УДК 631.445.24.:631.85:631.821.1 DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.10

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БИОФУНГИЦИДА ТРИХОДЕРМИН НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

С.П. Бижан, к.с.-х.н., Н.А. Кирпичников, д.с.-х.н., М.В. Беличенко, к.б.н.,
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31А, Россия
e-mail: kzuek@yandex.ru

В рамках данного исследования впервые был проведен анализ комплексного влияния минеральных удобрений и биофунгицида триходермин на сорт ячменя Яромир в условиях различных значений pH_{KCl} *дерново-подзолистых почв. В ходе длительного полевого эксперимента на неизвесткованной почве с высокой кислотностью (*pH_{KCl} *4,0) использование минеральных удобрений в дозе* $N_{90}P_{60}K_{90}$ *способствовало формированию урожайности ярового ячменя 31,9 ц/га, что на 12,1 ц/га больше урожайности в контрольном варианте без известкования, химических средств защиты и удобрений. Применение триходермина вместе с минеральными удобрениями и ХСЗ увеличило урожайность до 35 ц/га.*

На известкованной среднекислой почве, кислотность которой (pH_{KCl}*) 4,6, урожайность ячменя при внесении минеральных удобрений составила 41,0 ц/га, прибавка от применения триходермина – 4,5 ц/га. Максимальная урожайность достигнута на известкованной слабокислой почве с* pH_{KCl} *5,4 при совместном применении минеральных удобрений и триходермина и составила 56,2 ц/га. Биофунгицид обеспечил максимальную прибавку урожайности 7,6 ц/га и повысил окупаемость 1 кг* NPK *3,0 кг зерна.*

Увеличение урожайности ячменя связано с ростом числа продуктивных стеблей, числа зерен в колосе и массы 1000 зерен под воздействием применяемых средств. Это сопровождалось повышением потребления азота, фосфора и калия на 14-16%. На слабокислой почве совместное применение минеральных удобрений и триходермина позволило получить зерно с максимальным содержанием белка 11,2%, в то время как в контрольном варианте данный показатель был 9,6%.

Таким образом, результаты исследования показывают влияние совместного применения минеральных удобрений и биофунгицида триходермин на продуктивность ячменя на известкованных дерново-подзолистых почвах. Полученные данные имеют большое значение для разработки стратегии оптимизации агротехнологий и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: яровой ячмень, минеральные удобрения, биофунгицид, дерново-подзолистая почва, урожайность, качество зерна.

Для цитирования: *Бижан С.П., Кирпичников Н.А., Беличенко М.В.* Влияние минеральных удобрений и биофунгицида триходермин на урожайность ячменя в зависимости от уровня кислотности дерново-подзолистой почвы// Плодородие. – 2026. – №2. – С. 54-57. DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.10.

Интенсивные агротехнологии зерновых культур предполагают применение минеральных удобрений, химических средств защиты растений и биопрепаратов, которые повышают их эффективность. Одним из ключевых элементов агротехнологий, способствующих увеличению продуктивности растений за счет минеральных удобрений, являются биопрепараты.

Триходермин представляет собой 100%-ный натуральный препарат, созданный на основе почвенного микроскопического гриба из рода аскомицетов, семейства Hypocreaceae, род Trichoderma. Данный гриб обладает полезными свойствами для растений, так как он подавляет развитие патогенных грибов. Trichoderma синтезирует антибиотики, такие как глиотоксин, триходермин и виридин, которые эффективно уничтожают возбудителей различных заболеваний растений и снижают активность вредителей. Препарат высоко эффективен в борьбе с мучнистой росой, белой и серой гнилью, бурой и черной пятнистостью, аскохитозом, корневой гнилью и другими заболеваниями. Кроме того, Trichoderma способствует разложению органических веществ в почве, стимулирует рост растений и повышает их устойчивость к неблагоприятным условиям среды.

До настоящего момента эффективность применения Trichoderma с минеральными удобрениями на дерново-подзолистых почвах в длительных полевых опытах при возделывании новых сортов ярового ячменя в Нечерноземном регионе не исследована.

Цель исследований – оценить эффективность применения минеральных удобрений и биофунгицида Триходермин при культивировании ярового ячменя сорта Яромир на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах с различными уровнями кислотности в условиях долгосрочного полевого эксперимента.

Методика. Исследования проведены в Домодедовском районе Московской области на Центральной опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д. Н. Прянишникова в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве.

Химический анализ показал, что почва характеризуется низким уровнем окультуренности в не подвергавшемся удобрению контрольном варианте: она имеет сильнокислую реакцию среды (pH_{KCl} 4,0), низкую степень насыщенности основаниями (49%) и низкое содержание подвижных форм фосфора и калия (табл. 1).

1. Влияние известкования и длительного применения удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (в среднем за 2021-2023 г.)

Вариант	pH_{KCl}	Нг	$H_{обм.}$	S	V, %	Содержание подвижных форм, %	
		ммоль-экв/100 г				P_2O_5	K_2O
Контроль (без удобрений)	4,0	5,90	1,20	5,8	49	46,0	106
NPK	4,0	6,00	1,26	6,3	50	147	158
NPK + $CaCO_3$, 11,5 т/га	4,6	4,20	0,46	7,2	63	155	141
NK + $CaCO_3$, 23 т/га	5,4	3,86	0,25	6,8	68	50,1	149
NPK + $CaCO_3$, 23 т/га	5,5	3,50	0,25	9,0	72	160	137
$НСР_{05}$	0,3	1,10	0,081	0,8	6,0	14,5	19,6

Содержание гумуса в почве 1,36-1,39%. При известковании за годы проведения полевого опыта в дозе 11,5 т/га (в сумме) почва перешла из группы сильнокислых в группу среднекислых (pH_{KCl} 4,6), а известкованная в дозе 23 т/га почва стала слабокислой (pH_{KCl} 5,4) в варианте с применение фосфорных удобрений. Во втором случае гидролитическая кислотность снизилась в 1,5 раза, а обменная кислотность и содержание подвижного алюминия – в 5 раз. При этом сумма поглощённых оснований повысилась почти на 18%, а степень насыщенности основаниями достигла 68-72% при уровне на контроле 49%. Регулярное применение фосфорных и калийных минеральных удобрений привело к существенному увеличению содержания подвижных форм этих элементов в почве. В результате изменения почва перешла из категории с низкой обеспеченностью элементами питания в категорию с повышенной обеспеченностью.

В опыте под предпосевную культивацию вручную вносили смесь из аммиачной селитры (34% азота), аммофоса (12% азота и 52% фосфора) и хлористого калия (60% K_2O), всего минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{90}$. Также применяли гербициды и фунгициды, а для некорневой подкормки растений в начале фазы трубкования использовали микробный препарат триходермин в дозе 1 л/га при расходе воды 150 л/га.

Общая площадь делянок 100 м^2, учетная – 28 м^2, повторность трехкратная. В последние годы исследования севооборот включал горох на зелёное удобрение, озимую пшеницу сорта Московская 56 и яровой ячмень сорта Яромир.

Анализы почвы и растений проводили в соответствии с государственными стандартами. Содержание общего азота в зерне и соломе определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 13996.4-93), фосфора – по ГОСТу 26657-97, калия – по ГОСТу 30504-97. Содержание белка в зерне измеряли по ГОСТу 10846-91, натурную массу зерна – по ГОСТу 10840-64, массу 1000 зерен – по ГОСТу 10842-89. Сумму поглощенных оснований определяли по методу Каппена (ГОСТ Р 50682-94), обменную кислотность – по ГОСТу Р 58594-2019, pH_{KCl} – по ГОСТу 26423-85, гидролитическую кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Подвижный фосфор и калий определяли по методу Кирсанова (ГОСТ 54650-2011).

Агротехнические приемы ярового ячменя соответствовали стандартам, принятым в Московской области. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью дисперсионного метода, используя программу StatVIUA.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что кислотность дерново-подзолистой почвы, которая зависела от доз извести, внесенных в течение всего периода проведения опыта является определяющим фактором влияния минеральных удобрений и биофунгицида триходермин на урожайность и качество ярового ячменя (табл. 2).

2. Урожайность ярового ячменя в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы, минеральных удобрений и биофунгицида триходермин, ц/га

Вариант	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее за 3 года	Окупаемость NPK зерном, кг/кг
pH_{KCl} 4,0 (*без извести*)					
Контроль (б/у)	20,4	21,0	18,0	19,8	-
$N_{90}P_{60}K_{90}$	30,3	34,8	30,6	31,9	5,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	33,4	37,5	34,0	35,0	6,3
pH_{KCl} 4,6 (*известь 11,5 т/га*)					
$N_{90}P_{60}K_{90}$	41,2	45,2	36,7	41,0	9,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	46,9	48,9	40,8	45,5	10,7
pH_{KCl} 5,4 (*известь 23 т/га*)					
$N_{90}P_{60}K_{90}$	48,9	51,4	45,6	48,6	12,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	55,2	59,0	54,4	56,2	15,0
$НСР_{05}$	3,6	2,9	2,7	-	-

В рамках длительного полевого эксперимента на неизвесткованной почве с высоким уровнем кислотности (pH_{KCl} 4,0) получена прибавка урожайности ярового ячменя 12,1 ц/га по сравнению с контролем. Использование в качестве некорневой подкормки биофунгицида на фоне минеральных удобрений в данном случае привело к дальнейшему повышению прибавки урожайности ещё на 3,1 ц/га, или на 10%. При известковании дерново-подзолистой почвы эффективность применения минеральных удобрений и биофунгицида повысилась. На известкованной среднекислой почве (pH_{KCl} 4,6) прибавка урожайности ярового ячменя от их применения возросла до 21,2 и 25,7 ц/га соответственно. Максимальная прибавка урожайности ярового ячменя (36,4 ц/га) достигнута при совместном применении минеральных удобрений и биофунгицида на известкованной слабокислой почве (pH_{KCl} 5,4). За счёт использования биопрепарата на этой почве получена наибольшая прибавка урожайности – 7,6 ц/га, или 15%.

Окупаемость 1 кг NPK увеличивалась на 3,0 кг при совместном использовании минеральных удобрений и биофунгицида по сравнению с применением только минеральных удобрений, где данный показатель составлял 12 кг.

Урожайность ярового ячменя также зависела от её структурного состава, что подтверждается данными, представленными в таблице 3.

Применение минеральных удобрений и биофунгицидов на почвах со слабокислой реакцией среды (pH_{KCl} 5,4) привело к значительному увеличению биомассы растений. На 37% увеличилась высота растений, на 44% – число продуктивных стеблей, в 1,7 раза – количество зерен в колосе, также вырос хозяйственный коэффициент урожая ($К_{хоз.}$) [отношение массы зерна к общей массе урожая (зерно и солома)], что указывает на преобладание продуктивной части растений над вегетативной.

3. Элементы структуры урожая ярового ячменя сорта Яромир (среднее за 2023-2025 г.)

Вариант	Высота растений, см	Число продуктивных стеблей на 1 м²	Число зёрен в колосе	$К_{хоз.}$ урожая
pH_{KCl} 4,0 (*без извести*)				
Контроль (б/у)	48	380	13,8	0,49
$N_{90}P_{60}K_{90}$	59	456	17,4	0,48
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	61	465	18,0	0,48
pH_{KCl} 4,6 (*известь 11,5 т/га*)				
$N_{90}P_{60}K_{90}$	62	480	20,7	0,49
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	63	496	21,4	0,50
pH_{KCl} 5,4 (*известь 23 т/га*)				
$N_{90}P_{60}K_{90}$	64	536	23,6	0,51
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	66	548	24,1	0,52
$НСР_{05}$	4,0	19	1,2	-

Содержание основных питательных элементов в растениях на фоне минеральных удобрений и биофунгицида значительно повышалось, так на слабокислой почве (pH_{KCl} 5,4) потребление элементов питания ячменем превышало уровень контроля в 3,2-3,3 раза (табл. 4).

4. Вынос питательных элементов урожаем ярового ячменя под влиянием минеральных удобрений и биофунгицида в зависимости от уровня кислотности дерново-подзолистых почв, кг/га (в среднем за 2023-2025 г.)

Вариант	Вынос урожаем, кг/га			Вынос на 1 т зерна, кг		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
pH_{KCl} 4,0 (*без извести*)						
Контроль (б/у)	47,2	19,6	35,6	24,0	9,9	18,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$	78,0	32,5	58,6	27,8	10,1	18,3
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	87,4	36,0	64,7	25,1	10,3	18,5
pH_{KCl} 4,6 (*известь 11,5 т/га*)						
$N_{90}P_{60}K_{90}$	110,0	45,9	77,9	27,6	11,1	19,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	128,0	51,5	86,5	28,0	11,3	19,4
pH_{KCl} 5,4 (*известь 23 т/га*)						
$N_{90}P_{60}K_{90}$	137,0	56,3	92,3	28,2	11,6	19,1
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	158,0	66,0	109,0	28,2	11,7	19,5

5. Качество зерна ярового ячменя по вариантам опыта (среднее за 2023-2025 г.)

Вариант	Содержание белка, %	Сбор белка, кг/га	Масса 1000 зёрен, г	Экстрактивность зерна, %
pH_{KCl} 4,0 (*без извести*)				
Без удобрений	9,6	190	37,1	67,6
$N_{90}P_{60}K_{90}$	10,4	332	39,9	66,8
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	10,6	354	40,1	66,2
pH_{KCl} 4,6 (*известь 11,5 т/га*)				
$N_{90}P_{60}K_{90}$	10,8	443	42,0	66,0
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	10,9	496	42,2	65,7
pH_{KCl} 5,4 (*известь 23 т/га*)				
$N_{90}P_{60}K_{90}$	11,2	544	43,3	65,6
$N_{90}P_{60}K_{90}$ + триходермин	11,2	620	44,0	65,2
$НСР_{05}$	1,1	-	1,5	-

Применение биопрепарата способствует увеличению потребления элементов питания ячменем на 14-16%. Относительно контроля нормативы выноса питательных веществ растениями возросли по азоту на 4,2 кг/га, по фосфору на 1,8 и по калию на 1,5 кг/га.

Важно отметить, что значительное повышении урожайности ярового ячменя сопровождалось некоторым улучшением показателей качества зерна (табл. 5).

При комплексном их применении достоверно (на 1,6%) повышалось содержание белка, а его сбор с 1 га по сравнению с контролем увеличивался в 3,3 раза. Масса 1000 семян возросла на 18%. Данный показатель качества улучшился при применении биопрепарата на всех уровнях кислотности дерново-подзолистых почв. Однако по содержанию белка и экстрактивности зерно, полученное в опыте, является кормовым.

Заключение. Известкование слабоокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в сочетании с применением минеральных удобрений создает слабокислую реакцию почвы, степень насыщенности основаниями около 75% и повышает содержание подвижных фосфатов. В этих условиях при применении средств защиты растений формируется урожайность ярового ячменя сорта Яромир 48,6 ц/га, прибавка к контролю – 28,8 ц/га. При некорневом применении биофунгицида триходермин в данном случае достигается дополнительная прибавка урожайности 7,6 ц/га. Применение минеральных удобрений и биофунгицида в условиях достижения оптимальных агрохимических показателей почвы способствует увеличению содержания белка в зерне до 11,2%. В образцах контрольного варианта (без удобрений) данный показатель составляет 9,6%. Зерно ячменя, полученное в результате опыта, соответствует стандартам кормового зерна.

Литература

1. *Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Афанасьев Р.А., Коваленко А.А.* Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья. // Плодородие. – 2021. – №3. – С. 66-70.
2. *Вильдфлуш И.Р.* Оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур при комплексном применении макро-микроудобрений, регуляторов роста и бактериальных препаратов. Рекомендации/ Горки: БГСХА, 2017. – 34 с.
3. *Кузьмич М.Н., Капранов В.Н., Орлова Т.Г.* Влияние удобрений и реакции почвенной среды на урожай и качество зерна ярового ячменя селекции Московского НИИСХ (Немчиновка) // Плодородие. – 2017. – №3. – С. 1-3.
4. *Тихонович И.Н.* Биопрепараты в сельском хозяйстве // Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве. – М.: РАСХН, 2005. – 154 с.
5. *Петров В.Б.* Микробиологические препараты в практическом растениеводстве России: функции, эффективность, перспективы. // Рынок АПК. – 2009. – №7. – С. 16-18.
6. *Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилов А.Ю., Чеботарь В.К.* Влияние минеральных удобрений, биомодифицированных микробным препаратом бисолбифит, на урожай ярового ячменя // Агрохимия. – 2015. – №4. – С. 21-33.
7. *Завалин А.А., Кирпичников Н.А., Бижан С.П.* Эффективность применения биомодифицированных минеральных удобрений под ячмень при различной кислотности дерново-подзолистой почвы. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – №2. – С. 65-68.
8. *Кирпичников Н.А., Бижан С.П.* Приёмы повышения эффективности фосфорных удобрений в зависимости от известкования при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. – 2022. – №7. – С. 33-39.
9. *Xin Yao, Hailin Guo, Kaixuan Zhang, Mengyu Zhao, Jingjun Ruan, Jie Chen*Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. – Front. Microbiol., 03 May 2023, Sec. Microbe and Virus Interactions with Plant, Volume 14 – 2023 https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551

THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS AND THE BIOFUNGICIDE TRICHODERMIN ON THE YIELD OF BARLEY, DEPENDING ON THE LEVEL OF ACIDITY OF SOD-PODZOLIC SOIL

S.P. Bizhan, N.A. Kirpichnikov, M.V. Belichenko
Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127434, Pryanishnikova str., 31A, Moscow, Russia. e-mail: kzuek@yandex.ru

This study analyzed the effect of mineral fertilizers and the biofungicide Trichodermin on the barley variety Yarovit under different pH_{KCl} values of sod-podzolic soils. During a long-term field experiment on an unlimed soil with high acidity (pH_{KCl} 4.0), the use of mineral fertilizers at a dosage of $N_{90}P_{60}K_{90}$ contributed to the formation of a spring barley yield of 31.9 centners per hectare, which is 12.1 centners per hectare more than the yield in the control variant without liming, chemical protection, and fertilizers. The use of Trichodermin together with mineral fertilizers and chemical protection increased the yield to 35 centners per hectar. On a limed medium-acid soil with a pH of 4.6, the yield of barley was 41.0 centners per hectare when mineral fertilizers were applied, and the yield increased by 4.5 centners per hectare when Trichodermin was used. The maximum yield was achieved on a limed slightly acidic soil with a pH of 5.4 when mineral fertilizers and Trichodermin were used together, and it was 56.2 centners per hectare. The biopreparation provided a maximum yield increase of 7.6 centners per hectare and increased the return on 1 kilogram of NPK by 3.0 kilograms of grain. The mechanisms of increasing barley yield are associated with an increase in the number of productive stems, the number of grains per spike, and the weight of 1,000 grains under the influence of the applied products. This was accompanied by an increase in nitrogen, phosphorus, and potassium consumption by 14-16%. On slightly acidic soil, the combined use of mineral fertilizers and Trichodermin resulted in a maximum protein content of 11.2%, compared to 9.6% in the control group. Thus, the study findings demonstrate influence of the combined use of mineral fertilizers and Trichodermin on the productivity of barley on limed sod-podzolic soils. These findings are crucial for developing strategies to optimize agricultural practices and enhance crop productivity.
Keywords: spring barley, mineral fertilizers, biofungicide, sod-podzolic soil, yield, grain quality.