

УДК 631.816.1

ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ (*ECHINACEA PURPUREA* (L.) MOENCH) В ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Валентина Владимировна Сухоцкая¹, Наталья Николаевна Тищенко²,
Юрий Иванович Ермохин³

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»
644008, Омск, Институтская площадь, д. 1

¹ – аспирант каф. агрохимии и почвоведения; e-mail: vv.sukhotskaya350601@omgau.org

² – к. с.-х. н., доц. каф. экологии, природопользования и биологии, доц.; e-mail: nn.tischenko@omgau.org 8-913-604-65-46

³ – д. с.-х. н., проф. каф. агрохимии и почвоведения, проф.; e-mail: yui.ermokhin@omgau.org

*Действие и последствие цинкосодержащих удобрений при корневом внесении на химический состав почвы и многолетнюю лекарственную культуру эхинацею пурпурную (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) изучали в полевом опыте, заложенном на опытном поле Омского ГАУ в 2016 г. на лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почве. В качестве цинкового удобрения использовали ацетат цинка в дозах 0–1 ПДК в почве (23 мг/кг). Азотные удобрения в дозе 125 кг д.в./га вносили фоном во всех вариантах опыта. Установлено, что различные дозы цинковых удобрений повышают содержание подвижного цинка в почве. Коэффициент интенсивности действия цинка («b»_{Zn}) в 2016 г. составил 0,09 мг/кг, в 2017 г. – 0,32 мг/кг почвы. Выявленные коэффициенты «b» позволяют давать рекомендации по внесению микроудобрений в начальные фазы развития культуры.*

Ключевые слова: лугово-черноземная почва, различные дозы ацетата цинка, эхинацея пурпурная, *Echinacea purpurea* (L.) Moench, южная лесостепь Западной Сибири.

При недостатке цинка у растений нарушается нормальное течение многих биологических процессов, что приводит к падению их продуктивности. В исследованиях ряда авторов [1–3] научно обосновывается тот факт, что цинк среди основных микроэлементов (Cu, Mo, Mn, Co, V) является наиболее дефицитным для ряда растений, в том числе и лекарственных культур, и его применение дает значительные прибавки урожайности. Проведенные исследования показывают, что различные сельскохозяйственные культуры с 1 га выносят от 97 до 260 г Zn, при этом низкое содержания цинка в почвах Омской области лимитирует урожайность [1–5].

По данным ФГБУ «Центра агрохимической службы «Омский» различные почвы Омской области отличаются низким содержанием валовых и подвижных форм цинка. Многолетними наблюдениями агрохимцентра (2001–2010 гг.), установлено, что почвы южной лесостепи Омской области содержат подвижного цинка 0,26–0,56 мг/кг, северной части – 2,7–2,8 мг/кг почвы. Его недостаток отмечен на 98,8 % обследованной площади. Таким образом, цинк находится в первом минимуме из всех жизненно важных микроэлементов [7].

Новой культурой для возделывания в условиях Западной Сибири является эхинацея пурпурная

(*Echinacea purpurea* (L.) Moench), произрастающая в естественных условиях в Северной Америке. Это лекарственное растение является источником получения оригинальных лечебных препаратов иммуномодулирующего, противовирусного и антимикробного действия. Возделывание эхинацеи на территории нашей страны стало осуществляться сначала в бывших союзных республиках (90-е годы), а в дальнейшем и в центральной полосе России (Белгородская область).

Потребности фармацевтического рынка в лекарственном растительном сырье в основном удовлетворяются за счет импорта из разных стран (11,3 тыс. т) и в меньшей степени за счет выращивания в культуре. В последние годы спрос на лекарственные препараты из *E. purpurea* возрастает, следовательно, необходимо расширять ее интродукцию.

Определение оптимального для этой культуры уровня содержания макроэлементов и подвижного цинка в лугово-черноземной почве позволит получить высокую урожайность *E. purpurea* и решить вопрос о необходимости применения удобрений при ее выращивании в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Оптимизация питания цинком на фоне оптимального питания азотом, фосфором и калием позволит повысить продуктивность

и качество этой перспективной лекарственной культуры.

Цель проводимых исследований – оценить интенсивность действия и последствия цинковых удобрений на содержание подвижного Zn в почве под *E. purpurea* и определить оптимальный уровень цинковых удобрений в почве.

Задачи исследований:

– установить взаимосвязь между химическим составом почвы и дозами цинковых удобрений;

– выявить оптимальный для эхинацеи пурпурной уровень содержания цинка в лугово-черноземной почве для диагностирования потребности ее в удобрениях.

Методика. Полевой опыт был заложен в 2016 г. на опытном поле Омского ГАУ. Закладку опыта производили по общепринятым методикам [8–10].

Исследования проводили на лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почве в течение 2016–2017 гг. В период закладки опыта почва содержала в слое 0–30 см нитратного азота (метод А.Е. Кочергина) 10,0 мг (низкий уровень), подвижного фосфора и калия (метод Ф.В. Чирикова) 394 и 749 мг/кг, соответственно (высокий уровень). Содержание подвижного цинка в почве составляло 2,60 мг/кг. Подвижный цинк в почве определяли в ФГБУ «ЦАС «Омский» атомно-абсорбционным методом. В связи с низким уровнем N–NO₃ в почве Zn вносили на фоне N 125. В полевом опыте дозы цинка рассчитывались с учетом ПДК Zn в почве равной 23 мг/кг. При этом дозы 0,25; 0,5; 0,75 и 1 ПДК соответствовали 10,7; 21,4; 32,4 и 42,8 кг Zn/га.

Опыт закладывали в 4-кратной повторности, учетная площадь делянки 10 м². Варианты размещали рандомизированно. Минеральные удобрения вносили вручную в следующих формах: аммиачная селитра (N 34 %), ацетат цинка ((CH₃COO)₂Zn 29,7%). Ацетатная форма цинковых удобрений была выбрана в связи с тем, что в составе этого удобрения нет других химических элементов, которые могли бы оказать влияние на изучаемые показатели. Анионы этой соли разлагаются при попадании в почву до простых веществ (CO₂, H₂O). Почвенные пробы отбирали в основные фенологические фазы развития культуры: отрастание, бутонизация и цветение.

Растения выращивали рассадным способом с высадкой 60-дневной рассады (24 растения на делянку) в начале мая. Учеты урожая *E. purpurea* проводили в фазе начала цветения. Уборку проводили вручную сплошным способом с учетной площади.

По окончании исследований полученные данные обрабатывали с использованием регрессионного метода анализа.

1. Содержание подвижного цинка в почве при внесении различных доз Zn

Вариант опыта	Содержание в почве Zn, мг/кг	
	2016 г.	2017 г.
N125 (фон)	2,67	2,62
Фон+0,25ПДК Zn (10,7 кг Zn /га)	5,6	6,8
Фон+0,50ПДК Zn (21,4 кг Zn/га)	8,5	11,3
Фон+0,75ПДК Zn (32,4кг Zn/га)	11,6	15,3
Фон+ПДК Zn (42,8 кг Zn/га)	14,2	19,4

Результаты и обсуждение. В агрохимических исследованиях вместе с методами полевого опыта с удобрениями, часто используется и почвенная диагностика. Определение содержания элементов питания в почве является одним из наиболее распространенных методов диагностирования потребности сельскохозяйственных растений в удобрениях. Этот метод нашел широкое применение, как в нашей стране, так и за рубежом [3, 11–13].

Эффективность применения минеральных удобрений можно прогнозировать по содержанию элементов питания в почве. Почвенные методы диагностики более просты в исполнении в сравнении растительной диагностикой и позволяют прогнозировать потребности растений в удобрениях перед посевом или посадкой.

Для диагностики потребности растений в удобрениях необходимо выявить зависимость величины урожая от доз применяемых микроудобрений и содержания микроэлементов в почве. Именно коэффициенты интенсивности действия каждого кг Zn удобрений на урожайность и химический состав почвы показывают связи в системе почва – удобрение.

В проведенных исследованиях с *E. purpurea* изучалось содержание подвижных форм цинка в период весеннего отрастания в слое почвы 0–30 см (табл. 1).

В полевом опыте при внесении цинковых удобрений в почву до посадки *E. purpurea*, содержание цинка увеличилось по сравнению с начальным.

В 2017 г. (год последствия) содержание Zn в лугово-черноземной почве в слое почвы 0–30 см повысилось в 1,2–1,4 раза по сравнению с 2016 г. Так как цинковые удобрения использовали в водорастворимой форме, а 2016 г. характеризовался неблагоприятными гидротермическими условиями (наблюдался острый недостаток влаги в начальные фазы роста), поэтому действие Zn удобрений на химический состав почвы проявилось наиболее полно только на второй год после внесения.

Связи между различными дозами цинковых удобрений и содержанием Zn в почве в период отрастания культуры характеризовались уравнениями 1–2:

$$2016 \text{ г. } Y = 0,27Zn + 2,70; r = 0,99 \quad (1)$$

$$2017 \text{ г. } Y = 0,39Zn + 2,67; r = 0,99 \quad (2)$$

При внесении каждого кг цинка в 2016 г. в дозах 10,7; 21,4; 32,4; 42,8 кг Zn/га на фоне N125 коэффициент интенсивности действия цинка удобрений («b») на содержание подвижного цинка в слое почвы 0–30 см составил 0,27 мг/кг почвы. Для повышения содержания цинка в почве на 1 мг/кг требуется внести 3,7 кг Zn удобрений. Следовательно, 3,7 кг Zn эквивалентно 1 мг Zn/кг почвы ($r = 0,99$).

В 2017 г. в первый год последействия цинковые удобрения обеспечивали повышение содержания в пахотном слое почвы подвижного цинка до 6,8; 11,3; 15,3; 19,4 мг/кг. Интенсивность последействия цинковых удобрений («b») на содержание Zn в почве составила 0,39 мг/кг, т.е. интенсивность действия цинковых удобрений на почву составила 44,4 % (уравнение 2). Значит, для повышения содержания цинка на 1 мг/кг почвы требуется внести 2,56 кг (1 мг/0,39) удобрений, что указывает на повышение коэффициента «b» во второй год роста и развития *E. purpurea*.

Используя полученные коэффициенты «b» можно рассчитать оптимальные уровни содержания цинка в почве для получения высоких урожаев биомассы сырья *E. purpurea* по уравнениям (1–2):

$$2016 \text{ г. } Y = 0,27 * 21,4 + 2,70 = 8,5 \text{ мг/кг} \quad (3)$$

$$2017 \text{ г. } Y = 0,39 * 21,4 + 2,67 = 11,0 \text{ мг/кг} \quad (4)$$

Таким образом, для получения высоких урожаев биомассы *E. purpurea*, содержание цинка в слое 0–30 см должно соответствовать 8,5 мг/кг, что и соответствует полученному оптимальному уровню (21,4 кг Zn /га).

Обработка полученных опытных данных за 2016–2017 гг. позволила установить, а затем и смоделировать с помощью уравнений регрессии зависимость содержания подвижного цинка (Y_{Zn}) в слое почвы 0–30 см от доз вносимых цинковых удобрений (таблица 2). Полученные уравнения 1–2 и коэффициенты изменения «b» позволяют на практике разрабатывать систему применения микроэлементов в зависимости от зональных

почвенно-климатических условий возделываемой культуры.

Полученная нормативная количественная характеристика « b_{Zn} » = 0,33 мг/кг ((0,27 мг/кг + 0,39 мг/кг)/2) позволяет определить, насколько увеличится запас доступного для растений цинка в лугово-черноземной почве (C1) при внесении микроудобрений, по формуле (5):

$$C_1 = D \text{ (кг/га)} \cdot \langle b \rangle + C_2, \text{ мг/кг}, \quad (5)$$

где C_1 – содержание подвижного цинка в почве после внесения удобрений; C_2 – содержание подвижного цинка в почве до применения удобрений; D – доза вносимого ацетата цинка, кг/га; «b» - коэффициент интенсивности действия единицы внесенного удобрения на содержание цинка в почве, мг/кг.

Исходя из предложенной формулы расчета (5), для урожая биомассы *E. purpurea*, для оптимального уровня (21,4 кг Zn/га) содержание цинка в слое 0–30 см, должно соответствовать 9,7 мг/кг:

$$C_1 = 21,4 \text{ мг/кг} \cdot 0,33 + 2,60 \text{ мг/кг} = 9,7 \text{ мг/кг} \quad (6)$$

В опыте установлена количественная характеристика эквивалентности 1 мг Zn /кг 3,0 кг (1 мг/кг/0,33) цинковых удобрений. Зная оптимальные уровни содержания подвижного цинка ($C_{\text{опт. Zn}}$) в почве для получения высоких урожаев биомассы *E. purpurea*, можно рассчитать дозы удобрений:

$$D = (C_{\text{опт.}} - C_{\text{фак.}}) \cdot 3,0 \text{ кг/га} \quad (7)$$

$$\text{или } D = (C_{\text{опт.}} - C_{\text{фак.}}) / 0,33 \text{ кг/га} \quad (8)$$

Параметр расчета оптимальной дозы Zn, мг/га с учетом оптимального уровня цинка для *E. purpurea* и фактического содержания подвижного Zn в почве:

$$D_{Zn} = (9,7 - 2,6) / 0,33 = 21,5 \text{ кг/га} \quad (9)$$

Таким образом, согласно уравнению 7, оптимальной дозой внесения цинка в почву является 21,5 кг/га.

Данная методика расчета доз Zn-удобрений и микроэлементов под лекарственные культуры без использования нестабильных коэффициентов использования элементов питания из почвы была опробована и положительно зарекомендовала себя в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. Установленные количественные пока-

2. Зависимость содержания подвижного цинка в почве от доз цинковых удобрений

Год использования культуры	Уравнение регрессии	«b», мг/кг	Изменение «b»	
			K	%
Первый	$Y_{Zn} = 0,27Zn + 2,70; r = 0,99$	0,27	1,0	100
Второй	$Y_{Zn} = 0,39Zn + 2,67; r = 0,99$	0,39	+2,25	44,4

Примечание: K – коэффициент снижения (–) или повышения (+) единицы внесенного удобрения на химический состав почвы («b») в зависимости от действия, последействия и года использования *E. purpurea*.

затели связи между химическим составом почвы и применяемыми удобрениями имеют практическое значение при подготовке рекомендаций по внесению удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Заключение. Цинксодержащие удобрения увеличивали концентрацию подвижного цинка в почве. Отмечена зависимость содержания цинка не только от расчетных доз, но и гидротермических условий года использования культуры. Потребность в питательных веществах с возрастом у *Echinacea purpurea* снижается. Это связано с биологическими особенностями культуры, периодами питания (критический и максимальный). Следовательно, основная задача заключалась в определении оптимального уровня содержания подвижного цинка в почве до посадки с учетом возделываемой культуры, возрастных изменений растительного организма и зональных почвенно-климатических условий Западной Сибири.

Литература:

1. Азаренко Ю.А., Красницкий В.М., Ермохин Ю.И. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растениях лесостепной и степной зон Омской области // Плодородие. – 2010. – № 5(56). – С. 49–51.
2. Бобренко И.А., Гоман Н.В., Шувалова Н.В. Эффективность разных приемов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу в условиях Западной Сибири // Омский научный вестник. – 2012. – №1. – С. 142-145.
3. Склярова М.А. Диагностика и оптимизация цинкового питания кукурузы на зерно на лугово-черноземной почве Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / М.А. Склярова. – Омск, 2008. – 175 с.
4. Тищенко Н.Н. Влияние цинка и меди на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Омский научный вестник. – 2015. – № 138. – С. 123–127.
5. Шах Н.В., Ермохин Ю.И., Тищенко Н.Н. Влияние расчетных доз цинковых удобрений на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) и химический состав лугово-черноземной почвы // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (17). – С. 19-23.
6. Красницкий В.М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 144 с.
7. Доснехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1985. – 351 с.
8. Методические рекомендации по возделыванию лекарственных растений в Волго-Вятском регионе: учеб. пособие / Всерос. науч.-исслед. ин-т охотничьего хозяйства и звероводства им. Б. М. Житкова, Вят. гос. с.-х. акад. – Киров: Вят. кн. изд-во 2003. – 162 с.
9. Митрофанов А.С., Новоселов Ю.К., Харьков Г.Ю. Методика полевых опытов с кормовыми травами: Все-союз. науч.-исслед. ин-т кормов. – М.: Колос, 1971. – 158 с.
10. Афендулов К.П., Лантухова А.И. Удобрения под планируемый урожай. – М.: Колос, 1973. – 240 с.
11. Ермохин Ю. И. Почвенная диагностика обеспеченности растений макро- и микроэлементами на черноземах Западной Сибири: учеб. пособие – Омск: Изд. ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 92 с.
12. Ермохин Ю.И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография. – Омск: ОмГАУ, 2014. : Т. 4. : моделирование и оптимизация режима минерального питания кормовых и лекарственных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. (в 2 ч.) – 2014. – 208 с.
13. Dow A., Roberts S. Proposal critical nutrient ranges for crop diagnosis // Agronomy Journal. – 1982. – Vol. 74, № 2. – P. 401–403.

Suhotskaya V.V., Tishchenko N.N., Yermokhin Yu.I.

SOIL DIAGNOSTICS OF THE NEEDS OF *ECHINACEA PURPUREA* IN ZINC FERTILIZERS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA

The action and aftereffect of zinc-containing fertilizers were studied during root application to the soil chemical composition and perennial medicinal culture with (Echinacea purpurea (L.) Moench) were studied in the field experiment established on the meadow-chnozem low-power low-humus medium loamy soil at the experimental field of the Omsk SAU in 2016. zinc acetate was used as the zunk fertilizer. Nitrogen fertilizers were used as a background in the dose of 125 kg N/ha. It was established that various doses of zinc fertilizers increased the content of mobile zinc in the soil. The coefficient of zinc action intensity («b»_{Zn}) in 2016 was 0.09 mg / kg, in 2017 – 0.32 mg / kg soil. The revealed coefficients «b» allow to give recommendations on introducing microfertilizers at the initial stages of the development of culture.

Keywords: meadow-chnozem soil, various doses of zinc acetate, Echinacea purpurea, southern forest-steppe of Western Siberia.