

**ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НАНОЧАСТИЦАМИ СЕЛЕНА НА ДЛИНУ
И МАССУ ПРОРОСТКОВ РЕДИСА И ПОДСОЛНЕЧНИКА**

А.С. Курнушко¹, С.Г. Азизбеян², О.В. Молчан¹

А.С. Курнушко¹, аспирант

Научный руководитель – О.В. Молчан¹, к.б.н., доцент

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

²Институт физико-органической химии НАН Беларуси

Применение нанотехнологий становится все более востребованным в различных отраслях промышленности [0]. Нанотехнология обеспечивает получение веществ, имеющих широкие перспективы применения для диагностики заболеваний, получения биомаркеров, противомикробных препаратов, нанолечарств [0,0]. Разработка новых наноинструментов обещает революционные изменения, в том числе, и в сельском хозяйстве. В последние годы большое внимание уделяется использованию наночастиц в качестве одной из наиболее эффективных стратегий улучшения роста растений [0].

Селен (Se) - один из важнейших элементов для живых организмов. Отмечают, что наноразмерный селен является наиболее перспективной формой его применения. Наночастицы селена часто обладают меньшей токсичностью и большей биосовместимостью, чем органические или неорганические соединения Se, что привлекает внимание к их применению в качестве терапевтических

и тераностических агентов [1,5]. Селен важен и для полноценного функционирования растительного организма. Растения реагируют на экзогенное применение Se положительно или негативно в зависимости от вида и стадии роста, а также форм и доз применяемых препаратов [3]. При этом к настоящему времени практически не установлены механизмы, с помощью которых растения поглощают, транспортируют и трансформируют селен и наночастицы селена, включая их в процессы метаболизма [6].

Целью данной работы было исследование влияния различных режимов обработки семян редиса и подсолнечника наночастицами селена на рост проростков редиса и подсолнечника.

Объектом исследования являлись проростки редиса (*Raphanus sativus* L.) и подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Используемые в работе наночастицы селена были синтезированы в оболочке из биогенных полимеров [7]. Использовали наночастицы в концентрациях 100, 250, 500 и 1000 мг/л.

Семена подсолнечника стерилизовали в 3% растворе H_2O_2 в течение 10 минут, после чего трижды промывали дистиллированной водой. Семена редиса не стерилизовали. Семена, обработанные наночастицами в течение 3, 6, 9 часов, затем проращивали в термостате при 25°C в чашках Петри между слоями фильтровальной бумаги, смоченной дистиллированной водой. В качестве контроля использовали замоченные в дистиллированной воде и сухие семена. На 3 сутки определяли энергию прорастания семян, длину, сырую и сухую массу побегов и корней проростков.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Excel. Эксперименты проводили в трехкратной повторности. Для оценки достоверности различий между экспериментальными вариантами применяли однофакторный дисперсионный анализ. Различия показателей считали достоверными при $P < 0,05$ [80].

Одним из способов обработки семян является прайминг. Это технология предпосевной обработки, при которой семена умеренно увлажняются до того момента, когда начинаются метаболические процессы без фактического прорастания [9]. Прайминг семян является одним из эффективных подходов, который повышает скорость, обеспечивает равномерное прорастание, улучшает качество и формирование всходов, стимулирует ферментативную активность, регулируя процессы роста и развития проростка [0].

В данной работе было показано, что обработка наночастицами селена не изменяла энергию прорастания семян редиса и подсолнечника. Также не было выявлено достоверного эффекта наночастиц на сухую массу и длину побегов проростков. Хотя ранее в ряде работ отмечалась стимуляция прорастания семян некоторых растений (ячменя, риса, горчицы, капусты) под воздействием наночастиц селена [0, 10]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**,01]. Другие авторы обнаруживали стимулирующее действие наночастиц селена на длину и сухую массу побега проростков кунжута и горькой тыквы [02,14]. Это может быть связано с различными концентрациями, размерами и структурой используемых наночастиц, способами обработки и качеством семян, видоспецифичностью эффектов селена.

В то же время, было установлено, что замачивание семян в течение 6 часов в суспензии наночастиц селена концентрацией 250 мг/л приводило к увеличению сухой массы корней проростков редиса и подсолнечника в среднем на 10% и 25%, соответственно. Что согласуется с обнаруженным другими авторами увеличением сухой массы корня кунжута и подсолнечника под действием наночастиц селена [02, 13]. Наночастицы в концентрации 500 и 1000 мг/л стимулировали длину корня редиса в среднем на 50% и 80%, соответственно, при обработке в течение 3, 6 и 9 часов. Для семян подсолнечника эффективными концентрациями оказались 100 и 250 мг/л, увеличивая длину корня на 25 и 50%, соответственно. Обнаруженное увеличение длины корня под действием наночастиц селена может быть результатом стимуляции роста клеток растяжением и связано с активацией поглощения воды проростком. Это может быть важно, поскольку водопоглощающая способность растения на данном этапе роста является самой критичной для общей активизации метаболизма [15]. Растения, выращенные после прайминга семян, часто демонстрируют на клеточном уровне эффективную и быструю защитную реакцию против абиотических стрессов. Нанопрайминг для повышения устойчивости к абиотическому стрессу, очевидно, действует через различные пути, участвующие в метаболических процессах [16].

Таким образом, было установлено, что наночастицы селена не оказывали достоверного влияния по сравнению с контролем на прорастание семян, длину и сухую массу побегов редиса и подсол-

нечника. В то же время, замачивание семян в суспензии наночастиц приводило к увеличению сухой массы и особенно длины корней проростков. Наблюдаемые эффекты, могут свидетельствовать о стимуляции наночастицами Se водопоглощающей способности растений редиса и подсолнечника.

Список использованных источников

1. Siddiqui S. A. Effect of selenium nanoparticles on germination of *Hordeum vulgare* barley seeds / S. A. Siddiqui [et al.] // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, №. 7. – P. 862–876.
2. Rana K. L. Endophytic microbes in nanotechnology: current development, and potential biotechnology applications / K. L. Rana [et al.] // *Microbial endophytes*. – 2020. – Vol. 10. – P. 231–262.
3. El-Badri A. M. Mitigation of the salinity stress in rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity by exogenous applications of bio-selenium nanoparticles during the early seedling stage / A. M. El-Badri [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 310. – P. 119815.
4. Nayak V. Potentialities of selenium nanoparticles in biomedical science / V. Nayak [et al.] // *New Journal of Chemistry*. – 2021. – Vol. 45. – №. 6. – P. 2849–2878.
5. Ferro C. Selenium nanoparticles for biomedical applications: From development and characterization to therapeutics / C. Ferro, H. F. Florindo, H. A. Santos // *Advanced healthcare materials*. – 2021. – Vol. 10, №. 16. – P. 2100598.
6. Rahmat S. Effects, uptake, and translocation of selenium-based nanoparticles in plants / S. Rahmat // *Toxicity of Nanoparticles in Plants*. – Academic Press, 2022. – С. 267–298.
7. Азизбекян С. Г. Исследование эффективности микроудобрений на основе наночастиц биоэлементов / С. Г. Азизбекян, А. Р. Набиуллин, В. И. Домаш // *Нанотехника*. – 2012. – № 4. – С. 70–71.
8. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. Шк., 1973. – 320 с.
9. Farooq M. Seed priming in field crops: Potential benefits, adoption and challenges / M. Farooq [et al.] // *Crop and Pasture Science*. – 2019. – Vol. 70, №. 9. – P. 731–771.
10. Sarkar R. D. Se nanoparticles stabilized with *Allamanda cathartica* L. flower extract inhibited phytopathogens and promoted mustard growth under salt stress / R. D. Sarkar, M. C. Kalita // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8, №. 3. – P. e09076.
11. Adhikary S. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) / S. Adhikary [et al.] // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12, №. 1. – P. 7103.
12. Ahmad I. Phytomediated selenium nanoparticles improved physio-morphological, antioxidant, and oil bioactive compounds of sesame under induced biotic stress / I. Ahmad [et al.] // *ACS Omega*. – 2023. Vol. 8, №. 3. – P. 3354–3366.
13. Amin M. A. et al. The Potency of fungal-fabricated selenium nanoparticles to improve the growth performance of *Helianthus annuus* L. and control of cutworm *Agrotis ipsilon* / M. A. Amin [et al.] // *Catalysts*. – 2021. – Vol. 11, №. 12. – P. 1551.
14. Sheikhalipour M. Chitosan–selenium nanoparticle (Cs–Se NP) foliar spray alleviates salt stress in bitter melon / M. Sheikhalipour [et al.] // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11, №. 3. – P. 684.
15. Исайчев В. А. Влияние регуляторов роста на ранних этапах роста и развития растений озимой пшеницы / В. А. Исайчев, Е. В. Провалова // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2012. – №. 3. – С. 80–85.
16. Bhanuprakash K. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview / K. Bhanuprakash, H. S. Yogeesh // *Abiotic stress physiology of horticultural crops*. – 2016. – №. 1. – P. 103–117.