

УДК 581.192: 577.170.49

Биологическое действие и накопление селена в пшенице в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции

В. К. КАШИН¹, О. И. ШУБИНА²

¹Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ 670047 (Россия)

E-mail: vladkashin2008@rambler.ru

²Забайкальский аграрный институт,
филиал Иркутской государственной сельскохозяйственной академии,
ул. Юбилейная, 4, Чита 672023 (Россия)

(Поступила 10.03.10; после доработки 26.03.10)

Аннотация

Исследовано влияние предпосевной обработки семян и некорневой обработки растений различными дозами селенита натрия на ростовые процессы, фотосинтетические показатели, урожай яровой пшеницы и накопление в ней селена в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции Забайкалья.

Ключевые слова: селен, пшеница, рост, фотосинтетические показатели, урожай, аккумуляция, селенодефицитная провинция

ВВЕДЕНИЕ

За последние два-три десятилетия резко возрос интерес к селену – жизненно необходимому микроэлементу для организма человека и животных при нормальном содержании и опасному токсиканту в случае его повышенных концентраций. Основная функция селена как микроэлемента заключается, прежде всего, в его участии в антиоксидантных процессах. В форме селеноцистеина он входит в состав четырех активных центров фермента глутатионпероксидазы, защищающей клетки от повреждающего действия свободных радикалов [1, 2]. С дефицитом селена связано более 30 заболеваний человека и сельскохозяйственных животных: эндемическая кардиомиопатия (болезнь Кешана), беломышечная болезнь, экссудативный диатез, дистрофия печени и др.

Многие регионы России и стран ближнего зарубежья характеризуются низким содержанием селена в объектах окружающей среды. Население селенодефицитных территорий

находится в условиях повышенного риска развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Известны несколько биогеохимических провинций с глубоким дефицитом селена в объектах окружающей среды: некоторые провинции Китая, Новая Зеландия, Забайкалье.

Содержание селена в почвах различных районов Забайкалья варьирует от 12 до 197 мкг/кг [3] при среднем (кларковом) содержании в 400 мкг, принятом за экологическую норму. В 1986–1987 гг. у населения Читинской области было выявлено наличие болезни Кешана – селенодефицитной кардиопатии [4]. Содержание селена в крови больных составляло 0.53–0.83 мкмоль/л (латентная форма) и 0.18–0.42 мкмоль/л (хроническая форма), т. е. было на порядок ниже нормы (1.77–2.79 мкмоль/л). Широкое распространение в этом регионе заболеваний, связанных с селеновой недостаточностью, отмечается у сельскохозяйственных животных и птицы, что наносит значительный экономический ущерб животноводству региона [5]. Впервые беломышечная бо-

лезнь зарегистрирована в Западном Забайкалье (Бурятия) среди ягнят в 1936 г. Смертность ягнят от этой болезни в некоторые годы достигала 30–50 % от количества новорожденных [6]. Применение селенита натрия в животноводстве Забайкалья значительно снижало смертность и повышало продуктивность и воспроизводительную способность животных и птицы.

Необходимость селена для растений в настоящее время не установлена [7]. Исследование его в растениях представляет интерес, прежде всего, с точки зрения уровня обеспеченности их этим элементом и возможности обогащения им человека и животных с целью лечения и профилактики заболеваний, обусловленных селенодефицитом. Это связано с тем, что в растениях элементы присутствуют в органически связанной, т. е. в наиболее усвояемой, форме. Зерновые культуры, в особенности пшеница, служат важнейшими источниками поступления селена в организм человека [8]. Цель настоящей работы – изучение влияния предпосевной обработки семян и некорневой обработки растений селенитом натрия на ростовые процессы, фотосинтетические показатели, урожай яровой пшеницы и накопление в нем селена в условиях глубокого дефицита этого элемента в Восточном Забайкалье.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования выбраны пшеница яровая (районированный сорт “Бурятская 79”) и селенит натрия (Na_2SeO_3) квалификации “х. ч.”.

Полевой опыт проводили на опытном участке Забайкальского НИИ сельского хозяйства СО РАСХН в 2003–2005 гг. по чистому пару, удобренному $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. Почва – чернозем бескарбонатный легкосуглинистый с содержанием гумуса 2.7 % (по Тюрину). Содержание нитратов составляло 7–10, подвижного фосфора – 116, обменного калия – 110 мг/кг (по Кирсанову), валового селена – 185 мкг/кг, $\text{pH}_{\text{водн}}$ 6.8. Площадь опытной деланки составляла 25 м² (учетная 20 м²), четырехкратная повторность, последовательное расположение. Посев проводили с помощью

сеялки СН-16 рядовым способом с расстоянием между рядками 15 см с последующим прикапыванием.

Опыты закладывали в трех сериях. В первой серии семена перед посевом обрабатывали 100 мл раствора Na_2SeO_3 в количестве 25, 50, 100 мг/кг; во второй серии проводили обработку растений раствором Na_2SeO_3 из расчета 25, 50, 100 г на 1 га; в третьей серии осуществляли обработку семян перед посевом раствором Na_2SeO_3 25, 50, 100 мг/кг и последующую обработку растений раствором Na_2SeO_3 в количестве 25, 50, 100 г на 1 га. Растения опрыскивали растворами Na_2SeO_3 в фазу колошения. Расход воды составлял 200 л на 1 га посева. Контрольные растения обрабатывали водой. Динамика роста определялась путем замера высоты растений. Уборку урожая с учетной площади деланки проводили в фазу восковой спелости комбайном “Сампо” сплошным весовым методом. Элементы структуры урожая рассчитывали с 10 растений, взятых с закрепленных деланок [9]. Ассимиляционную поверхность листьев, продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал определяли по Ничипоровичу [10], а химический состав зерна и соломы – по Плешкову [11]. Содержание селена в различных органах пшеницы определяли флуориметрическим методом в лаборатории биохимии НИИ медицинской экологии при Читинской государственной медицинской академии. Математическая обработка данных по урожайности проведена с использованием методов дисперсионного и корреляционного анализа [12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рост растений – интегральный физиологический процесс, посредством которого реализуются наследственная программа онтогенеза и все изменения в биохимических процессах под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов. Как видно из данных табл. 1, применение селена для обработки семян в количестве 25 и 50 мг/кг стимулировало рост растений пшеницы в высоту. Наибольшее превышение высоты опытных растений отмечалось в фазу выхода в трубку и составляло 14 % по сравнению с контролем.

ТАБЛИЦА 1

Влияние селена на динамику роста и ассимилирующей поверхности пшеницы

Варианты опыта	Фаза			
	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость
	<i>Высота растений, см</i>			
Контроль	28±1.4	49±2.3	73±3.4	74±3.3
Обработка семян р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг	26±1.2	54±2.5	78±4.1	78±4.1
То же, 50 мг/кг	27±1.6	56±2.8	81±3.7	80±3.8
То же, 100 мг/кг	25±1.1	47±2.2	69±3.3	70±3.5
	<i>Площадь листьев, тыс. м²/га</i>			
Контроль	2.1±0.11	12±0.5	22±1.1	19±0.9
Обработка семян р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг	2.0±0.09	14±0.7	24±1.3	21±1.2
То же, 50 мг/кг	2.1±0.12	14±0.8	28±1.5	23±1.1
То же, 100 мг/кг	1.9±0.10	13±0.7	20±0.9	17±0.8

Один из важнейших показателей ростовых процессов, тесно коррелирующих с конечной продуктивностью растений, – размеры ассимиляционной поверхности. Это обусловлено тем, что преобладающее количество органической массы урожая создается листьями. По нашим данным, увеличение листовой поверхности пшеницы под влиянием селена достигало 27 % по сравнению с контрольным вариантом. Наибольшее превышение листовой поверхности в опытных вариантах отмечалось в фазу колошения. В фазу молочной спелости наблюдалось снижение площади листьев пшеницы за счет отмирания нижних листьев. Прирост сухой массы растений пшеницы в фазу молочной спелости под влиянием селена составлял 607–669 г/м², в контроле – 546 г/м². В связи с этим выявлена тесная корреляционная зависимость между массой растений и площадью листьев в фазу колошения ($r = 0.9$).

Важным параметром продукционной деятельности, характеризующим способность растений синтезировать и накапливать органическое вещество урожая, является чистая продуктивность фотосинтеза. В течение вегетации этот параметр подвергается существенным колебаниям (табл. 2), что связано с изменениями активности физиологических процессов, которые обусловлены как внутренними, так и внешними факторами. Под влиянием селена отмечалось некоторое снижение продуктивности фотосинтеза в начальные фазы развития и значительное увеличение в фазы выхода в трубку – молочной спелости. Увеличение размера листовой поверхности под влиянием селена вызывало и повышение фотосинтетического потенциала посевов пшеницы – суммарного показателя, определяющего продуктивность растений. В опытных вариантах фотосинтетический потенциал составлял 1.262–1.451, а на контроле –

ТАБЛИЦА 2

Влияние селена на продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал (ФП) пшеницы

Варианты опыта	Продуктивность фотосинтеза, г/(м ² · сут)			ФП, млн м ² · сут/га
	Кущение – выход в трубку	Выход в трубку – колошение	Колошение – молочная спелость	
Контроль	4.4±0.21	1.7±0.08	7.7±0.41	1.118
Обработка семян р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг	4.1±0.19	1.9±0.09	8.9±0.46	1.273
То же, 50 мг/кг	4.2±0.22	2.1±0.11	9.3±0.43	1.451
То же, 100 мг/кг	3.9±0.18	1.5±0.07	7.1±0.34	1.110

ТАБЛИЦА 3

Влияние селена на урожай пшеницы и его структуру (усредненные данные за период 2003–2005 гг.)

Варианты опыта	Урожай, т/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Число зерен в колосе	Масса зерна с 1 колоса, г
Контроль	2.30	251	27	1.10
Обработка семян р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг	2.50	265	28	1.12
То же, 50 мг/кг	2.58	275	29	1.13
То же, 100 мг/кг	2.21	250	28	1.08
Контроль – обработка растений водой	2.32	255	27	1.13
Обработка растений р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 г/га	2.34	254	28	1.14
То же, 50 г/га	2.43	257	28	1.14
То же, 100 г/га	2.27	256	27	1.11
Обработка семян и растений р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг (семена) + 25 г/га (растения)	2.51	272	28	1.15
То же, 50 мг/кг + 50 г/га	2.60	287	29	1.16
То же, 100 мг/кг + 100 г/га	2.11	251	27	1.10
НСР _{0.5}	0.22	20	1.0	

1.118 млн м² · сут/га. Между фотосинтетическим потенциалом и урожайностью пшеницы выявлена тесная корреляционная связь ($r = 0.8$).

Урожайность и качественный состав служат конечными интегральными критериями оценки различных воздействий на растения. Положительное влияние селена на ростовые процессы и фотосинтетические показатели обеспечивало наилучшие условия для реализации потенциала продуктивности пшеницы. Из данных табл. 3 видно, что обработка семян селенитом натрия в количестве 25 и 50 мг/кг, как сама по себе, так и в сочетании с обработкой посевов пшеницы в количестве 25 и 50 г/га, достоверно повышали урожай зерна на 8.7–12.0 % по сравнению с контрольными вариантами. В увеличении урожая

опытных вариантов ключевую роль играет количество продуктивных стеблей, и в меньшей степени – количество зерен и масса зерна с одного колоса.

В вегетационных опытах на дерново-подзолистой почве предпосевная обработка семян яровой пшеницы селенитом натрия из расчета 5 г селена на 1 ц семян в условиях водного дефицита способствовала повышению урожая зерна сорта “Иволга” на 17 %, а массы 1000 зерен на 13 % по сравнению с контролем. В то же время сорт пшеницы “Московская-35” показал отрицательную реакцию на обработку семян селеном [14].

Основной показатель качества пищевых и кормовых растений – содержание протеина в зерне и вегетативной массе. Применение селенита натрия обеспечило повыше-

ТАБЛИЦА 4

Влияние селена на химический состав зерна и соломы пшеницы

Варианты опыта	Сырой протеин, %	Селен, мкг/кг*	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Контроль	14.2/4.64	31/38	1.14/0.33	0.40/0.52
Обработка семян и растений р-ром Na ₂ SeO ₃ , 25 мг/кг (семена)+ 25 г/га (растения)	15.3/5.11	249/181	1.31/0.30	0.41/0.70
То же, 50 мг/кг + 50 г/га	15.8/5.31	295/383	1.37/0.28	0.43/0.73
То же, 100 мг/кг + 100 г/га	15.1/5.01	360/922	1.30/0.26	0.39/0.65

Примечание. Первое значение – содержание в зерне пшеницы, второе – в соломе.

* На сухое вещество.

ние содержания протеина в зерне на 1.1–1.6 %, в соломе – на 0.37–0.67 % по сравнению с контролем (табл. 4). Кроме того, в зерне под влиянием селена повышалось содержание фосфора, а содержание калия практически не изменялось.

Особый интерес представляет применение селена для обогащения растений в связи с широким распространением в Забайкалье среди населения и животных эндемических заболеваний, связанных со значительным его дефицитом в объектах окружающей среды. По данным табл. 4, применение селенита натрия повышало содержание селена в зерне пшеницы до 249–360 мкг/кг, или в 8, 10 и 12 раз по сравнению с контрольным вариантом (31 мкг/кг). В соломе содержание селена под влиянием обработки селенитом натрия семян и растений также возрастало. При предпосевной обработке семян пшеницы селенитом натрия концентрация селена в зерне повышалась в 3–6 раз, а при некорневой обработке растений – в 4–8 раз по сравнению с контрольными вариантами.

Физиологическая суточная потребность взрослого человека в селене составляет 70 мкг, верхний допустимый уровень – 150–200 мкг. Нижняя граница поступления селена, необходимого для предотвращения патологии и клинических проявлений ослабления функций, составляет 21 мкг/сут [2, 15]. При суточной норме потребления пшеничного хлеба в среднем 250 г в случае обработки семян пшеницы селенитом в организм человека может поступить 63–90 мкг селена, что практически удовлетворяет суточную потребность в этом элементе. В то же время при потреблении хлеба из пшеницы контрольного варианта в организм поступает лишь около 10 мкг селена. Это особенно важно в связи с тем, что, как уже отмечалось выше, пшеница является одним из основных источников поступления селена в организм человека.

Преимущество усвоения селена из растительной пищи состоит в том, что он находится в органической, наиболее усвояемой форме. Оптимальная форма усвоения селена – селенметионин, доступность которого в 5–10 раз выше по сравнению с доступностью селена из неорганических соединений. Хлебные злаки конвертируют поступающий в них селен

главным образом в селенметионин. Высшие животные и человек не могут синтезировать селенметионин – единственную активную форму селена, которая, в отличие от других форм селена, может встраиваться в белки тела и тем самым оказывать положительное физиологическое действие. При некорневой обработке растений обогащение селеном зерна пшеницы в пять раз выше по сравнению с контролем, что наблюдалось в Словении [16], а кормового растения люпина желтого – в 4–9 раз (Брянская область) [17].

Обогащение селеном растительных продуктов до оптимального уровня его поступления в организм человека имеет благотворное действие, поскольку способствует снижению риска возникновения и развития онкологических заболеваний, сердечно-сосудистой патологии, воспалительных процессов, катаракты, повышению иммунологической активности, регуляции нормального течения беременности и профилактике риска преждевременных родов, смертности новорожденных, снижению токсического действия тяжелых металлов. Кроме того, селен входит в состав ферментов, участвующих в синтезе и метаболизме йодсодержащих гормонов [18].

Таким образом, в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции селен проявляет себя как физиологически активный микроэлемент в растениях пшеницы. Предполагают, что в растительном организме селен выполняет ту же роль, что и в организме животных, – защитную (особенно в стрессовых условиях) [7]. Забайкалье характеризуется неблагоприятными климатическими условиями в отношении обеспеченности влагой. Количество осадков за вегетационный период иногда достигает 250 мм, а чаще всего – 200–100 мм и менее. В этой связи урожай зерна пшеницы, в частности в 2004 г., составлял в контрольном варианте всего 11 ц/га.

В экспериментах с созданием засухи на стадии выхода в трубку – начала колошения пшеницы установлено, что селен способствовал увеличению оводненности тканей листьев и тем самым повышению устойчивости растений при засухе [19]. В связи с этим положительное действие селена на ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность и урожай пшеницы в наших опытах можно

объяснить его влиянием на состояние водного режима растений.

Кроме того, установлено, что селен в растениях находится в белковых соединениях в составе аминокислот – селенметионина, селенцистеина, метилселенцистеина, а также в свободных аминокислотах, не связанных с белками [7]. Следовательно, селен принимает участие в одном из важнейших процессов растений – азотном обмене, что и способствует увеличению содержания протеина в репродуктивных и вегетативных частях пшеницы в наших опытах. Повышение содержания азотистых соединений, обладающих гидрофильными свойствами и более высокой вододерживающей способностью, по-видимому, – основной фактор, определяющий положительное влияние селена на состояние водного режима растений пшеницы, а следовательно, и на ее продуктивность.

ВЫВОДЫ

1. Применение селенита натрия для предпосевной обработки семян яровой пшеницы в условиях экстремальной селенодефицитной биогеохимической провинции оказывало положительное влияние на ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность и урожайность. Это свидетельствует о том, что селен в оптимальных дозах является физиологически активным микроэлементом в растениях. Оптимальные дозы для обработки семян составляют 25 и 50 мг/кг.

2. Селен улучшал качество зерна и соломы пшеницы за счет повышения содержания сырого протеина, фосфора. Кроме того, накопление селена в зерне в 8–12 раз превышало контрольные показатели. Благодаря этому можно удовлетворить суточную потребность человека в органически связанной, наиболее усвояемой форме селена. Для повышения содержания селена в урожае более эф-

фективна некорневая обработка растений, при которой его накопление происходит по “безбарьерному” типу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Барабой В. А. // Успехи совр. биол. 2004. № 2. С. 157.
- 2 Ребров В. Г., Громова О. А. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2008.
- 3 Аникина Л. В., Никитина Л. П. Селен. Экология, патология, коррекция. Чита, 2002.
- 4 Вощенко А. В., Пархоменко В. М., Обухова Т. И. Особенности проявления эндемичной селенодефицитной кардиопатии (болезни Кешана) у жителей Забайкалья. Геохимическое окружение и проблемы здоровья в зонах нового экономического освоения. // Тез. докл. 1-й Всесоюз. конф. Чита, 1988. С. 78–80.
- 5 Минина Л. А., Попрыгаева Д. М., Цыренжапов О. Ц. // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1991. № 4. С. 87.
- 6 Ламкин С. И. Применение селена при беломышечной болезни ягнят и телят в Бурятской АССР. Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. // Докл. 11-й Сибирской конф. Улан-Удэ, 1967. С. 508–520.
- 7 Серегина И. И., Ниловская Н. Т. // Агрохимия. 2002. № 10. С. 76–85.
- 8 Голубкина Н. А., Шагова М. В., Спиричев В. Б. // Вопр. питания. 1990. № 4. С. 64.
- 9 Методика государственного испытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. М. А. Федина. М.: Агропромиздат, 1985.
- 10 Ничипорович А. А. Методика изучения площади листьев и продуктивности сельскохозяйственных культур. М.: Наука, 1967.
- 11 Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1968.
- 12 Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973.
- 13 Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979.
- 14 Серегина И. И., Ниловская Н. Т., Остапенко Н. В. // Агрохимия. 2001. № 1. С. 44.
- 15 Методические рекомендации МР № 2.3.1. 1915–04. МЗСР РФ. М., 2004.
- 16 Djujic I. S., Jozanov-Stankov O. N., Milovac M., Bosnic O., Djermanovic V. // СЭЖ. 2001. Т. 8, № 2. С. 153.
- 17 Торшин С. П., Забродина И. Ю., Машкова Т. Е. // Агрохимия. 2001. № 1. С. 34.
- 18 Российская энциклопедия биологически активных добавок к пище / под общ. ред. В. И. Петрова, А. А. Спасова. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2007.
- 19 Кузнецов Вас. В., Холодова В. П., Кузнецов Вл. В. // ДАН. 2003. Т. 390, № 5. С. 713.