

УДК 581.133.8:518.14

И. Ф. Головацкая, Ю. М. Кулагина, А. В. Крахалева

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНИТА И СЕЛЕНАТА НАТРИЯ НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ИРГИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ

Представлены результаты изучения влияния разных форм селена на развитие растений пшеницы в почвенной культуре. Показано, что формирование структурных элементов побега и продуктивность растений *Triticum aestivum* L. зависит от степени окисления ионов селена и способа обработки. Специфика действия разных ионов селена заключается в регуляции накопления сухого вещества главными побегами и побегами кущения, величины кущения, урожайности и качества зерна. Селенат натрия увеличивал урожайность пшеницы, селенит натрия – качество зерна.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, селенит и селенат натрия, морфогенез, рост и развитие растений, крахмал, белок.

Эссенциальность селена для человеческого организма выражается в его значимости для жизнедеятельности, снижения риска более сорока заболеваний и повышения общей противоинфекционной, противоопухолевой резистентности организма [1]. Селен обнаружили в составе 35 белков [2]. Растения как первичные продуценты несут основную нагрузку в поглощении селена из почвы и передаче в пищевой цепи. Эти факты обуславливают необходимость контролировать уровень элемента в пищевых продуктах населения [3].

Недостаточно изучена роль селена в растении, однако в них установлено присутствие 9 селен-содержащих белков, многие из которых выполняют антиоксидантную функцию. Большая группа растений ограниченно поглощает селен, что позволяет отнести этот элемент к микроэлементам растений. Однако некоторые растения, находящиеся в симбиозе с микроорганизмами, такие как донник и астрагал, накапливают селен в больших количествах. В присутствии селена растения-концентраторы изменяют свой биохимический состав, повышая содержание аскорбиновой кислоты, важного витамина и антиоксиданта, флавоноидов [4, 5].

Обогащение растений селеном требует знания необходимости микроэлемента для их жизнедеятельности и зависимости от уровня селена роста, продуктивности и биохимического гомеостаза растений [6–8].

Остается недостаточно изученным влияние селена на развитие и качество сельскохозяйственной продукции в зависимости от степени окисления форм селена и способа обработки. В связи с этим цель нашей работы – установить специфику в действии разных форм селена на рост и развитие и изучить влияние разных способов обработки пшеницы Иргина на качество зерна.

Объект и методики исследования

Объектом исследования служила почвенная культура яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Иргина. Патентообладателем сорта является

ГНУ Уральского НИИСХ г. Красноуфимска. Сорт раннеспелый с вегетационным периодом 70–87 дней. По качеству зерна, связанного с содержанием белка 15–20 % и клейковины 29–46 %, сорт отнесен к сильным пшеницам. Сорт имеет преимущество перед стандартными сортами по устойчивости к пыльной и твердой головне, бурой ржавчине, корневым гнилям. Сорт включен в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию с 1991 г. по Волго-Вятскому, Центральному, Северо-Западному и Северному регионам.

Экспериментальные растения были обработаны селеном посредством разных способов, позволивших изменить содержание элемента в растении на разных этапах его онтогенеза. Растения выращивали с использованием предпосевной, внекорневой и двойной обработок раствором селенита и селената натрия. Контролем служили растения, обработанные водой теми же способами. Предпосевную обработку семян селеном проводили методом замачивания их в растворе солей селена с концентрацией 40 мг/л. В качестве стандартных образцов селена использовали селенит и селенат натрия (“Sigma”, США). Данная обработка обеспечивала влияние элемента на стадии прорастания семян и роста проростков. Внекорневая обработка осуществлялась методом опрыскивания вегетирующих растений раствором солей селена с концентрацией 7 мг/л, которая обеспечивала поступление элемента в растение на более поздних этапах его развития. Комплексная обработка (двойная обработка) включала последовательное введение элемента: сначала на стадии прорастания семян, затем в фазе 3 листьев. В ходе полевых исследований растения пшеницы выращивали мелкоделяночным способом на дерново-подзолистой почве Томской области. Качество зерна оценивали по содержанию крахмала и белка в период его восковой спелости [9, 10].

На рисунках данные представлены в виде средних арифметических ростовых ($n=100$) и биохими-

ческих (n=5) параметров с доверительными интервалами с учетом критерия Стьюдента для 95 %-ного уровня значимости ($p < 0.05$) [11].

Результаты и обсуждение

В результате исследований отмечено, что изменение биомассы главного побега влияло на темпы закладки последующих побегов в узле кушения. Специфика действия селенит- и селенат-ионов выражалась в регуляции густоты продуктивного стеблестоя. Так, предпосевная обработка селенатом натрия увеличивала биомассу главного побега и побегов узла кушения (рис. 1), но при этом количество их в узле кушения снижалось (рис. 2). Внекорневая и двойная обработки селенитом натрия тормозили рост главного побега (по биомассе), увеличивая количество побегов в узле кушения и их биомассу. Установленная закономерность донорно-акцепторных взаимоотношений на уровне главного побега и побегов узла кушения прослеживалась и для побегов последовательной закладки в узле. Формирова-

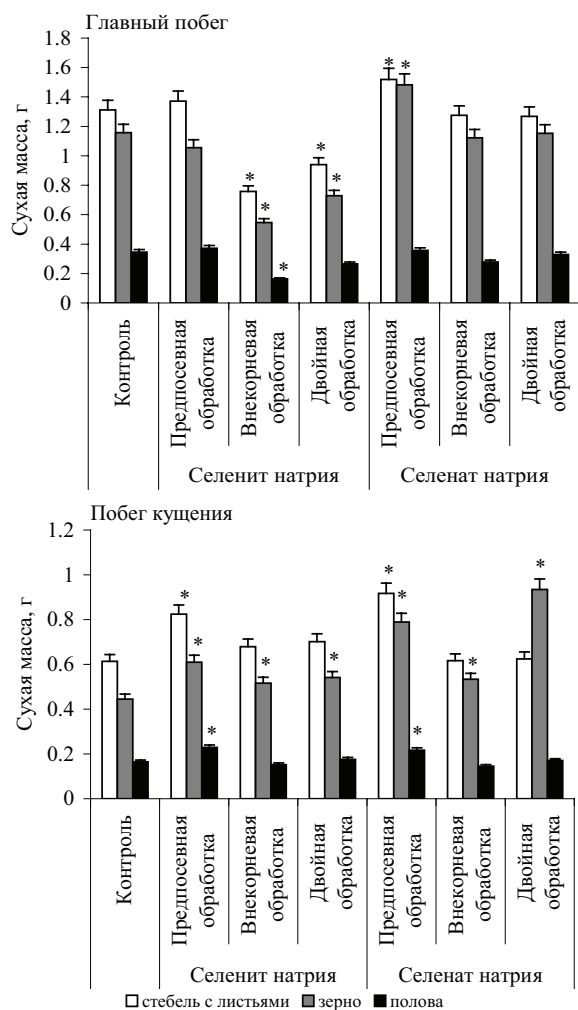


Рис. 1. Биомасса стебля с листьями, зерна и половы в колосе главного побега и побега кушения пшеницы в зависимости от способа обработки и форм селена. * Различия достоверны по сравнению с контролем при $p < 0.05$

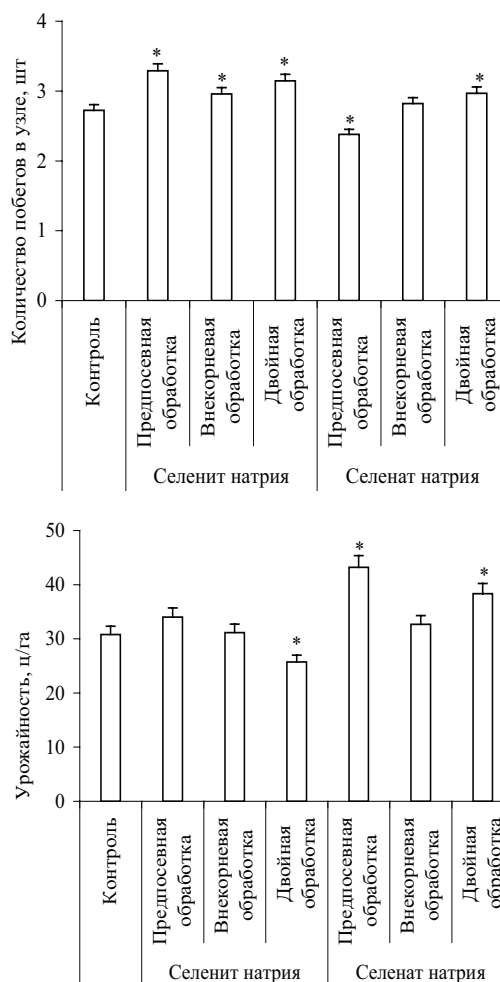


Рис. 2. Количество побегов в узле кушения и урожай пшеницы в зависимости от способа обработки и форм селена. * Различия достоверны по сравнению с контролем при $p < 0.05$

ние более длинных первых побегов кушения при предпосевной обработке селенатом натрия обуславливало уменьшение их количества в узле кушения.

Предпосевная обработка селенитом натрия увеличивала биомассу побегов кушения. Стимулирующий эффект селенита натрия на рост стебля и листьев показан нами и на пшенице Новосибирская 15 [7].

Разные скорости роста структурных элементов отдельного побега изменяли донорно-акцепторные взаимоотношения между ними. В фазу колошения у злаков такие отношения складывались между вегетативным и генеративным (формирующимся колосом) органами побега. Известно, что у пшеницы 50–60 % обеспечения колоса составляет фотосинтез листьев, среди которых основная роль в поставке метаболитов принадлежит верхнему, «флаговому», листу [12]. Остальная доля ассимилятов образуется в зеленом стебле и чешуе колоса.

Исследование регуляции структуры элементов побега пшеницы показало их зависимость от фор-

мы селена и способа его поступления. Предпосевная обработка семян селенатом натрия способствовала активации их прорастания и роста листьев растений на начальных этапах онтогенеза (стадия 3 листьев, данные не приведены), закладывая основу для дальнейшего формирования побега. На стадии восковой спелости у опытных растений отметили увеличение длины побега и его биомассы, длины флагового листа (рис. 1, 3).

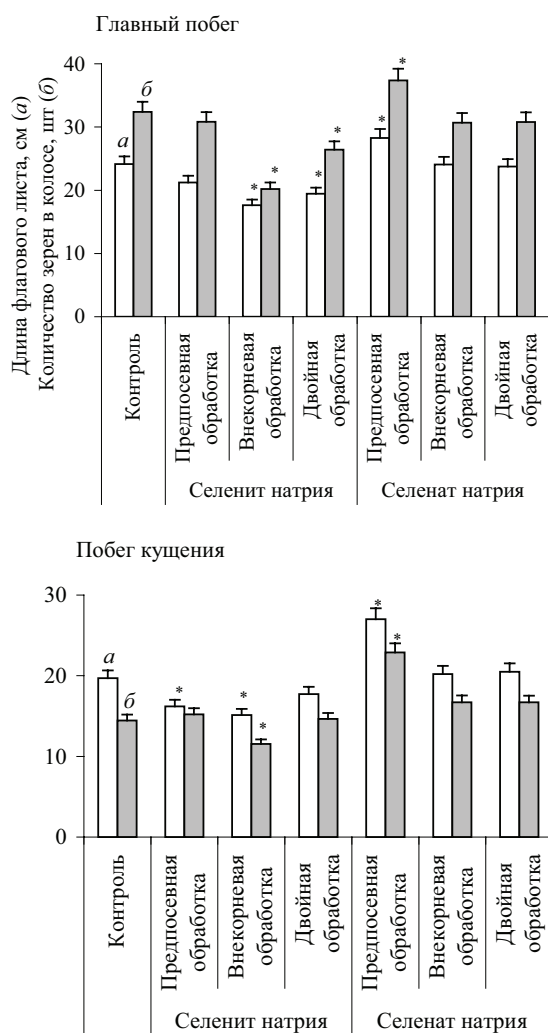


Рис. 3. Длина флагового листа (а) и количество зерен (б) в колосе пшеницы в зависимости от способа обработки и форм селена.
* Различия достоверны по сравнению с контролем при $p < 0.05$

Формирование большего флагового листа и большей биомассы побега способствовало большому накоплению сухого вещества в зерне колоса. В противоположность реакции растений на селенат натрия внекорневая обработка селенитом натрия уменьшила все перечисленные ростовые параметры вегетативного побега, что сопровождалось меньшей массой колоса и количества зерен в колосе.

Для налива зерна в колосе побега кущения име-

ло большое значение и биомасса половы, увеличение которой при предпосевной обработке как селенат-, так и селенит-ионами, определила большую биомассу зерна (рис. 1).

Общая продуктивность узла кущения складывалась из продуктивности отдельных побегов. В связи с этим величина кущения создавала оптимальную густоту продуктивного стеблестоя, обеспечивая продуктивность как отдельных узлов кущения, так и целого агроценоза. Обработка селеном увеличивала кущение растений, что в большей степени отражалось на общей урожайности пшеницы (рис. 2).

Предпосевная обработка селенатом натрия увеличивала урожайность пшеницы на 40 % за счет увеличения количества зерен в колосе и их массы. Двойная обработка селенатом натрия увеличивала урожайность на 24 % за счет увеличения количества побегов кущения и массы зерна в колосе. Действие селенита натрия достоверно не изменило урожайность пшеницы. Однако поступление селенита натрия в растение отразилось на биохимическом составе зерна.

На рис. 4 представлены данные по динамике накопления крахмала и белка в зерне пшеницы при использовании разных способов обработки селенит- и селенат-ионами.

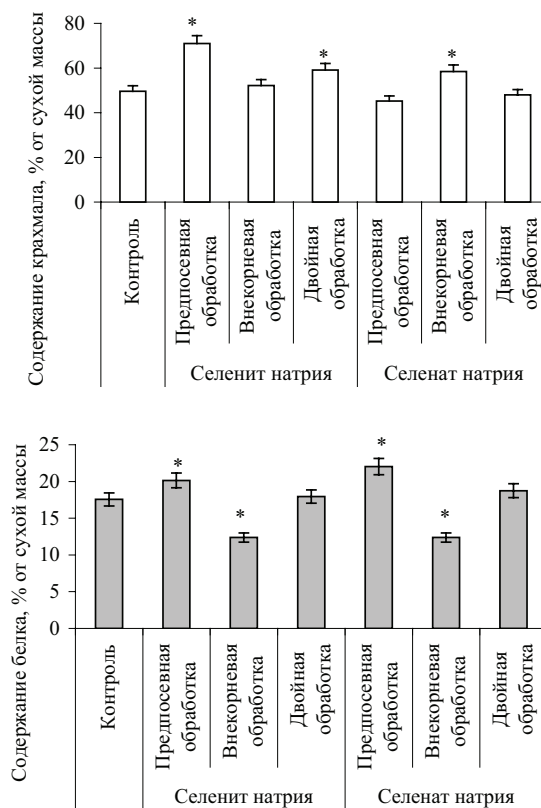


Рис. 4. Зависимость содержания крахмала и белка в зерне пшеницы от способа обработки и форм селена. * Различия достоверны по сравнению с контролем при $p < 0.05$

Предпосевная обработка семян селенитом натрия приводила к 43 %-ному увеличению содержания крахмала в зерне. Внекорневая обработка селенитом этой же формы не изменяла качества зерна по сравнению с контролем. Применение двойной обработки поддерживало повышенный уровень полисахарида (20 % по сравнению с контролем) за счет преимуществ, полученных от предпосевной обработки, но сниженной в результате обработки листьев. Отсутствие стимулирующего эффекта обработки листьев на накопление крахмала в зерне, возможно, связано с влиянием селенита натрия на изменение донорно-акцепторных связей между листьями, обработанными микроэлементом, и листьями новых ярусов. Из результатов видно, насколько различаются эффекты селена, поступающего через корень на ранних этапах формирования побега и поступающего через листья.

Обработка другой формой селена обуславливала иной эффект на качество зерна, что, вероятно, связано с меньшей скоростью встраивания селената натрия в органические вещества, чем селенита натрия. Поэтому обработка листьев селенатом натрия не оказывала отрицательного действия на донорно-акцепторные связи, возможно, связанные с избыточным его содержанием при использовании селенита натрия. В этом варианте отмечено повышение на 18 % содержание крахмала в зерне по сравнению с контролем. Тогда как предпосевная и, соответственно, двойная обработки не изменили аттрагирующих свойств колоса пшеницы.

Содержание белка в составе зерна колеблется от 8.6 до 24.4 % в расчете на сухое вещество для разных сортов пшеницы [13]. У исследуемого нами сорта Иргина этот показатель составил 17.8 % от

сухой массы зерна. Предпосевная обработка селенитом натрия увеличила содержание белка на 15 %, а селенатом натрия – на 25 % по сравнению с контролем. Внекорневая обработка снижала содержание белка на 30 % независимо от степени окисления ионов селена.

Таким образом, в результате исследований показано изменение жизнедеятельности растений под влиянием обработки селеном. Ионы селена стимулировали рост и развитие пшеницы Иргина и повышали урожайность зерна в зависимости от способа обработки и формы селена. Преимущество перед всеми способами обработки растений селеном получила предпосевная обработка. Селен определял эффективность ложа для семян, обеспечивающего стартовый ритм ростовых процессов, оптимальную густоту всходов и в последующем продуктивного стеблестоя. Предпосевная обработка семян ионами селена (селенит- и селенат-ионов) оказывала стимулирующий эффект на растяжение структурных элементов побега растений и содержание белка в зерне.

Специфика действия разных ионов селена заключалась в регуляции накопления крахмала зерном. Наиболее активный прирост сухой биомассы побега под влиянием селената натрия можно объяснить снижением отвлечения продуктов фотосинтеза на синтез антиоксидантов.

Полученные данные позволяют рекомендовать селенат натрия для предпосевной обработки семян пшеницы Иргина с целью повышения продуктивности.

Проведение НИР осуществлялось в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013.

Список литературы

1. Гмошинский И. В., Мазо В. К. Селен в питании: краткий обзор // *Medicina Altera*. 1999. № 4. С. 18–22.
2. Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health // *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2005. Vol. 18. P. 309–318.
3. Голубкина Н. А. Аккумуляция селена зерновыми культурами России // *Докл. Рос. акад. с.-х. наук*. 2007. № 5.
4. Головацкая И. Ф., Шипицына Н. В. Влияние селенита натрия на морфо-физиологические параметры донника лекарственного // *Фундаментальные науки и практика: сб. науч. тр. Т. 1. № 2 / под ред. Н. Н. Ильинских*. Томск, 2010. С. 89–91.
5. Головацкая И. Ф. Влияние селективного света и селенита натрия на содержание аскорбиновой кислоты в растении // *Проблемы и перспективы современной науки: межвуз. сб. науч. трудов / под ред. Н. Н. Ильинских*. Т. 3. № 1. Томск, 2011. С. 124–126.
6. Серегина И. И. Влияние селена на продуктивность и использование азота растениями яровой пшеницы // *Плодородие*. 2007. № 5(38). С. 15–16.
7. Кулагина Ю. М., Головацкая И. Ф. Влияние селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы в зависимости от способа обработки // *Вестн. Томского гос. ун-та. Биология*. 2011. № 2 (14). С. 56–64.
8. Golovatskaya I. F., Krachaleva A. V. The role of different forms of selenium in regulating morphogenesis and content of biologically active substances of plants *Lactuca sativa* L. // *Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin)*. 2011. Issue 8(110). P. 85–88.
9. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem.* 1976. № 72. P. 248–254.
10. ISO 10520:1997(E) <http://www.iso.org/iso/ru/rss.xml?csnumber=18589&rss=detail> Native starch – Determination of starch content – Ewers polarimetric method. 1997. 10 p. (Крахмал нативный. Определение содержания крахмала. Поляриметрический метод Эверса).

11. Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пос. для биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
12. Мокроносов А. Т., Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты: учеб. для студ. вузов. М.: Издат. центр «Академия», 2006. 448 с.
13. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наукова думка, 1973. 592 с.

Головацкая И. Ф., доктор биологических наук, доцент, профессор.

Томский государственный университет.

Пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050.

E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru

Кулагина Ю. М., инженер.

Томский государственный университет.

Пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050.

Крахалева А. В., лаборант.

Томский государственный университет.

Пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050.

E-mail: anna_krahaleva@mail.ru

Материал поступил в редакцию 15.05.2012.

I. F. Golovatskaya, J. M. Kulagina, A. V. Krahaleva

THE INFLUENCE OF SELENITE AND SELENATE SODIUM ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF WHEAT OF VARIETY IRGINA DEPENDING ON METHODS OF PROCESSING

The influence of different forms of selenium on development of wheat plants in soil culture was studied. It is shown, that formation of structural elements of shoot and productivity of plants *Triticum aestivum* L. depends on the degree of oxidation of selenium ions and the methods of processing. Specificity of action of different ions of selenium consists in regulation of accumulation of dry substance by the main shoot and shoots tillering, amount of tillering shoots, productivity and quality of grain. Selenate sodium increased wheat productivity, selenite of sodium - quality of grain (the content of starch and protein).

Key words: *Triticum aestivum, selenite and selenate sodium, morphogenesis, growth and development of plants, starch, protein.*

Golovatskaya I. F.

Tomsk State University.

Pr. Lenina, 36, Tomsk, Russia, 634050.

E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru

Kulagina J. M.

Tomsk State University.

Pr. Lenina, 36, Tomsk, Russia, 634050.

Krahaleva A. V.

Tomsk State University.

Pr. Lenina, 36, Tomsk, Russia, 634050.

E-mail: anna_krahaleva@mail.ru