

# Влияние селеновых удобрений на рост и развитие ярового ячменя

Долгодворова А.П., Воронина Л.П.

*Обогащение селеном продуктов питания становится все более актуальным при выращивании продукции растениеводства в условиях недостатка или отсутствия селена в почве. Данный микроэлемент крайне необходим для здоровья человека в малых количествах. Помимо этого, селен положительно влияет на рост и развитие зерновых культур, а также нивелирует действия неблагоприятных факторов среды. В данной статье приведены результаты исследования действия разных концентраций селена на рост, развитие ярового ячменя в зависимости от уровня содержания элементов минерального питания в почве.*

Селен играет в метаболизме человека заметную роль (Голубкина, Папазян, 2005; Ермаков, Ковальский, 1974; Golubkina, 2007). Он входит в состав специфических селенопротеинов: глутатионпероксидазы, селенопротеина Р, 5-йодотирониндейодиназы, тиоредоксинредуктазы, поэтому он отвечает за каталитическую реакцию распада перекиси водорода в клетке, нейтрализует токсическое действие тяжелых металлов (свинца и ртути), поддерживает окислительно-восстановительный гомеостаз в клетке, влияет на метаболизм йода (Лябушева, 2004). Рекомендованная суточная норма селена по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) для взрослого мужчины составляет 40 мкг, а для женщины – 30 мкг/кг в сутки. Безопасный уровень потребления с пищей достигает 400 мкг/день (Department of Health, 1991).

Показано, что прогрессирующий дефицит данного элемента в растительных кормах и пище человека во многих странах мира и отдельных регионах Российской Федерации - одна из причин нескольких десятков тяжелых заболеваний, включая сердечно-сосудистые и онкологические, а также инфаркт миокарда, инсульт, диабет, тяжелые поражения печени и расстройства половой системы, иммунодефицит, болезнь Кашина-Бека (Вихрева, 2011; Yang, Zhu, 1987).

Дефицит селена в сельскохозяйственной продукции связан с его низким содержанием или отсутствием в почве (Постников, Илларионова, 1991; Лябушева, 2004). Наиболее селенодефицитные почвы в России распространены в Центральном и Северо-Западном округах (Golubkina, 2007). Содержание селена в растениях зависит в первую очередь от его аккумуляции в почве и наличия доступных форм для растений. В России в пшеничной муке, идущей на приготовление хлеба, среднее содержание селена составляет 117 мкг/кг, при этом средний уровень потребления данного элемента человеком с крупяными изделиями составляет 35 мкг/кг в день. Содержание селена в зерне пшеницы, выращенной в России колеблется в пределах от 10 до 240 мкг/кг (Golubkina, 2007). Результаты наших полевых исследований, выполненных на опытных полях Подмосковья, свидетельствуют о том, что в зерне яровой пшеницы, содержание селена составляет 80-85 мкг/кг, а в зерне ячменя – 100-115 мкг/кг. Для оптимального суточного поступления селена в организм человека

при потреблении продуктов питания из этих культур, содержание этого элемента в зерне должно составлять 200-600 мкг/кг (Golubkina, 2007). Поэтому для некоторых культур и регионов рекомендовано применение и установлены дозы селеносодержащих удобрений для поддержания его максимально допустимого уровня (МДУ) в растении. Например, для овса, МДУ составляет 500 мкг/кг, и доза удобрения при внесении в почву не должна превышать 480 г/га (селенит натрия) или 240 г/га (селенат натрия). Для гороха доза удобрения селената натрия составляет 90 г/га, чтобы обеспечить содержание селена в растении 600 мкг/кг (Ковалевич, Головатый, 2010).

Обогащение селеном продуктов питания - одна из важных задач сельского хозяйства. Однако применение данного микроэлемента необходимо не только для обеспечения селеном растений, животных и человека, но и для повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам, а также для увеличения урожайности (Вихрева, Лебедева, 2009). В лабораторных и полевых исследованиях выявлено положительное действие селеносодержащих соединений на стрессоустойчивость зерновых культур к неблагоприятным факторам среды – засухе, недостатку влаги, дефициту воды в воздухе, засоленности почвы, гипертермии, кислой реакции почвенного раствора (Вихрева, 2011; Серегина, 2007; Скрыпник, 2009; Prasad, 1994; Alseber, 1989), а также положительное влияние селеносодержащих удобрений на продуктивность зерновых культур (Нимажалола, Абашеева, 2009; Денисенко, 2007; Ревенский и др., 2007; Щукин, Громов, 2005). Воздействие селена на рост и развитие растений зависит от используемых форм селеносодержащих удобрений и способов их внесения. Роль селена в регуляции жизнедеятельности растений остается недостаточно изученной.

Для оценки действия разных форм селенового удобрения мы использовали метод фитотестирования на чашках Петри. Семена маша (*Vigna radiata* L.) замачивали на сутки в растворе селенита и селената натрия в интервале концентраций 0.0001% - 0.001%. Эффективность действия удобрений оценивалась по снижению или увеличению длины корней и coleoptилей проростков (табл. 1).

В наших опытах наиболее активной формой удобрения был селенит натрия, что подтверждается данными и других исследователей (Голубкина, Папазян,

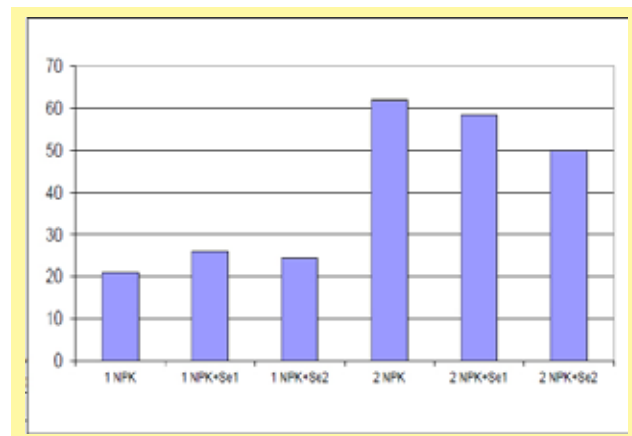
**Таблица 1.** Усреднённые данные по фитотестированию различных форм и концентраций селена (тест-культура - *Vigna radiata* L.)

| Вариант             | Длина корня. см | Длина колеоптиля. см |
|---------------------|-----------------|----------------------|
| Контроль            | 6.1             | 3.8                  |
| Селенит Se 0.0001 % | 6.3             | 4.5                  |
| Селенит Se 0.0005 % | 5.3             | 3.6                  |
| Селенит Se 0.001 %  | 4.9             | 3.5                  |
| Селенат Se 0.0001%  | 6.6             | 3.8                  |
| Селенат Se 0.0005%  | 6.0             | 3.5                  |
| Селенат Se 0.001%   | 6.0             | 3.9                  |
| НСР <sub>0.20</sub> | 0.91            | 0.45                 |

2005). Это связано с тем, что в ходе метаболического пути селена в растении на первом этапе селенаты переходят в селениты с затратами энергии. Селениты включаются в состав селеносодержащих аминокислот, которые активно участвуют в белковом обмене клетки. Растению нужно затратить дополнительную энергию на превращения селенатов, поэтому селениты, в данном случае, являются более активной формой и сразу включаются в цепочку химических превращений. Раствор селенита в низкой концентрации 0.0001% достоверно стимулирует формирование колеоптиля, а в более высоких концентрациях угнетает рост корня.

В дальнейшем в вегетационных и полевых опытах селенит натрия использовался для изучения влияния селена на урожай и качество ярового ячменя сорта Раушан (*Hordeum vulgare* L.). Был применен способ поверхностной обработки растений (некорневая подкормка) в фазу кущения. Нужно отметить, что для поверхностной обработки растений предусмотрены более высокие концентрации, чем в условиях замачивания семян в растворе. Это объясняется повышенной чувствительностью семян к действию селена, как стимулирующего или угнетающего элемента роста, а также большим объемом растительного тела.

Для проведения вегетационного опыта использовались сосуды с дерново-подзолистой почвой массой 2 кг. Агрохимические показатели почвы следующие: содержание гумуса 2.3%, гидролитическая кислотность 2.8 мг-экв/100г, сумма обменных осно-



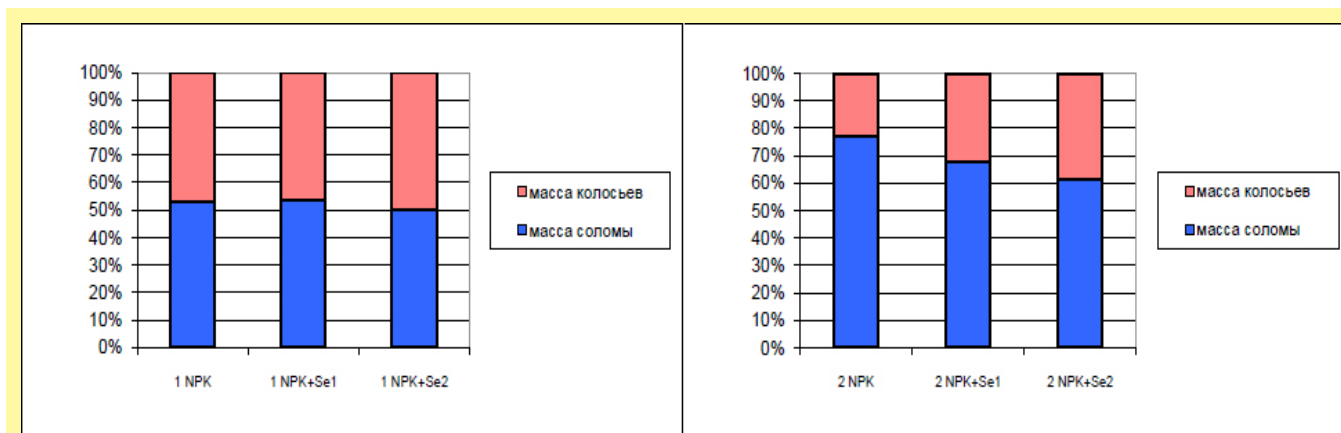
**Рис. 1.** Процентное содержание подгона у ярового ячменя по вариантам опыта (Se1 – 0.01%; Se2 – 0.05%).

ваний 22.8 мг-экв/100г, обменная кислотность 0.4 мг-экв/100г, рН<sub>н.о</sub> – 5.54, содержание подвижных форм фосфора и калия составляло 197.3 мг /кг и 151.7 мг/кг почвы (по Кирсанову), что соответствовало высокому уровню обеспеченности почвы фосфором и повышенному – калием.

Варианты опыта следующие: 1) 1NPK (N100P100K100); 2) 1NPK + 0.01%Se; 3) 1NPK + 0.05%Se; 4) 2NPK (N200P200K200); 5) 2NPK + 0.01%Se; 6) 2NPK + 0.05%Se.

В ходе вегетационного опыта установлено влияние разных концентраций селена на рост, развитие и массу зерна ячменя в зависимости от содержания основных элементов минерального питания в почве.

Замечено, что избыток азота активно используется на рост и развитие вегетативной части растения, способствуя обильному кущению и подавлению формирования генеративных органов. Поэтому наливы и вызревание зерна в вариантах с высокой обеспеченностью основными элементами питания (2NPK) наступили позже. На рис. 1 представлены результаты по процентному содержанию подгона, образовавшегося позднее основных побегов в результате обильного кущения. Данные свидетельствуют о высоком проценте подгона на фоне 2NPK (50 – 60%), тогда как на фоне 1NPK масса подгона от общей массы составляет 20%. Однако, при обработке селеном происходит снижение этого показателя в опытных вариантах на фоне 2NPK, причем более существенное – при более высоких дозах



**Рис. 2.** Процентные соотношения массы соломы к массе колосьев на разных уровнях обеспеченности элементами питания при обработке селеном. (Se1 – 0.01%; Se2 – 0.05%).

**Таблица 2.** Результаты вегетационного опыта на яровом ячмене (усреднённые данные из расчета на сосуд).

| Вариант             | Количество, шт. |       |       | Масса, г |         |       |            |
|---------------------|-----------------|-------|-------|----------|---------|-------|------------|
|                     | колос           | побег | зерно | солома   | колосья | зерно | 1000 зерен |
| 1NPK                | 9               | 19    | 149   | 8.4      | 7.4     | 6.2   | 41.6       |
| 1NPK+0.01%Se        | 9               | 18    | 140   | 8.8      | 7.6     | 5.9   | 42.1       |
| 1NPK+0.05%Se        | 10              | 18    | 142   | 7.6      | 7.6     | 6.0   | 42.3       |
| HCP <sub>0.10</sub> | 3.1             | 2.9   | 43.7  | 1.96     | 1.22    | 0.98  |            |
| 2 NPK               | 9               | 32    | 72    | 11.6     | 3.45    | 3.1   | 43.1       |
| 2 NPK+0.01%Se       | 9               | 28    | 84    | 10.3     | 4.97    | 3.6   | 42.9       |
| 2 NPK+0.05%Se       | 8               | 25    | 102   | 8.6      | 5.42    | 4.3   | 42.2       |
| HCP <sub>0.10</sub> | 3.4             | 2.6   | 21.1  | 1.72     | 1.491   | 0.83  |            |

Соотношение массы колосьев и соломы также выравнивается при обработке селеном и стремится к 1:1. Особенно ярко это выражено на фоне 2NPK, где изначально соотношение сильно сдвинуто в сторону массы соломы. Процентное содержание соломы в этом варианте от общей массы составляет около 80%, а в варианте 2NPK+ Se 0.05% оно снижается до 60% (рис. 2). Подобное наблюдалось в опытах И.И. Серegiной с яровой пшеницей сорта Иволга в варианте с увеличенной дозой основных элементов питания (NPK) (Серегина и др. 2001).

Такого рода изменения в структуре растений ячменя в ходе вегетации на фоне 2NPK привели к снижению не только массы колосьев, но и массы зерна в вариантах на высоком уровне минерального питания. При этом масса соломы выше, чем в вариантах на фоне 1NPK (табл. 2). Стимулирующее действие селена на массу колосьев и зерна установлено в условиях высокой обеспеченности элементами минерального питания почвы (или в условиях отклонения от оптимума), причем применение более высоких доз селена ведет к более выраженному положительному эффекту – масса зерна повышается на 39% (с 3.1 до 4.3 г). На фоне 1NPK отмечается тенденция к увеличению массы 1000 зёрен, что свидетельствует о повышении степени выполненности зерна, а на фоне 2NPK была противоположная тенденция по этому показателю.

Оптимальная обеспеченность почвы основными питательными элементами способствует повышению эффективности селенита натрия при выращивании ячменя как по результатам полевых, так и вегетационных опытов. Подобные наблюдения на зерновых культурах встречаются и у других авторов (Серегина, 2007; Вихрева и др., 2009). Эти данные подтверждают, что селен активно участвует в

**Таблица 3.** Влияние селенита натрия на количество и массу зерна ячменя *Hordeum vulgare* L (в расчете на учетный сноп - 25 растений).

| Вариант             | Количество, шт. |       | Масса, г |         |       |
|---------------------|-----------------|-------|----------|---------|-------|
|                     | колос           | зерно | сноп     | колосья | зерно |
| NPK                 | 26              | 282   | 66.3     | 18.0    | 12.5  |
| NPK+0.01%Se         | 28              | 377   | 61.3     | 20.0    | 15.6  |
| NPK+0.05%Se         | 36              | 469   | 96.3     | 33.3    | 22.5  |
| HCP <sub>0.05</sub> | 7.9             | 103.7 | 19.64    | 6.48    | 6.06  |

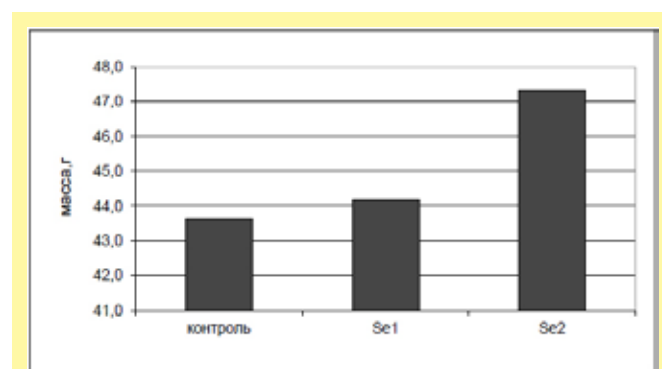
белковом обмене растений, а его присутствие в оптимальных количествах повышает эффективность использования азота растениями.

Полевой опыт с яровым ячменем сорта Раушан проводился на опытном участке УОПЕЦ «Чашниково» Солнечногорского района Московской обл.

Почва данной территории – окультуренная дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы во время закладки опыта была следующей: рН<sub>н.о</sub> – 6.8; гумус –3.5%; содержание подвижных форм фосфора (по Кирсанову) – 31 мг/кг (низкий уровень обеспеченности) и подвижного калия (по Кирсанову) – 108 мг/кг почвы (средний уровень обеспеченности). Посев ячменя проведен сеялкой СЗ-3.6. Глубина заделки семян была 3 – 5 см. Комплексные минеральные удобрения внесены разбрасывателем РУМ-5 в дозе N30P40K40 перед посевом ячменя.

Результаты полевого опыта, представленные в табл. 3, свидетельствуют о положительном действии некорневой подкормки ярового ячменя селенитом натрия. Концентрация Se 0.05% привела к увеличению числа колосьев на 37%. Количество зерен увеличилось как при применении селена в концентрации 0.01% (на 34%), так и при концентрации селена 0.05% (на 66%). Установлен рост массы учетного снопа и зерна при некорневых подкормках селеном в более высокой концентрации – 0.05% (табл. 3).

Таким образом, некорневое применение селеносодержащего удобрения в фазу кущения ярового ячменя в концентрации 0.05% на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах увеличивает вегетативную массу растений, массу зерна в учетном снопе и массу 1000 зерен. Эффективность действия селеносодержащих удобрений зависит от уровня обеспеченности почвы основными элементами минерального питания. Необходимо подчеркнуть, что обогащение зерна селеном при использовании селеносодержащих



**Рис. 3.** Изменение массы 1000 зерен ячменя в полевом опыте (Se1 – 0.01%; Se2 – 0.05%)

удобрений позволяет улучшить здоровье населения в регионах страны, где наблюдается дефицит селена в почве.

Долгодворова А.П. – студентка 5 курса ;  
e-mail: Emildelfin@mail.ru

Воронина Л.П. – доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник;  
e-mail: luydmila.voronina@gmail.com

Кафедра агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова;  
Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений в Центральной России С.Е. Ивановой за помощь при подготовке статьи.

## Литература:

- Alseber R.G.: Biosynthesis and antioxidant function of glutathione in plants // *Physiol Plant.* – 1989.- Vol. 77.- pp. 457-464.  
Department of Health. Dietary reference values for food energy and nutrients for the United Kingdom. Report on Health and social subjects, N 41-HNSO. L., 1991.
- N. A. Golubkina: Selenium Accumulation by Cereals in Russia // *RUSSIAN AGRICULTURAL SCIENCES.* - 2007, Vol. 33, No. 5, pp. 288–291.
- Prasad T.K.: Evidence for chilling – induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide // *Plant cell.*- 1994.- Vol.6.- pp. 65-74.
- Yang G.Q., Zhu L.Z., Liu J. Human selenium requirements in China// in Combs G.F., Spallholz J.E., Levander O.A., Oldfield J.E. eds. *Selenium in biology and medicine.*N.Y.-Van Nostrand Reinhold Co.-1987-P.589-607
- Вихрева В. А.: Эколого-агрохимические аспекты применения селена под зерновые культуры и козлятник на черноземах лесостепи среднего Поволжья: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук/ Владимир: 2011
- Вихрева В.А., Лебедева Т. Б., Клейменова Т.В.: Влияние селена на активность компонентов антиоксидантной системы растений // *Агрономия: Нива Поволжья.*- 2009.- №1.- с. 1-3.
- Голубкина Н.А., Папазян Т.Т.: Селен в России: растения, животные, человек / Москва: 2005.
- Денисенко Д.В.: Агроэкологическая эффективность применения селенового удобрения под рис: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук/ Краснодар: 2007.
- Ермаков В.В., Ковальский В.В.: Биологическое значение селена / Москва: Наука.- 1974.- с.298.
- Ковалевич З.С., Головатый С.Е. Накопление селена в зерне крупяных культур с использованием разных форм селеновых удобрений / *Весцінацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серыя Аграрных Навук.* -№3.- 2010.- с. 49-55.
- Лябушева О. А. Накопление элементов (В, Мо, Se, Zn) клетками цианобактерий: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук/ Москва: 2004.
- Нимажалова Т.Б., Абашеева Н.Е.: Влияние селена на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур // *Растениеводство, селекция и семеноводство.*- 2009.- № 1(14).- с. 67-71.
- Постников А.В., Илларионова Э.С.: Новое в использовании селена в земледелии: обзорная информация/ Москва: 1991.
- Ревенский В.А. [и др.]: Влияние комплексного селен-цеолитового минерального удобрения пролонгирующего действия на урожай и качество зерна яровой пшеницы // *Агрохимия.* – 2007. – № 7. – С. 41–48.
- Серегина И.И., ВНИИА: Влияние селена на продуктивность яровой пшеницы в зависимости от азотного питания и водообеспечения // *Плодородие.* – 2007. – №5. – с. 15-17.
- Серегина И.И., Ниловская Н.Т., Остапенко Н.В.: Роль селена в формировании урожая зерна яровой пшеницы // *Агрохимия.*- 2001.- №1.- с. 44-50.
- Скрытник Л.Н.: Эколого-биохимические аспекты протекторной функции селена в растениях при окислительном стрессе: диссертация кандидата биологических наук / Калининград: 2009.
- Шукин В.Б., Громов А.А., Шукина Н.В.: Селен как экзогенный стимулирующий фактор в начальный период роста и развития растений озимой пшеницы // *Известия.*- 2005.- №7-1.- с. 107-110.

## Победители конкурса Scholar Award-2012

### Аргинбаева Алина Ахатовна



Алина Аргинбаева – студентка последнего курса факультета агротехнологий и агробизнеса Башкирского государственного аграрного университета.

На конкурс Алиной была представлена работа «Влияние способов основной обработки почвы и удобрений на показатели плодородия чернозема выщелоченного в южной лесостепи Республики Башкортостан». В 2013 году, после окончания обучения, она планирует поступать в магистратуру для продолжения работы по изучению влияния ресурсосберегающих приемов основной обработки почвы, включая прямой посев (No-Till), на показатели плодородия почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Алина является обладательницей диплома за лучший доклад на IV Всероссийской студенческой конференции «Студент и аграрная наука» и благодарственного письма за отличную работу от ректора.