

УДК 636:631.416.9 (571.15)

С.Ф. Спицына, А.А. Томаровский,
Г.В. Оствальд
S.F. Spitsyna, A.A. Tomarovskiy,
G.V. Ostwald

ПОВЕДЕНИЕ МОЛИБДЕНА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

BEHAVIOR OF MOLYBDENUM IN SOIL-PLANT SYSTEM IN THE ALTAI REGION

Ключевые слова: молибден, содержание в почвах и растениях, коэффициенты биологического поглощения, запасы подвижного молибдена в корнеобитаемом слое почвы, вынос молибдена различными культурами.

Изучено поведение молибдена в системе почва-растения Алтайского края и выявлены причины дефицита молибдена для злаковых и бобовых культур, который зависит от содержания в корнеобитаемом слое почвы подвижных форм элемента и выноса его растениями. Проведены исследования, связанные с выявлением специфики накопления молибдена в верхних горизонтах почв различных зон, с определением подвижности молибдена в различных почвах, с установлением специфики поглощения молибдена растениями в различных почвенно-климатических условиях. Установлено, что валовое содержание молибдена в верхних горизонтах почв края ниже, чем в верхних горизонтах почв Центрального Черноземья. Отмечено низкое содержание молибдена в растениях края (0,1-1,2 мг/кг). Наиболее низким содержанием молибдена характеризуется кукуруза и солома злаков, наиболее высоким – бобовые, гречиха, разнотравье. Соотношения запасов подвижного молибдена в корнеобитаемом слое пахотных почв Алтайского края и размеров выноса 3 т основной продукции пшеницы и гороха наиболее низки у гороха, что говорит о вероятности недостатка для растений подвижного молибдена и требует включения этого элемента в систему удобрений. Благодаря высоким КБП молибден может накапливаться в верхних горизонтах почв за счет растительных остатков сильнее, чем, например, марганец. По этой же причине молибден в условиях Алтайского края является наиболее

дефицитным элементом для всех растений и особенно для бобовых, чем марганец и кобальт.

Keywords: molybdenum, content in soils and plants, biological absorption coefficient, labile molybdenum reserves in root zone, removal of molybdenum by different crops.

The behavior of molybdenum in soil-plant system of the Altai Region is studied, the reasons of molybdenum deficiency for grain and legume crops are revealed; the deficiency depends on labile molybdenum content in root zone and its removal by plants. The following was studied: the features of molybdenum accumulation in the top soil horizons of various zones, molybdenum mobility in various soils, and the features of molybdenum absorption by plants in various soil and climatic conditions. It is found that the total molybdenum content in the top horizons of the soils of the Region is lower than that of the Central Chernozem Region. Low molybdenum content is revealed in the plants of the Region (0.1-1.2 mg kg); the lowest molybdenum content is found in maize and the straw of grain crops, and the highest content is found in legumes, buckwheat, and motley grasses. The ratio of labile molybdenum reserves in root zone in arable soils of the Altai Region and its removal by 3 tons of main product of wheat and pea is the lowest for pea, which is indicative of labile molybdenum deficiency for the crops, so molybdenum inclusion in the system of fertilizers is required. Due to high biological absorption coefficients molybdenum can accumulate in top soil horizons by means of plant residues in greater amounts than manganese, for instance. For the same reason, in the Altai Region, molybdenum is the scarcest nutrient for all crops and particularly for legumes as compared to manganese and cobalt.

Спицына Светлана Федоровна, д.с.-х.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-09. E-mail: agau@asau.ru.

Томаровский Алексей Анатольевич, к.с.-х.н., доцент, проректор по развитию образовательной деятельности, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-12. E-mail: tom486@yandex.ru.

Оствальд Галина Викторовна, к.х.н., доцент, зав. каф. химии, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

Spitsyna Svetlana Fyodorovna, Dr. Agr. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: agau@asau.ru.

Tomarovskiy Aleksey Anatolyevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Vice-Rector on Educational Activity Development, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-12. E-mail: tom486@yandex.ru.

Ostwald Galina Viktorovna, Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Chemistry, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

Введение

Проблема повышения продуктивности основных сельскохозяйственных культур на территории Алтайского края тесно связана с обеспеченностью растений элементами питания, в том числе и микроэлементами. Один из таких элементов – молибден. Он необходим как элемент питания для растений и симбиотических микроорганизмов, населяющих почву. Установлено влияние молибдена на активность ферментов, катализирующих восстановление и ассимиляцию нитратов у растений. К таким ферментам относятся нитратредуктаза, нитритредуктаза, гидроксиламинредуктаза. Выявлено значительное влияние молибдена на образование и накопление в растениях хлорофилла, на азотный обмен, водный режим растений и др. В случае молибденовой недостаточности растения испытывают угнетение в росте, развитии и снижают продуктивность. Особенно чувствительны к недостатку молибдена бобовые растения [1].

Вопросом молибденового питания бобовых культур занимались многие ученые [2-5]. В полевых опытах, в т.ч. на территории Алтайского края, была доказана высокая эффективность молибденовых удобрений под различные сельскохозяйственные культуры [6-9].

Недостаточно широкое применение молибденовых удобрений на территории Алтайского края в настоящее время объясняется отсутствием знаний о его поведении в системе почва-растения, о зависимости продуктивности различных культур от содержания молибдена в корнеобитаемом слое почвы и о выносе его конкретными уровнями урожайности.

Слабая изученность этого вопроса препятствует получению более высоких урожаев различных сельскохозяйственных культур на территории Алтайского края.

Все вышеизложенное явилось основой для выбора цели исследования.

Цель исследований – изучение поведения молибдена в системе почва-растения Алтайского края и установление вероятности дефицита молибдена для злаковых и бобовых культур в зависимости от содержания в корнеобитаемом слое почвы его подвижных форм и от выноса его растениями. Для достижения этой цели необходимы исследования, связанные с выявлением специфики накопления молибдена в верхних горизонтах почв различных зон, определением подвижности молибдена в различных почвах, установлением специфики поглощения молибдена растениями в различных почвенно-климатических условиях.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются почвы и растения Алтайского края. Предмет исследо-

ваний – изучение поведения молибдена в системе почва-растения Алтайского края. Валовое содержание молибдена в почвах определялось на спектрографе ИСП-28, содержание подвижного молибдена – в оксалатной вытяжке (смесь щавелевой кислоты и щавелевокислого аммония при pH=3,3) колориметрически с помощью роданида калия и экстракции изоамиловым спиртом.

Место проведения исследований – зона каштановых почв сухой степи, подзона черноземов южных засушливой степи, подзона черноземов выщелоченных и обыкновенных умеренно-засушливой и колочной степи, зона выщелоченных черноземов лесостепи.

Результаты исследований и их обсуждение

Основным источником молибдена в почвах являются почвообразующие породы. По Виноградову (1957) кларк молибдена в литосфере составляет $2 \cdot 10^{-4}\%$, или 2 мг/кг [10].

На территории Алтайского края валовое содержание молибдена в основных материнских породах варьирует от 0,2 до 1,4 мг/кг (табл. 1). Среднее содержание молибдена составляет: в лессовидных суглинках – 1,1 мг/кг, тяжелых суглинках – 0,7, аллювиальных и озерно-аллювиальных отложениях – 0,8 мг/кг. Это меньше, чем кларк литосферы по Виноградову, и связано с относительно низким содержанием молибдена в соответствующих горных породах.

Судя по средним величинам, содержание валового молибдена в верхних горизонтах почв Алтайского края превышает содержание его в почвообразующих породах ($N > M$): в темно-каштановых почвах – на 33,3%, светло-каштановых – на 22,2, черноземах южных – на 12,3, черноземах обыкновенных (колочная степь) – на 50, черноземах выщелоченных (колочная степь) – на 30%, черноземах выщелоченных (лесостепь) – на 66,7%. Среднее содержание валового молибдена в почвах Алтайского края (0,8-1,4 мг/кг) более низкое, чем в почвах Центрального Черноземья (1,8-2,7 мг/кг) [3]. Накопление молибдена в верхних горизонтах почв края в значительной степени биогенное, т.к. содержание его в золе растений, участвующих в почвообразовании, более высокое, чем содержание в материнских породах.

Содержание в почвах Алтайского края подвижного молибдена низкое и варьирует в горизонте А от 0,04 до 0,15 мг/кг. В почвах Центрального Черноземья подвижного молибдена больше (0,04-0,58 мг/кг). Подвижность (n/N) молибдена в почвах Алтайского края низка и варьирует в горизонте А от 6,7 до 12,2%.

Среди форм молибдена наиболее доступными для растений являются воднорастворимые соединения. Они быстро по-

глощаются корнями растений, но легко вымываются из почвы поверхностными и грунтовыми водами. В почвах имеется также условно доступный для растений обменный молибден, адсорбированный глинистыми минералами. Он становится более доступным для растений в щелочных почвах и менее доступным – в кислых [11]. Молибден, входящий в кристаллическую решетку минералов, малодоступен растениям. Эта доступность увеличивается при разрушении этих минералов под влиянием обработки почвы и сезонных и дневных смен температуры, выпадающих осадков и кислых корневых выделений. Малодоступен для растений молибден, содержащийся в органических остатках растений и животных. Он становится доступным для растений при их разложении. Факторы, активизирующие разложение этих остатков, способствуют увеличению обеспеченности растений молибденом. Накопление подвижного молибдена в почвах зависит от содержания в них гумуса. Так, в условиях Алтайского края содержание в почвах подвижного молибдена находится в прямой пропорциональной зависимости от содержания в них гумуса. При содержании в почвах гумуса больше 4,5% содержание в них подвижного молибдена самое высокое – больше 0,13 мг/кг. Оно сопряжено с содержанием в почвеилистых частиц – 15-20%. При уменьшении содержания их в почвах < 15% наблюдается уменьшение содержания подвижного молибдена до 0,05 мг/кг. Содержание в почвах края подвижного молибдена (0,04-0,15 мг/кг) согласно группировке по обеспеченности растений микроэлементами очень низкое [12].

Химический состав почвы дает лишь ориентировочное представление об обеспеченности растений тем или иным микроэлементом. Анализ различных растений и культур помогает выявить недостаток элемента в зависимости от почвенно-климатических условий и уровня плодородия. Содержание того или иного элемента в растениях считается систематическим признаком, который формируется эволюционно и передается по наследству. Микроэлементный состав растений, находящийся в зависимости от генотипа, зависит также от химического состава среды. Вариабельность содержания молибдена в различных почвах Алтайского края влияет на содержание его в растениях (табл. 2). Анализ данных о содержании молибдена в различных культурах и травах зон Алтайского края дал возможность выявить, что наиболее высоким содержанием молибдена характеризуются гречиха, бобовые культуры и травы (0,3-1,2 мг/кг), наиболее низким – солома яровой пшеницы и зеленая масса кукурузы (0,1-0,6 мг/кг), очень низким – зеленая масса

кукурузы и солома яровой пшеницы на территории Бийско-Чумышской возвышенности (0,1-0,2 мг/кг). Это связано, в первую очередь, с очень низким содержанием в этих почвах подвижного молибдена (0,06-0,1 мг/кг). Данные о содержании молибдена в растениях свидетельствуют о том, что растения потребляют молибден в значительных количествах, несмотря на очень низкое содержание в почвах подвижных форм, т.е. по отношению к молибдену растения края (особенно бобовые) проявляют избирательность и механизмы, позволяющие поглощать значительные количества этого элемента. Относительно высокое содержание молибдена в растениях при достаточно низком его содержании в почвах прослеживается при анализе коэффициентов биологического поглощения его растениями (КБП), представляющих собой отношение содержания элемента в золе растений к содержанию в материнских породах почв. Пределы колебаний КБП по молибдену составили: на территории сухой степи – 6-20, колючей степи – 13-20, лесостепи – 6-10. У других микроэлементов коэффициенты биологического поглощения значительно ниже. По величинам КБП микроэлементы можно расположить в ряды: в зонах сухой и колючей степи – $Mo > Zn > Cu > Mn > B > Co$, зоне лесостепи – $Zn > Mo > Cu > Mn > B > Co$.

Благодаря высоким КБП молибден может накапливаться в верхних горизонтах почв за счет растительных остатков, т.е. биогенно, сильнее, чем, например, марганец, у которого КБП варьируется от < 0,8 до 3. По этой же причине молибден в условиях Алтайского края является наиболее дефицитным элементом для всех растений и особенно для бобовых, чем марганец.

Степень обеспеченности культур края молибденом можно оценить, сопоставив запасы подвижного молибдена в корнеобитаемом слое почвы (0-20 см) с выносом его яровой пшеницей и горохом (например, 3 т/га сухого вещества основной продукции). Судя по данным таблицы 3, запасы молибдена в слое почв 0-20 см почв Алтайского края варьируют от 4,0 до 24,0 мг/кг. Это сопряжено с пределами колебаний подвижного молибдена в почвах Алтайского края от 0,02 до 0,12 мг/кг. Хозяйственный вынос молибдена 3 т основной продукции с 1 га с учетом побочной продукции составляет: для яровой пшеницы – 1,8-3,6 г/га, гороха – 3,0-6,0 г/га. Низкие величины отношения А к В у гороха (6,7-8,0) говорят о том, что содержание подвижных форм молибдена в корнеобитаемом слое почв края не всегда может обеспечить растения (особенно бобовые) этим элементом.

Таблица 1

Содержание молибдена в материнских породах (М) и почвах (N) Алтайского края

Горизонт	Содержание, мг/кг						Коэффициенты, %	
	валовое: М – в гор. С, N – в гор. А			подвижные формы (n)			накопления N M	подвижности n/N(M)
	пределы колебаний N/M	среднее (N)M, N/M	V, %	пределы колебаний	среднее	V, %		
Темно-каштановые почвы								
A	0,4-1,0	0,8	22,2	0,10-0,12	0,11	9,1	33,3	12,2
C	0,4-0,8	0,6	16,7	0,06-0,10	0,08	12,5		13,3
Каштановые и светло-каштановые почвы								
A	0,4-1,6	1,1	27,3	0,04-0,10	0,08	12,5	22,2	7,2
C	0,6-1,0	0,9	10,0	0,03-0,06	0,04	25,0		4,4
Черноземы южные								
A	0,8-1,1	0,9	5,5	0,08-0,12	0,1	10,1	12,5	11,1
C	0,7-0,9	0,8	6,2	0,08-0,12	0,1	10,1		12,5
Черноземы обыкновенные (колочная степь)								
A	0,6-1,6	1,2	16,6	0,05-0,10	0,08	12,5	50	6,7
C	0,5-1,1	0,8	12,5	0,04-0,07	0,05	20,0		6,2
Чернозем выщелоченный (колочная степь)								
A	0,8-1,7	1,3	16,0	0,09-0,15	0,12	16,7	30	9,2
C	0,7-1,2	1,0	10,3	0,03-0,12	0,06	12,5		6,0
Чернозем выщелоченный (лесостепь)								
A	0,7-1,2	1,0	10	0,07-0,15	0,11	18,2	66,7	11,0
C	0,5-0,8	0,6	16,6	0,04-0,08	0,06	16,6		10,0

Таблица 2

Содержание молибдена в растениях, выращенных на различных почвах мг/кг

Показатели	Почвы					
	каштановые и светло-каштановые (сухая степь)	темно-каштановые (сухая степь)	чернозем южный (засушливая степь)	чернозем обыкновенный (колочная степь)	чернозем выщелоченный (колочная степь)	чернозем выщелоченный (лесостепь)
Зерно яровой пшеницы, мг/кг	0,3-0,5 0,4	0,4-0,6 0,5	0,4-0,6 0,5	0,2-0,8 0,5	0,4-0,8 0,6	0,1-0,4 0,3
Солома яровой пшеницы, мг/кг	0,1-0,3 0,2	0,3-0,5 0,4	0,3-0,5 0,4	0,2-0,6 0,4	0,2-0,6 0,4	0,1-0,2 0,1
Кукуруза (зеленая масса), мг/кг	0,2-0,4 0,3	0,3-0,5 0,4	0,3-0,5 0,4	0,2-0,6 0,4	0,3-0,6 0,4	0,1-0,2 0,1
Гречиха, мг/кг	0,4-0,6 0,5	0,5-0,7 0,6	0,5-0,7 0,6	0,5-0,7 0,6	0,7-1,1 0,9	0,5-0,7 0,6
Бобовые, мг/кг	0,4-0,9 0,7	0,6-1,0 0,8	0,5-1,1 0,3	0,6-1,0 0,8	0,8-1,2 1,0	0,2-0,6 0,4
Разнотравье, мг/кг	0,3-0,8 0,6	0,5-0,9 0,7	0,4-1,0 0,7	0,6-0,8 0,7	0,8-1,2 1,0	0,2-0,6 0,4

* Числитель – пределы колебаний, знаменатель – среднее содержание.

Таблица 3

Сопоставление данных о запасе в почвах Алтайского края подвижных форм молибдена (А) с выносом его яровой пшеницей и горохом

Показатели	Культуры	
	яровая пшеница	горох
Содержание в почве подвижных форм, мг/кг	0,02-0,12	0,02-0,12
Содержание в слое 0-20 см, г/га (А)	40-240	40-240
Содержание в зерне сухого вещества, мг/кг	0,4-0,6	0,6-1,2
Содержание в соломе сухого вещества, мг/кг	0,3-0,5	0,5-1,0
Хозяйственный вынос при ур-ти основной продукции 3 т/га (В), г/га	1,8-3,6	3,0-6,0
Отношение запасов (А) к выносу (В)	11,1-133,3	6,7-80

Более высокий вынос молибдена горохом, обусловленный особенностью обмена веществ этой культуры, можно считать основанием для включения молибдена в систему удобрений бобовых культур, особенно на почвах с очень низким содержанием подвижных форм и самым низким отношением за-

пасов подвижного молибдена в почве (А) к его выносу (В).

Выводы

1. Почвообразующие породы Алтайского края характеризуются относительно низким валовым содержанием молибдена (0,2-1,4 мг/кг).

2. В верхних горизонтах почв края наблюдается увеличение валового содержания молибдена на 12,5-66,7%. Валовое содержание молибдена в верхних горизонтах почв края (0,4-1,7 мг/кг) ниже, чем в верхних горизонтах почв Центрального Черноземья (1,8-2,7 мг/кг).

3. Содержание подвижного молибдена в основных пахотных почвах Алтайского края (0,04-0,15 мг/кг), согласно градации обеспеченности, очень низкое и низкое. В аналогичных почвах Центрального Черноземья подвижного молибдена содержится 0,1-0,58 мг/кг.

4. Содержание молибдена в растениях края очень низкое (0,1-1,2 мг/кг). Наиболее высоким содержанием характеризуются бобовые (0,4-1,2 мг/кг), гречиха (0,4-1,2 мг/кг), разнотравье (0,3-1,2 мг/кг), наиболее низким – кукуруза и солома злаков (0,1-0,6 мг/кг).

5. Молибден по сравнению с марганцем, кобальтом и медью характеризуется высокими коэффициентами биологического поглощения (КБП = 6-20), что свидетельствует о его большой биологической значимости, особенно для бобовых культур.

6. Соотношения запасов подвижного молибдена в корнеобитаемом слое пахотных почв Алтайского края и размеров выноса 3 т основной продукции пшеницы и гороха наиболее низки у гороха и говорят о вероятности недостатка для растений подвижного молибдена, что требует включения этого элемента в систему удобрений.

Библиографический список

1. Катамылов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. – М.: Химия, 1965. – 330 с.
2. Пейве Я.В. Биохимия и агрохимия молибдена. – Рига, 1960. – 136 с.
3. Протасова Н.А., Щербakov А.П., Колаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. – Воронеж, 1992. – 166 с.
4. Ковальский В.В. с соавт. Микроэлементы в растениях и кормах. – М.: Колос, 1971. – 235 с.
5. Буркин И.А. Физиологическая роль и сельскохозяйственное значение молибдена. – М., 1968. – 293 с.
6. Баркан Я.Г. Применение микроэлементов в Алтайском крае // Микроэлементы в растениеводстве Сибири и дальнего Востока. – Иркутск, 1974. – 160 с.
7. Спицына С.Ф. Диагностика недостатка микроэлементов для культурных растений Алтайского края // Режимы почв, параметры плодородия и приемы его воспроизводства: сб. науч. тр. / АГАУ. – Барнаул, 1992. – С. 15-22.

8. Томаровский А.А. Микроэлементы в почвах и система микроудобрений для различных культур в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 1999. – 17 с.

9. Третьяков М.А. Эффективность применения под сою макро-микроудобрений и ризоторфины в Алтайском Приобье. – Барнаул, 2005. – 18 с.

10. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – № 7. – С. 8.

11. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.

12. Микроэлементы в почвах СССР / под ред. М.Г. Зырина, Г.Д. Белициной. – М., 1981. – С. 20.

References

1. Katalymov M.V. Mikroelementy i mikroudobreniya. – M.: Khimiya, 1965. – 330 s.
2. Peive Ya.V.. Biokhimiya i agrokhimiya molibdena. – Riga, 1960. – 136 s.
3. Protasova N.A., Shcherbakov A.P., Kolaeva M.T. Redkie i rasseyannye elementy v pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya. – Voronezh, 1992. – 166 s.
4. Koval'skii V.V. s soavt. Mikroelementy v rasteniyakh i kormakh. – M.: Kolos, 1971. – 235 s.
5. Burkin I.A. Fiziologicheskaya rol' i sel'skokhozyaistvennoe znachenie molibdena. – M., 1968. – 293 s.
6. Barkan Ya.G. Primenenie mikroelementov v Altaiskom krae // Mikroelementy v rastenievodstve Sibiri i dal'nego Vostoka. – Irkutsk, 1974. – 160 s.
7. Spitsyna S.F. Diagnostika nedostatka mikroelementov dlya kul'turnykh rastenii Altaiskogo kraja // Rezhimy pochv, parametry plodородiya i priemy ego vosproizvodstva: sb. nauch. tr. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 1992. – S. 15-22.
8. Tomarovskii A.A. Mikroelementy v pochvakh i sistema mikroudobrenii dlya razlichnykh kul'tur v usloviyakh umerennozасushlivoi kolochnoi stepi Altaiskogo kraja: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 1999. – 17 s.
9. Tret'yakov M.A. Effektivnost' primeneniya pod soyu makro-mikroudobrenii i rizotorfiny v Altaiskom Priob'e. – Barnaul, 2005. – 18 s.
10. Vinogradov A.P. Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh. – M.: Izd-vo AN SSSR, № 7, 1957. – S. 8.
11. Perel'man A.I. Geokhimiya landshafta. M.: Vysshaya shkola, 1975. – 341 s.
12. Mikroelementy v pochvakh SSSR / Pod red. M.G. Zyrina, G.D. Belitsinoi. – M., 1981. – S. 20.

