

УДК 57.05:58.5

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН *ZINNIA ELEGANS* НАНОСЕЛЕНОМ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

Юркова И. Н., Омельченко А. В.

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

Впервые исследовано действие наноселена на процессы роста и развития проростков *Zinnia elegans* в условиях моделируемого солевого стресса. Изучены закономерности увеличения всхожести семян, линейных размеров и массы сухого вещества побегов и корней проростков циннии от концентрации наноселена. Максимальный эффект влияния наноселена наблюдался при концентрации 20,0 мг/л. При этом отрицательное воздействие засоления на всхожесть снизилось на 9,4 %, на длину побегов и корней – на 19,0 % и 14,0 %, масса сухого вещества побегов и корней увеличилась на 12,1 % и 18,0 % соответственно по сравнению с контролем (без наноселена).

Ключевые слова: цинния изящная, наноселен, всхожесть, побеги, корни, стресс, засоление.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшее место в растениеводстве занимает проблема, связанная с адаптацией растений к неблагоприятным условиям внешней среды. К ним относится по праву почвенное засоление, охватывающее значительную часть земель. В результате антропогенного воздействия площадь засоленных почв постоянно увеличивается. Это отрицательно сказывается не только на растениях сельскохозяйственного назначения, но и на декоративных культурах. Широкое использование противогололёдных реагентов на дорогах также оказывает негативное влияние на декоративные культуры [1].

Почвенное засоление приводит не только к снижению продуктивности растений, но и нарушению биоразнообразия [2–4].

Механизмы солеустойчивости культурных растений связаны с адаптивными процессами, происходящими как на молекулярном, так и на организменном уровнях [5].

Способность к адаптации растений в неблагоприятных условиях осуществляется с помощью регуляторов роста, которые также осуществляют активацию процессов роста и корнеобразования [6, 7]. В настоящее время все большее внимание привлекает регуляторная роль селена и его антиоксидантные свойства [8]. Селен участвует в поддержании в клетке перекисного гомеостаза в составе активного центра фермента глутатионпероксидазы [9, 10]. В большинстве исследований влияния селена на рост и развитие растений, а также на накопление

селена в биомассе в стрессовых условиях использовали ионные формы селена (селенит- и селенат-ионы) [11–13]. В отличие от наноразмерного селена ионные формы селена проявляют значительную токсичность. Наночастицы селена являются биологически доступными и оказывают пролонгированное действие. Наибольшей биологической активностью обладают наночастицы селена, полученные методом «зеленой химии» с применением природных восстановителей и стабилизаторов. Влияние наноселена на солеустойчивость культурных растений, в том числе декоративных, изучено недостаточно.

Целью настоящей работы было исследование действия наночастиц селена, стабилизированных альгинатом натрия, на солеустойчивость проростков однолетней цветочной культуры *Zinnia elegans*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования была цинния изящная (*Zinnia elegans* Jacq.), которая широко используемая в ландшафтном дизайне. Ее популярность связана с длительным периодом цветения и высокой декоративностью [14].

Наночастицы селена (наноSe) со средним размером нанозерен 34 нм получали по оригинальной технологии [15]. Для этого селенистокислый натрий восстанавливали L-цистеином в присутствии стабилизатора альгината натрия (натриевая соль альгиновой кислоты).

Для исследования протекторного действия наноSe в условиях моделируемого хлоридного засоления семена замачивали в водных растворах в концентрации 5,0; 10,0; 20,0 и 30,0 мг/л (по селену). Время экспозиции семян в растворах наноSe составляло 4 часа. Контролем служили семена, замоченные в течение 4 часов в дистиллированной воде. Для исследования в чашки Петри помещали фильтровальную бумагу, увлажненную дистиллированной водой (контроль) или 100 мМ раствором NaCl и помещали в термостат при температуре 24 °C. Объем выборки составлял 50 семян в трехкратной повторности. На 10 сутки определяли лабораторную всхожесть, линейные размеры, массу сухого вещества побегов и корней.

Биомассу корней и надземной части проростков измеряли гравиметрическим методом, фиксируя растительный материал в течение 5 мин. при 110 °C, доводя его до постоянной массы при 60 °C.

Статистическую обработку полученных результатов проводили по стандартным методикам [16], а также с использованием программы Microsoft Office (Excel 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными критериями устойчивости растений к стрессовым факторам в условиях лабораторных исследований являются лабораторная всхожесть семян и морфометрические показатели.

Полученные результаты показали, что обработка семян *Z. elegans* наноSe увеличивала всхожесть в контрольном варианте (без засоления) на 3,2–14,1 %. В условиях солевого стресса наноSe значительно снижал отрицательное воздействие

NaCl. Максимальное увеличение всхожести наблюдалось при концентрации наноSe 20,0 мг/л как в контроле, так и в опытах с засолением. В условиях засоления всхожесть семян после обработки наноSe превышала контрольный вариант на 3,3 – 9,4 %. Увеличение концентрации наноSe до 30,0 мг/л приводило к снижению всхожести по отношению к контролю во всех вариантах опыта (рис. 1).

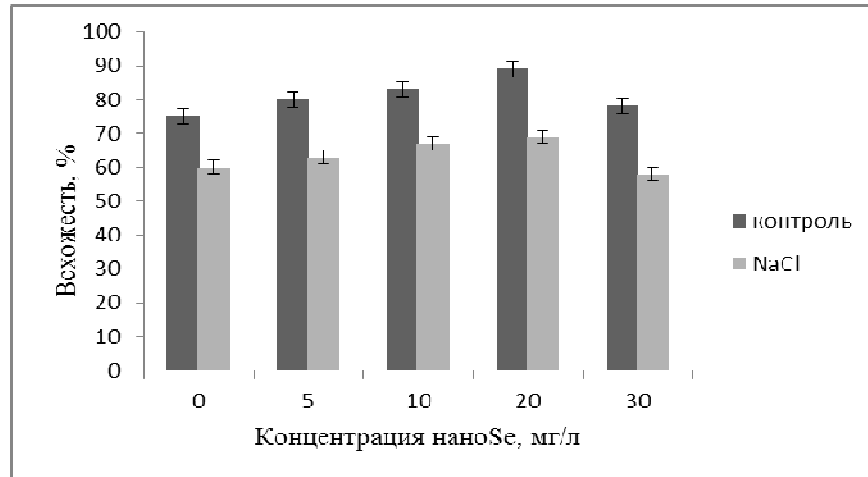


Рис. 1. Влияние наноSe на всхожесть семян *Z. elegans* в условиях моделируемого хлоридного засоления.

Защитная реакция растений в условиях стрессового воздействия приводит к задержке роста, что сказывается на изменении морфометрических параметров растений [17]. У растений *Z. elegans* в условиях роста без засоления с увеличением концентрации наноSe от 5,0 до 20,0 мг/л длина побегов и корней увеличивалась. При этом максимальное увеличение составляло 19,9 % и 9,1 % соответственно. В вариантах на фоне NaCl эта зависимость сохранялась. С ростом концентрации наноSe от 5,0 до 20,0 мг/л длина побегов и корней увеличивалась на 3,5–19,0 % и 5,6–14,0 % соответственно по сравнению с контролем и превышало значения контрольного варианта без засоления. При дальнейшем увеличении концентрации наноSe до 30,0 мг/л ростовая активность уменьшалась во всех вариантах (рис. 2, 3).

Анализ массы сухого вещества побегов и корней *Z. elegans* показал увеличение ее прироста в исследованном интервале концентраций наноSe при отсутствии засоления. Увеличение массы сухого вещества побегов составляло 4,5–16,7 %, у корней – 6,2 %–22,0 %. В условиях солевого стресса обработка семян наноселеном снижала угнетение ростовых показателей побегов и корней по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена). Максимальный прирост массы сухого вещества побегов и корней составлял 12,1 % и 18,0 % соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации наноSe вызывало уменьшение сырой и сухой массы растений, что свидетельствовало о слабом токсическом действии. Наиболее сильно это было выражено на фоне солевого стресса.

Засоление почв, прежде всего, сказывается на корневой системе, снижая способность растений поглощать воду [12].

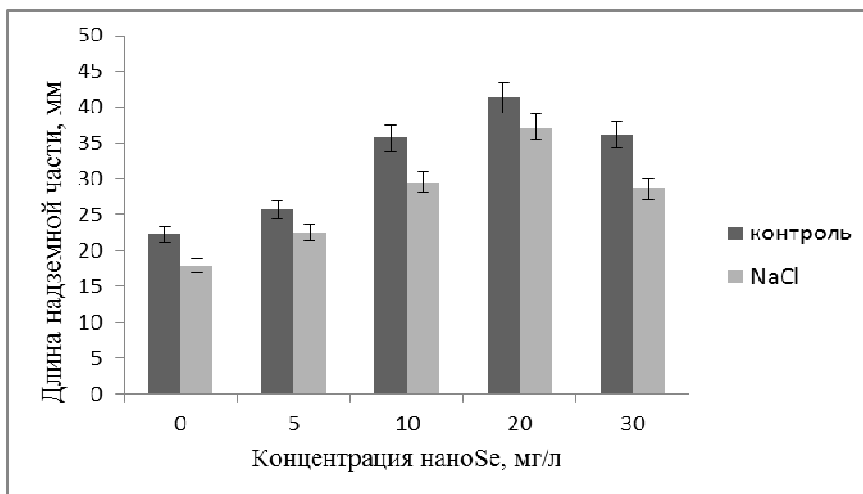


Рис. 2. Влияние nanoSe на длину побегов *Z. elegans* в условиях моделируемого хлоридного засоления.

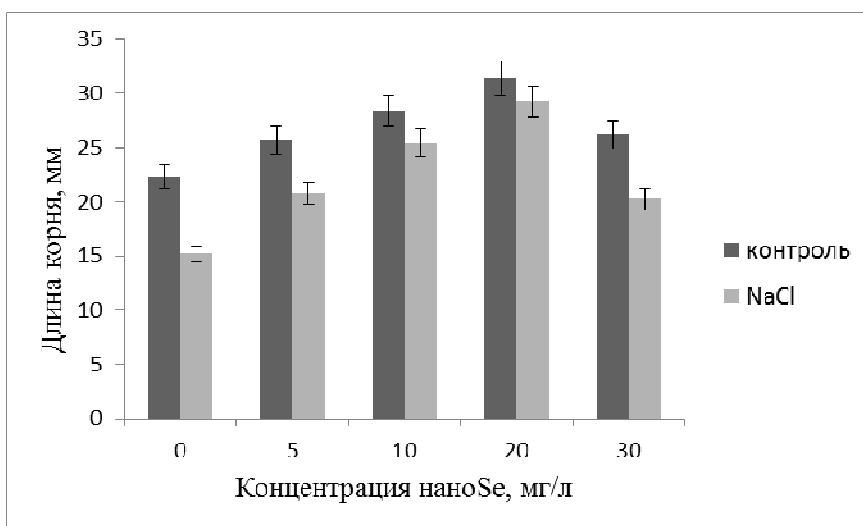


Рис. 3. Влияние nanoSe на длину корня *Z. elegans* в условиях моделируемого хлоридного засоления.

Обработка семян *Z. elegans* nanoSe приводила к увеличению прироста массы сухого вещества корней не только в вариантах без засоления, но и на фоне NaCl. Увеличение массы сухого вещества корней значительно превышало этот показатель

у побегов. В условиях моделируемого засоления 100 мМ NaCl вклад массы сухого вещества корней в общую массу проростка при оптимальной концентрации 20,0 мг/л наноSe увеличился на 7,0 % сравнению с контролем (без обработки наноSe). Это может свидетельствовать о протекторном действии наноSe в условиях стресса, вызываемого повышенными концентрациями NaCl.

Таблица 1

Влияние обработки семян *Z. elegans* композицией наночастиц селена на накопление массы сухого вещества 10-дневных проростков в условиях моделируемого засоления
($\bar{x} \pm S_x$)

Вариант опыта	Масса сухого вещества			
	корни, мг	побеги, мг	корни, %	побеги, %
Контроль 1 (без наноSe, H ₂ O)	2,73±0,12	2,22±0,12	100,0	100,0
наноSe 5,0 мг/л (H ₂ O)	3,00±0,13	2,32±0,14	109,9	104,5
наноSe 10,0 мг/л (H ₂ O)	3,16±0,14	2,47±0,15	115,8	111,3
наноSe 20,0 мг/л (H ₂ O)	3,33±0,13	4,96±0,15	122,0	116,7
наноSe 30,0 мг/л (H ₂ O)	2,90±0,13	5,05±0,16	106,2	109,0
Контроль 2 (без наноSe, 100 мМ NaCl)	1,78±0,12	1,65±0,11	100,0	100,0
наноSe 5,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,93±0,13	1,71±0,14	108,4	103,6
наноSe 10,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,00±0,14	1,80±0,13	112,4	109,1
наноSe 20,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,10±0,15	1,41±0,15	118,0	112,1
наноSe 30,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,71±0,14	1,37±0,14	96,1	98,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые исследовано действие наноселена на процессы роста и развития проростков циннии в условиях моделируемого солевого стресса.
2. Показано, что максимальный эффект влияния наноселена наблюдался при концентрации 20,0 мг/л.
3. Обработка семян циннии наноселеном уменьшало отрицательное воздействие засоления на всхожесть на 9,4 %, на длину побегов и корней – на 19,0 % и 14,0 %. При этом масса сухого вещества побегов и корней увеличилась на 12,1 % и 18,0 % соответственно по сравнению с контролем (без наноселена).

Работа публикуется в рамках выполнения темы госзадания Министерства образования и науки РФ с госбюджетным финансированием по теме № FZEG-2017-0016 «Разработка системы рационального использования декоративных фитобиологических ресурсов на территории Крыма»

Список литературы

1. Тюльдюков В.А. Газоноведение и озеленение населенных территорий / В.А. Тюльдюков, И. В. Кобозев, Н. В. Парахин. – М.: Колос, 2002. – 264 с.
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. Flowers T.J. Improving crop salt tolerance / T. J. Flowers // J. Exp. Bot. – 2004. – Vol. 55. – P. 307–319.
4. Munns R. Salinity tolerance of crops – what is the cost? / R. Munns, M. Gilliham // New Phytol. – 2015. – Vol. 208. – P. 668–673.
5. 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.
6. Jeks V. A. Plant abiotic stress / V. A. Jeks, P. M. Hasegawa. – Springer: Blackwell Publ., 2005. – 350 pp.
7. Kuznetsov V.I. Polyamines and stress tolerance of plants. Plant Stress / V.I. Kuznetsov, N.I. Shevyakova // Global Sci. Books. – 2007. – Vol. 1, No 1. – P. 50–71.
8. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области : монография / Г. Н. Чупахина, П. В. Маслеников, Л.Н. Скрыпник и др. – Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. – 145 с.
9. Arthur J.R. The glutathione peroxidases / J.R. Arthur // Cell Mol Life Sci. – 2000. – Vol. 57, No 13-14. – P. 1825–1835.
10. Nikonov I.N. Biological activity of nano-sized colloidal selenium / I. N. Nikonov, Ju. G. Folmanis, L. V. Kovalenko // Reports of the Academy of Sciences. – 2012. – Vol. 447, № 6. – С. 675–677.
11. Turakainen M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch / M. Turakainen, H. Hartikainen, M. M. Seppänen // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52. – P. 5378–5382.
12. Hasanuzzaman M. Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings / M. Hasanuzzaman, M. Fujita // Biol. Trace Elem. Res. – 2011. – Vol. 143. – P. 1758–1776.
13. Jiang C. Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na⁺ accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. / Jiang C., Zu C., Lu D., Zheng Q., Shen J., Wang H., Li D. // Sci Rep. – 2017. – (7). – P. 42039.
14. Филатов В.Н. О применении ростовых веществ при размножении хризантемы корейской методом черенкования / В. Н. Филатов // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 10. – С. 41–45.
15. Пат. РФ 159620 МПК6 А 61 К 33/38, А 61 К 31/00. Способ получения водорастворимой композиции наночастиц, содержащей наночастицы селена / Юркова И.Н., Панова Э.П.,

- Панов Д. А., Омельченко А.В. : патентообладатель Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского; – № 2015146880; заявл. 26.04.13; опубл. 10.02.16. Бюл. № 4.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
17. Negrão S. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress // S. Negrão, S. M. Schmöckel, M. Tester // *Annals of Botany*. – 2017. – Vol. 119. – P. 1–11.

THE EFFECT OF SEED TREATMENT OF *ZINNIA ELEGANS* WITH NANOSELENIUM ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDLINGS UNDER SALT STRESS

Yurkova I. N., Omel'chenko A. V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: nanosilver@rambler.ru

The problem of adaptation of plants to adverse environmental conditions possesses the most important place in crop production. This is especially true for soils that undergo salinization. This adversely affects agricultural plants and ornamental crops. Plants adapt to adverse conditions using growth regulators. Currently, much attention is attracted on the regulatory role of selenium and its antioxidant properties. In contrast to selenium nanoparticles, ionic forms of selenium exhibit significant toxicity. Nanoselenium is biologically accessible and has a prolonged effect, but its influence on salt tolerance of cultivated plants is not well understood.

The object of the study was *Zinnia elegans* Jacq. Selenium nanoparticles (nanoSe) were obtained by the original technology. Seeds were soaked in aqueous solutions of nanoSe at a concentration of 5.0; 10.0; 20.0 and 30.0 mg/L. The exposure time of seeds in nanoSe solutions was 4 hours. Seeds soaked for 4 hours in distilled water served as controls. Studies were carried out in Petri dishes on filter paper moistened with 5 ml of distilled water (control) or 100 mM NaCl solution in a thermostat at a temperature of 24 °C. The experiment was performed with 50 seeds in triplicate. On the 10th day, laboratory germination, linear dimensions, dry matter weight of sprouts and roots were determined. The biomass of the roots and the aerial parts of the seedlings was measured by the gravimetric method, fixing the plant material for 5 minutes at 110 °C, bringing it to constant weight at 60 °C.

The effect on the growth and development processes of *Z. elegans* seedlings under conditions of simulated salt stress was studied for the first time. The patterns of the increase of seed germination, linear dimensions and dry matter mass of sprouts and roots of zinnia seedlings as a reaction on the concentration nanoSe are studied. The most positive effect was observed at a concentration of 20.0 mg/L. At this concentration, the negative effect of salinity on germination decreased by 9.4 %. With increase of concentration of nanoSe, the length of sprouts and roots increased by 3.5–19.0 % and 5.6–14.0 %, respectively, compared with the salinized control and exceeded the values of the control variant without salinization. The maximum weight gain of dry matter of sprouts and roots was 12.1 % and 18.0 % compared with the control. With further increase in the concentration of nanoSe, growth activity decreased in all variants. Thus, the pre-sowing

treatment of *Z. elegans* seeds with selenium nanoparticles has a stimulating effect on the growth processes of plants in the early stages of ontogenesis under simulated salinity conditions.

Keywords: *Zinnia elegans*, nanoselenium, germination, sprout, root, stress, salinization.

References

1. Tyuldyukov V.A., *Law studies and gardening of populated areas*, 264 p. (M.: Kolos, 2002).
2. Kuznetsov V.I., Polyamines and plant adaptation to saline environments *Desert Plants* / Ed. Ramawat K. A., p. 261-298. (Heidelberg; Dordrecht; London; New York: SpringerVerlag, 2010).
3. Flowers T. J., Improving crop salt tolerance, *J. Exp. Bot.*, **55**, 307 (2004).
4. Munns R., Salinity tolerance of crops – what is the cost?, *New Phytol.*, **208**, 668 (2015).
5. Nikonov I.N., Folmanis Yu. G., Kovalenko L. V. i dr., Biological activity of nano-sized colloidal selenium, *Reports of the Academy of Sciences*, **447** (6), 675 (2012).
6. Jeks V.A., *Plant abiotic stress*, 350 p. (Springer: Blackwell Publ., 2005).
7. Kuznetsov V.I., Shevyakova N. I., Polyamines and stress tolerance of plants. *Plant Stress, Global Sci. Books.*, **1** (1), 50 (2007).
8. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N. i dr., *Antioxidant properties of cultivated plants of the Kaliningrad region: monograph*, 145 p. (Kaliningrad: Publishing House of the Baltic Federal University. I. Kant, 2016).
9. Arthur J.R., The glutathione peroxidases, *Cell Mol Life Sci.*, **57** (13-14), 1825 (2000).
10. Nikonov I.N., Biological activity of nano-sized colloidal selenium, *Reports of the Academy of Sciences*, **447** (6), 675 (2012).
11. Turakainen M., Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch, *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 5378 (2004).
12. Hasanuzzaman M., Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings, *Biol. Trace Elem. Res.*, **143**, 1758 (2011).
13. Jiang C., Zu C., Lu D., Zheng Q., Shen J., Wang H., Li D., Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na⁺ accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress, *Sci Rep.*, **7**, 420 (2017).
14. Filatov V.N., On the use of growth substances in the reproduction of chrysnem by the Korean method of cuttings, *Agrarian Scientific Journal*, **10**, 41 (2016).
15. Pat. 159620 MPK6 A 61 K 33/38, A 61 K 31/00. Sposob polucheniya vodorastvorimoy kompozicii nanochastich, sodержashchej nanochasticy selena / I.N. Yurkova, E.P.Panova, D.A. Panov, A.V. Omel'chenko : patentoobladatel' Krymskij federal'nyj universitet im. V.I. Vernadskogo; – № 2015146880; zayavl. 26.04.13; opubl. 10.02.16. Byul. № 4.
16. Lakin G. F., *Biometriya*, 352 p. (Moscow, Vyssh. shk., 1990).
17. Negrão S., Evaluating physiological responses of plants to salinity stress, *Annals of Botany*, **119**, 1 (2017).