений) минерализация органического вещества превалирует над процессом иммобилизации, вследствие чего в почве создается и постоянно присутствует определенный запас минерального азота – «нетто-минерализация» [5]. Внесение удобрений изменяет равновесие между минерализацией и иммобилизацией азота в почве. В агроэкосистеме при использовании удобрений запас минерального азота зависит от общего количества поступившего и связанного азота, с одной стороны, и от активности микроорганизмов, участвующих в различных циклах его превращения, – с другой. Структурные изменения в микробоценозе влияют на процессы мобилизации и иммобилизации азота в почве [6].

Наряду с удобрениями существенной составляющей приходной части баланса и дополнительным источником улучшения азотного питания растений служит биологический азот, фиксированный симбиотическими и ассоциативными микроорганизмами в посевах сельскохозяйственных культур [7, 8]. Установлена высокая отзывчивость ряда сельскохозяйственных культур на обработку их биопрепаратами азотфиксаторов [9–11]. Применение биопрепаратов на основе ассоци-

ативных микроорганизмов увеличивает накопление в растениях основных элементов минерального питания, что связано с использованием инокулированными растениями азота из атмосферы, а также с усилением поглощения корневой системой НРК из почвы и удобрений за счет продуцирования микроорганизмами физиологически активных веществ различных групп. Биопрепараты повышают коэффициент использования удобрений и могут существенно увеличить их окупаемость прибавкой урожая [12, 13].

Установлению количественных параметров трансформации азота при возделывании сельскохозяйственных культур, которые необходимы для предложения производству агро-экономически и экологически обоснованных параметров внесения удобрений, способствует использование метода изотопной индикации с применением стабильного изотопа азота ^{15}N . Благодаря применению изотопа ^{15}N , можно установить роль различных источников азота (N удобрения, N биологический, N почвы и «экстра»-азот) в формировании урожая зерновых культур [14].

Цель исследований – определить эффективность применения микробного препарата ризоагрин при возделывании яровой пшеницы на разных фонах минерального питания на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Смоленской области. В задачи изучения входили выявление и уточнение закономерностей использования растениями азота удобрения, азота почвы и биологического азота при формировании урожая яровой пшеницы, возделываемой с применением микробных биопрепаратов на основе ассоциативных азотфиксаторов.

Методика. Эффективность применения минеральных удобрений и биологического препарата ризоагрин изучали на яровой пшенице сорта Злата. Препарат ризоагрин, изготовленный во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии на основе ризосферных ассоциативных микроорганизмов *Agrobacterium radiobacter*, представляет собой порошковидный торфяной субстрат, обогащенный питательными веществами. В 1 г препарата содержится 6–10 млрд. бактериальных клеток. Согласно рекомендации ВНИИСХМ, обработку зерна яровой пшеницы проводили в день посева из расчета 600 г препарата на 6 млн всхожих семян. В качестве прилипателя использовали 1 %-ный раствор казеина.

Микрополевым опытом проводили в 2014 г. в Смоленской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,98%; pH_{KCl} 5,1–5,2; содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову), соответственно, 57,6 и 153,1 мг/кг почвы. Опыт проводили в сосудах без дна площадью 0,018 м².

Для изучения баланса азота, его потребления растениями из минерального удобрения и почвы использовали стабильный изотоп азота ^{15}N в виде соли $^{15}NH_4^{15}NO_3$ с обогащением 54,04 ат. %. Азотное удобрение в дозе, эквивалентной N_{45} вносили в сосуды перед посевом (0,081 г N/сосуд). В качестве фона применяли $P_{сд}$ и K_x в дозах, эквивалентных P_{60} и K_{60} соответственно. Схема опыта представлена в таблице 1. Повторность – 4-кратная. Варианты в опыте размещали методом рандомизированных повторений.

В исследованиях использовали общепринятые методы анализов почвенных и растительных образцов, изотопный состав азота определяли на масс-спектрометре «Delta V».

Метеорологические условия характеризовались повышенной температурой воздуха в течение большей части вегетационного периода (исключение – июнь с температурой воздуха на 1,0 °С ниже климатической нормы) и крайне неравномерным распределением атмосферных осадков с чередованием засушливых периодов (1- и 2-я декады мая, вторая половина июля и первая половина августа) и выпадением ливневых осадков (конец мая, начало июля).

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна яровой пшеницы увеличивалась при применении азотного удобрения и микробного препарата ризоагрина, изменяясь от 5,86 до 10,39 г/сосуд (табл. 1). Без минерального азота на фоне РК-удобрений урожайность зерна составила 5,86 г/сосуд. Внесение аммиачной селитры способствовало повышению сбора зерна на 1,73 г/сосуд (на 29,5%) и соломы – на 4,03 г/сосуд (на 44,7%).

1. Влияние азотного удобрения и ризоагрина на продуктивность яровой пшеницы

Вариант опыта	Урожайность, г/сосуд		Прибавка, г/сосуд		K _{хоз.}
	зерно	со-лома	зерно	со-лома	
1. Фон (Ф) - P ₆₀ K ₆₀ - контроль	5,86	9,02	-	-	0,40
2. Ф + N ₄₅	7,59	13,05	1,73	4,03	0,37
3. Ф + Ризоагрин (РА)	7,00	10,35	1,14	1,33	0,40
4. Ф + N ₄₅ + РА	10,39	12,14	4,53	3,12	0,46

НСР₀₅ для:

частных различий	1,53	3,11	0,03
главных факторов	0,77	1,56	0,02
взаимодействий	1,08	2,20	0,02

При инокуляции посевного материала яровой пшеницы ризоагрином на фоне P₆₀K₆₀ отмечали прибавку урожайности зерна на 1,14 г/сосуд, или на 19,5%. Это в условиях жаркого и относительно сухого вегетационного периода несколько ниже действия азотного удобрения. Вместе с тем, применение био-препарата на основе ассоциативных азотфиксаторов в сочетании с минеральным азотным удобрением способствовало росту урожайности на 4,53 г/сосуд, или на 77,3% по сравнению с контролем. Усиление эффектов от совместного применения био-препарата и удобрений связано, по-видимому, с тем, что растения потребляют азот минерального удобрения в начальный период вегетации, когда активность азотфиксирующих бактерий еще относительно не велика из-за недостаточного прогрева почвы и малого количества корневых выделений, а биологический азот, накопленный ассоциативными азотфиксаторами – на более поздних этапах развития растений, когда доступного азота удобрений уже не осталось [12].

Данные, полученные в микрополевом опыте, позволяют судить и о действии изучаемых факторов на значение хозяйственного коэффициента (доля зерна в общей надземной массе). При применении ризоагрина на фоне NPK-удобрения отмечали повышение этого показателя. В целом же на дерново-подзолистой почве опыта хозяйственный коэффициент составил 0,37-0,46.

В проведенном микрополевом опыте не выявлено четких закономерностей влияния удобрения и микробного препарата на содержание азота в зерне и соломе яровой пшеницы (табл. 2). При применении азотного удобрения увеличивалась концентрация азота и белка в зерне. Действие ризоагрина на эти показатели неоднозначно. Применение био-препарата на фоне РК-удобрения увеличивало содержание азота в зерне, в то же время в варианте его использовании с NPK положительного эффекта от их взаимодействия не отмечено.

2. Содержание и вынос азота яровой пшеницы с урожаем зерна и соломы

Вариант опыта	Содержание, %	Вынос с урожаем, мг/сосуд	Увеличение выноса, мг/сосуд, от

	зерно	со-лома	белок в зерне	зерно	со-лома	всего	N ₄₅	РА
1. Фон (Ф) – P ₆₀ K ₆₀	2,05	0,51	11,7	103	40	143	-	-
2. Ф + N ₄₅	2,22	0,54	12,7	145	61	206	63	-
3. Ф + ризоагрин (РА)	2,24	0,49	12,8	135	44	179	-	36
4. Ф + N ₄₅ + РА	2,16	0,48	12,3	193	50	243	64	37
НСР ₀₅	0,05	0,03	0,6					

Содержание азота в соломе яровой пшеницы при применении аммиачной селитры на фоне P₆₀K₆₀ увеличивалось. В опыте наблюдали снижение содержания азота в соломе при инокуляции яровой пшеницы изучаемым био-препаратом, что связано с ростовым разбавлением [12].

Вынос азота является функцией величины урожайности зерна и соломы и содержания этого элемента в соответствующих частях растений. Применение N-удобрения способствовало увеличению выноса азота с урожаем на 63 мг/сосуд, или на 44%. Инокуляция семян препаратом ризосферных ди-азотрофов повышала вынос азота на фоне как РК, так и NPK. Увеличение выноса азота с урожаем яровой пшеницы от ризоагрина достигало 25% на фоне РК и 18% на фоне полного минерального удобрения.

Образование в почве минерального азота и его потребление растениями – сложные процессы, зависящие от многих факторов [3, 5]. Одной из задач исследований является необходимость более совершенной оценки структуры потребления сельскохозяйственным растением азота из разных источников: почва – удобрения – атмосфера. С использованием метода [14] определены источники и размеры потребления азота растениями яровой пшеницы (табл. 3). Основное количество азота поступало в растения из почвы: 143 мг N/сосуд на фоне РК-удобрений, что отражает запасы минерального азота, образующегося в процессе минерализации органического вещества почвы, и является «нетто-минерализацией» [5]. При применении азотного удобрения доля почвенного азота в структуре выноса его с урожаем снижается до 83%, при инокуляции ризоагрином – до 80%. Совместное использование азотного удобрения и био-препарата снижает долю потребления растениями яровой пшеницы почвенного азота до 65%.

В условиях крайне неравномерного выпадения осадков и засушливого периода во время налива и созревания зерна растения яровой пшеницы в варианте NPK вынесли с урожаем из аммиачной селитры 36 мг N/сосуд, коэффициент использования азота из удобрения составил 45%. Одновременно необходимо отметить, что применение азотного удобрения вносит существенные изменения в сбалансированный ход процессов минерализации-иммобилизации, приводя к активации процесса минерализации органического вещества почвы и дополнительному накоплению минерального азота («экстра» - азота). В проведенном микрополевом опыте применение аммиачной селитры в дозе, эквивалентной N₄₅, обогащенной стабильным изотопом азота ¹⁵N, привело к образованию 27 мг/сосуд «экстра» - азота, что составило 13% от «нетто-минерализации». В структуре выноса азота, фиксированного ризосферными ди-азотрофами, на фоне РК-удобрений достигала 36 мг/сосуд, или 20 %.

При совместном использовании азотного удобрения и ризоагрина количество азота минерального удобрения, используемого растениями для формирования урожая пшеницы, составило 46 мг/сосуд, коэффициент использования азота из аммиачной селитры равен 56%. Доля азота, фиксированного из атмосферы несимбиотическими ди-азотрофами, в этом же варианте составила 36 мг/сосуд (15 % от выноса), что в относительных единицах несколько меньше, чем при инокуляции семян ризоагрином на фоне РК. Такое явление обусловлено сложившимися метеорологическими условиями года, когда во второй половине вегетации растения и микроорганизмы почвы испытывали дефицит влаги и в составе урожая возрастала доля азота удобрения.

3. Доля различных источников азота в формировании урожая яровой пшеницы

Вариант опыта	N _п		N _ф		N _{уд}		«Экстра»-азот		Вынос азота с урожаем	
	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%
1. Фон (Ф)– P ₆₀ K ₆₀	143	100	–	–	–	–	–	–	143	100
2. Ф + N ₄₅	143	69	–	–	36	17	27	13	206	100
3. Ф + ризоагрин (РА)	143	80	36	20	–	–	–	–	179	100
4. Ф + N ₄₅ + РА	143	58	36	15	46	19	18	7	243	100

Примечание. N_п – азот из почвы, N_ф – азот несимбиотической (ассоциативной) азотфиксации, N_{уд} – азот из удобрений.

Применение метода изотопной индикации позволило оценить интенсивность и направленность процессов трансформации азота в почве под влиянием изучаемых агротехнических приемов. Определение содержания азота в почве показало, что при внесении азотного удобрения на дерново-подзолистой почве с невысоким содержанием органического вещества в ней иммобилизуется 26 мг/сосуд азота, или 32% от внесенного с минеральными удобрениями. Потери азота из удобрения составили 19 мг/сосуд, или 23%. Инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратом не оказывала достоверного влияния на процесс иммобилизации азота из аммиачной селитры. В варианте применения минерального азота и биопрепарата иммобилизовано 27 мг/сосуд азота из N-удобрения, или 33% от внесенного количества. Вместе с тем, потери азота из удобрения при инокуляции ризоагрином составили 8 мг/сосуд, или 10%, что существенно меньше, чем в варианте применения только азотного удобрения.

Расчет баланса азота с использованием методики [15] показал, что во всех изучаемых вариантах опыта наблюдалось отрицательное его значение - от -58,2 (NPK) до -52,6 кг/га (NPK + ризоагрин). Следует отметить, что в варианте NPK + РА установлено максимальное значение выноса азота, которое могло ещё больше увеличить отрицательное значение баланса азота, но за счет потребления растениями биологического азота, фиксированного ризосферными ассоциативными микроорганизмами *Agrobacterium radiobacter*, этого не произошло. Отрицательное значение баланса азота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве уменьшилось на 9%.

Таким образом, обработка семян ризоагрином перед посевом способствовала существенному увеличению зерновой продуктивности яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве по сравнению с РК-фоном (+1,14 г/сосуд, или 19,5%), однако уступала действию азотного удобрения в дозе N₄₅ (+1,73 г/сосуд, или 29,5%). В условиях крайне неравномерного выпадения осадков и повышенных температур воздуха положительный эффект от совместного использования азотного удобрения и ризоагрина составил 4,53 г/сосуд, или 77,3%. При применении N-удобрения концентрация азота в зерне и соломе увеличилась. Ризоагрин оказывал положительное влияние на эти показатели только в варианте РК.

Доля азота удобрения в выносе урожаем яровой пшеницы составила 17 % от общего выноса. Коэффициент использования азота удобрения на фоне РК равен 45%, при инокуляции

семян ризоагрином он возрастал до 56%. При применении аммиачной селитры количество иммобилизованного азота составило 32-34 % от дозы удобрения. Инокуляция семян яровой пшеницы перед посевом не влияла на иммобилизацию азота удобрения, но снижала величину потерь.

Литература

1. Кореньков Д.А., Синягин И.И., Петербургский А.В. и др. Удобрения, их свойства и способы использования / Под ред. Д.А. Коренькова – М.: Колос, 1982. – 415 с.
2. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей / Т.И. Иванова. – М.: Агропромиздат, 1999. – 235 с.
3. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений. Ч. 1 (учебное пособие). – М.: РГАУ – МСХА, 2008. – 415 с.
4. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева А.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Т. 1. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2009. – 423 с.
5. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М.: Агроконсалт, 1999. – 296 с.
6. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А. Особенности ассимиляции микроорганизмами азота фитомассы многолетних трав в почве разной степени эродированности // Доклады Россельхозакадемии. – 2014. – № 3. – С. 35-38.
7. Завалин А.А., Кожемяков А.П., Сологуб Д.Б., Зинковская Т.С. Действие биопрепарата ризоагрин на продуктивность и азотное питание яровой пшеницы // Доклады Россельхозакадемии. – 2001. – № 2. – С. 23-25.
8. Умаров М.М., Шаббаев В.П., Смолин В.Ю. Роль атмосферного азота в питании небобовых культур // Известия АН СССР, серия биологическая, 1987. № 2. – С. 254-263.
9. Васюк Л.Ф. Азотфиксирующие микроорганизмы на корнях небобовых растений и их практическое использование / Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. Отв. ред. Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1989. – С. 88-97.
10. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 112-115.
11. Завалин А.А., Алметов Н.С., Чернова Л.С. Эффективность использования минеральных удобрений и биопрепаратов в зернотравяных севооборотах // Агрохимия. – 2014. – № 9. – С. 35-47.
12. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. – М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – 302 с.
13. Завалин А.А., Алметов Н.С., Бердников В.В., Благовещенская Г.Г. Эффективность применения биопрепаратов в севообороте // Агрохимия. – 2010. – № 6. – С. 28-37.
14. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии (методика) / Завалин А.А., Духанина Т.М., Чистотин М.В., Ладохин В.Ф. и др. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2000. – 82 с.
15. Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах / Отв. ред. Шишов Л.Л. – М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1987. – 80 с.

ASSESSING THE EFFICIENCY OF NITROGEN FERTILIZER AT THE APPLICATION OF RIZOAGRIN TO SPRING WHEAT

A.A. Alferov, L.S. Chernova, N. Ya. Shmyreva, A.A. Zavalin

Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia E-mail: info@vniia-pr.ru

The effect of the biopreparation Rizoagrin on the yield of spring wheat grain at the simultaneous application of different mineral fertilizers has been studied. It is found that the inoculation of spring wheat seeds with the biopreparation increases the yield of grain by 19.5%, and the nitrogen fertilizer at the rate N₄₅ by 29.5%. The share of associative nitrogen fixed by rhizospheric diazotrophs reaches 20% in the structure of nitrogen removed with crop. The isotope indication method with the use of stable ¹⁵N isotope showed that the utilization coefficient of nitrogen from ammonium nitrate is 45% and increases to 56% at the simultaneous application of nitrogen fertilizer and Rizoagrin. The content of extra nitrogen is 13% of net mineralization. The inoculation of seeds with the biopreparation increases the removal of nitrogen by 25% in the PK treatment and by 18% in the NPK treatment. On soddy-podzolic soil with a low content of organic matter, 32% of the nitrogen added with mineral fertilizers was immobilized. The efficiency of Rizoagrin increases at the simultaneous application of N₄₅. At the inoculation of spring wheat seeds with the preparation of associative diazotrophs and the application of nitrogen fertilizer, the deficit of nitrogen balance decreased by 9% compared to the PK treatment.

Keywords: Rizoagrin, grain yield, spring wheat, mineral fertilizers, nitrogen removal by crop, extra nitrogen, immobilization, nitrogen net mineralization, nitrogen balance.