

ПАРАМЕТРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ ЦИНКОМ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭТИМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, В. В. Корсакова, Кляусова Ю. В.,
Л. Н. Гук, С. Г. Кудласевич

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

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние бобовые травы играют существенную роль в решении проблемы дефицита растительного белка и повышении эффективности кормопроизводства. Люцерна – основная бобовая кормовая культура с высокой кормовой ценностью и продуктивностью в земледелии Беларуси. В настоящее время ее роль возрастает благодаря высокому кормовому достоинству, способности формировать высокую урожайность и значительно обогащать почву азотом. Возделывание люцерны позволяет минимизировать расход азотных удобрений для последующих в севообороте культур. Высокая продуктивность люцерны достигается при оптимизации питания макро- и микроэлементами [1–4].

Цинк является одним из важных биогенных микроэлементов. Этот элемент играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, принимает участие в синтезе хлорофилла и витаминов, положительно влияет на белковый и углеводный обмен в растениях. Несбалансированность микроэлементного состава кормов приводит к нарушению минерального обмена, что в свою очередь является причиной возникновения многих заболеваний животных. При недостатке цинка в кормах снижается продуктивность животных и развивается эндемическое заболевание паракератоз [5–8].

Эффективность цинковых удобрений зависит от содержания подвижных форм в почве. По данным крупномасштабного агрохимического обследования пахотных почв Беларуси средневзвешенное содержание подвижного цинка составляет 2,99 мг/кг почвы. При этом доля пахотных почв с низким содержанием цинка составляет 64,3 % от общей площади. Отрицательный баланс цинка в почвах обусловлен оптимизацией кислотности почвы, постоянным выносом урожаями при внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений [9].

Значимость проблемы цинкового питания растений определяется также его дефицитом в травяных кормах республики, который составляет 20–30 % от потребности. Поэтому обогащение травяных кормов цинком позволит предупредить проявление его дефицита в рационах и обеспечить животных этим микроэлементом в наиболее усвояемой форме.

В республике практически не изучены закономерности распределения в почвах цинка и потребление его люцерной в зависимости от уровней обеспеченности им почвы и некорневых подкормок цинковым удобрением в период

вегетации. В связи с этим, разработка теоретической базы для оптимизации питания растений цинком является актуальной и имеет практическую значимость в эффективном использовании цинковых удобрений в технологии возделывания люцерны.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению потребления цинка растениями люцерны в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком и доз цинкового удобрения проводили в 2021–2023 гг. в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,1, содержание гумуса – 2,6 %, P_2O_5 – 218 мг/кг, K_2O – 301 мг/кг.

Полевой опыт с люцерной включает варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз цинкового удобрения (0,05, 0,10 и 0,15 кг/га д. в.) 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 люцерной проводили на фоне минеральных удобрений в дозе $P_{90}K_{180}$. Площадь делянки – 36 м², повторность – 4-кратная.

Схема опыта:

1. Контроль без удобрений;
2. $P_{90}K_{180}$ – фон
3. Фон + $Zn_{0,05}$;
4. Фон + $Zn_{0,10}$;
5. Фон + $Zn_{0,15}$.

Некорневая подкормка люцерны проводилась в фазе ветвление под каждый укос. В качестве микроудобрения для некорневой подкормки применялось жидкое удобрение МикроСтим-Цинк с содержанием цинка 50 г/л. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

Период исследований (2021–2023 гг.) отличался от среднемноголетних значений по температурному режиму и влагообеспеченности. В 2021 г. в вегетационный период отмечено повышение температуры до экстремально высоких показателей воздуха в июне и июле, а также избыток осадков в мае и сентябре по сравнению со средними многолетними показателями. Гидротермический коэффициент за вегетационный период люцерны составил 1,8.

В вегетационный период 2022 г. гидротермический коэффициент составил 1,6, и формирование урожайности проходило в нормальных условиях увлажнения. Исключением является июнь и август, которые оказались засушливыми в сравнении со среднемноголетними показателями.

В 2023 г. за весенний период выпало 45 мм осадков, что составляет 41 % от нормы. Отрастание люцерны второго укоса проходило в условиях умеренного температурного режима и недостаточного увлажнения в июне, где ГТК составил лишь 0,8. В среднем в вегетационный период люцерны сложились благоприятные погодные условия при гидротермическом коэффициенте 1,4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что в дерново-подзолистой супесчаной почве валовые и подвижные формы цинка аккумулируются в верхней части гумусового горизонта с дальнейшим снижением их содержания вниз по профилю почвы (рис.). При повышении валового содержания цинка в почве от низкого (23,3 мг/кг) до избыточного уровня (35,7 мг/кг) закономерно увеличивается и количество подвижного цинка с 2,6 до 11,1 мг/кг. На долю подвижного цинка приходится от 11,1 до 31,1 % его валового содержания. На низком уровне обеспеченности почвы цинком содержание подвижного цинка составляет 2,6 мг/кг, среднем – 3,8, высоком – 6,5 и избыточном – 11,1 мг/кг.

Изучение динамики подвижного цинка в течение 3-х лет показали, что его концентрация в почве по годам варьирует слабо и связана больше с погодными условиями.

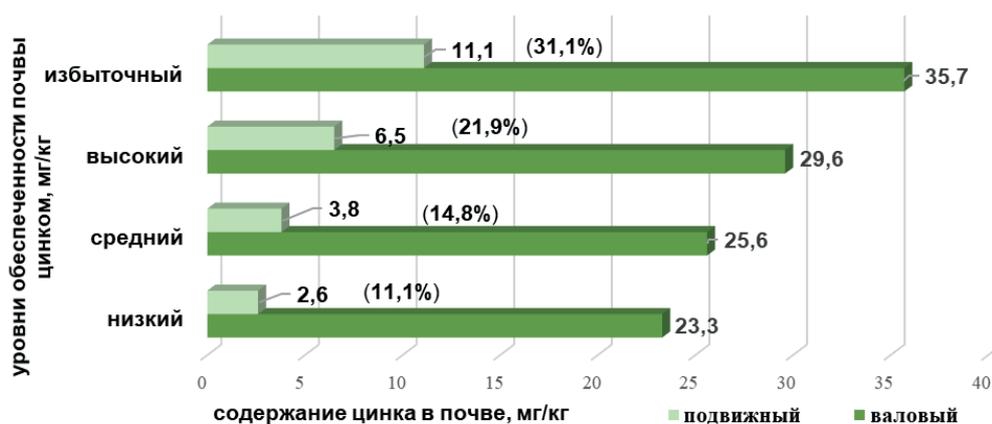


Рис. Содержание валового и подвижного цинка в пахотном горизонте в зависимости от уровня обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы, среднее за 2021–2023 гг.

Анализ результатов исследований показал, что при возделывании люцерны на дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность зависела от уровня обеспеченности почвы подвижным цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневые подкормки в период вегетации. По мере увеличения содержания подвижного цинка в супесчаной почве от низкого до среднего уровня урожайность люцерны повышалась на 15,4 ц/га, белка – на 2,3 %. Высокие концентрации подвижного цинка в почве не обеспечивают дальнейшего повышения урожайности и качества продукции (табл.1).

Некорневые подкормки цинковым удобрением увеличивают урожайность люцерны на 15,7–24,7 % при низком содержании подвижного цинка в почве и на 9,1–9,3 % при средней обеспеченности цинком. Так, на супесчаной почве с низким содержанием подвижного цинка внесение в некорневые подкормки микроудобрения МикроСтим-Цинк в дозах 0,05, 0,10 и 0,15 кг/га д. в. повышало урожайность сухой

массы люцерны на 11,1, 13,1 и 17,4 ц/га соответственно. Наиболее высокая прибавка урожайности отмечается при внесении микроудобрения в дозе 0,15 кг/га д. в. и составляет 17,4 ц/га.

При средней обеспеченности супесчаной почвы цинком некорневая подкормка люцерны микроудобрением МикроСтим-Цинк достоверно повышала урожайность сухой массы на 7,9–8,0 ц/га в дозах 0,10–0,15 кг/га д. в. соответственно. На высоком уровне обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком внесение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневые подкормки люцерны не приводило к повышению урожайности люцерны.

Таблица 1

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность и содержание белка в люцерне при различной обеспеченности почвы цинком (среднее 2021–2023 гг.)

Обеспеченность почвы цинком	Варианты	Сухая масса, ц/га		Содержание белка, %	Сбор белка, ц/га
		урожайность	прибавка		
1. Контроль без удобрений		59,5	–	15,6	8,9
Низкая, 2,6 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	70,5	–	17,1	11,4
	Фон + Zn _{0,05}	81,6	11,1	18,0	14,2
	Фон + Zn _{0,10}	83,6	13,1	18,3	14,7
	Фон + Zn _{0,15}	87,9	17,4	18,6	15,8
Средняя, 3,8 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	85,9	–	19,4	16,6
	Фон + Zn _{0,05}	90,7	4,8	18,5	15,8
	Фон + Zn _{0,10}	93,8	7,9	18,1	16,0
	Фон + Zn _{0,15}	93,9	8,0	18,3	15,9
Высокая, 6,5 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	85,7	–	18,9	15,6
	Фон + Zn _{0,05}	85,8	0,1	17,6	14,4
	Фон + Zn _{0,10}	86,9	1,2	17,7	14,4
	Фон + Zn _{0,15}	85,1	–	17,8	14,4
НСР ₀₅ вариантов		7,9		1,9	2,2
НСР ₀₅ уровней обеспеченности		6,4		1,9	2,8

При увеличении концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня содержание белка в растениях люцерны повышалось на 2,3 % (табл. 1). Применение цинкового удобрения в некорневую подкормку при низкой обеспеченности почвы цинком способствовало увеличению белка в растениях на 0,9–1,5 %. Сбор белка зависел в основном от урожайности люцерны и увеличивался в среднем с 11,4 до 16,6 ц/га с повышением содержания цинка в почве от низкой до средней обеспеченности этим элементом. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе P₉₀K₁₈₀ микроудобрение МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах увеличивало сбор сырого белка на 2,8–4,4 ц/га.

Максимальное содержание цинка в растениях отмечается в начале весенней вегетации люцерны. По мере развития растений количество цинка постепенно снижается и достигает минимума в фазу цветения.

Накопление цинка растениями люцерны зависело как от уровня содержания элемента в почве, так и дозы цинкового удобрения (табл. 2). Потребление цинка растениями люцерны возрастает линейно с повышением его концентрации в почве.

Так, повышение содержания подвижного цинка в почве от низкого до избыточного увеличивает накопление элемента в растениях люцерны в среднем с 19,7 до 30,3 мг/кг сухой массы.

Таблица 2

Влияние цинкового удобрения на накопление цинка в растениях люцерны при различной обеспеченности супесчаной почвы этим элементом (среднее 2021–2023 гг.)

Варианты	Обеспеченность почвы цинком				
	низкая, 2,6 мг/кг	средняя, 3,8 мг/кг	высокая, 6,5 мг/кг	избыточная, 11,1 мг/кг	
содержание цинка, мг/кг сухой массы					
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон		19,7	21,2	24,9	30,3
Фон + Zn _{0,05}	Микро- Стим-Цинк	21,4	22,5	26,0	31,2
Фон + Zn _{0,10}		23,2	24,0	27,9	34,4
Фон + Zn _{0,15}		25,6	27,0	29,5	35,8
коэффициент биологического поглощения					
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон		7,6	5,6	3,8	2,7
Фон + Zn _{0,05}	Микро- Стим-Цинк	8,2	5,9	4,0	2,8
Фон + Zn _{0,10}		8,9	6,3	4,3	3,1
Фон + Zn _{0,15}		9,8	7,1	4,5	3,2

Интенсивность накопления цинка в растениях люцерны под влиянием некорневой подкормки цинковым удобрением снижалась по мере повышения концентрации цинка в почве. Так, на низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком при некорневой подкормке удобрением МикроСтим-Цинк концентрация элемента в растениях в среднем за 3 года составила 21,4–25,6 мг/кг сухой массы, что на 8,6–30,0 % выше фонового варианта и соответствует оптимальным значениям (20–60 мг/кг сухой массы).

При среднем уровне обеспеченности почвы цинком накопление его в растениях было в пределах 22,5–27,0 мг/кг сухой массы (повышение на 6,1–27,4 %). На высоком уровне обеспеченности почвы цинком внесение цинкового удобрения в некорневую подкормку люцерны способствовала повышению его концентрации в растениях на 4,6 мг/кг, или на 18,5 %, на избыточном – на 5,5 мг/кг, или на 18,2 %.

Коэффициент биологического поглощения характеризует интенсивность поглощения растениями элементов питания. По мере увеличения концентрации цинка в почве от низкого до избыточного уровня, коэффициент биологического поглощения снижается с 7,6 до 2,7. Некорневые подкормки цинковым удобрением повышали коэффициент биологического поглощения при низкой обеспеченности почвы цинком с 7,6 до 9,8, при средней – с 5,6 до 7,1.

Для оценки экономической эффективности некорневых подкормок люцерны жидкими микроудобрениями МикроСтим использованы полученные в полевом опыте прибавки урожайности, нормативные данные затрат и цены на текущий год [10]. Расчет экономической эффективности показал, что применение цинкового удобрения в некорневую подкормку люцерны экономически оправдано только при низком и среднем уровнях обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком (табл. 3).

Таблица 3

Экономическая эффективность применения микроудобрения МикроСтим-Цинк при возделывании люцерны на различных уровнях обеспеченности почвы цинком

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Прибавка ц/га к. ед.	Стоимость прибавки, руб./га	Общие затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Низкий, 2,6 мг/кг	Фон* + Zn _{0,05}	5,7	182,4	104,6	77,8	74,4
	Фон + Zn _{0,10}	6,6	211,2	122,8	88,4	71,9
	Фон + Zn _{0,15}	8,9	284,8	152,2	132,6	87,2
Средний, 3,8 мг/кг	Фон + Zn _{0,05}	2,4	76,8	78,2	–	–
	Фон + Zn _{0,10}	4,0	128,0	102,0	26,0	25,5
	Фон + Zn _{0,15}	4,1	131,2	113,8	17,4	15,3

* Фон – P₉₀K₁₈₀.

При низком содержании подвижного цинка в супесчаной почве более высокие экономические показатели обеспечивало внесение в некорневую подкормку люцерны микроудобрения в дозе 0,15 кг/га д. в. Прибавка урожайности от применения микроудобрения в этой дозе составила 8,9 ц/га к. ед., условно чистый доход – 132,6 руб./га при рентабельности 87 %.

На среднем уровне обеспеченности почвы подвижным цинком наиболее высокую эффективность обеспечивала внесение в некорневую подкормку люцерны микроудобрения в дозе 0,10 кг/га д. в. при условно чистом доходе 26,0 руб./га и рентабельности 25,5 %.

На основании экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований разработаны параметры оптимизации питания люцерны цинком (табл. 4).

Таблица 4

Параметры оптимизации питания люцерны цинком при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим микроэлементом (среднее 2021–2023 гг.)

Обеспеченность почвы цинком	Дозы удобрений, кг/га д. в.	Срок некорневой подкормки цинком	Урожайность, ц/га сухой массы	Прибавка, ц/га	Содержание цинка, мг/кг сухой массы
Низкая, 2,6 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀	–	70,5	–	19,7
	P ₉₀ K ₁₈₀ +Zn _{0,15}	фаза ветвление	87,9	17,4	25,6
Средняя, 3,8 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀	–	85,9	–	21,2
	P ₉₀ K ₁₈₀ +Zn _{0,10}	фаза ветвление	93,8	7,9	24,0
Высокая, 6,5 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀	–	85,7	–	24,9
Избыточная, 11,1 мг/кг	P ₉₀ K ₁₈₀	–	82,8	–	30,3

При низкой и средней обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком для повышения урожайности и увеличения содержания этого элемента

в растениях люцерны рекомендуется проведение некорневой подкормки в фазе ветвление цинковыми удобрениями в дозе 0,15 и 0,10 кг/га д. в. соответственно. При высокой обеспеченности почвы цинком некорневая подкормка цинковыми удобрениями нецелесообразна.

ВЫВОДЫ

В дерново-подзолистой супесчаной почве при повышении валового содержания цинка от низкого (23,3 мг/кг) до избыточного уровня (35,7 мг/кг) закономерно увеличивается и количество подвижного цинка с 2,6 до 11,1 мг/кг. На долю подвижного цинка приходится от 11,1 до 31,1 % его валового содержания.

При возделывании люцерны на супесчаной почве урожайность зависела от уровня обеспеченности почвы цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневую подкормку. По мере повышения подвижного цинка в почве до среднего уровня урожайность сухой массы люцерны повышалась на 15,4 ц/га соответственно. При низкой обеспеченности подвижным цинком, некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Цинк в фазу стеблевания в дозе 0,15 кг/га д. в. повышала урожайность сухой массы на 17,4 ц/га, сбор белка – на 4,4 ц/га, при условно чистом доходе 132,6 руб./га и рентабельности 87 %.

Внесением цинка в некорневые подкормки можно регулировать не только минеральное питание растений, но и повышать его концентрацию в урожае до оптимальных значений. Потребление цинка растениями люцерны возрастает линейно с повышением его концентрации в почве. Повышение содержания подвижного цинка в почве от низкого до избыточного уровня увеличивает накопление элемента в растениях люцерны с 19,7 до 30,3 мг/кг сухой массы. На низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком при некорневой подкормке удобрением МикроСтим-Цинк концентрация элемента в растениях в среднем за 3 года составила 21,4–25,6 мг/кг сухой массы, что на 8,6–30,0 % выше фонового варианта и соответствует оптимальным значениям для кормов (20–60 мг/кг сухой массы).

В технологии возделывания люцерны на дерново-подзолистой супесчаной почве, низко- и среднеобеспеченной цинком, рекомендуется некорневая подкормка в фазе ветвление цинковым удобрением в дозах 0,15 и 0,10 кг/га д. в., обеспечивающая повышение урожайности сухой массы на 17,4 и 7,9 ц/га, увеличение содержания цинка в растениях до 25,6 и 24,0 мг/кг при рентабельности 87,2 и 25,5 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пикун, П. Т. Люцерна и ее возможности / П. Т. Пикун. – Минск: Беларус. наука, 2012. – 310 с.
2. Карпей, О. Н. Люцерна – в резерве земледелия и кормопроизводства / О. Н. Карпей // Наше сельское хозяйство. – 2015. – Шеуджен, А. Х. Люцерна / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Х. Д. Хурум. – ОАО «Полиграфиздат «Адыгея», 2007.
3. Левахин, Ю. И. Ценность кормов из люцерны разных стадий развития / Ю. И. Левахин // Зоотехния. – 2004. – № 3. – С. 12–13.
4. 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.

5. Косолапов, В. М. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова. – Москва: ООО «Угрешская типография», 2019. – 272 с.

6. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

8. Синдирева, А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва–растение–животное: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А. В. Синдирева. – Тюмень, 2012. – 32 с.

9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 31–32.

10. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

PARAMETERS OF OPTIMIZATION OF ALFALFA NUTRITION WITH ZINC AT DIFFERENT AVAILABILITY OF THIS ELEMENT IN SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

**M. V. Rak, E. N. Pukalova, V. V. Korsakova, Yu. V. Kliausava,
L. N. Guk, S. G. Kudlasevich**

Summary

In a field experiment on sod-podzolic sandy loam soil, it was established that when the gross zinc content increases from low (23,3 mg/kg) to excessive level (35,7 mg/kg), the amount of mobile zinc increases from 2,6 to 11,1 mg/kg. The share of mobile zinc accounts for from 11,1 to 31,1 % of its total content. Zinc uptake by alfalfa plants increases linearly with increasing zinc concentration in the soil. An increase in the content of mobile zinc in the soil from low to excessive levels increases the accumulation of the element in alfalfa plants from 19,7 to 30,3 mg/kg dry weight.

In the technology of alfalfa cultivation on sod-podzolic sandy loam soil, low- and medium-provided zinc, foliar feeding in the branching phase with zinc fertilizer in doses of 0,15 and 0,10 kg/ha a. i. increases the yield of dry mass by 17,4 and 7,9 c/ha and increases the zinc content in plants to 25,6 and 24,0 mg/kg with a profitability of 87,2 and 25,5 %, respectively.

Поступила 26.04.24