

УДК 581.1:661.691.9

НАНОСЕЛЕН КАК ИНДУКТОР СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Юркова И. Н., Омельченко А. В., Пидгайна Е. С.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: nanosilver@rambler.ru*

Впервые установлен протекторный эффект наноконпозиции селена на зерновых и декоративных культурах в условиях моделируемого засоления. На примере пшеницы и бархатцев показано, что обработка семян наноселеном снижала угнетение засолением роста 7-дневных проростков. Установлено, что наноселен снижал угнетение прироста сухого вещества как корней, так и надземной части. На бархатцах наноселен оказывал протекторное действие при более низких концентрациях, чем на пшенице.

Ключевые слова: наноселен, солеустойчивость, пшеница, бархатцы.

ВВЕДЕНИЕ

В результате деятельности человека постоянно увеличиваются площади засоленных территорий. Засоленные почвы занимают почти четверть поверхности суши, включая половину всех орошаемых земель. Так, почвы в орошаемых районах со временем становятся все более засоленными, поскольку в условиях сухого климата фактически вся поливная вода испаряется. Это наблюдается и при внесении повышенных доз минеральных удобрений. Последствия почвенного засоления проявляются в снижении продуктивности растений, в нарушении генетического биоразнообразия и в серьезных экономических потерях [1]. Поэтому устойчивость культурных растений к засолению является актуальной проблемой растениеводства в связи с необходимостью повышения урожая на таких почвах. Увеличение площади засоленных территорий негативно влияет не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и на декоративные и лекарственные растения, а также на охрану редких и исчезающих видов растений [2].

Интенсивное антропогенное использование естественных растительных ресурсов, а также экстремальные условия произрастания (засуха, подтопление земель, засоление почв, резкие колебания температуры) приводят к деградации коренных сообществ, изменению их структуры, снижению численности видов и исчезновению некоторых из состава сообществ. В основе солеустойчивости культурных растений лежат специфические адаптационные механизмы, связанные с разными уровнями структурной организации растений от молекулярного до организменного [3].

Важнейшее значение в регуляции процессов стрессоустойчивости растительной клетки имеют фитогормоны [4]. На содержание отдельных групп фитогормонов (цитокининов и гиббереллинов) значительное действие оказывает селен [5, 6].

Селен обладает антиоксидантным эффектом в клетках животных и человека. Однако работ по влиянию селена на антиоксидантную систему защиты растительных организмов очень мало. Большинство исследований посвящено изучению обогащения культурных растений селеном в связи с его низким содержанием в почвах [7–9].

Биологическая активность селена зависит от его формы: селенит- и селенатионы более токсичны, чем наноразмерный селен. Наночастицы селена являются биологически доступными и обладают пролонгированным действием. Однако влияние различных форм селена на стрессоустойчивость культурных растений остается недостаточно изученным [10].

Целью настоящей работы было исследование действия наноселена, стабилизированного альгинатом натрия, на солеустойчивость зерновых и декоративных культурных растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве биологических объектов исследования были выбраны семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Подолянка и бархатцев отклоненных (*Tagetes patula* L.), широко используемых в ландшафтном дизайне городской среды. Представители рода *Tagetes* используются повсеместно не только в декоративном садоводстве и озеленении, но и в качестве сырья для пищевой и парфюмерно-косметической промышленности, медицины, фармакологии, а также для фиторемедиации почв, загрязненных углеводородами [11].

В качестве селена применяли водорастворимую композицию наноселена, стабилизированную альгинатом натрия. Нанокоспозицию селена получали путем восстановления селенистокислого натрия L-цистеином и стабилизацией альгинатом натрия (натриевая соль альгиновой кислоты, BioChemika) [12]. Для усиления адгезии наночастиц к поверхности семян в композицию наноселена добавляли поверхностно-активное вещество «Липосам» (комплекс экзополимеров полезных микроорганизмов) в концентрации 25,0 мг/л.

Как было показано ранее, оптимальная концентрация наноселена, влияющая на пророст сухой массы проростков яровой пшеницы, составляла 20,0–50,0 мг/л [13].

Поэтому для исследования протекторного действия наноселена в условиях моделируемого хлоридного засоления семена пшеницы обрабатывали методом инкрустации нанокоспозицией селена в концентрации 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 и 50,0 мг/л (по селену). Для инкрустации семян бархатцев применяли более низкие концентрации селена 5,0; 10,0; 20,0 и 30,0 мг/л (по селену). Затем семена высушивали и помещали в чашки Петри с фильтровальной бумагой, в которые вносили по 10 мл (для семян пшеницы) или 5 мл (для семян бархатцев) 100 мМ раствора NaCl в дистиллированной воде. Проращивание семян осуществлялось в течение 7 суток в термостате при температуре 24 °С. Контролем служили семена, обработанные прилипателем без наноселена. Биомассу проростков корней и

надземной части измеряли гравиметрическим методом на 7 сутки, фиксируя растительный материал в течение 5 мин. при 110 °С и доводя его до постоянной массы при 60 °С.

Эксперименты проводили в 3-кратной биологической повторности. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Г. Ф. Лакину [14], в таблицах представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов результатов показал, что проявление антистрессовых свойств наноселена на яровой пшенице и бархатцах значительно отличается (табл. 1 и 2).

Наибольшее стимулирующее влияние на солеустойчивость наноселен оказывал на яровую пшеницу. Из результатов, приведенных в табл. 1, видно, что масса сухого вещества корней и надземной части у 7-дневных проростков пшеницы, выращенных в контрольном эксперименте на дистиллированной воде, в 1,5 раза больше, чем в условиях моделируемого засоления (100 мМ NaCl). Уменьшение биомассы корней и надземной части отличается незначительно, что свидетельствует о достаточно высокой солеустойчивости данного сорта.

Увеличение накопления биомассы корней и надземной части проростков после обработки семян наноселеном по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена) наблюдалось во всем интервале исследованных концентраций (10,0–50,0 мг/л) и составляло 8,7–17,7 % и 5,2–15,7 % соответственно. Из приведенных результатов видно, что увеличение накопления сухого вещества корней было значительно выше, чем надземной части (табл. 1). Это хорошо согласуется с ранее полученными результатами [13].

В условиях солевого стресса обработка семян пшеницы наноселеном снижала угнетение ростовых характеристик проростков по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl). При этом наблюдался прирост биомассы как корней, так и надземной части, на 7,1–15,4 % и 3,1–11,5 % соответственно. Как видно из приведенных данных, тенденция увеличения стимуляции селеном биомассы корней по сравнению с надземной частью сохранялась.

В таблице 2 приведены результаты влияния обработки семян бархатцев наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков при хлоридном засолении в моделируемых условиях. Как видно из приведенных данных, засоление оказывало более негативное действие на прорастание семян бархатцев по сравнению с пшеницей. Масса сухого вещества корней и надземной части проростков бархатцев, выращенных в условиях хлоридного засоления, была в 1,6–1,9 раза меньше, чем в контрольном эксперименте (дистиллированная вода). При этом угнетение роста биомассы корней отмечалось на 20 % больше, чем надземной части. Такой неблагоприятный фактор внешней среды как засоление, оказывая негативное действие на рост растений, уменьшает их способность поглощать воду. Корни, в отличие от побегов, постоянно находятся в контакте с засоленной почвой, поэтому высокие концентрации солей сильнее угнетают рост корней, чем надземных органов [15].

Стимуляция роста биомассы корней и надземной части проростков бархатцев после обработки семян наноселеном по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена) отмечалась во всем интервале исследованных концентраций (5,0–30,0 мг/л), однако максимальные значения массы сухого вещества корней и надземной части проростков наблюдались при концентрации наноселена 5,0–10,0 мг/л и составляли 12,3–19,2 % и 12,2–15,3 % соответственно.

Таблица 1

Влияние обработки семян пшеницы наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков в условиях моделируемого засоления
($\bar{x} \pm S_x$)

Вариант опыта	Масса сухого вещества			
	корни, мг	надземная часть, мг	корни, %	надземная часть, %
Контроль 1 (без Se⁰, H₂O)	3,07±0,13	2,98±0,12	100,0	100,0
Se ⁰ 10,0 мг/л (H ₂ O)	3,34±0,13	3,13±0,14	108,7	105,2
Se ⁰ 20,0 мг/л (H ₂ O)	3,53±0,14	3,30±0,13	114,9	110,9
Se ⁰ 30,0 мг/л (H ₂ O)	3,61±0,15	3,38±0,15	117,7	113,6
Se ⁰ 40,0 мг/л (H ₂ O)	3,50±0,14	3,45±0,14	114,0	115,7
Se ⁰ 50,0 мг/л (H ₂ O)	3,47±0,13	3,39±0,14	113,0	113,7
Контроль 2 (без Se⁰, 100 мМ NaCl)	1,92±0,12	1,98±0,11	100,0	100
Se ⁰ 10,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,06±0,15	2,04±0,14	107,1	103,1
Se ⁰ 20,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,15±0,15	2,10±0,15	111,9	106,2
Se ⁰ 30,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,22±0,17	2,17±0,15	115,4	109,5
Se ⁰ 40,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,17±0,16	2,21±0,16	112,6	111,5
Se ⁰ 50,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,12±0,15	2,20±0,15	110,7	111,2

Таблица 2

Влияние обработки семян бархатцев наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков в условиях моделируемого засоления
($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

Вариант опыта	Масса сухого вещества			
	корни, мг	надземная часть, мг	корни, %	надземная часть, %
Контроль 1 (без Se⁰, H₂O)	2,55±0,12	2,13±0,12	100,0	100,0
Se ⁰ 5,0 мг/л (H ₂ O)	2,89±0,13	4,67±0,14	113,5	109,4
Se ⁰ 10,0 мг/л (H ₂ O)	3,04±0,14	4,81±0,15	119,2	115,3
Se ⁰ 20,0 мг/л (H ₂ O)	2,86±0,13	4,96±0,15	112,3	112,2
Se ⁰ 30,0 мг/л (H ₂ O)	2,73±0,13	5,05±0,16	107,0	103,7
Контроль 2 (без Se⁰, 100 мМ NaCl)	1,37±0,12	1,35±0,11	100,0	100,0
Se ⁰ 5,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,45±0,13	1,42±0,14	106,2	105,5
Se ⁰ 10,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,49±0,14	1,48±0,13	109,0	109,3
Se ⁰ 20,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,48±0,15	1,41±0,15	107,7	104,7
Se ⁰ 30,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,32±0,14	1,37±0,14	96,1	101,2

При сравнении приведенных результатов видно, что увеличение накопления сухого вещества корней бархатцев было значительно выше, у яровой пшеницы (табл. 2).

В условиях солевого стресса обработка семян бархатцев наноселеном снижала угнетение ростовых характеристик проростков по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl) только при концентрации наноселена 5,0–20,0 мг/л. При этом наблюдался прирост массы сухого вещества как корней, так и надземной части на 6,2–9,0 % и 5,5–9,3 % соответственно. Величина прироста массы корней и надземной части проростков отличалась незначительно. Дальнейшее увеличение концентрации селена приводило к уменьшению содержания сухого вещества корней, что свидетельствовало об усилении влияния солевого стресса. При этом масса надземной части была близка к контрольному значению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые исследован протекторный эффект нанокompозиции селена, полученной в матрице альгината натрия, на прирост сухого вещества проростков пшеницы и бархатцев на ранних этапах онтогенеза в условиях моделируемого хлоридного засоления.
2. Показано, что обработка семян пшеницы наноселеном снижала угнетение роста по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl). При этом наблюдался прирост сухого вещества как корней, так и надземной части, на 7,1–15,4 % и 3,1–11,5 % соответственно.
3. В условиях солевого стресса обработка семян бархатцев наноселеном снижала угнетение проростков по сравнению с контрольным вариантом при концентрации наноселена 5,0–20,0 мг/л, а прирост сухого вещества как корней, так и надземной части, увеличивался на 6,2–9,0 % и 5,5–9,3 % соответственно.

Статья публикуется в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ с госбюджетным финансированием № 6.7794.2017/БЧ по теме «Разработка системы рационального использования декоративных фитобиологических ресурсов на территории Крыма».

Список литературы

1. Бондаренко Д. А. In vivo модели для изучения анальгетической активности / Д. А. Бондаренко, И. А. Дьяченко, Д. И. Скобцов [и др.] // Биомедицина. – 2011. – № 2. – С. 84–94.
2. Kuznetsov V. I. Polyamines and plant adaptation to saline environments / V. I. Kuznetsov, N. I. Shevyakova // Desert Plants / Ed. Ramawat K.A. Heidelberg; Dordrecht; London; New York: SpringerVerlag, 2010. – P. 261–298.
3. Чуниховская В. Н. Выращивание лекарственных растений на солонцеватых почвах Крыма / В. Н. Чуниховская, Л. В. Житова // Научные труды Южного филиала национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2012. – № 149. – С. 66–70.
4. Ткачева М. С. К вопросу о солеустойчивости риса (обзор) / М. С. Ткачева, О. А. Досеева // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – Т. 105(01). – С. 1–15.
5. Физиологические механизмы повышения солеустойчивости растений рапса брассиностероидами / М. В. Ефимова, А. Л. Савчук, Дж. А. К. Хасан // Физиология растений. – 2014. – Т. 61, № 6. – С. 778–789.
6. Биологическая активность наноразмерного коллоидного селена / И. Н. Никонов, Ю. Г. Фолманис, Л. В. Коваленко [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 447, № 6. – С. 675–677.
7. Вихрева В.А. Влияние селена на рост, развитие и адаптивный потенциал козлятника восточного (*Galera orientalis*): автореф. дис. на соискан. учен. степ. канд. биол. наук / Валерия Александровна Вихрева. – М., 2001. – 28 с.
8. Голубкина Н. А. Аккумуляция селена зерновыми культурами России / Н. А. Голубкина // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. – 2007, № 5. – С. 6–9.
9. Ловкова М. Я. Лекарственные растения – концентраторы селена. Перспективы расширения спектра использования / М. Я. Левкова, С. М. Соколова, Г. Н. Бузук // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418, № 5. – С. 709–711.
10. Кашин В. К. Биологическое действие и накопление селена в пшенице в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции / В. К. Кашин, О. И. Шубина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – № 19. – С. 151–156.

11. Пролонгированное воздействие ультрадисперсных порошков металлов на семена злаковых культур / В. Н. Селиванов, Е. В. Зорин, Е. Н. Сидорова [и др.] // Перспективные материалы. – 2001. – № 4. – С. 66–69.
12. Фиторемедиация как способ очистки и повышения биологической активности нефтезагрязненных почв / А. С. Григориади, Е. И. Новоселова, Н. А. Киреева // Аграрная Россия. – 2009. – Спецвыпуск. – С. 30–31.
13. Пат. 84626 МПК6 А 61 К 33/38, А 61 К 31/00. Спосіб отримання водорозчинної композиції наночастинок, яка містить наночастилки селену / І. М. Юркова, Е. П. Панова, Д. О. Панов, О. В. Омельченко: заявник і власник Таврійський національний університет; – № 201305453; заявл. 26.04.13; опубл. 25.10.13. Бюл. № 20.
14. Юркова И. Н. Защитно-стимулирующие свойства наноселена при инкрустации семян пшеницы / И. Н. Юркова, А. В. Омельченко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия». – 2016. – Т. 2 (68). – № 2. – С. 79–85.
15. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
16. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages / M. Hasanuzzaman, K. Nahar, M. Fujita // Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress / Eds. Ahmad P., Azooz M.M., Prasad M.N.V. Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V., 2013. – P. 25–87.

NAÑOSELENIUM AS AN INDUCER OF SALT TOLERANCE OF CEREALS AND ORNAMENTAL PLANTS

Jurkova I. N., Omel'chenko A. V., Pidgaynaya E. S.

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: nanosilver@rambler.ru*

As a result of anthropogenic factors, territory of saline areas is constantly increasing. Saline soils occupy almost a quarter of the land surface, including half of all irrigated land. The consequences of soil salinization are manifested in a decrease of plant productivity, in the violation of genetic biodiversity and in serious economic losses. Therefore, the resistance of cultivated plants to salinity is an urgent problem of crop production. The increase of saline areas negatively affects not only crop yields, but also ornamental and medicinal plants, as well as the protection of rare and endangered plant species. Phytohormones play a crucial role in the regulation of the plant stress resistance. The content of individual groups of phytohormones (cytokinins and gibberellins) is significantly affected by selenium. Selenium has an antioxidant effect in animal and human cells. However, very little work has been done on the effect of selenium on the antioxidant system of plants. The influence of various forms of selenium on the stress resistance of cultivated plants remains poorly understood.

The aim of this work was to study the effect of nanoselenium stabilized by sodium alginate on the salt tolerance of cereals and ornamental crops.

The objects of investigation were winter wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) of Podolyanka variety and French marigold (*Tagetes patula* L.). A water-soluble nanoselenium composition stabilized with sodium alginate was used in the experiments. To enhance the adhesion of nanoparticles to the surface of seeds, the surfactant «Liposam» was added to the nanoselenium composition.

For the first time, the protective effect of the selenium nanocomposite on the increase of the dry matter of wheat seedlings and marigold was studied. The research was conducted during early stages of ontogeny of plants under the conditions of simulated chloride salinity.

It was shown that the treatment of wheat seeds with nanoselenium reduced the inhibition of growth in comparison with control variant (without nanoselenium, 100 mM NaCl). At the same time, the dry matter content of both the roots and the above-ground part were observed to increase by 7.1–15.4 % and 3.1–11.5 %, respectively.

Under conditions of salt stress, treatment of marigold seeds with nanoselenium reduced the inhibition of seedlings as compared to the control variant at a concentration of 5.0–20.0 mg/L. Also increase in the dry matter was detected for both the roots and the above-ground part increased by 6.2–9.0 % and 5.5–9.3 %, respectively.

Keywords: nanoselenium, salt tolerance, wheat, marigold.

References

1. Kuznetsov V.I. V., Shevyakova N. I. Polyamines and plant adaptation to saline environments, *Desert Plants / Ed. Ramawat K.A. Heidelberg*; 261 (Dordrecht; London; New York: SpringerVerlag, 2010).
2. Chuniyovskaja V. N., Zhitova L. V., Vyrashhivanie lekarstvennyh rastenij na soloncevatyh pochvah Kryma, *Nauchnye trudy Juzhnogo filiala nacional'nogo universiteta bioresursov i prirodnopol'zovanija Ukrainy «Krymskij agrotehnologicheskij universitet»*. Serija: *Sel'skohozjajstvennye nauki*. **149**, 66-70 (2012).
3. Tkacheva M. S., Doseeva O. A. K voprosu o soleustojchivosti risa (obzor), *Nauchnyj zhurnal KubGAU*, **105** (01), 1-15 (2015).
4. Efimova M. V., Savchuk A. L., Hasan Dzh. A. K., Fiziologicheskie mehanizmy povyshenija soleustojchivosti rastenij rapsa brassinosteroidami, *Fiziologija rastenij*, **61**(6), 778-789 (2014).
5. Nikonov I. N., Folmanis Ju. G., Kovalenko L. V., Laptev G. Ju., Biologicheskaja aktivnost' nanorazmernogo kolloidnogo selena, *Doklady akademii nauk*, **447** (6), 675-677 (2012).
6. Vihreva V.A., Vlijanie selena na rost, razvitie i adaptivnyj potencial kozljatnika vostochnogo (*Galera orientalis*): avtoref. dis. kand. biol. Nauk, 28 p. (Moscow, 2001).
7. Golubkina N.A., Akkumulirovanie selena zernovymi kul'turami Rossii, *Doklady Rossijskoj Akademii sel'skohozjajstvennyh nauk*, **5**, 6-9 (2007).
8. Lovkova M.Ja., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Lekarstvennye rastenija – koncentraty selena. Perspektivy rasshirenija spektra ispol'zovanija, *Doklady Akademii nauk*, **418** (5), 709-711 (2008).
9. Kashin V.K., Shubina O.I. Biologicheskoe dejstvie i nakoplenie selena v pshenice v uslovijah selenodeficitnoj biogeohimicheskoj provincii, *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*, **19**, 151-156 (2011).
10. Selivanov V. N., Zorin E. V., Sidorova E.N, Prolongirovanoe vozdejstvie ul'tradispersnyh poroshkov metallov na semena zlakovyh kul'tur, *Perspektivnye materialy*, **4**, 66-69 (2001).
11. Grigoriadi A.S., Novoselova E.I., Kireeva N.A., Fitoremediacija kak sposob ochistki i povyshenija biologicheskoi aktivnosti neftezagryzennyh pochv, *Agrarnaja Rossija*, Specvypusk, 30-31 (2009).
12. Pat. 84626 MPK6 A 61 K 33/38, A 61 K 31/00. Sposib otrimannya vodorozchinnoi kompozitsii nanochastinok, yaka mistit' nanochastinki selenu / I.M. Yurkova, E.P. Panova, D.O. Panov, O.V. Omel'chenko : zayavnik i vlasnik Tavriys'kij natsional'nyj universitet; – № 201305453 ; zayavl. 26.04.13 ; opubl. 25.10.13. Byul. № 20.
13. Jurkova I. N., Omel'chenko A. V., Zashhitno-stimulirujushhie svojstva nanoselena pri inkrustacii semjan pshenicy, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*. Serija: «*Biologija, himija*», **2** (68) **2**, 9-85 (2016).
14. Lakin G. F., *Biometrija* (Moskov, Vyssh. shk., 1990).
15. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages, *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress / Eds. Ahmad P., Azooz M.M., Prasad M.N.V.*, 25 (Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V., 2013).