

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ЦИНКА В ПРОДУКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, КУКУРУЗЫ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЭТИМ ЭЛЕМЕНТОМ

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

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Необходимым элементом системы удобрений в современном земледелии является использование микроэлементов. Установлено, что на почвах бедных микроэлементами снижается урожайность и качество получаемой продукции практически всех культур, а при остром недостатке микроэлементов в рационах животных возможны их заболевания и снижение продуктивности. Применение микроудобрений на недостаточно обеспеченных микроэлементами почвах обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции [1–3].

К настоящему времени накоплен значительный теоретический и практический материал о высокой эффективности использования цинковых удобрений. При этом действие цинка в значительной степени зависит от биологических особенностей культур. Так, установлена высокая эффективность цинковых микроудобрений в технологиях возделывания зерновых культур и кукурузы. Применение цинка на фоне полного минерального удобрения повышает урожайность зерна пшеницы и кукурузы, до 10 ц/га, увеличивает содержание белка, крахмала клейковины, оптимизирует фракционный состав белка зерновых культур [4–7]. Имеются данные о положительном влиянии цинка на продуктивность люцерны. Под влиянием цинка ускоряется рост растений, увеличивается вес надземной массы и корней, а также число и размеры клубеньков. Одновременно повышается содержание белка и углеводов в надземной массе и витамина С [8–9]. По обобщенным данным ряда опытов цинк повышает урожайность гороха на 3,0–3,6 ц/га, содержание белка – на 0,4–1,2 %. При оптимальном содержании цинка в почве в биомассе гороха значительно увеличивается содержание азота и суммарный выход аминокислот, в том числе и незаменимых [10].

Таким образом, 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.

Цель исследований – установить влияние наиболее эффективных доз цинковых удобрений в технологии возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве с различным содержанием подвижного цинка.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по эффективности цинкового удобрения в зависимости от обеспеченности почвы подвижным цинком проводили в полевых опытах с озимой пшеницей (2016–2017 гг.), кукурузой (2017–2018 гг.), люцерной (2022–2023 гг.), горохом посевным (2024–2025 гг.) 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: при возделывании озимой пшеницы: pH_{KCl} – 5,8, содержание гумуса – 2,6 %, P_2O_5 и K_2O – 216 и 368 мг/кг почвы соответственно; при возделывании кукурузы: pH в KCl – 6,0, содержание гумуса – 2,6 %, P_2O_5 и K_2O – 241 и 275 мг/кг почвы соответственно; при возделывании люцерны: pH_{KCl} – 6,1, содержание гумуса – 2,6 %, P_2O_5 – 218 мг/кг, K_2O – 301 мг/кг почвы; при возделывании гороха: pH_{KCl} – 6,1, содержание гумуса – 2,6 %, P_2O_5 – 248 мг/кг, K_2O – 244 мг/кг почвы.

Схема полевого опыта включала 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 озимой пшеницей Арктис включали варианты с применением в некорневую подкормку в стадии первого узла и при появлении последнего листа возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,025, 0,05, 0,075 и 0,10 кг/га д. в.) на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{90}K_{150}$. Полевой опыт с кукурузой Паладио F1 включал варианты с применением в некорневую подкормку в фазе 6–8 листьев возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,05, 0,10, 0,15 и 0,20 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{160}P_{90}K_{150}$. Полевой опыт с люцерной Пауэр включал варианты с применением в некорневую подкормку в фазе ветвление под каждый укос возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $P_{90}K_{180}$. Исследования с горохом Астронавт проводили с применением в некорневую подкормку в фазе начало бутонизации возрастающих доз цинкового удобрения в дозах 0,04, 0,08 и 0,12 кг/га д. в. на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{60}K_{120}$.

В качестве цинкового удобрения для некорневой подкормки применяли жидкое удобрение МикроСтим-Цинк, содержащее 70 г/л цинка. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Технология возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для республики. Исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлена зависимость урожайности озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур от обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком (табл. 1).

Таблица 1

Влияние цинкового удобрения на урожайность озимой пшеницы, кукурузы и бобовых культур при разной обеспеченности супесчаной почвы цинком, ц/га

Варианты	Уровни обеспеченности почвы цинком							
	Низкий, 2,3–3,0 мг/кг		Средний, 3,5–5,0 мг/кг		Высокий, 6,7–7,7 мг/кг		Избыточный, 10,0–11,4мг/кг	
	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка	урожай- ность	при- бавка
Озимая пшеница, зерно (2016–2017 гг.)								
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	70,1	–	69,8	–	69,5	–	70,6	–
Zn _{0,05}	73,5	3,4	71,8	2,0	70,4	0,8	70,7	0,1
Zn _{0,0,75}	74,4	4,3	72,7	2,9	69,9	0,3	69,5	–
Zn _{0,10}	76,3	6,2	73,6	3,8	69,0	–	69,8	–
HCP _{0,5}	1,9							
Кукуруза, зерно (2017–2018 гг.)								
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	70,9	–	75,4	–	74,9	–	71,7	–
Zn _{0,05}	75,2	4,3	78,5	3,1	77,1	2,2	73,6	1,9
Zn _{0,10}	78,3	7,4	79,5	4,1	78,6	3,7	73,3	1,6
Zn _{0,15}	79,7	8,8	78,8	3,4	77,3	2,4	72,8	1,1
HCP _{0,5}	3,0							
Люцерна, сухая масса (2022–2023 гг.)								
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	62,5	–	76,2	–	72,8	–	71,0	–
Zn _{0,05}	71,8	9,3	76,6	0,4	72,6	0,2	71,1	0,3
Zn _{0,10}	73,4	10,9	79,2	3,0	73,0	–	71,4	–
Zn _{0,15}	77,7	15,2	76,3	0,1	71,0	–	66,7	–
HCP _{0,5}	2,8							
Горох, зерно (2024–2025 гг.)								
N ₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	39,8	–	41,8	–	39,2	–	39,2	–
Zn _{0,04}	43,8	4,0	44,4	2,6	41,0	1,8	40,5	1,3
Zn _{0,08}	44,5	4,7	45,0	3,2	41,3	2,1	40,5	1,3
Zn _{0,12}	45,5	5,7	45,7	3,9	42,0	2,8	41,3	2,1
HCP _{0,5}	2,2							

Наиболее отзывчивой культурой на изменение концентрации цинка в почве является люцерна. В зависимости от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком урожайность сухой массы люцерны варьировала в диапазоне 62,5–76,2 ц/га. Повышение концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня способствовало увеличению урожайности сухой массы люцерны на 13,4 ц/га, зерна кукурузы – на 4,5 ц/га, зерна гороха – на 2,0 ц/га. При этом у озимой пшеницы чувствительность к концентрации подвижного цинка в почве выражена слабее, чем у других культур в опыте. В зависимости от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком урожайность озимой пшеницы варьировала в диапазоне 69,5–70,6 ц/га.

Некорневые подкормки озимой пшеницы цинковым удобрением эффективны при низком и среднем уровне обеспеченности супесчаной почвы подвижным цин-

ком. При низком содержании цинка в почве некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 0,05 и 0,075 кг/га д. в. повышали урожайность зерна на 4,3 и 6,2 ц/га соответственно при урожайности в фоновом варианте 70,1 ц/га (см. табл. 1). На среднем уровне обеспеченности почвы цинком прибавки урожайности озимой пшеницы ниже и составили при внесении цинкового удобрения в дозах 0,05 и 0,075 кг/га д. в. 2,9 и 3,8 ц/га соответственно при урожайности в фоновом варианте 70,9 ц/га. При высокой и избыточной обеспеченности почвы цинком применение некорневых подкормок озимой пшеницы цинковым удобрением не эффективно.

При возделывании кукурузы на низком уровне обеспеченности супесчаной почвы цинком некорневая подкормка растений в фазе 6–8 листьев цинком в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га повышала урожайность зерна на 4,3, 7,4 и 8,8 ц/га соответственно. На среднем уровне обеспеченности цинком прибавки урожайности зерна кукурузы от некорневой подкормки цинковым удобрением ниже и составили 3,1–4,1 ц/га.

Некорневая подкормка люцерны цинковым удобрением в возрастающих дозах на фоне минеральных удобрений в дозе $P_{90}K_{180}$ повышала урожайность люцерны на 9,3–15,2 ц/га на низкой обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком и на 3,0 ц/га сухой массы – при средней обеспеченности. На высоком и избыточном уровнях обеспеченности почвы подвижным цинком внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку не приводило к повышению урожайности люцерны.

Некорневые подкормки гороха цинковыми удобрениями на низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком на фоне $N_{40}P_{60}K_{120}$ 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.

Результаты исследований показали, что потребление цинка растениями возрастает линейно с повышением его концентрации в почве и с увеличением дозы цинкового удобрения (рис., табл. 2). Больше всего цинк накапливается в зерне гороха и сухой массе люцерны, наименьшее содержание цинка отмечается в зерне кукурузы.

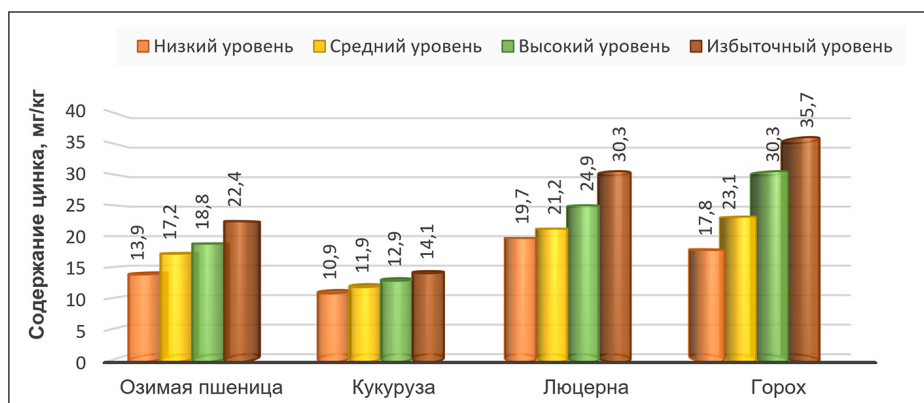


Рис. Накопление цинка в растениеводческой продукции при разной обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком, мг/кг

Таблица 2

**Накопление цинка в растениеводческой продукции в зависимости от доз
цинкового удобрения и уровня обеспеченности супесчаной почвы этим
элементом, мг/кг**

Варианты	Уровни обеспеченности почвы цинком			
	Низкий, 2,3–3,0 мг/кг	Средний, 3,5–5,0 мг/кг	Высокий, 6,7–7,7 мг/кг	Избыточный, 10,0–11,4
Озимая пшеница, зерно				
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	13,9	17,2	18,8	22,4
Zn _{0,05}	16,7	20,1	22,1	22,8
Zn _{0,075}	17,5	20,2	17,1	22,7
Zn _{0,10}	17,8	20,5	23,1	25,2
Кукуруза, зерно				
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	10,9	11,9	12,9	14,1
Zn _{0,05}	11,6	12,9	13,8	14,9
Zn _{0,10}	12,1	13,9	14,2	15,6
Zn _{0,15}	12,3	13,5	14,3	15,5
Люцерна, сухая масса				
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	19,7	21,2	24,9	30,3
Zn _{0,05}	21,4	22,5	26,0	31,2
Zn _{0,10}	23,2	24,0	27,9	34,4
Zn _{0,15}	25,6	27,0	29,5	35,8
Горох, зерно				
N ₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	17,8	23,1	30,3	35,7
Zn _{0,04}	19,8	25,5	31,6	37,0
Zn _{0,08}	20,5	26,1	32,3	37,9
Zn _{0,12}	20,4	27,1	33,5	39,3

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 люцерны – с 19,7 до 30,3 мг/кг, в зерне озимой пшеницы – с 13,9 до 22,4 мг/кг и в зерне кукурузы – с 10,9 до 14,1 мг/кг сухой массы.

Двукратная некорневая подкормка озимой пшеницы цинковым удобрением в дозах 0,05–0,10 кг д. в./га повышала содержание цинка в зерне до 16,7–17,8 мг/кг при низком содержании элемента в почве, до 20,1–20,5 мг/кг – при среднем и до 22,1–23,1 мг/кг и 22,7–25,2 мг/кг – при высоком и избыточном содержании.

Некорневая подкормка кукурузы (в фазе 6–8 листьев) цинком в дозах 0,05–0,15 кг д. в./га увеличивала накопление цинка в зерне до 11,6–12,3 мг/кг на низком уровне, до 12,9–13,5 мг/кг – при среднем и до 13,8–14,3 мг/кг и 14,9–15,5 мг/кг сухой массы при высоком и избыточном уровне обеспеченности подвижным цинком супесчаной почвы.

Применение цинкового удобрения в дозах 0,05–0,15 мг/кг в подкормку люцерны при низкой обеспеченности супесчаной почвы цинком повышало содержание этого элемента в растениях до 21,4–25,6 мг/кг, при среднем – до 22,5–27,0 мг/кг, на высоком – до 26,0–29,5 мг/кг, и избыточном уровне – до 31,2–35,8 мг/кг.

Некорневая подкормка гороха цинковым удобрением при низком содержании подвижного цинка в почве увеличивала концентрацию элемента в зерне до 19,8–20,5 мг/кг, при среднем уровне – до 25,5–27,1 мг/кг, на высоком уровне – до 31,6–33,5 мг/кг, на избыточном – до 37,0–39,3 мг/кг.

Поведение цинка в системе почва–растение в зависимости от почвенно-климатических условий можно охарактеризовать с помощью коэффициентов биологического поглощения (КБП). Расчеты коэффициента биологического поглощения показали, что растения обладают высоким потенциалом поглощения цинка, особенно при низкой его концентрации в почве (табл. 3). Снижение содержания цинка в растениях при относительно высоком содержании его в почвах является свидетельством ограниченного поглощения элемента растениями в связи с наличием физиолого-биохимических барьеров поглощения и низкой подвижностью цинка.

Таблица 3

Коэффициенты биологического поглощения цинка в зависимости от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и дозы цинкового удобрения

Варианты	Уровни обеспеченности почвы цинком			
	Низкий, 2,3–3,0 мг/кг	Средний, 3,5–5,0 мг/кг	Высокий, 6,7–7,7 мг/кг	Избыточный, 10,0–11,4 мг/кг
Озимая пшеница				
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	5,0	3,9	2,7	1,4
Zn _{0,05}	6,0	4,6	3,2	1,5
Zn _{0,0,75}	6,3	4,6	2,5	1,5
Zn _{0,10}	6,4	4,7	3,3	1,6
Кукуруза				
N ₁₆₀ P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	4,2	2,5	1,7	1,2
Zn _{0,05}	4,5	2,7	1,8	1,3
Zn _{0,10}	4,7	3,0	1,9	1,4
Zn _{0,15}	4,7	2,9	1,9	1,3
Люцерна				
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	7,6	5,6	3,8	2,7
Zn _{0,05}	8,2	5,9	4,0	2,8
Zn _{0,10}	8,9	6,3	4,3	3,1
Zn _{0,15}	9,8	7,1	4,5	3,2
Горох				
N ₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	5,9	4,6	3,9	3,1
Zn _{0,04}	6,6	5,1	4,1	3,2
Zn _{0,08}	6,8	5,2	4,2	3,3
Zn _{0,12}	6,8	5,4	4,4	3,4

Установлено, что при низком (3,0 мг/кг) содержании цинка в супесчаной почве коэффициент биологического поглощения для зерна озимой пшеницы составил 5,0–6,4, для зерна кукурузы – 4,2–4,7, для люцерны – 7,6–9,8, для гороха – 5,9–6,8. При избыточной концентрации подвижного цинка в почве (11,4 мг/кг) поглощение его снижается до 1,4–1,6 (озимая пшеница), до 1,2–1,4 (кукуруза), до 2,7–3,2 (люцерна) и до 3,1–3,4 (горох). При внесении цинкового удобрения в некорне-

вые подкормки гороха коэффициент биологического поглощения увеличивается с повышением доз микроудобрения.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зависела от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневую подкормку. Некорневые подкормки цинковым удобрением наиболее эффективны при низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком. При низком содержании цинка в почве внесение в некорневую подкормку озимой пшеницы цинкового удобрения на фоне минеральных удобрений повышает урожайность зерна на 3,4–6,2 ц/га, кукурузы – на 4,3–8,8 ц/га, гороха – 4,0–5,7 ц/га, сухой массы люцерны – на 9,3–15,2 ц/га.

2. Потребление цинка растениями 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 озимой пшеницы возрастает с 13,9 до 22,4 мг/кг, кукурузы – с 10,9 до 14,1 мг/кг, гороха – с 17,8 до 35,7 мг/кг, в сухой массе люцерны – с 19,7 до 30,3 мг/кг сухой массы. Некорневая подкормка растений цинковым удобрением при низкой и средней обеспеченности почвы цинком повышает накопление элемента в зерне озимой пшеницы до 17,8 и 20,5 мг/кг, кукурузы – до 12,3 и 13,9, мг/кг, гороха – до 20,5 и 27,1 мг/кг, в сухой массе люцерны – до 25,6 и 27,0 мг/кг сухой массы соответственно. При внесении цинкового удобрения в некорневые подкормки растений коэффициент биологического поглощения цинка увеличивается с повышением доз микроудобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев, В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.
2. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / М. В. Рак, И. М. Богдевич, В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Мн., 2006. – 28 с.
3. Гайсин, И. А. Микроудобрения в современной земледелии / И. А. Гайсин, Р. Н. Сигитова, Р. Р. Хабибуллин // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 13–15.
4. Аристархов, А. Н. Эффективность применения цинковых микроудобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья / А. Н. Аристархов, А. В. Волков, Т. А. Яковлева // Плодородие. – 2014. – № 2. – С. 9–12.
5. Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при различной обеспеченности почвы цинком / М. В. Рак, Т. Г. Николаева, С. А. Титова, Л. Н. Гук // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 193–200.

6. *Депутатов, К. В.* Влияние цинковых микроудобрений на качество зерна озимой пшеницы (*triticum aestivum* L.) на дерново-подзолистых почвах Калининградской области / К. В. Депутатов, Л. М. Григорович // Вестник Курской ГАУ. – 2022. – № 7 – С. 34–40.

7. *Кляусова, Ю. В.* Влияние некорневой подкормки цинком, йодом и селеном на урожайность и микроэлементный состав зеленой массы и зерна кукурузы / Ю. В. Кляусова, М. В. Рак // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1(42) – С. 188–195.

8. *Рак, М. В.* Эффективность жидких микроудобрений МикоСтим при возделывании люцерны / М. В. Рак, С. А. Титова, Т. Г. Николаева // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1(58) – С. 169–176.

9. *Сафак, Дж.* Влияние цинка на урожайность и некоторые связанные с этим свойства люцерны / Дж. Сафак // Турецкий журнал полевых культур. – 2009. – № 14(2). – С.136–143.

10. *Ионова, Л. П.* Влияние некорневых подкормок марганцем и цинком на сорта гороха с различным вегетационным периодом // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 20–25 августа 2007 г. – Ч. 1. – Астрахань, 2007. – С. 273–277.

EFFECT OF ZINC FERTILIZER ON YIELD AND ZINC ACCUMULATION IN PRODUCTION OF WINTER WHEAT, MAIZE AND LEGUMES AT DIFFERENT LEVELS OF SUPPLY OF SANDY LOAM SOIL WITH THIS ELEMENT

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

Summary

This article presents the results of studies on the effectiveness of foliar zinc fertilization of agricultural crops at different levels of zinc availability in sandy loam soil. Foliar zinc fertilization is most effective in sandy loam soils with low and moderate levels of available zinc. Zinc uptake by plants increases linearly with increasing soil concentration and zinc fertilizer application rate.

Поступила 14.04.2026