

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3 (51). С. 19–27
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; 3(51): 19–27

Научная статья

УДК 633.16:632.937:632.95

Код ВАК 4.1.3

EDN: JXNLAS

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПРЕПАРАТАМИ В ОГРАНИЧЕНИИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВОЙ ГНИЛИ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

Алексей Александрович Постовалов¹✉ Светлана Фаилевна Суханова²

¹ Курганский государственный университет, Курган, Россия

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

¹ p_alex79@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-2204-2952>

² nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

Аннотация. Исследования проводили с целью оценки минеральных удобрений и препаратов для предпосевной обработки семян в ограничении развития корневой гнили ячменя ярового в Курганской области. Наблюдения за ростом и развитием растений, учет болезней и урожайности вели согласно общепринятым методикам. Исследованиями установлено, что патогенный комплекс корневой гнили ячменя ярового представлен *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker и видами рода *Fusarium* Link (*F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. oxysporum* Schldt., *F. sporotrichioides* Sherb), а передача возбудителей происходила через инфицированные семена, растительные остатки и почву. Предпосевная обработка биологическими и химическими препаратами снижала зараженность семян возбудителями гельминтоспориозно-фузариозной корневой гнили. Применение биологических препаратов на основе *Trichoderma lignorum* и *Bacillus subtilis*, штамм 26Д, позволило снизить развитие корневой гнили ячменя ярового до 36,9–38,1 %. Из химических препаратов наиболее эффективно подавляли корневую гниль препараты на следующих основах: Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л; Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л, где степень развития болезни на корневой системе снижалась до 9,0–9,6. При предпосевной обработке семян биологическими препаратами урожайность ячменя ярового увеличивалась до 2,66–3,19 т/га, а химическими – до 3,25–3,41 т/га, при этом хозяйственная эффективность составляла 13,23–36,67 %. В ризосфере ячменя ярового при внесении минеральных удобрений отмечалось увеличение эмиссии углекислого газа до 64,7 мкг/час, коэффициента трансформации растительных остатков – до 7,97. Сочетание этих условий оказывало влияние на паразитическую активность возбудителей корневой гнили и поражение ими растений в течение вегетации. Так, развитие корневой гнили снижалось относительно контроля в 1,5–1,7 раза, урожайность возрастала до 3,52–3,75 т/га.

Ключевые слова: ячмень яровой, корневая гниль, биопрепараты, фунгициды, минеральные удобрения, урожайность.

Для цитирования: Постовалов А.А., Суханова С.Ф. Роль минеральных удобрений и предпосевной обработки семян препаратами в ограничении развития корневой гнили ячменя ярового // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3(51). С. 19–27. EDN: JXNLAS.

Scientific article

THE ROLE OF MINERAL FERTILIZERS AND PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH PREPARATIONS IN CONTROLLING ROOT ROT DEVELOPMENT IN SPRING BARLEY

Alexey A. Postovalov¹✉, Svetlana F. Sukhanova²

¹ Kurgan state university, Kurgan, Russia

² Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russia

¹ p_alex79@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-2204-2952>

² nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

Abstract. The research was carried out in order to evaluate mineral fertilizers and preparations for pre-sowing seed treatment in controlling the spring barley root rot development in the Kurgan region. Our observations of plant growth and development, the record of diseases and yields were conducted according to generally accepted methods. The studies have established that the pathogenic complex of spring barley root rot is represented by *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker and species of the genus *Fusarium* Link (*F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. oxysporum* Schldt., *F. sporotrichioides* Sherb), and pathogens transmission occurred through infected seeds, plant residues and soil. The pre-sowing treatment with biological and chemical preparations reduced the infection of seeds with pathogens of helminthosporous-fusarium root rot. The biological preparations application based on *Trichoderma lignorum* and *Bacillus subtilis*, strain 26D, reduced root rot development in spring barley to 36,9–38,1%. Out of the chemical preparations, Imazalil-based preparations, 100 g/l + Tebuconazole, 60 g/l, Prochloraz, 100 g/l + Imazalil, 25 g/l + Tebuconazole, 15 g/l were the most effective in suppressing root rot, where the degree of disease development on the root system decreased to 9,0–9,6. After the pre-sowing seed treatment with biological preparations, the yield of spring barley increased to 2,66–3,19 t/ha, and with chemical ones to 3,25–3,41 t/ha, while the economic efficiency was 13,23–36,67 %. In the rhizosphere of spring barley, when applying mineral fertilizers, there was an increase in carbon dioxide emissions to 64.7 micrograms/hour, and the transformation rate of plant

© Постовалов А.А., Суханова С.Ф., 2024

residues to 7.97. The combination of these conditions influenced the parasitic activity of root rot pathogens and their damage to plants during the growing season. Thus, the development of root rot decreased relative to the control group 1,5–1,7 times, the yield increased to 3,52,3,75 t/ha.

Keywords: spring barley, root rot, biotics, fungicides, mineral fertilizers, yield.

For citation: Postovalov A.A., Sukhanova S.F. The role of mineral fertilizers and pre-sowing seed treatment with preparations in controlling root rot development in spring barley. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2024; 3(51): 19–27. EDN: JXNLAS. (In Russ).

Введение. Обработка семян ячменя перед посевом должна решать следующие задачи: снижать уровень инфицированности семян, способствовать повышению урожайности и качества получаемой продукции. К данному приему относятся предпосевная обработка семян фунгицидами, инсектицидами, регуляторами роста, биопрепаратами, микроудобрениями и т. д. [1–4]. Интерес к применению таких агрохимикатов обусловлен тем, что они, во-первых, позволяют сдерживать развитие вредных организмов и защищать проростки от фитопатогенов и фитофагов; во-вторых, улучшают питательный режим растений; в-третьих, обладают иммуностимулирующим и антистрессовым действием [5; 6].

Для оптимизации фитосанитарного состояния и увеличения продуктивности агроценозов сельскохозяйственных культур кроме препаратов для предпосевной обработки семян широко используют различные минеральные удобрения. Они способствуют повышению урожайности, устойчивости растений к болезням и увеличению супрессивности почвы [7; 8].

В связи с этим цель исследований заключалась в оценке минеральных удобрений и препаратов для предпосевной обработки семян в ограничении развития корневой гнили ячменя ярового в Курганской области.

Материалы и методы. Полевые опыты проводились на опытном поле Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева – филиала ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» расположенном в лесостепной зоне Курганской области. Влияние предпосевной обработки семян препаратами на поражаемость корневой гнилью изучали на яровом ячмене сорта Прерия. Семена обрабатывали методом предпосевого обеззараживания с увлажнением: *Trichoderma lignorum*, *Bacillus subtilis*, штамм 26Д, Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л; Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л. Расход воды – 10 л/т семян. В контрольном варианте семена не обрабатывали. Влияние минеральных удобрений на поражаемость ячменя корневой гнилью изучали по схеме: контроль (удобрения не вносились), $N_{60}P_{60}$ (нитроаммофосфат), $N_{60}P_{60}K_{60}$ (нитроаммофоска). Удобрения вносили под предпосевную культивацию.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный малогумусный средне-суглинистого гранулометрического состава. Обе-

спеченность почвы (по Чирикову) подвижным фосфором – низкая, обменным калием – высокая [9;10]. Агротехника – общепринятая для зоны возделывания. Посев проводили в третьей декаде мая сеялкой ССНП-1,6 на глубину 5–7 см с последующим прикатыванием. Площадь опытной делянки составляла 25 м², повторность в опыте четырехкратная, размещение делянок систематическое. Предшественник – вторая пшеница после пара. Посев, наблюдения за ростом и развитием растений, учет урожайности вели согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [11]. Наблюдения и учеты фитосанитарного состояния агробиоценоза ячменя ярового проводили по общепринятым методикам [12–14]. При описании возбудителей болезней использовалась классификация, приведенная в MycoBank (Int. Mycol. Assoc.) [15]. Результаты, полученные в ходе наблюдений, подвергали статистической обработке по алгоритмам, предложенным Б. А. Доспеховым [16], в среде Microsoft Office Excel.

Гидротермические условия в период проведения опытов были благоприятными для возделывания ячменя ярового. В годы с хорошим увлажнением (2000 и 2002 гг.) осадков выпадало на 42,3 и 63,3 % больше среднегодовых значений, а гидротермический коэффициент Селянинова (далее – ГТК) периода вегетации составлял 1,36 и 1,74 соответственно. Годы (2001, 2011, 2014, 2015 и 2017 гг.), или 23,8 % от всего изучаемого периода, характеризовались удовлетворительным режимом увлажнения, то есть гидротермический коэффициент периода вегетации изменялся от 1,03 до 1,19. К годам с острозасушливыми условиями отнесены 2004, 2010, 2012, когда за период вегетации осадков выпало от 34,2 % до 69,9 % от среднемноголетних значений, ГТК составлял от 0,24 до 0,59. Засушливыми условиями (66,7 % случаев) характеризовались вегетационные периоды с ГТК 0,6–1,0.

Результаты исследований и их обсуждение. Одним из наиболее широко распространенных заболеваний ячменя ярового в Курганской области является гельминтоспориозно-фузариозная корневая гниль. Основные возбудители болезни – *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (телеоморфа *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.)) и виды *Fusarium Link* (*F. oxysporum* Schltdl., *F. sporotrichioides* Sherb., *F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc. и *F. avenaceum* (Fr.) Sacc. (телеоморфа *Gibberella avenace* R. J. Cook) [17–18]. Результаты фитосанитарных обследований посевов ячменя ярового свидетельствуют

о ежегодном проявлении болезни на территории Курганской области (рисунок).

Максимальное поражение растений корневой гнилью отмечалось в 2003, 2012, 2013 и 2018 гг., при этом степень развития болезни достигала 26,5–41,1 %, что в 1,8–2,7 раза больше порога вредоносности (ПВ 15 %). Лишь в 2000, 2002, 2014 и 2017 гг. развитие корневой гнили было на уровне ПВ, или не превышало 16,6 %. Отмечена средняя обратная корреляционная связь между степенью развития корневой гнили и ГТК в мае – августе, где коэффициент корреляции составил $-0,62 \pm 0,26$. Кроме гидротермических условий на развитие болезней влиял уровень инфицирования семенного материала, запас инфекционного начала в почве, уровень минерального питания растений и агротехника.

Корневая гниль ячменя является одним из распространенных и вредоносных заболеваний в Курганской области, развитие болезни практически ежегодно превышало порог вредоносности.

Уровень заражения послеуборочных растительных остатков ячменя ярового оставался довольно высоким на протяжении всего периода исследований (таблица 1). В зависимости от года исследования заражение растительных остатков *B. sorokiniana* составляло от 13,3 % до 67,3 %, а грибами из рода *Fusarium* – от 19,5 % до 80,0 %. Высокая заселенность растительных остатков фузариями объяснялась повышенным увлажнением в этот период, что способствовало размножению данных грибов.

После перезимовки зараженность растительных остатков *B. sorokiniana* сократилась более чем в 2–5 раз и составляла 6,6–18,6 %. Заселенность перезимовавших растительных остатков грибами *Fusarium* снижалась до 30,0 %, а в отдельные годы – до 7,3 %. Следует отметить довольно высокую заселенность перезимовавших остатков сапротрофными грибами, которая составляла от 63,2 % до 74,1 %. Высокий уровень заселения растительных остатков после перезимовки сапротрофными грибами и низкий уровень заражения возбудителями корневой гнили указывают на положительную роль почвенной микрофлоры в обеззараживании растительных остатков.

Перед посевом численность конидий *B. sorokiniana* в 1 г почвы была на уровне порога вредоносности (ПВ 30 конидий на 1 г почвы) либо превышала его в 1,7–2,5 раза (2013–2014 гг.). К концу вегетации происходило заселение ризосферы ячменя возбудителем и плотность конидий составляла от 74 ± 8 до $160 \pm 17,4$ экземпляров на 1 г почвы, превосходя порог вредоносности в 2,5–5,0 раз. Плотность популяции видов *Fusarium* в почве ежегодно оставалась довольно высокой и составляла от 200 до 350 пропагул/г почвы, превышая порог вредоносности в 4–7 раз. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости увеличения уровня супрессивности почвы ухудшающей выживаемость в ней фитопатогенов.

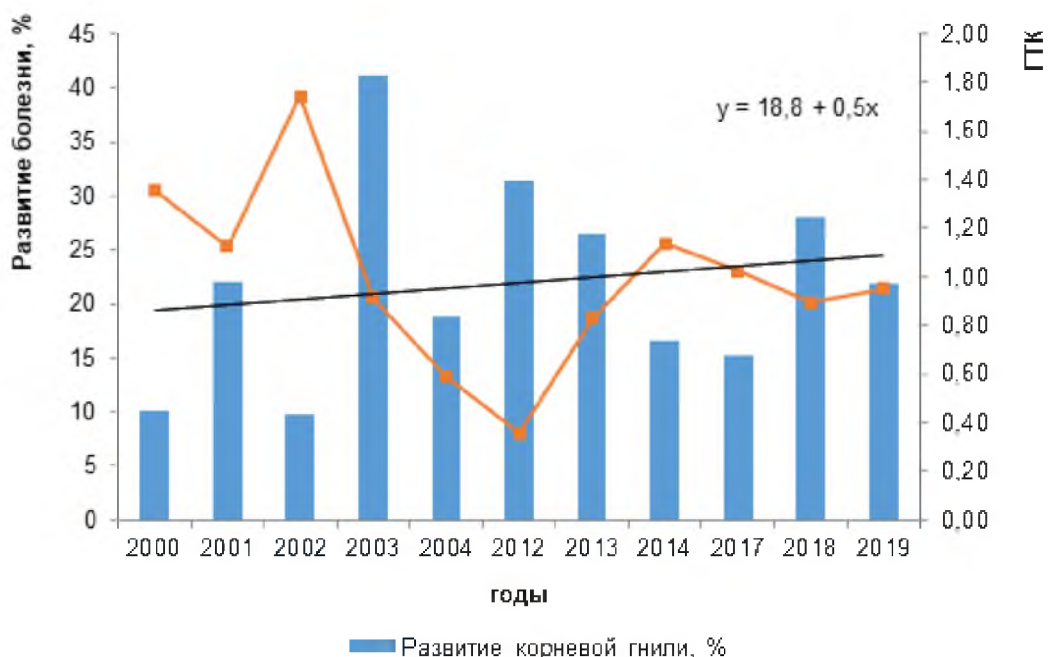


Рисунок – Многолетняя динамика развития корневых гнилей ячменя ярового, 2000–2019 гг.

Таблица 1 – Зараженность растительных остатков и почвы фитопатогенами в агроценозе ячменя ярового, 2002–2014 гг.

Период вегетации	Год	Зараженность, %			Число конидии <i>B. sorokiniana</i> в 1 г почвы
		<i>Bipolaris sorokiniana</i>	видами <i>Fusarium</i>	сапротрофы	
Осень	2002	13,3	80,0	6,7	74,0 ± 8,0
	2003	66,7	23,3	10,0	91,0 ± 11,0
	2004	56,7	26,7	16,7	84,0 ± 6,2
	2005	67,3	25,7	7,0	109,00 ± 13,2
	2012	50,3	19,5	30,2	128,00 ± 18,1
	2013	52,3	30,5	17,2	111,00 ± 17,6
	2014	63,2	20,5	16,3	160,00 ± 17,4
	сред.	52,8	32,3	14,9	108, ± 11,2
Весна	2003	6,6	30,0	63,4	19,0 ± 7,0
	2004	13,3	16,7	70,0	15,0 ± 4,0
	2005	12,6	24,2	63,2	28,0 ± 10,2
	2012	15,3	20,3	64,4	31,0 ± 4,7
	2013	18,6	7,3	74,1	51,0 ± 14,1
	2014	10,9	29,1	60,0	74,00 ± 6,0
	сред.	12,9	21,3	65,8	36,3 ± 8,9

Фактором передачи возбудителей корневой гнили ячменя являются инфицированные семена. Находящиеся на поверхности семян фитопатогены первыми заселяют проростки и всходы, вызывая их гибель или угнетение развития [4; 19]. Уровень зараженности семян перед посевом *Bipolaris spp.* составлял от 11,7 % до 21,2 %. На долю *Fusarium spp.* в патогенном комплексе приходилось 6,7–9,8 %, а *Septoria spp.* – до 10,0 %. Отмечено высокое заселение посевного материала грибами *Alternaria spp.* – 27,0–31,0 %. Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения предпосевного обеззараживания семенного материала.

Предпосевная обработка биологическими препаратами позволяла существенно снизить инфицированность семян. Так, биологическая эффективность в отношении *Bipolaris spp.* составляла от 64,1 % до 83,3 %, а *Fusarium spp.* – 35,0–93,5 %. Обработка семян биопрепаратами слабо снимала заселенность семян сапротрофными грибами. Биологическая эффективность в отношении *Alternaria spp.* изменялась от 11,9 % при обработке *Trichoderma lignorum* до 22,2 % при обработке *Bacillus subtilis*, штамм 26Д (таблица 2).

Обработка двух- и трехкомпонентными химическими препаратами обеспечивала существенное снижение инфицированности семян возбудителями корневой гнили, биологическая эффективность против фузариоза составляла 51,0–62,2 %, а в отношении *Bipolaris spp.* увеличивалась до 74,4 %. Химические препараты эффективно подавляли на поверхности семян численность плесневых грибов и *Alternaria spp.*, биологическая эффективность изменялась от 24,8 % до 87,4 %.

При обработке семян ячменя биологическими препаратами развитие корневой гнили на корневой системе в фазу кущения составляло 8,0–10,5 %, что в 1,5–2,0 раза меньше контроля. На основании стебля развитие болезни не превышало порог вредоносности (ПВ 5,0 %). В фазу созревания развитие болезни на корнях при обработке семян биопрепаратами изменялась от 36,9 % (*Trichoderma lignorum*) до 38,1 % (*Bacillus subtilis*, штамм 26Д), превышая ПВ в 2,5 раза (ПВ 15 %) (таблица 3). Развитие корневой гнили на основании стебля составляло 6,6–8,6 %, что в 2,0–2,5 раза ниже контроля.

Обработка семян двух- и трехкомпонентными фунгицидами способствовала снижению развития корневой гнили в фазу кущения на корневой системе и основании стебля соответственно до 5,8 % и 4,7 %, тогда как в контроле развитие болезни превышало ПВ в 1,5–2,0 раза. Фунгицидное действие химических препаратов сохранялось на протяжении всего периода вегетации ячменя: развитие болезни на корневой системе и основании стебля в фазу созревания не превышало порога вредоносности и составляло 9,0–12,4 %, тогда как в контроле развитие корневой гнили достигало 19,8 %.

При предпосевной обработке семян биологическими препаратами урожайность ячменя ярового увеличивалась до 2,66–3,19 т/га, а химическими – до 3,25–3,41 т/га, при этом хозяйственная эффективность составляла 24,06–36,67 % и 13,23–17,30 % соответственно (таблица 4). Потери урожая ячменя возрастали при увеличении поражаемости корневой гнилью, уравнение регрессии имеет вид: $y=3,75-0,04x$. Масса 1000 зерен при обработке семян биопрепаратами увеличивалась в среднем на 6,0 %, а химическими – на 6,4–9,3 %

Таблица 2 – Влияние предпосевной обработки препаратами на микоценоз семян ячменя ярового, %

Вариант	Биологическая эффективность, %			
	<i>Alternaria spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i>	<i>Bipolaris spp.</i>	плесневые грибы
биологические препараты (2003–2004 гг.)				
<i>Trichoderma lignorum</i>	11,9	93,5	83,9	32,5
<i>Bacillus subtilis</i> , штамм 26Д	22,2	35,0	64,1	37,3
химические препараты (2017–2019 гг.)				
Скарлет, МЭ, 0,4 л/т Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л	24,8	51,0	74,4	87,4
Поларис, МЭ, 1,5 л/т Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л	44,2	62,2	71,8	83,6

Таблица 3 – Влияние предпосевной обработки семян на поражаемость ячменя ярового корневой гнилью, %

Вариант	Развитие болезни, %			
	фаза кущения		фаза созревания	
	корневая система	основание стебля	корневая система	основание стебля
биологические препараты (2003–2004 гг.)				
Контроль	16,2	0,5	55,7	17,9
<i>Trichoderma lignorum</i>	8,0	0,2	36,9	8,6
<i>Bacillus subtilis</i> , штамм 26Д	10,5	0,2	38,1	6,6
НСР05	3,1	0,2	8,1	4,0
химические препараты (2017–2019 гг.)				
Контроль	10,5	7,7	18,2	19,8
Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л	5,2	4,7	9,0	12,4
Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л	5,8	3,7	9,6	9,4
НСР05	1,2	1,1	2,1	3,3

Таблица 4 – Влияние предпосевной обработки семян препаратами на урожайность ячменя ярового

Вариант	Урожайность, т/га	Хозяйственная эффективность, %	Масса 1000 зерен, г
биологические препараты (2003–2004 гг.)			
Контроль	2,02	-	47,8
<i>Trichoderma lignorum</i>	2,66	24,06	50,5
<i>Bacillus subtilis</i> , штамм 26Д	3,19	36,67	50,7
НСР05	0,39	-	2,6
химические препараты (2017–2019 гг.)			
Контроль	2,82	-	38,90
Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л	3,41	17,30	42,50
Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л	3,25	13,23	41,40
НСР05	0,15	-	1,30

относительно контроля. При создании фитосанитарных экологически сбалансированных агроэкосистем и снижении пестицидной нагрузки необходимо включать такие агротехнические приемы, как севообороты, использование сбалансированных минеральных удобрений, внесение органических удобрений и т. д. [17; 20; 21].

Установлено, что при внесении минеральных удобрений в ризосфере ячменя отмечалось снижение численности амилотической микрофлоры (бактерии на мясо-пептонном агаре (МПА) и крахмало-аммиачном агаре (КАА) (таблица 5). На интенсивность развития микробоценоза и динамику микробиологических процессов оказывали влияние погодные условия. Значительное снижение численности бактерий на МПА и КАА отмечалось в засушливых условиях при ГТК периода вегетации 0,91, составив 2,0–3,5 и более раз по сравнению с увлажненными условиями при ГТК 1,74. Коэффициент минерализации органического вещества (Км) в контроле и при внесении минеральных удобрений практически не изменялся и составлял 1,40–1,44. Повышение коэффициента трансформации (Кпт) до 7,97 при внесении минеральных удобрений, свидетельствует об интенсивном преобразовании растительных остатков в органическое вещество. При внесении минеральных удобрений отмечалось увеличение эмиссии углекислого газа до 64,7 мкг/час, или в 1,2 раза в сравнении с контролем. Сумма относительных показателей микробиологической активности ризосферы почвы при внесении минеральных удобрений увеличивалась до 570,41–590,13 %. Все эти факторы оказывали

влияние в том числе на паразитическую активность возбудителей корневой гнили и поражение ими растений ячменя.

Развитие корневой гнили на корневой системе в фазу кущения ячменя в контроле составляло 12,2 %, а при внесении минеральных удобрений снижалось в 1,5 раза. Развитие болезни на основании стебля не превышало порог вредности (таблица 6). В фазу созревания развитие болезни на корневой системе в контроле превышало ПВ в 2,5 раза, а при внесении минеральных удобрений – в 1,5 раза. На основании стебля развитие корневой гнили при внесении NP и NPK существенно снижалось относительно контроля до 3,9 %. Положительная роль внесения минеральных удобрений в повышении устойчивости растений к корневой гнили и супрессивности почвы к фитопатогенам отмечается и в работах отечественных ученых [22; 23].

При внесении минеральных удобрений урожайность ячменя ярового возрастала до 3,52–3,75 т/га, или в 1,5 раза больше контроля. Кроме того, отмечено увеличение массы 1000 зерен на 12–19 %. Хозяйственная эффективность внесения минеральных удобрений составляла 34,94–38,93 %.

Проведенный дисперсионный анализ позволяет оценить роль каждого фактора в формировании продуктивности ячменя ярового (таблица 7). Доля влияния фактора «Минеральные удобрения» на урожайность составляла 22,1 %, на массу 1000 зерен – 18,4 %. Влияние фактора «Погодные условия» на продуктивность ячменя составила 45,6–72,1 %.

Таблица 5 – Влияние минеральных удобрений на интенсивность микробиологических процессов в ризосфере ячменя ярового, 2002–2004 гг.

Вариант	Численность микроорганизмов, млн КОЕ/г почвы			Км	Кпт	Скорость выделения C-CO ₂ , мкг/час	Сумма относительных показателей, %
	МПА	КАА	МПА+КАА				
Контроль	4,42/97,79	6,45/100,00	10,87/100,00	1,44/100,00	7,44/93,94	53,1/82,07	573,80
N ₆₀ P ₆₀	4,52/100,00	6,06/93,95	10,58/97,33	1,43/99,31	7,92/100,00	64,4/99,54	590,13
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,32/95,58	5,76/89,30	10,08/92,73	1,40/97,22	7,57/95,58	64,7/100,0	570,41

МПА – мясопептонный агар, КАА – крахмало-аммиачный агар, Км – коэффициент минерализации органического вещества; Кпт – показатель микробиологической трансформации почвенного органического вещества; в числителе – абсолютные показатели, в знаменателе – относительные, %.

Таблица 6 – Влияние минеральных удобрений на поражаемость ячменя ярового корневой гнилью, 2002–2004 гг.

Вариант	Развитие болезни, %			
	фаза кущения		фаза созревания	
	корневая система	основание стебля	корневая система	основание стебля
Контроль	12,2	0,4	37,6	9,4
N ₆₀ P ₆₀	8,2	0,4	24,4	3,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,7	0,4	22,1	2,9
HCP ₀₅	1,7	-	2,6	1,9

Таблица 7 – Влияние минеральных удобрений на урожайность ячменя ярового, 2002–2004 гг.

Вариант	Урожайность, т/га	Хозяйственная эффективность, %	Масса 1000 зерен, г
Контроль	2,29	-	46,77
N ₆₀ P ₆₀	3,52	34,94	52,40
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,75	38,93	55,70
НСП ₀₅	0,20	-	3,70

Заключение. Патогенный комплекс корневой гнили ячменя ярового в Курганской области представлен *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker и видами рода *Fusarium* Link (*F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. oxysporum* Schldl, *F. sporotrichioides* Sherb). Передача возбудителей происходила через инфицированные семена, растительные остатки и почву. На основании проведенных исследований установлена высокая степень заражения семян ячменя ярового фитопатогенными микромицетами *B. sorokiniana* и видами родов *Fusarium*.

Применение биологических препаратов на основе *Trichoderma lignorum* и *Bacillus subtilis*, штамм 26Д, снижало развитие корневой гнили ячменя ярового до 36,9–38,1%. При массовом развитии корневой гнили в посевах ячменя ярового применение химических препаратов было более эффективно. Так, препараты на основе Имазалил, 100 г/л + Тебуконазол, 60 г/л; Прохлораз, 100 г/л + Имазалил, 25 г/л + Тебуконазол, 15 г/л способствовали снижению развития болезни на корневой системе до 9,0–9,6. При предпосевной обработке семян биологическими препаратами урожайность ячменя ярового увеличивалась до 2,66–3,19 т/га, а химическими – до 3,25–3,41 т/га, при этом хозяйственная эффективность составляла 13,23–36,67 %.

В ризосфере ячменя ярового при внесении минеральных удобрений отмечался рост эмиссии углекислого газа до 64,7 мкг/час, коэффициента трансформации растительных остатков – до 7,97. Сочетание этих условий оказывало влияние на паразитическую активность возбудителей корневой гнили и поражение ими растений в течение вегетации. При внесении минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ развитие корневой гнили снижалось относительно контроля в 1,5–1,7 раза, а урожайность возрастала до 3,52–3,75 т/га.

Список источников

1. Инфицированность семян пшеницы возбудителем септориоза *Parastagonospora nodorum* Berk / Е.Ю. Торопова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 12. С. 15-19. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11204. EDN: YTBHIT.

2. Комбинированные триазольные протравители и их влияние на рост и развитие проростков яровой пшеницы / А.Ю. Кекало [и др.] // Агрохимия. 2023. № 10. С. 45-52. DOI: 10.31857/S0002188123100071. EDN: LFAQPW.

3. Павлюшин В.А., Постовалов А.А. Совершенствование систем защиты кормовых культур от фитопатогенов в Зауралье // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С. 19-27. DOI: 10.52463/22274227_2022_44_19. EDN: FFRPZV.

4. Постовалов А.А., Суханова С.Ф. Эффективность предпосевной обработки семян ярового ячменя фунгицидами // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020. № 2 (55). С. 42-49. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-42-49. EDN: LYPPSZ.

5. Эффективность применения жидкого гуминового удобрения Гумавит в посевах ярового ячменя / С.Н. Родионов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 219-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-21. EDN: PIACWJ.

6. Влияние штаммов, ассоциативных с *Triticum aestivum* L., на микробоценоз чернозема Южного ризосферы пшеницы / А.Ю. Еговцева [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4 (24). С. 49-61. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-49-61. EDN: UPXQJH.

7. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов / Е.Ю. Торопова [и др.] // Агрохимия. 2017. № 4. С. 51-64. EDN: YRCQIR.

8. Постовалов А.А., Суханова С.Ф. Роль минеральных удобрений в повышении супрессивности почвы и ограничении развития корневой гнили // Известия Горского государственного аграрного университета. 2021. Т. 58-3. С. 9-16. EDN: CYLMFV.

9. Яковлев В.А., Плотников А.М. Влияние химических мелиорантов и удобрений на продуктивность зернопарового севооборота и агрохимические свойства чернозема выщелоченного // Аграрный вестник Урала. 2005. № 2 (26). С. 43-45. EDN: IIZBPR.

10. Синявский И.В., Плотников А.М., Созинов А.В. Влияние перепревшего гусяного помета и минеральных удобрений на продуктивность зернопарового севооборота в условиях лесостепной зоны Зауралья // Агрохимия. 2021. № 12. С. 54-63. DOI: 10.31857/S0002188121120140. EDN: IGTIRM.

11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерно-

вые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / [подгот. М.А. Федин [и др.]. М.: Б. и., 1989. 194 с.

12. Чулкина В.А. Методические указания по учету обыкновенной корневой гнили хлебных злаков в Сибири дифференцированно по органам. Новосибирск, 1972. 23 с.

13. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю. Корневые гнили // Защита и карантин растений. 2004. № 2. С. 16-20. EDN: PBLBGF.

14. Ledinham R.J., Chinn S.H.F. A flotation method for obtaining spores *Helminthosporium sativum* from soil // *Canad. J. Bot.* 1955. Vol. 33. № 4. Pp. 298-303.

15. База данных MYCO BANK [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mycobank.org/> (дата обращения: 13.03.2024).

16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

17. Павлюшин В.А., Постовалов А.А. Приёмы фитосанитарной оптимизации агробиоценозов кормовых культур в Зауралье // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 13-22. EDN: CZDRTU.

18. Постовалов А.А. Фитосанитарная оптимизация агробиоценозов зерновых, зернобобовых и масличных культур в лесостепи Зауралья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 4.1.3: утв. 11.10.2023. Казань, 2023. 477 с.

19. Торопова Е.Ю., Каменев И.А. Сравнительная оценка эффективности контактного и системного фунгицидов для обработки семян сои в лесостепи Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 1 (70). С. 161-168. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-161-168. EDN: JAZAPC.

20. Комарова О.П. Основные принципы экологической защиты растений в орошаемых агроландшафтах // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 144-152. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-14. EDN: WBYCVZ.

21. Шпанев А.М., Фесенко М.А., Смук В.В. Эффективность применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в полевом севообороте на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2021. № 1. С. 12-22. DOI: 10.31857/S0002188121010099. EDN: BWYUWU.

22. Влияние факторов биологизации и химизации на фитосанитарное состояние ячменя в лесостепи Западной Сибири / Л.Ф. Ашмарина [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021. № 1 (58). С. 7-16. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-7-16. EDN: MBVCSF.

23. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов / Е.Ю. Торопова [и др.] // Агрохимия. 2017. № 4. С. 51-64. EDN: YRCQIR.

References

1. Toropova E.Yu. et al. Infitsirovannost' semyan pshenitsy vzbuditelem septorioza *Parastagonospora nodorum* Berk [Infection of wheat seeds with the causative agent of septoria leaf spot *Parastagonospora nodorum* Berk]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2018; 32(12): 15-19. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11204. EDN: YTBHIT. (In Russ).

2. Kekalo A.Yu. et al. Kombinirovannye triazol'nye protraviteli i ikh vliyanie na rost i razvitie prorostkov yarovoi pshenitsy [Combined triazole seed treatments and their effect on the growth and development of spring wheat seedlings]. *Agrohimia*. 2023; (10): 45-52. DOI: 10.31857/S0002188123100071. EDN: LFAQPW. (In Russ).

3. Pavlyushin V.A., Postovalov A.A. Sovershenstvovanie sistem zashchity kormovykh kul'tur ot fitopatogenov v Zaural'e [Improvement of systems of protection of fodder crops from phytopathogens in the TransUrals]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2022; 4(44): 19-27. DOI: 10.52463/22274227_2022_44_19. EDN: FFRPZV. (In Russ).

4. Postovalov A.A., Sukhanova S.F. Effektivnost' predposevnoi obrabotki semyan yarovogo yachmenya fungitsidami [Efficiency of pre-sowing treatment of spring barley seeds with fungicides]. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020; 2(55): 42-49. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-42-49. EDN: LYPPSZ. (In Russ).

5. Rodionov S.N. et al. Effektivnost' primeneniya zhidkogo guminovogo udobreniya Gumavit v posevakh yarovogo yachmenya [Efficiency of using liquid humic fertilizer Gumavit in spring barley crops]. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education*. 2022; 1(65): 219-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-21. EDN: PIACWJ. (In Russ).

6. Egovtseva A.Yu. et al. Vliyanie shtammov, assotsiativnykh s *Triticum aestivum* L., na mikrobiotsenoz chernozema Yuzhnogo rizosfery pshenitsy [The influence of strains associated with *Triticum aestivum* L. on the microbiocenosis of the Southern chernozem of the wheat rhizosphere]. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2020; 4(24): 49-61. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-49-61. EDN: UPXQJH. (In Russ).

7. Toropova E.Yu. et al. Faktory induktsii suppressivnosti pochvy agrotsenozov [Factors inducing the suppressiveness of soil agrocenoses]. *Agrohimia*. 2017; (4): 51-64. EDN: YRCQIR. (In Russ).

8. Postovalov A.A., Sukhanova S.F. Rol' mineral'nykh udobrenii v povyshenii suppressivnosti poch-

vy i ogranichenii razvitiya kornevoi gnili [The role of mineral fertilizers in increasing soil suppressivity and limiting the development of root rot]. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2021; (58-3): 9-16. EDN: CYLMFV. (In Russ).

9. Yakovlev V.A., Plotnikov A.M. Vliyanie khimicheskikh meliorantov i udobrenii na produktivnost' zernoparovogo sevooborota i agrokhimicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo [The influence of chemical ameliorants and fertilizers on the productivity of grain-fallow crop rotation and agrochemical properties of leached chernozem]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2005; 2(26): 43-45. EDN: IIZBPR. (In Russ).

10. Sinyavsky I.V., Plotnikov A.M., Sozinov A.V. Vliyanie pereprevshego gusinogo pome-ta i mineral'nykh udobrenii na produktivnost' zernoparovogo sevooborota v usloviyakh lesostepnoi zony Zaural'ya [The influence of rotted goose manure and mineral fertilizers on the productivity of grain-fallow crop rotation in the forest-steppe zone of the Trans-Urals]. *Agrohimia*. 2021; (12): 54-63. DOI: 10.31857/S0002188121120140. EDN: IGTIRM. (In Russ).

11. Fedin M.A. et al. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow: B. i.; 1989. (In Russ).

12. Chulkina V.A. *Metodicheskie ukazaniya po uchetu obyknovЕННОй kornevoi gnili khlebynykh zlakov v Sibiri differentsirovanno po organam* [Guidelines for recording common root rot of cereals in Siberia differentiated by organs]. Novosibirsk; 1972. (In Russ).

13. Chulkina V.A., Toropova E.Yu. Kornevye gnili [Root rot]. *Protection and quarantine of plants*. 2004; (2): 16-20. EDN: PBLBGF. (In Russ).

14. Ledinham R.J., Chinn S.H.F. A flotation method for obtaining spores *Helminthosporium sativum* from soil. *Canad. J. Bot.* 1955; 33(4): 298-303.

15. MYCO BANK Database [Internet]. URL: <https://www.mycobank.org/> (Accessed: 13.03.2024).

16. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. M.: Agropromizdat; 1985. (In Russ).

17. Pavlyushin V.A., Postovalov A.A. Priemy fitosanitarnoi optimizatsii agrobiotsenozov kormovykh kul'tur v Zaural'e [Methods of phytosanitary optimization of agrobiocenoses of forage crops in the Trans-Ural]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2023; 1(45): 13-22. EDN: CZDRTU. (In Russ).

18. Postovalov A.A. *Fitosanitarnaya optimizatsiya agrobiotsenozov zernovykh, zernobobovykh i maslichnykh kul'tur v lesostepi Zaural'ya* [Phytosanitary optimization of agrobiocenoses of grain, leguminous and oilseed crops in the forest-steppe of the Trans-Urals]. [Dissertation]. Kazan; 2023: 477. (In Russ).

19. Toropova E.Yu., Kamenev I.A. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti kontaktnogo i sistemnogo fungitsidov dlya obrabotki semyan soi v lesostepi Novosibirskoi oblasti [Comparative assessment of the effectiveness of contact and systemic fungicides for treating soybean seeds in the forest-steppe of the Novosibirsk region]. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 1(70): 161-168. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-161-168. EDN: JAZAPC. (In Russ).

20. Komarova O.P. Osnovnye printsipy ekologicheskoi zashchity rastenii v oroshaemykh agrolandshtakh [Basic principles of ecological protection of plants in irrigated agricultural landscapes]. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2021; 1(61): 144-152. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-14. EDN: WBVCVZ. (In Russ).

21. Shpanev A.M., Fesenko M.A., Smuk V.V. Effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobrenii i integrirovannoi sistemy zashchity rastenii v polevom sevooborote na Severo-Zapade RF [Efficiency of application of mineral fertilizers and integrated plant protection system in field crop rotation in the North-West of the Russian Federation]. *Agrohimia*. 2021; (1): 12-22. DOI: 10.31857/S0002188121010099. EDN: BWYWUW. (In Russ).

22. Ashmarina L.F. et al. Vliyanie faktorov biologizatsii i khimizatsii na fitosanitarnoe sostoyanie yachmenya v lesostepi Zapadnoi Sibiri [The influence of biologization and chemicalization factors on the phytosanitary condition of barley in the forest-steppe of Western Siberia]. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2021; 1(58): 7-16. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-7-16. EDN: MBVCSF. (In Russ).

23. Toropova E.Yu. et al. Faktory induksii suppressivnosti pochvy agrotsenozov [Factors inducing the suppressiveness of soil agrocenoses]. *Agrohimia*. 2017; (4): 51-64. EDN: YRCQIR. (In Russ).

Информация об авторах

А.А. Постовалов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 413919.

С.Ф. Суханова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; AuthorID 149859.

Information about the author

A.A. Postovalov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 413919.

S.F. Sukhanova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; AuthorID 149859.

Статья поступила в редакцию 05.07.2024; одобрена после рецензирования 14.08.2024; принята к публикации 03.10.2024.

The article was submitted 05.07.2024; approved after reviewing 14.08.2024; accepted for publication 03.10.2024.