МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЕСТНИК
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

БИОЛОГИЯ

Tomsk State University Journal of Biology

Научный журнал

2011 № 2 (14)

Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС 77-29499
от 27 сентября 2007 г.

Журнал «Вестник Томского государственного университета. Биология»
входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»
Высшей аттестационной комиссии

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Майер Г.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (председатель); **Дунаевский Г.Е.**, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя); **Ревушкин А.С.**, д-р биол. наук, проф. (зам. председателя); **Катунин Д.А.**, канд. филол. наук, доц. (отв. секр.); **Аванесов С.С.**, д-р филос. наук, проф.; **Берцун В.Н.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Гага В.А.**, д-р экон. наук, проф.; **Галажинский Э.В.**, д-р психол. наук, проф.; **Глазунов А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Голиков В.И.**, канд. ист. наук, доц.; **Горцев А.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гураль С.К.**, канд. филол. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Демин В.В.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Ершов Ю.М.**, канд. филол. наук, доц.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кривова Н.А.**, д-р биол. наук, проф.; **Кузнецов В.М.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначев В.П.**, д-р геол.-минер. наук, проф.; **Петров Ю.В.**, д-р филос. наук, проф.; **Портнова Т.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц., директор Издательства научно-технической литературы; **Потекаев А.И.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Пчелинцев О.А.**, зав. редакционно-издательским отделом; **Сахарова З.Е.**, канд. экон. наук, доц.; **Слижов Ю.Г.**, канд. хим. наук, доц.; **Сумарокова В.С.,** директор Издательства ТГУ; **Сущенко С.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Тарасенко Ф.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Татьянин Г.М.**, канд. геол.-минерал. наук, доц.; **Унгер Ф.Г.**, д-р хим. наук, проф.; **Уткин В.А.**, д-р юрид. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.; **Шрагер Э.Р.**, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. БИОЛОГИЯ»

Кулижский С.П., д-р биол. наук, проф., зав. каф. почвоведения и экологии почв, директор Биологического института (председатель); **Астафурова Т.П.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. агрономии, директор Сибирского ботанического сада ТГУ (зам. председателя); **Гуреева И.И.**, д-р биол. наук, проф., зав. Гербарием П.Н. Крылова (зам. председателя); **Москвитина Н.С.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. зоологии позвоночных и экологии (зам. председателя); **Акимова Е.Е.**, канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры экологической и сельскохозяйственной биотехнологии Биологического института (отв. секретарь); **Кривова Н.А.**, д-р биол. наук, проф., директор ОСП «НИИ ББ ТомГУ»; **Бушов Ю.В.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. физиологии человека и животных; **Данченко А.М.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. лесоведения и зеленого строительства; **Карначук Р.А.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. физиологии и биотехнологии растений; **Пяк А.И.**, д-р биол. наук, проф., каф. ботаники; **Свиридова Т.П.**, канд. биол. наук, зам. директора Сибирского ботанического сада; **Стегний В.Н.**, д-р биол. наук, проф., зав. каф. цитологии и генетики.

© Томский государственный университет, 2011

Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 2 (14). С. 56–64

УДК 581.14:581.133.8

Ю.М. Кулагина, И.Ф. Головацкая
Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНИТА НАТРИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОБРАБОТКИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П283 от 23.07.2009).

Исследовано влияние селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы сорта Новосибирская-15 в зависимости от способа обработки микроэлементом. Изучены ростовые и биохимические показатели растений в 2 фазах онтогенеза. Выявлено стимулирующее действие селенит-иона на растяжение листовой поверхности и стебля растений, накопление сухой биомассы и хлорофилла а (наиболее эффективна двойная обработка). Внекорневая и двойная обработки увеличивали содержание каротиноидов во флаговом листе, а предпосевная – содержание редуцирующих сахаров в листе. Селен ускорял развитие растений пшеницы и повышал их продуктивность. Определены оптимальные способы обработки растений пшеницы селеном.

Ключевые слова: *Triticum aestivum L.; селенит натрия; фотосинтетические пигменты; редуцирующие сахара; рост; развитие; продуктивность растений.*

Введение

Вопрос о значении селена в регуляции жизнедеятельности растений остается недостаточно изученным [1–3], но особенно актуальным для пищевых культур. В литературе встречаются в основном работы по изучению антиоксидантных свойств селена в растении [4–5], в патентах акценты расставлены на отдельные способы обработки селеном для разных культур с целью их обогащения селеном [6], и отсутствует комплексный анализ всех возможных способов с учетом сельскохозяйственной практики, а именно повышения продуктивности растений.

Целью нашей работы было исследование влияния селенит-иона на рост и развитие растений пшеницы сорта Новосибирская-15 в зависимости от способа обработки микроэлементом.

Материалы и методики исследования

Объектом исследования служила почвенная культура яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Новосибирская-15, патентообладателем которого является ГНУ СИБНИИРС СО Россельхозакадемии (г. Новосибирск). Исследуемый сорт относится к ранним, так как вегетационный период составляет

75–83 дня. Данный сорт устойчив к полеганию, среднезасухоустойчив, используется в хлебопечении. Сорт включён в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию с 2003 г. по Уральскому и Западно-Сибирскому регионам.

Выращивание растений в открытом грунте позволило изучить рост и развитие растений пшеницы в процессе онтогенеза. Известно, что различные скорость и соотношение ростовых реакций у растений разного возраста меняют требование к минеральным элементам. В связи с этим проведены различные способы обработки селенитом натрия, позволившие изменить содержание элемента селена в растении на различных этапах его индивидуального развития. Растения выращивали с использованием предпосевной, внекорневой и двойной обработок селенитом натрия. Контролем служили растения, не обработанные селеном. *Предпосевную обработку* семян селеном осуществляли методом замачивания их в растворе селенита натрия (80 мг/л). Данная обработка обеспечивала влияние элемента на стадии прорастания семян и роста проростков. *Внекорневая обработка* осуществлялась методом опрыскивания вегетирующих растений раствором селенита натрия 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 в Томской области. Анализ ростовых параметров растений проводили в период их активной вегетации (в фазе 3 листьев – 29 сут), перед внекорневой обработкой и в период колошения (54 сут). Оценивали силу роста проростков, линейные и количественные ростовые параметры, накопление биомассы. Содержание фотосинтетических пигментов и редуцирующих сахаров определяли спектрофотометрически [7, 8].

Статистическая обработка и построение графиков выполнены в программе StatSoft Statistica 8.0 и MS Excel 2003. На рис. 1–5 данные представлены в виде средних арифметических ростовых ($n = 50$) и биохимических ($n = 5$) параметров с доверительными интервалами с учетом критерия Стьюдента для 95%-ного уровня значимости [9]. При сравнении групп растений, различающихся по способу обработки селенитом натрия, выявили статистически значимые отличия изученных параметров по сравнению с контролем ($p < 0,05$).

Результаты исследования и обсуждение

Современные сорта сельскохозяйственных культур обладают высоким потенциалом продуктивности, которая не всегда реализуется в открытом грунте. Для повышения продукционного процесса растений в практике растениеводства используют методы обработки семян и растений регуляторами роста и микроэлементами, которые вызывают активизацию метаболических процессов в растительном организме в исключительно малых дозах и способны защитить растение от стрессовых воздействий, что является очень важным для формирования урожая. Режим минерального питания как средство регуляции физиологических процессов оказывает существенное влияние на ак-

тивность фотосинтеза и дыхания, а как результат – на активность ростовых процессов. В связи с этим рост как интегральный процесс является одним из ведущих в реализации наследственной программы организма, обеспечивая его морфогенез и онтогенез. Изучение ростовых эффектов в конечном итоге позволяет оценить агротехнические воздействия на продуктивность растений, включающую накопление биомассы и формирование урожая.

Для обработки растений *T. aestivum* L. селеном использовали селенит натрия, что было связано с его большей эффективностью встраивания в органические соединения по сравнению с селенатом натрия. Именно органическая форма селена наиболее усвояема для животных и человека.

Предпосевная обработка селенитом натрия семян пшеницы изменила скорость их прорастания. Это выражалось в более ранних (на 1–1,5 сут) и дружных всходах опытных растений по сравнению с контрольными.

В вегетативную стадию стимулирующее действие селена на накопление сухой биомассы листьев и стебля составило 34% по сравнению с контролем. В процессе последующего развития растений (на стадии колошения) различия по биомассе увеличились на 60 и 68% соответственно для листьев и стебля (рис. 1). Накопление биомассы происходило за счёт веществ, синтезированных в процессе растяжения и увеличения числа элементов структуры побега (рис. 2) и, прежде всего, за счет увеличения количества побегов кущения и их ярусов. Опытные растения выносили колос из пазухи верхнего листа раньше, чем контрольные растения. Более активное формирование новых метамеров под действием селенит-иона отмечено нами также и для двудольных растений – горчицы [10].

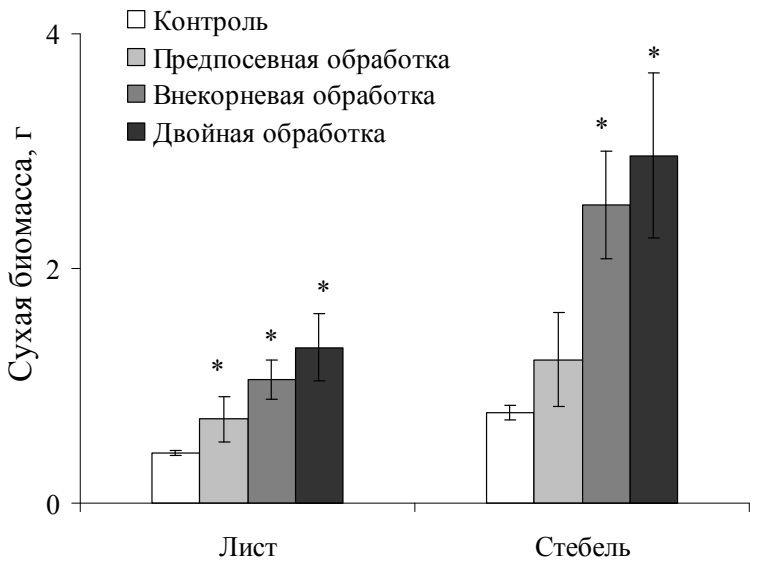


Рис. 1. Сухая биомасса структурных элементов побега 54-дневных растений пшеницы в зависимости от способа обработки селенитом натрия.
* Здесь и далее статистически значимые отличия от контроля ($p < 0,05$)

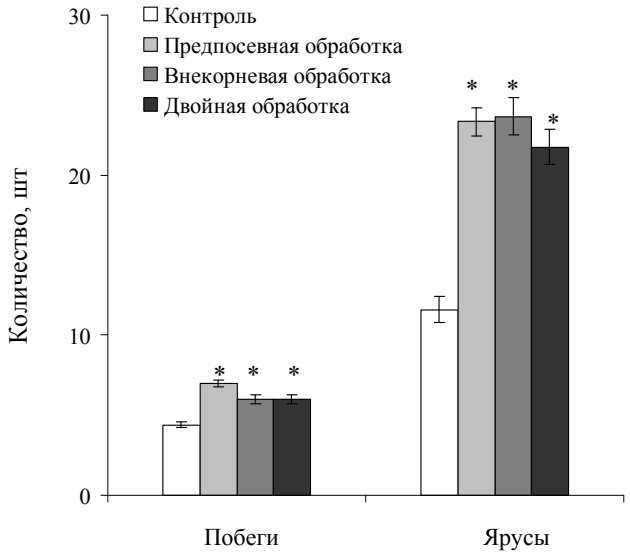


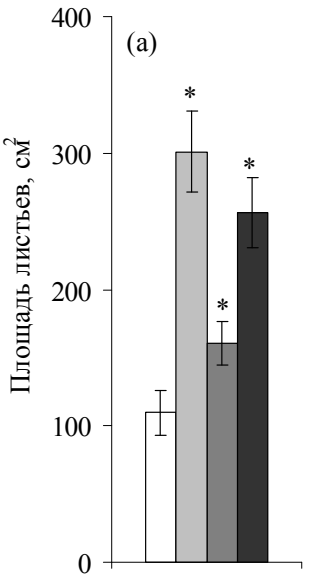
Рис. 2. Количество побегов кущения и их ярусов у 54-дневных растений пшеницы в зависимости от способа обработки селенитом натрия

Поступление селена в растение в различные фазы онтогенеза определяло разное распределение ростовых процессов между ярусами. Так, поступление селена на стадии прорастания семян (предпосевная обработка) вызывало увеличение площади общей фотосинтезирующей поверхности (рис. 3, *а*) за счет растяжения первых трёх листьев всех побегов кущения, в том числе в 3,3 и 1,4 раза (первый лист и второй и третий лист соответственно) (рис. 3, *б*). Двойная обработка увеличила рост и развитие преимущественно листа третьего яруса растений, снизив прирост листа первого и второго ярусов по сравнению с предпосевной обработкой селенитом натрия. Таким образом, селен, введенный через корень, определял рост первого и второго листа, тогда как активация роста третьего листа происходила за счет аддитивного действия селена, поступившего через корень и лист.

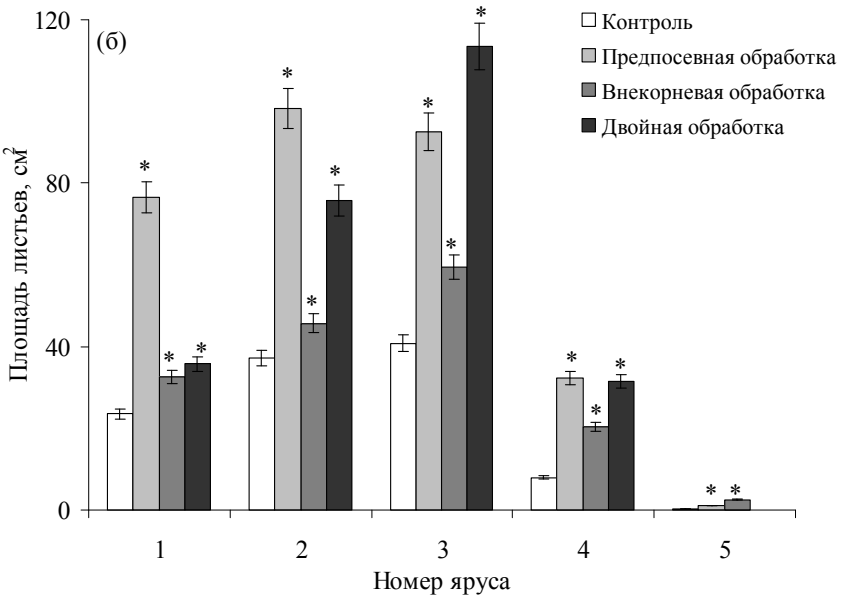
Селенит натрия, применяемый при двойной обработке, ускорял накопление сухой биомассы и повышал чистую продуктивность фотосинтеза растений пшеницы в большей степени, чем при однократной обработке. Это могло быть связано с динамикой эндогенного селена в онтогенезе растений, поддерживающей метаболизм на достаточно высоком уровне.

Продукционный процесс растений во многом определяется интенсивностью фотосинтеза. В первую очередь, сформированностью самого фотосинтетического аппарата (площадью листьев и содержанием фотосинтетических пигментов), во вторую – продуктивностью фотосинтеза (не только величиной сухой биомассы, но и уровнем углеводов).

Детальный анализ пигментной системы позволил охарактеризовать потенциальные возможности фотосинтеза.



а



б

Рис. 3. Общая площадь листьев (*а*) и распределение ростовых процессов между ярусами (*б*) всех побегов кущения у 54-дневных растений пшеницы сорта Новосибирская-15 в зависимости от способа обработки селенитом натрия

Так, в результате наших исследований показано, что содержание фотосинтетических пигментов в листьях опытных растений зависело от способа обработки растений селенитом натрия (рис. 4). Содержание хлорофилла *a* в опытных растениях при внекорневой и двойной обработке превышало в 2–2,5 раза, а при предпосевной обработке – на 50% содержание фотосинтетических пигментов в контрольных растениях.

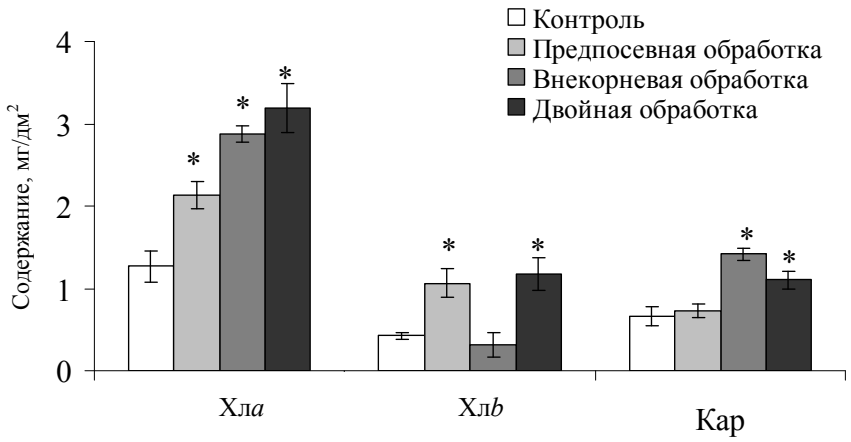


Рис. 4. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях 54-дневных растений пшеницы в зависимости от способа обработки селенитом натрия:
Хл*a* – хлорофилл *a*, Хл*b* – хлорофилл *b,* Кар – каротиноиды

Количество хлорофилла *b* в листьях растений пшеницы с предпосевной обработкой селенитом натрия увеличивалось в 2,5 раза относительно контрольных растений (рис. 4). При этом существенно не изменилось содержание каротиноидов. Вероятно, это было связано со сниженным уровнем эндогенного селена в верхних листьях в результате неполной реутилизации элемента. Сделанное нами предположение основывалось на общности метаболизма селена и серы в организмах.

Внекорневая обработка селеном двукратно увеличивала содержание каротиноидов относительно контрольных растений, что обусловливало сохранение пула хлорофилла *b* в листьях. Полученные нами данные по динамике каротиноидов согласуются с данными других авторов [11]. В связи с этим можно полагать, что обогащение растений селеном способствовало сохранению уровня хлорофилла *a* за счет поддержания определенного уровня каротиноидов. Известно, что наряду со светособирающей каротиноиды выполняют и светозащитную функцию, заключающуюся в предохранении хлорофилла *a* от фотоокисления активными формами кислорода [12].

При двойной обработке рост пула каротиноидов не успевал за ростом пула хлорофилла *a*, и, возможно, вследствие этого ослабевала их защитная функция и происходил рост пула окисленного хлорофилла – хлорофилла *b*.

Одной из функционально активных групп углеводов являются редуцирующие сахара, которые обладают способностью восстанавливать окисные соединения в закисные и включают все моносахариды, часть дисахаридов (мальтоза, лактоза и др.). Содержание редуцирующих сахаров в верхних листьях как опытных, так и контрольных вегетирующих растений (29-е сут) было одинаково высоким (рис. 5).

В фазу колошения (54-е сут), когда функции листьев менялись и самые верхние листья (флаговые) участвовали в формировании колоса, наблюдали 50 и 15%-ное увеличение содержания редуцирующих сахаров во флаговом листе опытных растений, выросших при предпосевной обработке и внекорневой и двойной обработке соответственно. Возможно, это соответствовало активности функционирования флаговых листьев или скорости оттока питательных веществ из них в колос.

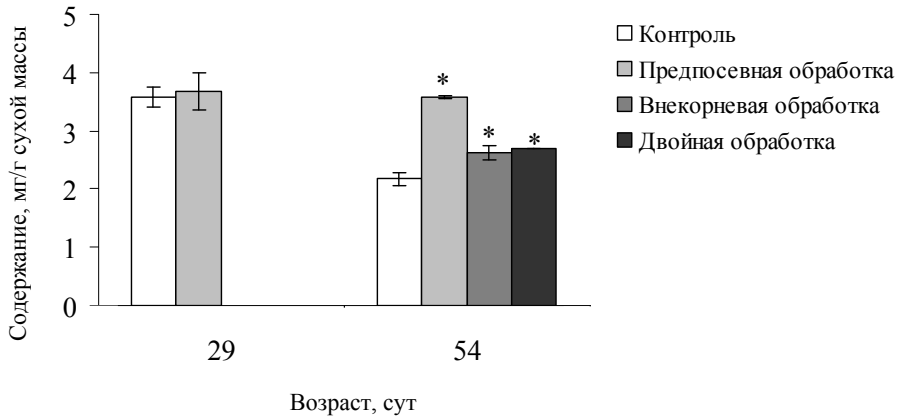


Рис. 5. Содержание редуцирующих сахаров в листьях растений пшеницы сорта Новосибирская-15, выросших при разных способах обработки селенитом натрия

Заключение

В результате исследований установлено, что все предлагаемые нами способы обработки селенитом натрия (предпосевная, внекорневая и двойная) оказывали стимулирующее действие на растяжение листовой поверхности и стебля растений пшеницы в почвенной культуре. Селен независимо от способа обработки повышал содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a,* ускорял развитие растений пшеницы сорта Новосибирская-15 и увеличивал их сухую биомассу. Предпосевная и двойная обработки увеличивали содержание хлорофилла *b,* а внекорневая и двойная – увеличивали содержание каротиноидов. Предпосевная обработка растений селенитом натрия увеличивала содержание редуцирующих сахаров во флаговом листе. Полученные данные позволяют рекомендовать обработку семян селенитом

натрия для ускорения развития и повышения продуктивности растений пшеницы сорта Новосибирская-15.

Литература

1. *Блинохватов А.Ф., Денисова Г.В., Ильин Д.Ю. и др.* Селен в биосфере. Пенза: РИО ПГСХА, 2001. 324 с.
2. *Гмошинский И.В., Мазо В.К.* Селен в питании: краткий обзор // Medicina Altera. 1999. № 4. С. 18–22.
3. *Голубкина Н.А.* Аккумулирование селена зерновыми культурами России // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 5. С. 6–9.
4. *Djanaguiraman M., Devi D.D., Shanker A.K. et al.* Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence // J. Plant and Soil. 2005. Vol. 272. P. 77–86.
5. *Скрыпник Л.Н., Чупахина Г.Н.* Микроэлемент селен и антиоксидантный статус растительной пищи: Сб. статей 7-й Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. 192 с.
6. *Гинс В.К., Голубкина Н.А., Коненков П.Ф.* Обогащение клубеньков стахиса селеном. Современные достижения биотехнологии: Материалы Всерос. конф. Ставрополь, 1996. С. 12–13.
7. *Lichtenthaler H.K.* Chlorophyles and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
8. *Ермаков А.И., Арасимова В.Б., Смирнова-Иконникова М.И. и др.* Методы биохимического исследования растений. Л.: Колос, 1972. 456 с.
9. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
10. *Головацкая И.Ф., Семенова Н.М., Карначук Р.А., Кулагина Ю.М., Шипицына Н.В.* Рострегулирующая роль селена в растении // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: Материалы VI Междунар. науч. конф. (Минск, 28–30 октября 2009 г.). Минск, 2009. С. 36.
11. *Пузина Т.И., Прудников П.С., Якушкина Н.И.* Влияние селена на гормональный баланс и фотосинтетическую деятельность растений картофеля // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. №6. С. 7–9.
12. *Карнаухов В.Н.* Биологические функции каротиноидов. М.: Наука, 1988. 240 с.

Поступила в редакцию 21.12.2010 г.

Julia M. Kulagina, Irina F. Golovatskaya

Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia

INFLUENCE OF SODIUM SELENITE ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHEAT PLANTS DEPENDS ON THE METHOD OF PROCESSING

Selenium is considered an essential trace element for humans and animals because of its nutritional and clinical value, including its special relevance in cancer prevention, and thus selenium is at present used in biofortification programmes. However, possible effects of selenium application on plant growth and development are still not clear. Now scientists study the agriculture technologies increasing assimilation of selenium by plants and regulating their vital activity. It is especially important for food cultures. In the experiment we studied the influence of selenium on the growth and development of plants Triticum aestivum L. Novosibirskaya-15 variety depending on the method of processing by trace element. During field researches we cultivated wheat plants test plot method on sod-podzolic soil in the Tomsk range. We applied three methods of processing by solu-

tion of sodium selenite: processing of seeds, processing of plants in the 3 leave phase and double processing (seeds and plants). To control we used the plants untreated by selenium. We estimated a growing energy of sprouts, linear and quantitative growth parameters and accumulation of a biomass. The content of photosynthetic pigments and reducing Saccharums were determined by the spectrophotometry method.

Presowing treatment of seeds by solution of sodium selenite conduced to more early shoots in the experiment in comparison with control. Photosynthetic intensity substantially determines productional process of plants. First of all it is the formation of the most photosynthetic apparatus (the area of leaves and the content of photosynthetic pigments), secondly – the productivity of the photosynthesis (dry weight, level of carbohydrates). Accumulation of biomass occured due to the substances synthesized during an elongation and increase in the quantity of tillering shoots and their storeys. Experiments showed, that selenite-ion influenced on leaf and stem expansion and on chlorophyll a content. Our researches have shown, that the content of photosynthetic pigments in leaves of trial plants depend on a method of processing plants selenite of sodium. The processing of leaf and double processing increased the content of carotenoids and processing of seeds – the content of reducing sugars in the uppermost leaf. Selenium accelerated development of wheat plants and raised their dry weight. We recommended processing seeds by solution of sodium selenite for increase in wheat plants Novosibirskaya-15 variety productivity.

Key words: *wheat; selenite of sodium; photosynthetic pigments; reducing sugar; growth; development; plants productivity.*

Received December 21, 2010