

УДК: 664.84

## БИОАККУМУЛЯЦИЯ СЕЛЕНА РАСТЕНИЯМИ НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПОЧВ МОЛДОВЫ

*М.В. Капитальчук, Институт генетики и физиологии растений, Кишинев,  
Н.А. Голубкина, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур*

Селен — условно необходимый микроэлемент питания растений. Он способен изоморфно замещать серу в сульфиде благодаря близости ионных радиусов, а селеноорганические соединения подобны сернистым [9]. Следовательно, учитывая сходные химические свойства серы и селена, физиологическую роль селена для растений необходимо рассматривать, исходя из функций аналогичных серосодержащих соединений.

Сера поглощается растением в виде анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , с которыми могут конкурировать благодаря общим химическим свойствам анионы  $\text{SeO}_4^{2-}$ . Селениты ( $\text{Se}^{4+}$ ) и селенаты ( $\text{Se}^{6+}$ ) могут поступать прямо из почвенных растворов в растения, но при этом корни аккумулируют  $\text{Se}^{4+}$  не более, чем его содержание в наружном растворе, в то время как  $\text{Se}^{6+}$  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 зерен [13].

При избыточном содержании в почве селен может быть токсичным для растений. При этом наблюдается 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], виды которого содержат большое количество этого элемента. Однако на основе изучения адсорбционной способности различных пищевых волокон показано, что характер этой зависимости все же подтверждает отсутствие эссенциальности селена для растений [5].

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.

Сбор растений проводили в местах отбора почвенных проб в соответствии со стандартными методиками [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 осуществляли атомно-абсорбционным методом с помощью спектрофотометра, оснащенного проточно-инжекционной системой [1]. Содержание селена в растениях определяли флуориметрическим методом с использованием референс-стандартов [12]. Для зерновых культур (пшеница и ячмень) содержание селена в надземной части растения и в зерне определяли отдельно.

Имеющиеся на сегодняшний день данные по накоплению селена кукурузой, пшеницей, ячменем, подсолнечником

и люцерной в условиях разных типов почв представлены в табл. 1. Основным фактором, определяющим аккумуляцию микроэлемента в растениях, является уровень и химическая форма этого элемента в почвах. Поэтому здесь также указано 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 обеспеченности их микроэлементом, т.к. 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 коэффициент биологического накопления (КБН), равный отношению количества селена в растении к его общему содержанию в почве [6].

Диапазон валового содержания 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 выявлено корреляции между содержанием общего селена в почвах и его концентрацией в растениях.

Содержание микроэлементов сильно зависит от гранулометрического состава почвы, обнаруживая высокую степень корреляции между содержанием глинистых частиц и содержанием микроэлементов. 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 [6]. Для 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 именно для 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 селен из различных почв, черноземы можно расположить в следующей последовательности: типичный > выщелоченный > обыкновенный > карбонатный. Данная последовательность, видимо, отражает тенденцию изменения биодоступного селена в ряду черноземов и близка к 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 > типичный > обыкновенный > карбонатный. 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 следует сказать о двух случаях 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 его аккумуляция растениями оказалась относительно высокой

и составила для кукурузы и подсолнечника 107 и 104 мкг/кг соответственно, а значения КБН достигли 1,070 и 1,040.

<b>Таблица 1. Накопление селена сельскохозяйственными культурами на различных почвах Молдовы</b>				
Место взятия образцов	Селен в почве, мкг/кг	Культура	Селен в растениях, мкг/кг	КБН
<b>Черноземы карбонатные</b>				
с. Кузьмин, Каменский р-н	355	Кукуруза (надземная часть)	90	0,254
		Пшеница (надземная часть)	80	0,225
		Зерно пшеницы	107	0,301
с. Бутор, Григориопольский р-н	270	Ячмень (надземная часть)	102	0,378
		Зерно ячменя	94	0,348
		Кукуруза (надземная часть)	128	0,474
		Подсолнечник (надземн. часть)	111	0,411
В среднем	312		102	0,342
<b>Черноземы обыкновенные</b>				
с. Попенки, Рыбницкий р-н	290	Пшеница (надземная часть)	108	0,372
		Зерно пшеницы	116	0,400
		Подсолнечник (надземн. часть)	105	0,362
с. Гармацкое, Дубоссарский р-н	340	Пшеница (надземная часть)	121	0,356
		Зерно пшеницы	143	0,420
		Кукуруза (надземная часть)	89	0,262
		Подсолнечник (надземн. часть)	117	0,344
г. Тирасполь	275	Люцерна	114	0,415
с. Парканы, Слободзейский р-н	315	Кукуруза (надземная часть)	109	0,346
В среднем	305		114	0,364
<b>Черноземы типичные</b>				
с. Грушка, Каменский р-н	320	Подсолнечник (надземн. часть)	143	0,447
		Кукуруза (надземная часть)	90	0,281
		Ячмень (надземная часть)	107	0,334
		Зерно ячменя	157	0,491
В среднем	320		124	0,388
<b>Черноземы выщелоченные</b>				
с. Строевцы, Рыбницкий р-н	265	Люцерна	166	0,626
		Пшеница (надземная часть)	111	0,419
		Зерно пшеницы	78	0,294
В среднем	265		118	0,446
<b>Пойменная луговая слоистая почва</b>				
с. Чобручи, Слободзейский р-н	339	Кукуруза (надземная часть)	119	0,351
В среднем	339		119	0,351

<b>Таблица 2. Содержание селена и значения КБН для некоторых сельскохозяйственных культур</b>				
Культура	Содержание селена, мкг/кг		КБН	
	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
Ячмень — надземная часть	102—107	104,5	0,334—0,378	0,356
	— зерно	94—157	125,5	0,348—0,491
Подсолнечник	104—143	115,6	0,344—0,447	0,391
Люцерна	105—166	128,5	0,415—0,626	0,520

В 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 конкретной геохимической обстановки территории. 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, т.к. 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, которыми для селена являются сера, фосфор, кадмий, медь, марганец и цинк [6].

При прочих равных условиях биогенная аккумуляция селена должна зависеть от вида растения. В табл. 2 обобщены данные по содержанию селена и значению КБН для некоторых сельскохозяйственных растений на исследуемой территории.

Содержание селена в 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 селена намного больше, чем зерно (табл. 1). В стеблях и листьях подсолнечника и люцерны концентрация селена существенно возрастает по сравнению с зерновыми культурами и в среднем достигает 115,6 мкг/кг для подсолнечника и 128,5 мкг/кг для люцерны.

По величине среднего значения КБН селена для надземной части сельскохозяйственных культур можно построить следующую последовательность: люцерна > подсолнечник > ячмень > пшеница > кукуруза. В среднем наблюдается уменьшение биогенного накопления селена от люцерны к подсолнечнику и далее к ячменю, пшенице и кукурузе.

Таким образом, 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 (КБН) 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 и 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. **XX**

Впервые для территории Молдовы получены результаты исследований по биогенной аккумуляции селена сельскохозяйственными культурами, произрастающими на различных типах почв и в условиях с различным содержанием микроэлемента в почвах. Проведен сравнительный анализ коэффициентов биологического накопления селена для различных типов почв и разных видов сельскохозяйственных растений.

Selenium accumulation by agricultural plants grown on different soils of Moldova was estimated. Coefficients of Se biological accumulation for different agricultural plants and different soils were studied.

#### 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.* - №1, 2005, с.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.- *Ch.: Pontos*, 2006, 156 p.
7. Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. – М.: «Колос», 1969.- 272 с.
8. Лебедев С.И. Физиология растений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат. 1988.- 544 с.
9. Сидельникова В.Д. Геохимия селена в биосфере // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды биогеохимической лаборатории.*- М.: 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".- Ch., 2006, p.348-352*
11. Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра.- *Știința agricolă, nr.1, 2006, 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 bisquits in comparison to wheat meal. // *Ann. Nutr. Metab.*, 1990. v.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 absorbtion by excised Astragalus roots // *Plant. Physiol.*, 1968, v.43, p.14-20