

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЛЮЦЕРНЫ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЦИНКОМ

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

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

ВВЕДЕНИЕ

В решении проблемы дефицита растительного белка и повышения эффективности кормопроизводства многолетние бобовые травы играют существенную роль. Люцерна – основная бобовая кормовая культура с высокой кормовой ценностью и продуктивностью в земледелии Беларуси.

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 микроэлементов в кормах снижается продуктивность животных. При недостаточном поступлении в организм животных цинка развивается эндемическое заболевание паракератоз [1–4].

Исходя из ростостимулирующих свойств цинка, а также его положительного влияния на урожайность и качество растениеводческой продукции, важным является применение цинковых удобрений в технологии возделывания люцерны. Под влиянием удобрений повышается питательная ценность трав, улучшается их микроэлементный состав и увеличивается сбор кормовых единиц [1,5–8]. Закономерности распределения в почвах цинка и потребления его растениями люцерны в зависимости от уровней обеспеченности им почвы в республике практически не изучались. В связи с этим разработка теоретической базы для оптимизации питания растений цинком является актуальным направлением и будет способствовать повышению эффективности применения цинковых удобрений в технологии возделывания люцерны.

Цель исследований – изучить влияние цинкового удобрения на урожайность и показатели качества люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы цинком.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2021–2022 гг. в полевом опыте в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой

супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, смешиваемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,48 %, P_2O_5 – 228 мг/кг, K_2O – 288 мг/кг.

Опыт с люцерной включает варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз цинковых удобрений на 4-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 $P_{90}K_{180}$.

Схема опыта:

1. Контроль без удобрений;
2. $P_{90}K_{180}$ – фон;
3. Фон + Zn_{50} ;
4. Фон + Zn_{100} ;
5. Фон + Zn_{150} .

Фосфорные удобрения применялись в форме суперфосфата аммонизированного в основное внесение и в подкормку однократно за вегетацию после первого и второго года пользования травостоем. Калийные удобрения вносились перед посевом люцерны и дробно после каждого укоса в дозе 60 кг/га д. в. Уровни насыщения пахотного слоя цинком созданы внесением сернокислого цинка в виде водного раствора с учетом исходного содержания данного элемента в почве на каждом уровне и нормативов затрат для смещения содержания подвижного цинка на данной почве. В качестве микроудобрения для некорневой подкормки применялось жидкое удобрение МикроСтим-Цинк (содержание цинка 70 г/л) при высоте растений 8–10 см под каждый укос. Расход рабочего раствора 200 л/га. Предшественник – ячмень. Сорт люцерны – Пауэр. Общая площадь делянок – 36 м², повторность в опыте 4-кратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные данные по содержанию цинка по горизонтам в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом показали, что при повышении содержания валового цинка от низкого до избыточного уровня закономерно увеличивается и доля подвижных соединений цинка (табл. 1). В начале вегетации валовое содержание цинка колебалось от 20,9 до 34,2 мг/кг. На долю подвижных соединений цинка приходилось соответственно 11,0 и 29,2 % от их общего содержания, что составляло 2,3–10,0 мг/кг почвы.

Анализ содержания подвижной формы цинка по горизонтам дерново-подзолистой супесчаной почвы указывает на то, что эти соединения цинка достаточно мобильны. Наибольшая концентрация подвижной формы цинка характерна для аккумулятивного горизонта почвы, что составляет: 34,3 % (I уровень), 42,2 % (II уровень), 62,6 % (III уровень), 66,6 % (IV уровень) к его запасам в метровом слое.

Экспериментальные данные по урожайности люцерны показали зависимость данного показателя от уровня обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком. Урожайность люцерны повышалась по мере увеличения содержания подвижного цинка в супесчаной почве до высокого уровня (табл. 2). Так, в среднем за два года на фоне внесения минеральных удобрений

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

в дозе P₉₀K₁₈₀ при низкой обеспеченности супесчаной почвы урожайность люцерны составляет 62,5 ц/га, средней – 76,2 ц/га, высокой – 72,8 ц/га, избыточной – 71,1 ц/га сухой массы.

Таблица 1

Содержание валового и подвижного цинка в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом

Горизонт	Содержание цинка, мг/кг почвы			
	I уровень (низкий, 2,3 мг/кг)	II уровень (средний, 3,5 мг/кг)	III уровень (высокий, 6,7 мг/кг)	IV уровень (избыточный, 10,0 мг/кг)
Валовый				
Апах	20,9	23,8	27,9	34,2
A ₁ A ₂	9,3	12,5	10,6	12,8
A ₂ B ₁	11,4	9,2	9,2	15,7
B ₂ D	16,6	12,3	15,2	21,5
Подвижный				
Апах	2,3	3,5	6,7	10,0
A ₁ A ₂	1,1	1,7	1,4	1,4
A ₂ B ₁	1,5	1,3	1,2	1,7
B ₂ D	1,8	1,8	1,4	1,9

Таблица 2

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на урожайность люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком, ц/га сухой массы (среднее 2021–2022 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Урожайность, ц/га			Прибавка к фону, ц/га
		2021 г.	2022 г.	среднее	
Низкий, 2,3 мг/кг	1. Контроль	40,9	70,6	55,8	–
	2. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	44,7	80,3	62,5	–
	3. Фон + Zn ₅₀	52,4	91,2	71,8	9,3
	4. Фон + Zn ₁₀₀	53,3	93,6	73,4	10,9
	5. Фон + Zn ₁₅₀	56,3	99,1	77,7	15,2
Средний, 3,5 мг/кг	2. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	57,8	94,7	76,2	–
	3. Фон + Zn ₅₀	52,8	100,4	76,6	0,4
	4. Фон + Zn ₁₀₀	56,4	102,1	79,2	3,0
	5. Фон + Zn ₁₅₀	50,9	101,7	76,3	0,1
Высокий, 6,7 мг/кг	2. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	54,4	91,2	72,8	–
	3. Фон + Zn ₅₀	49,4	95,7	72,6	–
	4. Фон + Zn ₁₀₀	50,5	95,5	73,0	0,2
	5. Фон + Zn ₁₅₀	47,9	94,1	71,0	–
Избыточный, 10,0 мг/кг	2. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	51,7	90,4	71,1	–
	3. Фон + Zn ₅₀	50,5	92,4	71,4	0,3
	4. Фон + Zn ₁₀₀	49,5	83,9	66,7	–
	5. Фон + Zn ₁₅₀	50,6	83,6	67,1	–
НСР ₀₅ вариантов		3,3	2,5	2,8	
НСР ₀₅ уровней		4,0	3,1	2,5	

Чтобы более полно оценить действие удобрений, необходимо проанализировать их влияние на качество зеленой массы люцерны. Применение микроудобрения МикроСтим-Цинк в некорневую подкормку люцерны повышало содержание протеина в зеленой массе люцерны. Оптимальным содержанием протеина в корме считается 15–20 % при минимально допустимом 10 %. Во всех вариантах исследования в среднем его содержание было на уровне оптимального значения и колебалось от 18,8 % до 20,6 % (табл. 3). Наибольшее влияние на качество урожая люцерны оказывала обеспеченность почвы цинком. При увеличении концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня на фоне минеральных удобрений повышается содержание протеина в растениях люцерны. В среднем за 2 года содержание протеина в урожае люцерны на естественном уровне плодородия почвы составило – 18,8 %, при внесении $P_{90}K_{180}$ – 19,3 %. Увеличение концентрации подвижного цинка в почве от низкого до среднего уровня повышает содержание протеина в растениях люцерны на 1,3 %.

Показатели сбора сырого протеина зависели в основном от урожайности люцерны и увеличивались соответственно с повышением уровня содержания цинка в почве до второго уровня обеспеченности почвы подвижным цинком. Повышение содержания цинка в почве от низкой до средней обеспеченности способствовало увеличению сбора сырого белка в сумме за два года с 14,2 до 18,3 ц/га. Внесение цинковых удобрений в некорневую подкормку люцерны оказало положительное влияние на показатели качества только при низком уровне содержания цинка в почве. На фоне $P_{90}K_{180}$ удобрение МикроСтим-Цинк в возрастающих дозах способствовало увеличению сбора сырого белка на 1,6–2,4 ц/га.

Таблица 3

Влияние микроудобрения МикроСтим-Цинк на качество люцерны при различной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным цинком (среднее 2021–2022 гг.)

Уровни обеспеченности почвы цинком	Варианты	Содержание протеина, %	Сбор сырого протеина, ц/га	Содержание цинка, мг/кг сухой массы
Низкий, 2,3 мг/кг	1. Контроль	18,8	12,5	18,7
	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	19,3	14,2	19,3
	3. Фон + Zn_{50}	19,8	16,6	21,1
	4. Фон + Zn_{100}	19,6	15,9	23,0
	5. Фон + Zn_{150}	19,1	15,8	25,5
Средний, 3,5 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	20,6	18,3	20,3
	3. Фон + Zn_{50}	20,2	18,3	21,2
	4. Фон + Zn_{100}	19,9	18,1	22,5
	5. Фон + Zn_{150}	20,0	18,2	26,2
Высокий, 6,7 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	20,0	17,0	24,1
	3. Фон + Zn_{50}	19,2	17,4	25,0
	4. Фон + Zn_{100}	19,2	16,6	26,4
	5. Фон + Zn_{150}	19,4	16,8	27,8
Избыточный, 10,0 мг/кг	2. $P_{90}K_{180}$ – фон	19,5	15,9	29,3
	3. Фон + Zn_{50}	19,2	15,3	29,3
	4. Фон + Zn_{100}	18,9	14,2	32,6
	5. Фон + Zn_{150}	19,5	15,2	34,3

Анализ содержания цинка в растениях люцерны показал, что его концентрация в растениях изменялась и зависела от уровня содержания элемента в почве и доз цинкового удобрения (табл. 3). 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]. В исследованиях с люцерной наблюдалась хорошо выраженная тенденция увеличения количества цинка в зеленой массе с повышением его концентрации в почве. При повышении содержания в дерново-подзолистой супесчаной почве цинка от низкого (I уровень) до избыточного (IV уровень), накопление элемента в зеленой массе люцерны возросло от 19,3 до 29,3 мг/кг сухой массы, что соответствует нижней границе оптимального содержания цинка для кормов сельскохозяйственных животных.

Интенсивность накопления цинка в зеленой массе люцерны под влиянием некорневой подкормки цинковым удобрением снижалось по мере повышения концентрации подвижного цинка в почве. Повышение дозы внесения цинка способствовала увеличению его концентрации в растениях. На низком уровне обеспеченности почвы подвижным цинком, на фоне некорневой подкормки удобрением МикроСтим-Цинк концентрация элемента в зеленой массе в среднем за 2 года составила 21,1–25,5 мг/кг сухой массы, что на 9,3–32,1 % выше фонового варианта. При среднем уровне обеспеченности почвы цинком накопление его в растениях было в пределах 21,2–26,2 мг/кг сухой массы. Повышение цинка от некорневой подкормки на данном уровне составило 4,4–29,1 %. На высоком уровне обеспеченности почвы цинком внесение цинкового удобрения в некорневую подкормку люцерны способствовала повышению его концентрации в растениях до 27,8 мг/кг, или на 15,4%, на избыточном – до 34,3 мг/кг, или на 17,0 %.

Для анализа биогенности цинка и интенсивности вовлечения его из почвы в биологический круговорот агроценоза был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП). Доступность цинка для растений зависит от его подвижности и содержания в почве. При этом даже небольшое изменение концентрации цинка в почве способно изменять его биологическую доступность и накопления в растениях. Установлено, что при возделывании люцерны наиболее интенсивно цинк накапливается в растениях при низком содержании его в супесчаной почве. Так, на низком уровне обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком коэффициент биологического поглощения составил 7,2–9,8 (табл. 4).

Таблица 4

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

Варианты	Уровни обеспеченности почвы подвижным цинком			
	низкий, 2,3 мг/кг	средний, 3,5 мг/кг	высокий, 6,7 мг/кг	избыточный, 10,0 мг/кг
Контроль	7,2	–	–	–
P ₉₀ K ₁₈₀ – фон	7,4	5,2	3,5	2,9
Фон + Zn ₅₀	8,1	5,4	3,7	2,9
Фон + Zn ₁₀₀	8,8	5,8	3,9	3,2
Фон + Zn ₁₅₀	9,8	6,7	4,1	3,4

При высоких концентрациях подвижного цинка в почве поглощение его растениями люцерны снижается в 2,5–2,9 раза. При внесении цинкового удобрения в некорневые подкормки люцерны коэффициент биологического поглощения увеличивается с повышением доз микроудобрения.

ВЫВОДЫ

Урожайность люцерны зависела от уровня обеспеченности супесчаной почвы подвижным цинком и доз внесения цинкового удобрения в некорневую подкормку. При низком содержании цинка в супесчаной почве некорневая подкормка люцерны микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозах 50, 100 и 150 г/га д. в. повышала урожайность на 9,3, 10,9 и 15,2 ц/га сухой массы соответственно. При высокой и избыточной обеспеченности почвы цинком внесение микроудобрения в некорневую подкормку люцерны неэффективно.

Содержания белка в растениях люцерны увеличивалось при повышении содержания элемента в почве и внесении микроудобрения. Потребление цинка растениями люцерны возрастает линейно с повышением его концентрации в почве. Интенсивность накопления цинка в растениях люцерны под влиянием некорневой подкормки цинковым удобрением снижалась по мере повышения концентрации его подвижной формы в почве.

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. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Шеуджен, А. Х. Экспериментальная агрохимия: учеб. пособие / А. Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
4. 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.
5. Руководство по удобрению многолетних бобовых трав (люцерна, клевер, донник, эспарцет): метод. рекомендации [Электронный ресурс] / Е. И. Волошин, А. Т. Аветисян; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 31 с.
6. Пикун, П. Т. Роль микроэлементов в семеноводстве люцерны и галеги восточной / П. Т. Пикун, М. М. Коротков // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. – 2012. – № 3. – С. 39–46.
7. Сафак, Дж. Влияние цинка на урожайность и некоторые связанные с этим свойства люцерны / Турецкий журнал полевых культур. – 2009. – № 14(2). – С. 136–143.
8. Царев, А. П. Агробиологические основы формирования высокопродуктивных агрофитоценозов люцерны на корм и семена в Поволжье / А. П. Царев, М. А. Царева. – Саратов: ООО «Новый ветер», 2010. – 260 с.
9. 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.

**THE INFLUENCE OF ZINC FERTILIZER ON THE YIELD
AND QUALITY OF ALFALFA WITH DIFFERENT PROVISION
OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL WITH ZINC**

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

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of zinc fertilizers in the cultivation of alfalfa, depending on the availability of sod-podzolic sandy loam soil with zinc. It has been established that non-root fertilizing of alfalfa with zinc fertilizer is effective only with low availability of mobile zinc in the soil. An increase in the content of protein and zinc in alfalfa plants was noted with an increase in the content of the element in the soil and the introduction of micronutrients.

Поступила 11.05.23