

GLYPHOSATE CATABOLISM IN SYMBIOTIC RHIZOBACTERIA *RHIZOBIUM TRIFOLII*

N. A. Mikhailouskaya, S. S. Romanenko, T. V. Pogirnitskaya,
T. B. Barashenko, S. V. Dyusova, A. L. Novik

Summary

In vitro laboratory experiments, strains of *Rhizobium trifolii* (*Rh. trifolii* R-45, *Rh. trifolii* R-107 и *Rh. trifolii* R-63/3) decompose glyphosate at the phosphonic C-P bond to form safe methylglycine (sarcosine).

The destruction activity of *Rhizobium trifolii* symbiotic rhizobacteria strains at a glyphosate concentration of 300 mg/l was 23,9%, 26,7%, 43,2%, at a concentration of 500 mg/l – 24,2%, 24,8%, 36,8%, respectively. The ability of *Rhizobium trifolii* rhizospheric bacteria to metabolize the herbicide glyphosate in an environmentally friendly way indicates their promise as inoculants, in particular in conditions of intensive use of the herbicide glyphosate.

УДК 631.82:633.358:631.445

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ГОРОХА ПОСЕВНОГО НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАННОЙ ПОЧВЫ ЦИНКОМ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, С. Г. Кудласевич,
Л. Н. Гук, Е. И. Гутько

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В агротехнике возделывания зернобобовых культур научно обоснованная система применения удобрений, наряду с другими агротехническими приемами, обеспечивает высокую и устойчивую продуктивность с хорошим качеством товарной продукции. Среди удобрений, оказывающих благоприятное действие на урожайность и качество зернобобовых культур, большое значение принадлежит микроудобрениям [1–5]. По обобщенным данным ряда опытов, цинк повышают урожайность гороха на 3,0–3,6 ц/га, содержание белка – на 0,4–1,2 %. При оптимальном количестве цинка в почве в биомассе гороха значительно увеличивается содержание азота и суммарный выход аминокислот, в т. ч. и незаменимых. Под действием цинка существенно увеличивается и сбор сырого протеина с биомассой бобовой культуры, что способствует улучшению качества растительной продукции [6–8].

При возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси, среднее содержание цинка в зерне и семенах основной и побочной продукции

составляет – 17,3–38,0 мг/кг. Предельно допустимая концентрация цинка в кормовом зерне, зернофураже равна 50 мг/кг, грубых и сочных кормах – 100 мг/кг. Потребность крупного рогатого скота в цинке удовлетворяется при содержании 30–50 мг в 1 кг сухого вещества корма. Минимальная потребность в цинке оценивается примерно в 20 мг/кг [9–11].

Обобщение имеющихся в настоящее время материалов по изучению влияния цинка на растения свидетельствуют о том, что действие этого микроэлемента в значительной степени зависит от биологических особенностей культуры. Слабо изучен вопрос влияния цинка на процессы формирования и реализации потенциала продуктивности растений в зависимости от почвенно-агрохимических условий. Горох является ценной кормовой культурой и увеличение урожайности, повышение содержания в зерне белка и цинка под воздействием цинковых удобрений при различной обеспеченности почвы подвижным цинком актуально и имеет практическую значимость. Особенно это важно для дерново-подзолистых почв республики, где доля пахотных почв с низким содержанием подвижного цинка составляет 64,3 % от общей площади [12].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению зависимости урожайности и качества зерна гороха от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком и доз цинкового удобрения проводили в полевом опыте в РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,0–6,2, содержание гумуса – 2,48–2,70 %, P_2O_5 – 228–269 мг/кг, K_2O – 200–288 мг/кг.

Опыт с горохом (сорт Астронавт) включал варианты с применением в некорневую подкормку цинкового удобрения на 4-х уровнях обеспеченности супесчаной почвы цинком: 1 – низкий уровень (< 3,0 мг/кг), 2 – средний уровень (3,1–5,0 мг/кг), 3 – высокий уровень (5,1–10,0 мг/кг), 4 – избыточный уровень (> 12,0 мг/кг). Исследования с горохом проводились на фоне минеральных удобрений ($\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$).

Схема опыта:

1. Контроль без удобрений;
2. $\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ – фон;
3. Фон + $\text{Zn}_{0,04}$;
4. Фон + $\text{Zn}_{0,08}$;
5. Фон + $\text{Zn}_{0,12}$.

Азотные, фосфорные и калийные удобрения под горох внесены в форме карбамида, суперфосфата аммонизированного, хлористого калия до посева с заделкой под культивацию. Некорневую подкормку гороха цинком проводилась в фазе начала бутонизации 70 г/га. В качестве цинкового микроудобрения для некорневой подкормки применяли жидкое удобрение МикроСтим-Цинк, содержащее 70 г/л цинка. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

Период исследований 2024–2025 гг. отличался от среднемноголетних значений по температурному режиму и влагообеспеченности. В вегетационный период

2024 г. гидротермический коэффициент (ГТК) в среднем за вегетацию составил 2,7, при среднемноголетнем значении 1,9. В течение вегетации 2024 г. отмечались аномально теплые периоды, особенно в летние месяцы, когда средняя температура воздуха превышала норму. Среднемесячная температура воздуха в апреле и мае превышала среднемноголетние показатели. Количество выпавших атмосферных осадков в апреле составило 258 % от нормы, в мае – 82 % от месячной нормы. В июне и в июле, во время цветения и плодообразования гороха, среднемесячная температура была выше нормы. В июле отмечалось избыточное количество осадков, которое составляло 171 % от месячной нормы при ГТК 2,7.

Вегетационный период 2025 г. характеризовался по значениям ГТК (3,0–3,9) как избыточно-увлажненный. При этом, значения ГТК в 2025 г. превышали среднемноголетние показатели в 1,8–2,5 раза. Количество выпавших атмосферных осадков в мае составило 164 % климатической нормы, в июне – 219 %, в июле – 183 %. Май оказался аномально холодным, наблюдались ночные заморозки, что в совокупности сказалось на развитии гороха, вызывая замедление роста и развития растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлена зависимость урожайности зерна гороха от обеспеченности почвы подвижным цинком и дозы внесения цинкового удобрения. Некорневые подкормки микроудобрениями наиболее эффективны на первых двух уровнях содержания подвижного цинка в почве в дозе внесения цинка 0,12 кг д. в./га (табл.1). Применение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{60}K_{120}$ повышает урожайность зерна гороха на 11,7–14,3 ц/га (42,6–52,0 %). Некорневые подкормки гороха цинковыми удобрениями на низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{60}K_{120}$ повышают урожайность зерна на 4,0–5,7 и 2,6–3,9 ц/га, при урожайности 43,8–45,5 и 44,4–45,7 ц/га соответственно.

Таблица 1
Влияние цинкового удобрения на урожайность гороха и содержание белка в зерне при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком (среднее за 2024–2025 гг.)

-	Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка		Содержание белка, %	Сбор белка, ц/га
			ц/га	%		
Контроль без удобрений		27,5	–	–	17,0	4,0
Низкий, 3,0 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон*	39,8	12,3	44,7	19,2	6,6
	Фон + $Zn_{0,04}$ **	43,8	4,0	9,9	20,0	7,6
	Фон + $Zn_{0,08}$	44,5	4,7	11,7	20,2	7,8
	Фон + $Zn_{0,12}$	45,5	5,7	14,2	20,8	8,2
Средний, 5,0 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	41,8	14,3	52,0	19,8	7,2
	Фон + $Zn_{0,04}$	44,4	2,6	6,2	20,1	7,7
	Фон + $Zn_{0,08}$	45,0	3,2	7,5	20,5	8,0
	Фон + $Zn_{0,12}$	45,7	3,9	9,3	21,0	8,3

Окончание табл. 1

-	Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка		Содержание белка, %	Сбор белка, ц/га
			ц/га	%		
Высокий, 7,7 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	39,2	11,7	42,6	20,8	7,0
	Фон + Zn _{0,04}	41,0	1,8	4,6	19,9	7,1
	Фон + Zn _{0,08}	41,3	2,1	5,2	20,2	7,2
	Фон + Zn _{0,12}	42,0	2,8	7,0	20,7	7,5
Избыточный, 11,4 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	39,2	11,7	42,6	21,4	7,2
	Фон + Zn _{0,04}	40,5	1,3	3,3	20,5	7,1
	Фон + Zn _{0,08}	40,5	1,3	3,3	21,6	7,5
	Фон + Zn _{0,12}	41,3	2,1	5,3	21,2	7,5
HCP ₀₅		2,21	–	1,1	0,7	

* В вариантах 2 $N_{40}P_{60}K_{120}$ – прибавка рассчитывалась к контролю без удобрений; в вариантах 3–5 с внесением Zn_{0,04, 0,08, 0,12} – прибавка рассчитывалась к фону NPK.

Более высокие прибавки урожайности зерна гороха отмечены при внесении в возрастающих дозах цинкового удобрения на низком уровне обеспеченности почвы цинком. Так, некорневые подкормки цинком в дозах 0,04, 0,08 и 0,12 кг/га увеличивали урожайность гороха на 4,0, 4,7 и 5,7 ц/га (9,9, 11,7 и 14,2 %) соответственно. При среднем уровне обеспеченности почвы цинком урожайность гороха от некорневой подкормки микроудобрениями повышалась на 2,6, 3,2 и 3,9 ц/га (6,2, 7,5 и 9,3 %) (рис.).



Рис. Прибавки урожайности гороха от цинковых удобрений при низком и среднем уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком

При высоком уровне содержания цинка в почве не отмечается достоверного повышения урожайности зерна гороха от некорневой подкормки цинковым удобрением (за исключением цинка в дозе 0,12 кг/га). При избыточном содержании подвижного цинка в почве некорневые подкормки гороха посевного цинковым удобрением нецелесообразны.

Внесение минеральных удобрений ($N_{40}P_{60}K_{120}$) под горох повышало содержание белка в зерне на 2,2–3,8 %, сбор белка увеличился на 2,6–3,2 ц/га по сравнению с вариантом без удобрений. Применение минеральных удобрений в сочета-

нии с некорневыми подкормками цинковым удобрением максимально повышает содержание (на 1,6 и 1,2 %) и сбор белка (8,2 и 8,3 ц/га) в горохе в дозе внесения цинка 0,12 кг д. в./га при низком и среднем уровнях обеспеченности почвы цинком (табл. 1).

Потребление цинка растениями гороха возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения (табл. 2).

Таблица 2

Динамика содержания цинка в растениях гороха при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом, мг/кг сухой массы (среднее за 2024–2025 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Фазы роста и развития		
	ветвление	бутонизация	цветение
Низкий, 3,0 мг/кг	16,0	15,5	<u>12,3*</u> 16,2–18,0
Средний, 5,0 мг/кг	25,0	23,1	<u>21,0</u> 24,3–27,0
Высокий, 7,7 мг/кг	35,6	29,9	<u>27,3</u> 33,2–36,5
Избыточный 11,4 мг/кг	57,8	44,3	<u>41,2</u> 45,3–49,8
Оптимум по Церлинг В. В. [13]		–	21–50

* Над чертой – фон ($N_{40}P_{60}K_{120}$), под чертой – некорневые подкормки ($Zn_{0,04-0,12}$).

Экспериментальные данные показывают, что по мере накопления вегетативной массы гороха в течение вегетации количество цинка в растениях уменьшалось. Самое высокое содержание цинка отмечается в фазе ветвления растений гороха, наименьшее – в фазу цветения. Так, повышение содержания подвижного цинка в почве от низкого (3,0 мг/кг) до избыточного (11,4 мг/кг) уровня увеличивало потребление элемента растениями гороха с 16,0 до 57,8 мг/кг сухой массы в начале вегетации (в фазу ветвления) и с 12,3 до 41,2 мг/кг в фазу цветения. К фазе цветения содержание цинка в среднем уменьшилось на 23,1–28,7 %.

Повышение содержания подвижного цинка в почве увеличивало накопление цинка в зерне гороха. Так, с увеличением концентрации подвижного цинка в почве от низкого до избыточного уровня, содержание элемента в зерне гороха возрастает с 17,8 до 35,7 мг/кг, в соломе – с 5,0 до 10,7 мг/кг сухой массы (табл. 3). Некорневая подкормка гороха цинковым удобрением при низком содержании подвижного цинка в почве увеличивала концентрацию элемента в зерне на 2,0–2,6 мг/кг (11,2–15,4 %), в соломе – на 0,3–1,0 мг/кг (6,0–20,0 %), при среднем уровне – на 2,4–4,0 мг/кг (10,4–17,3 %) и 0,2–1,4 мг/кг (3,1–21,9 %), на высоком уровне – на 1,3–3,2 мг/кг (4,3–10,4 %) и 1,1–2,8 мг/кг (12,5–31,8 %), на избыточном – на 1,3–3,6 мг/кг (3,6–9,9 %) и 2,9–5,1 мг/кг (27,1–47,7 %) соответственно. При низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы цинком некорневая подкормка цинковым удобрением в дозе 0,12 кг д. в./га повышает концентрацию элемента в зерне до 20,4 и 27,1 мг/кг соответственно, что соответствует нижней границы оптимальных концентраций для кормов 20–60 мг/кг сухой массы [11].

Таблица 3

Содержания цинка в зерне и соломе гороха в зависимости от дозы цинкового удобрения при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом, мг/кг (среднее за 2024–2025 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Зерно			Солома		
		содержание	повышение к фону		содержание	повышение к фону	
			мг/кг	%		мг/кг	%
	Контроль	16,1	—	—	4,5	—	—
Низкий, 3,0 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	17,8	—	—	5,0	—	—
	Фон + $Zn_{0,04}$	19,8	2,0	11,2	5,3	0,3	6,0
	Фон + $Zn_{0,08}$	20,5	2,7	15,2	5,6	0,6	12,0
	Фон + $Zn_{0,12}$	20,4	2,6	14,6	6,0	1,0	20,0
Средний, 5,0 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	23,1	—	—	6,4	—	—
	Фон + $Zn_{0,04}$	25,5	2,4	10,4	6,6	0,2	3,1
	Фон + $Zn_{0,08}$	26,1	3,0	13,0	7,1	0,7	10,9
	Фон + $Zn_{0,12}$	27,1	4,0	17,3	7,8	1,4	21,9
Высокий, 7,7 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	30,3	—	—	8,8	—	—
	Фон + $Zn_{0,04}$	31,6	1,3	4,3	9,9	1,1	12,5
	Фон + $Zn_{0,08}$	32,3	2,0	6,6	10,9	2,1	23,9
	Фон + $Zn_{0,12}$	33,5	3,2	10,4	11,6	2,8	31,8
Избыточный, 11,4 мг/кг	$N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	35,7	—	—	10,7	—	—
	Фон + $Zn_{0,04}$	37,0	1,3	3,6	13,6	2,9	27,1
	Фон + $Zn_{0,08}$	37,9	2,2	6,0	14,9	4,2	39,2
	Фон + $Zn_{0,12}$	39,3	3,6	9,9	15,8	5,1	47,7

Расчеты коэффициента биологического поглощения показали, что растения гороха обладают высоким потенциалом поглощения цинка, особенно при низкой его концентрации в почве (табл. 4). Установлено, что при низком (3,0 мг/кг) содержании цинка в супесчаной почве коэффициент биологического поглощения для зерна гороха составил 5,9–6,8, для соломы – 1,7–2,0. При высоких концентрациях подвижного цинка в почве (11,4 мг/кг) поглощение его горохом снижается до 3,1–3,4 (зерно) и до 0,9–1,4 (солома). При внесении цинкового удобрения в некорневые подкормки гороха коэффициент биологического поглощения увеличивается с повышением доз микроудобрения.

Таблица 4

Коэффициенты биологического поглощения цинка горохом в зависимости от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и дозы цинкового удобрения (среднее за 2024–2025 гг.)

Варианты	Низкий, 3,0 мг/кг	Средний, 5,0 мг/кг	Высокий, 7,7 мг/кг	Избыточный, 11,4 мг/кг
Зерно				
2. $N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	5,9	4,6	3,9	3,1
3. Фон + $Zn_{0,04}$	6,6	5,1	4,1	3,2
4. Фон + $Zn_{0,08}$	6,8	5,2	4,2	3,3
5. Фон + $Zn_{0,12}$	6,8	5,4	4,4	3,4

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Окончание табл. 4

Варианты	Низкий, 3,0 мг/кг	Средний, 5,0 мг/кг	Высокий, 7,7 мг/кг	Избыточный, 11,4 мг/кг
Солома				
2. $N_{40}P_{60}K_{120}$ – фон	1,7	1,3	1,1	0,9
3. Фон + $Zn_{0,04}$	1,8	1,3	1,3	1,2
4. Фон + $Zn_{0,08}$	1,9	1,4	1,4	1,3
5. Фон + $Zn_{0,12}$	2,0	1,6	1,5	1,4

Для оценки эффективности применения цинкового удобрения при возделывании гороха на различных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком был проведен экономический анализ. Экономическая эффективность рассчитана на основании полученных в опыте прибавок кормовых единиц и нормативных данных затрат и цен на текущий год [14]. Расчет экономической эффективности показал, что применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку гороха является экономически выгодным, поскольку способствует повышению урожайности, компенсирующей затраты на удобрение и увеличению прибыли (табл. 5).

Таблица 5
Агроэкономическая эффективность применения микроудобрения
МикроСтим-Цинк при возделывании гороха на различных уровнях обеспеченности
почвы цинком (среднее за 2024–2025 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Прибавка к. ед., ц/га	Стоимость прибавки, руб./га	Общие затраты, руб./га	Прибыль, руб./га	Рентабель- ность, %
Низкий, 3,0 мг/кг	Фон + $Zn_{0,04}$	5,6	179,2	61,8	117,4	190
	Фон + $Zn_{0,08}$	6,6	210,6	75,5	135,1	179
	Фон + $Zn_{0,12}$	8,0	255,4	92,2	163,2	177
Средний, 5,0 мг/кг	Фон + $Zn_{0,04}$	3,6	116,5	47,1	69,4	147
	Фон + $Zn_{0,08}$	4,5	143,4	59,7	83,7	140
	Фон + $Zn_{0,12}$	5,5	174,7	73,3	101,5	138
Высокий, 7,0 мг/кг	Фон + $Zn_{0,04}$	2,5	80,6	38,7	41,9	108
	Фон + $Zn_{0,08}$	2,9	94,1	48,2	45,9	95
	Фон + $Zn_{0,12}$	3,9	125,4	61,7	63,7	103

* Фон – $N_{40}P_{60}K_{120}$.

Некорневая подкормка гороха микроудобрением МикроСтим-Цинк при низкой обеспеченности подвижного цинка в супесчаной почве обеспечивает прибыль 117,4–163,2 руб./га при рентабельности 177–190 %, на среднем уровне обеспеченности – 69,4–101,5 руб./га и 138–147 %, на высоком уровне – 41,9–63,7 руб./га и 95–108 % соответственно. Наиболее высокие экономические показатели от некорневой подкормки гороха микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозе внесения цинка 0,12 кг д. в./га отмечаются при низкой и средней обеспеченности почвы подвижным цинком на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{60}K_{120}$, что обеспечивает прибавки урожая 8,0–5,5 к. ед. ц/га, прибыль 163,2 и 101,5 руб./га при рентабельности 177 и 138 % соответственно.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве низко- и среднеобеспеченной подвижным цинком некорневая подкормка гороха посевного цинковым удобрением в дозе 0,12 кг д. в./кг на фоне внесения минеральных удобрений $N_{40}P_{60}K_{120}$, обеспечивает повышение урожайности зерна на 5,7 и 3,9 ц/га, белка – на 1,6 и 1,2 %, прибыль 163,2 и 101,5 руб./га при урожайности 45,5 и 45,7 ц/га и рентабельности 177 и 138 % соответственно.

2. Потребление цинка растениями гороха возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения. С повышением концентрации подвижного цинка в почве от низкого до избыточного уровня, содержание элемента в зерне гороха возрастает с 17,8 до 35,7 мг/кг, в соломе – с 5,0 до 10,7 мг/кг сухой массы. При низкой и средней обеспеченности почвы подвижным цинком некорневая подкормка гороха цинковым удобрением в дозах 0,04–0,12 кг д. в./га повышает концентрацию элемента в зерне до 19,8–20,5 и 25,5–27,1 мг/кг сухой массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар, Ф. Элмер, А. Постников [и др.]. – Минск: ФАУинформ, 2000. – 264 с.
2. Ханиева, И. М. Эффективность микро- и макроудобрений при выращивании гороха / И. М. Ханиева, А. Л. Бозиев // Земледелие. – 2010. – № 1. – С. 22–23.
3. Цыганов, А. Р. Эффективность применения микроудобрений при возделывании гороха / А. Р. Цыганов, О. И. Вильдфлущ // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2004. – № 3. – С. 28–31.
4. Вильдфлущ, И. Р. Рациональное применение удобрений: учебное пособие / И. Р. Вильдфлущ, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – 324 с.
5. Михалев, И. В. Азотфикссирующая деятельность, урожайность и качество семян сортов кормовых бобов и гороха в зависимости от макро- и микроудобрений в лесостепи ЦЧР: дис. ... канд. с-х. наук : 06.01.01 / И. В. Михалев. – Воронеж, 2014. – 223 с.
6. Куликов, Я. К. Экологические функции растительно-микробных симбиозов и их роль в развитии ресурсосберегающих биотехнологий / Я. К. Куликов // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. біял. навук. – 2022. – № 2. – С. 243–256.
7. Ионова, Л. П. Влияние некорневых подкормок марганцем и цинком на сорта гороха с различным вегетационным периодом / Л. П. Ионова // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 20–25 авг. 2007 г. – Астрахань, 2007. – Ч. 1. – С. 273–277.
8. Елькина, Г. Я. Влияние различного содержания цинка в почве на аминокислотный состав биомассы кормовых трав / Г. Я. Елькина // Агрохимия. – 2020. – № 4. – С. 57–65.
9. Побилат, А. Е. Микроэлементы в сельскохозяйственных растениях (обзор) / А. Е. Побилат, Е. И. Волошин // Микроэлементы в медицине. – 2021. – № 22(3). – С. 3–14.
10. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.

11. Косолапов, В. М. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова. – М. : ООО «Угрешская типография», 2019. – 272 с.
12. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мин. : ИВЦ Минфина, 2017. – С. 31–32.
13. Церлинг В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990 – 235 с.
14. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич, Г. М. Сафоновская, Н. Д. Терещенко [и др.]. – Мин. : Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

THE EFFECTIVENESS OF ZINC FERTILIZER IN THE CULTIVATION OF FIELD PEAS AT VARIOUS LEVELS OF PROVISION OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL WITH ZINC

M. V. Rak, E. N. Pukalova, S. G. Kudlasevich, L. N. Guk, E. I. Gutko

Summary

The article presents the results of research on the study of the most effective doses of zinc fertilizer in the technology of pea cultivation on sod-podzolic sandy loam soil with different levels of zinc content. In the technology of pea cultivation on sod-podzolic sandy loam soil, low- and medium-provided with zinc, foliar top dressing of peas with zinc fertilizer at a dose of 0,12 kg/ha increases grain yield by 5,7 and 3,9 c/ha, increases protein content by 1,6 and 1,2 % with profitability of 177 and 138 %, respectively.

Поступила 08.12.25

УДК 631.8:633.11: 631.445

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ^{137}Cs И ^{90}Sr В МНОГОЛЕТНИЕ БОБОВО-ЗЛАКОВЫЕ ТРАВОСМЕСИ НА ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

А. Г. Подоляк¹, В. В. Дробышевская²

¹Гомельская ОПИСХ,
г. Гомель, Беларусь

²НПЦ радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сельскохозяйственное производство на загрязненных радионуклидами землях Республики Беларусь ведется на площади около 700,2 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 1,0 Ки/км² и выше,