

НАКОПЛЕНИЕ СЕЛЕНА РАСТЕНИЯМИ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МОЛДОВЫ

Марина КАПИТАЛЬЧУК

Институт генетики и физиологии растений АН Молдовы

Pentru prima dată au fost obținute rezultate științifice ce vizează teritoriul Republicii Moldova privind acumularea biogenă a selenului de către culturile agricole, care se dezvoltă pe diferite categorii de sol în condiții cu diverse componente ale microelementelor în soluri. A fost efectuată analiza comparativă a coeficienților de acumulare biogenă a selenului pentru diferite categorii de soluri și diverse specii de culturi agricole.

The present paper discusses Se content in soil and plants on the territory of Republic of Moldova. It was established that the geochemical conditions of the territory is favourable for Se accumulations in agricultural plants.

Введение

Общеизвестно, что селен является условно необходимым микроэлементом питания растений, однако он участвует в метаболических процессах. Селениты (Se^{4+}) и селенаты (Se^{6+}) могут поступать в растения прямо из почвенных растворов, но при этом корни аккумулируют Se^{4+} не более, чем его содержание в наружном растворе, в то время как Se^{6+} аккумулируется значительно активнее и его концентрация в корне превышает содержание в наружном растворе [16].

Селен содержится в растениях главным образом в виде селенометионина органического селена, аналогичного аминокислоте метионину. Селенометионин может быть встроен в структуру белков вместо метионина, относящегося к незаменимым аминокислотам, и служит в качестве средства для хранения селена в органах и тканях растений [14, 15]. В зерновых, являющихся главным источником селена в питании человека, основная часть этой аминокислоты содержится в зародыше [13].

При избыточном содержании в почве селен может быть токсичным для растений. При этом может наблюдаться не только распространение эндемических болезней растений, но и появление морфологических изменений растений [7], вплоть до образования новых видов. Например, избыточное количество селена сыграло, по-видимому, определенную роль в видообразовании астрагала [8]. Однако на основе изучения адсорбционной способности различных пищевых волокон было показано, что характер этой зависимости все же подтверждает отсутствие эссенциальности селена для растений [5].

Являясь условно необходимым микроэлементом питания растений, селен оказался жизненно важным элементом для человека и животных, прежде всего благодаря своим антиоксидантным свойствам [2].

Ранее были изучены особенности распределения селена в поверхностных и подземных водах, а также в различных типах почв на территории Молдовы [10, 11]. В настоящей работе обсуждаются предварительные результаты исследований накопления селена сельскохозяйственными растениями, произрастающими на различных почвах.

Материалы и методы

Сбор растений проводился в местах отбора почвенных проб в соответствии со стандартными методами [7] на территории двух почвенных районов Молдовы: района типичных и карбонатных черноземов лесостепи юго-западной окраины Вольно-Подольской возвышенности и района обыкновенных и южных черноземов Южноприднестровской степной равнины.

Определение селена в почвенных образцах проводилось атомно-абсорбционным методом с помощью спектрофотометра, оснащенного проточно-инжекционной системой [1]. Содержание селена в растениях определялось флуориметрическим методом с использованием референс-стандартов [12]. Для зерновых культур (пшеницы и ячменя) содержание селена в надземной части растения и в зерне определялось отдельно.

Результаты и обсуждение

Имеющиеся на сегодняшний день данные по накоплению селена кукурузой, пшеницей, ячменем, подсолнечником и люцерной в условиях разных типов почв представлены в таблице 1. Основными факторами, определяющими аккумуляцию микроэлемента в растениях, является химическая форма этого элемента и уровень его содержания в почвах, поэтому указано также валовое содержание селена в

пахотном слое (0-40 см) в местах сбора растений. Однако содержание валовых форм селена в почвах дает лишь ориентировочное представление об их обеспеченности микроэлементом, так как растения могут использовать только ту его часть, которая находится в физиологически доступных подвижных формах. Представление о доле биодоступных форм селена от его валового содержания в почве дает приведенный в таблице 1 коэффициент биологического накопления (КБН), равный отношению количества селена в растении к его общему содержанию в почве [6].

Таблица 1

**Накопление селена сельскохозяйственными растениями
в условиях разных типов почв Молдовы**

№ п/п	Место взятия образцов	Se в почве, мкг/кг	Наименование растений	Se в растениях, мкг/кг	Коэфф. биолог. накопления
Черноземы карбонатные					
1.	с.Кузьмин, Каменский р-н	355	Кукуруза (надземная часть)	90	0,254
2.			Пшеница (надземная часть)	80	0,225
3.			Зерно пшеницы	107	0,301
4.	с.Бутор, Григориопольский р-н	270	Ячмень (надземная часть)	102	0,378
5.			Зерно ячменя	94	0,348
6.			Кукуруза (надземная часть)	128	0,474
7.			Подсолнечник(надземная часть)	111	0,411
Средние значения		312		102	0,342
Черноземы обыкновенные					
8.	с.Попенки, Рыбницкий р-н	290	Пшеница (надземная часть)	108	0,372
9.			Зерно пшеницы	116	0,400
10.			Подсолнечник(надземная часть)	105	0,362
11.	с.Гармацкое, Дубоссарский р-н	340	Пшеница (надземная часть)	121	0,356
12.			Зерно пшеницы	143	0,420
13.			Кукуруза (надземная часть)	89	0,262
14.			Подсолнечник(надземная часть)	117	0,344
15.	г. Тирасполь	275	Люцерна	114	0,415
16.	с.Парканы Слободзейский р-н	315	Кукуруза (надземная часть)	109	0,346
Средние значения		305		114	0,364
Черноземы типичные					
17.	с.Грушка Каменский р-н	320	Подсолнечник(надземная часть)	143	0,447
18.			Кукуруза (надземная часть)	90	0,281
19.			Ячмень (надземная часть)	107	0,334
20.			Зерно ячменя	157	0,491
Средние значения		320		124	0,388
Черноземы выщелоченные					
21.	с.Строенцы Рыбницкий р-н	265	Люцерна	166	0,626
22.			Пшеница (надземная часть)	111	0,419
23.			Зерно пшеницы	78	0,294
Средние значения		265		118	0,446
Пойменная луговая слоистая почва					
24.	с.Чобручи Слободзейский р-н	339	Кукуруза (надземная часть)	119	0,351
Средние значения		339		119	0,351

Из анализа представленной в таблице 1 выборки следует, что диапазон валового содержанием селена в почвах составляет от 265 до 355 мкг/кг, в то время как концентрация микроэлемента в надземной части растений находится в интервале 80 – 166 мкг/кг, а в зерне колеблется от 78 до 157 мкг/кг. При этом не наблюдается корреляции между содержанием общего селена в почвах и его концентрацией в растениях.

Известно, что содержание микроэлементов сильно зависит от гранулометрического состава почв, обнаруживая высокую степень корреляции между содержанием глинистых частиц и микроэлементов.

Как указывает В.П. Кирилук [6], в почвах Молдовы наблюдается закономерное уменьшение содержания большинства микроэлементов в генетическом ряду черноземов от выщелоченного к обыкновенному и карбонатному, а внутри каждого подтипа – с облегчением гранулометрического состава. Относительно содержания общего селена в почвах такой закономерности не прослеживается, по крайней мере – в рамках рассматриваемой выборки. Но ранее нами было установлено аномально низкое содержание селена 100 мкг/кг для ареала именно карбонатного чернозема, где почвообразующими породами служили супеси и легкие суглинки. Аномально высокое содержание селена 1930 мкг/кг, наоборот, обнаружено в тяжелосуглинистом обыкновенном черноземе [11].

Исходя из среднего значения содержания селена в растениях, аккумулирующих его из различных почв, черноземы можно расположить в следующей последовательности: **типичный (124) > выщелоченный (118) > обыкновенный (114) > карбонатный (102)**. Данная последовательность, видимо, отражает тенденцию изменения биодоступного селена в ряду черноземов и близка к указанной выше общей зависимости содержания микроэлементов от гранулометрических свойств почв.

Еще более убедительно подтверждает общую для Молдовы закономерность распределения биодоступных микроэлементов в генетическом ряду черноземов последовательность, построенная на основе средних значений КБН селена: **выщелоченный (0,446) > типичный (0,388) > обыкновенный (0,364) > карбонатный (0,342)**. Эта последовательность означает, что в среднем содержание селена в растениях на выщелоченном черноземе составляет 44,6 % от концентрации микроэлемента в почве, понижаясь до 34,2% при переходе к карбонатному чернозему.

Отдельно отметим два случая накопления селена растениями в условиях экстремальных значений микроэлемента в почвах (данные не включены в табл.1). В первом случае, при дефицитном содержании селена 100 мкг/кг в супесчаном карбонатном черноземе, аккумуляция его растениями оказалась относительно высокой и составила для кукурузы 107 мкг/кг и для подсолнечника 104 мкг/кг, а значения КБН достигали 1,070 и 1,040 для кукурузы и подсолнечника соответственно.

Во втором случае, когда содержание селена в пахотном слое тяжелосуглинистого обыкновенного чернозема достигало аномально высокого значения 1483 мкг/кг, биоаккумуляция микроэлемента растениями возросла незначительно и составила для подсолнечника 114 мкг/кг (КБН = 0,077), клевера – 111 мкг/кг (КБН = 0,075), люцерны – 105 мкг/кг (КБН = 0,071). Таким образом, при самом высоком содержании валовых форм селена в почве, значения коэффициента биологического накопления селена оказались аномально низкими.

Приведенные примеры еще раз свидетельствуют о том, что накопление селена растениями зависит от конкретных геохимических условий. Высокое содержание валовых форм селена в почве является необходимым, но недостаточным условием, определяющим величину аккумуляции микроэлемента растениями. При низком содержании валовых форм селена, но в условиях рыхлых, хорошо аэрируемых почв возможна интенсивная биоаккумуляция микроэлемента, так как он присутствует в значительной мере в форме селенатов, которые хорошо растворимы и легко усваиваются растениями [3]. В значительной мере накопление микроэлемента растениями может снижать присутствие в почвах элементов-антагонистов, каковыми для селена являются сера, фосфор, кадмий, медь, марганец и цинк [6].

При прочих равных условиях биогенная аккумуляция селена должна зависеть от вида растения. В таблице 2 обобщены результаты по содержанию селена и значению коэффициента биологического накопления для некоторых сельскохозяйственных растений на исследуемой территории.

Таблица 2

Содержание Se и значения КБН для сельскохозяйственных растений

Наименование растений	Содержание Se, мкг/кг		К Б Н	
	диапазон значений	среднее	диапазон значений	среднее
Кукуруза	89 – 128	104,6	0,254 – 0,474	0,328
Пшеница:				
надземная часть	80 – 121	105,0	0,225 – 0,419	0,343
зерно	78 – 143	111,0	0,294 – 0,420	0,354
Ячмень:				
надземная часть	102 – 107	104,5	0,334 – 0,378	0,356
зерно	94 – 157	125,5	0,348 – 0,491	0,420
Подсолнечник	104 – 143	115,6	0,344 – 0,447	0,391
Люцерна	105 – 166	128,5	0,415 – 0,626	0,520

Анализ таблицы 2 показывает, что содержание селена в представленных сельскохозяйственных культурах изменяется в широком диапазоне в зависимости от конкретных геохимических условий. Средние значения концентрации селена в надземной части растений кукурузы, пшеницы и ячменя оказались очень близкими и составили около 105 мкг/кг. Как правило, содержание микроэлемента в зерне выше, чем в надземной части пшеницы и ячменя, что находит отражение в средних значениях концентрации селена. Однако в отдельных случаях стебли и листья растений аккумулируют селен намного больше, чем зерно (см. табл.1). В стеблях и листьях подсолнечника и люцерны концентрация селена существенно возрастает по сравнению с зерновыми культурами и в среднем достигает 115,6 для подсолнечника и 128,5 мкг/кг для люцерны.

По величине среднего значения КБН селена в надземной части сельскохозяйственных растений можно построить следующую последовательность: **люцерна (0,520) > подсолнечник (0,391) > ячмень (0,356) > пшеница (0,343) > кукуруза (0,328)**. То есть в среднем наблюдается уменьшение биогенного накопления селена от люцерны к подсолнечнику и далее к ячменю, пшенице и кукурузе.

Выводы

Содержание селена в сельскохозяйственных культурах изменяется в широких пределах от 78 до 166 мкг/кг в зависимости от конкретных геохимических условий, а коэффициент биологического накопления селена растениями составляет 0,225 – 0,626. При этом взаимосвязи между содержанием валовых форм селена в почвах и его аккумуляцией растениями не обнаружено.

Интенсивность биогенного накопления селена растениями уменьшается от чернозема выщелоченного к типичному и, далее, к обыкновенному и карбонатному.

В среднем наблюдается уменьшение биоаккумуляции селена в надземной части растений при переходе от люцерны к подсолнечнику затем к ячменю, пшенице и кукурузе.

Как правило, содержание микроэлемента в зерне ячменя и пшеницы выше, чем в стеблях и листьях растений, хотя в отдельных случаях наблюдается обратное соотношение концентрации селена.

Литература:

1. Богдевич О.П., Измайлова Д.Н., Капитальчук М.В. и др. Оценка содержания селена в почвах Молдовы // Buletinul Institutului de Geofizica și Geologie al A.S.M. - 2005. - Nr.1. - P.83-87.
2. Гмошинский И.В., Мазо В.К. Селен в питании: краткий обзор // Medicina Altera. - 1999. - №4. - С.18-22.
3. Голубкина Н.А. Содержание Se в пшеничной и ржаной муке России, стран СНГ и Балтии // Вопросы питания. - 1997. - №3. - С.17-20.
4. Голубкина Н.А. Прогнозирование уровня обеспеченности селеном населения России и Украины по содержанию микроэлемента в зерне пшеницы // Экология моря. - 2000. - Вып.54. - С.57-68.
5. Голубкина Н.А., Щелкунов Л.Ф., Гинс В.К. Адсорбция селена пищевыми волокнами // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. - 1998. - №6. - С.34-35.
6. Кирилюк В.П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы.- Chișinău: Pontos, 2006. - 156 p.
7. Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. - Москва: Колос, 1969.- 272 с.
8. Лебедев С.И. Физиология растений. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Агропромиздат, 1988. - 544 с.
9. Сидельникова В.Д. Геохимия селена в биосфере // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии: Труды биогеохимической лаборатории. - Москва: Наука, 1999, с.81-99.
10. Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых природных компонентах на территории Республики Молдова // Analele Științifice ale USM: Seria "Științe chimico-biologice". - Chișinău, 2006, p.348-352.
11. Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра // Știința agricolă. - 2006. - Nr.1. - P.11-16
12. Alfthan G. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta. - 1984. - V. 165. - P.187-194.
13. Ciapellano S., Testolin G., Allegrini M., Perrini M. Availability of selenium in dough and biscuits in comparison to wheat meal // Ann. Nutr. Metab. - 1990. - Vol.34. - P.343-349.
14. Schrauser G.N. Commentary: Nutrition selenium supplements: Product types, quality, and safety // J. Am College Nutr. - 2001. - V.20. - P.1-4.
15. Schrauser G.N. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine // Adv. Food Nutr. Res. - 2003. - V.47. - P.73-112.
16. Ulrich J.M., Shrift A. Selenium absorption by excised Astragalus roots // Plant. Physiol. - 1968. - V.43. - P.14-20.