

УДК 546.06: 574/577

**КОНЦЕНТРАЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ Ni НА СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ
В ТКАНЯХ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ**А.С. Шептор¹Научные руководители: к.т.н. А.Ю. Годымчук¹, к.б.н. А.В. Куровский²¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, 634050

E-mail: asheptor@gmail.com

**CONCENTRATION EFFECT OF Ni NANOPARTICLES ON IONIC CONTENT IN SEEDLINGS
TISSUE OF WHEAT**A.S. Sheptor¹Scientific Supervisors: Dr. A.Yu. Godymchuk¹, Dr. A.V. Kurovsky²¹Tomsk Polytechnic University, 30 Lenina avenue, Tomsk 634050 Russia²Tomsk State University, 36 Lenina avenue, Tomsk 634050 Russia

E-mail: asheptor@gmail.com

Abstract. *The content of nutrients, in particular, nitrogen and potassium, in the tissues of seedlings is one of the main physiological indicators associated with production processes in plants. In our study, we showed the influence of nickel nanoparticles concentration on the content of K^+ and NO_3^- ions in the extracts obtained from the wheat seedlings tissues. It was revealed that the addition of suspensions of Ni nanoparticles with an average size of 80 nm at the concentration range of 30...300 mgL^{-1} did not have a statistically significant effect on mineral state of the seedlings. The electrical conductivity of the extracts remained at the level of $580 \pm 29 \mu S \cdot cm^{-1}$, while the content of K^+ and NO_3^- ions was 1814 ± 214 and 1521 ± 78 mEq/kg of dry weight, respectively. Although, there were no obvious trends in the studied parameters in the concentration series of nanoparticle suspensions, while adding ions of Ni^{2+} lead to 15...45% increase of estimated parameters for seedlings.*

Введение. Благодаря высокому спросу, производство наночастиц постоянно растет, а, следовательно, растет число источников их выделения в окружающую среду, включая атмосферу [1], гидросферу и литосферу [2]. Поэтому изучение влияния наночастиц на компоненты окружающей среды является очень важной задачей.

Несмотря на то, что никель в наноразмерном состоянии при определенных условиях может оказывать токсическое действие на растения [3], есть данные об участии никеля в регуляции активности фермента нитратредуктазы в растительных тканях [4], функционирование которого обеспечивает протекание многих важных физиологических процессов, в том числе, стадий физиологического пробуждения и прорастания семян, включая процессы первичного корнеобразования [5].

Целью работы являлась оценка электропроводности и содержания ионов K^+ и NO_3^- в тканях проростков при добавлении в среду прорастания наночастиц Ni и ионов Ni^{2+} в концентрационном диапазоне от 30 до 1000 мг/л.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны наночастицы Ni, полученные методом электрического взрыва никелевой проволоки (диаметр 0,3 мм, длина 75 мм) в среде аргона при избыточном давлении $1,52 \cdot 10^5$ Па и зарядном напряжении емкостного накопителя 24 кВ. Для стабилизации нанопорошков на частицы наносили оксидную пленку малыми порциями воздуха. Согласно данным производителя частицы Ni имеют состав Ni и NiO, соответственно 95 и 5 мас.% (ООО «Передовые порошковые технологии, Томск, Россия) и средний размер 80 нм. В качестве источников ионов Ni^{2+} использовали соль $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (ГОСТ 4038-79, х.ч.). Перед добавлением в среду прорастания готовили суспензии и растворы с концентрацией никеля 30...1000 мг/л. Для взвешивания частиц и веществ использовали аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность $\pm 0,0001$). Все суспензии обрабатывали 1 ч в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 50 Вт).

Эксперимент включал в себя замачивание и проращивание семян пшеницы сорта Ирень в чашках Петри в течение 48 ч с добавлением суспензий наночастиц Ni и растворов ионов Ni^{2+} с концентрацией 30...1000 мг/л, приготовленных на основе питательного раствора Хьюитта [6], и последующее 9-суточное культивирование проростков в специальных вегетационных сосудах. После культивирования отделяли корни и побеги, высушивали в сушильном шкафу при $105^\circ C$ в течение 12 ч и использовали для приготовления водных экстрактов, для чего сухую навеску (~0,5 г) растирали пестиком в фарфоровой ступке и разводили в 200 раз (по сухой массе) дистиллированной водой. Далее переливали в бутылки из темного стекла, закрывали крышкой, встряхивали в течение 1 ч на шейкере при 150 об/мин и оставляли на 24 ч при $22 \pm 2^\circ C$ для анализа.

Концентрацию ионов K^+ и NO_3^- в водных экстрактах определяли потенциометрическим методом с помощью ионометра ИПЛ-103 (Мультитест, Россия), снабженного ионоселективными электродами (ЭЛИС-121К для измерения K^+ , ЭЛИС-121NO3 – для NO_3^-), электродом сравнения ЭВЛ-1 МЗ.1. Электропроводность измеряли с помощью портативного кондуктометра Dist-3 (Hanna Instruments, США). Относительная ошибка измерений не превышала 2%.

Основные результаты. Согласно полученным данным, добавление наночастиц Ni и ионов Ni^{2+} не оказывало статистически значимого влияния на исследуемые показатели во всем концентрационном диапазоне. Например, при добавлении 30 мг/л наночастиц Ni в среду прорастания электропроводность экстрактов составила $595 \text{ мкС} \cdot \text{см}^{-1}$, что на 12 % больше по сравнению с контролем (рис.1а). Видно, что отклонения электропроводности экспериментальных проб в среднем не превышают 12%. В случае измерения содержания K^+ и NO_3^- , отклонения значений для экстрактов тканей, выращенных при добавлении наночастиц, составили в среднем 13 (рис.1б) и 20% (рис.1в).

Воздействие на проростки ионов Ni^{2+} приводило к значимому снижению электропроводности в тканях побегов в среднем на 15% для концентрации 30 мг/л, а при увеличении содержания ионов электропроводность уменьшалась. Например, в ряду концентраций ионов Ni^{2+} 30...100...300 мг/л величина электропроводности уменьшалась на 15...30...45% по сравнению с контролем (рис.1а). В отношении ионов калия и нитратов наблюдается идентичная картина (рис.1б, 1в). При добавлении 1000 мг/л ионов в среду прорастания проростки полностью угнетались и не проросли.

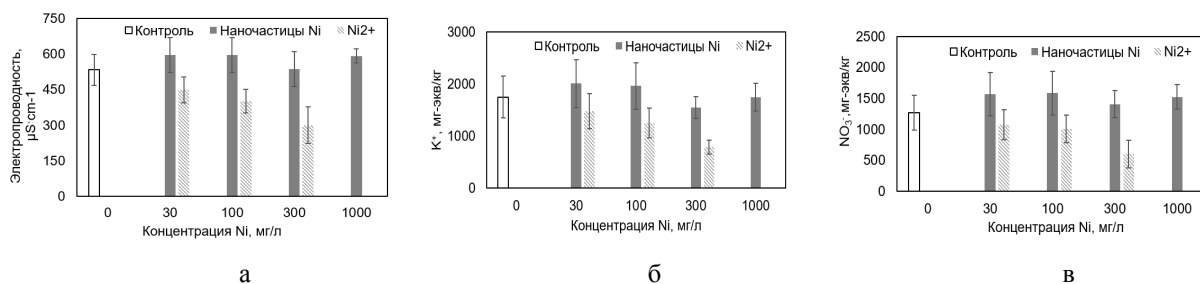


Рис. 1. Влияние концентрации наночастиц Ni и ионов Ni²⁺ на электропроводность (а), содержание NO₃⁻ (б) и K⁺ (в) в экстрактах тканей 9-суточных побегов пшеницы

Дополнительно, мы сравнили электропроводность в трех средах прорастания семян через 4 суток и показали, что добавление наночастиц Ni в среду прорастания не влияет на ее электропроводность (1731 ± 190 мкС·см⁻¹ по сравнению с контролем 1621 ± 190 мкС·см⁻¹), в то время как после добавления ионов Ni²⁺ электропроводность увеличилась в 2 раза (3531 ± 230 мкС·см⁻¹). В целом, это дает возможность предположить, что исследуемые наночастицы Ni являются химически инертными, т.е. не реакционно способными в растении, т.к. практически не переходят в ионную форму. Более того, есть вероятность, что наночастицы и их агрегаты вообще не преодолевают мембранные барьеры корневых клеток растений.

Заключение. Таким образом, на примере электровзрывных наночастиц Ni со средним размером 80 нм показано, что электропроводность и содержание ионов K⁺ и NO₃⁻ в экстрактах побегов, полученных от 9-суточных проростков пшеницы сорта Ирень при воздействии наночастиц Ni в диапазоне концентраций 30...300 мг/л изменялись в рамках ошибки по сравнению с контролем. Пролонгированные эффекты воздействия на проростки пшеницы ионов Ni²⁺ выражались в значимом снижении электропроводности, содержания K⁺ и NO₃⁻ в экстрактах тканей побегов во всем концентрационном ряду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hewitt R. E., Chappell H. F., Powell J. J. Small and dangerous? Potential toxicity mechanisms of common exposure particles and nanoparticles // *Current Opinion in Toxicology*. – 2020. – Vol.19. – P.93-98.
- Shrivastava M., Srivastav A., Gandhi S., Rao S., Roychoudhury A., Kumar A., Singhal R. K., Jha S. K., Singh S. D. Monitoring of engineered nanoparticles in soil-plant system: A review // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. – 2019. – Vol.11. – P.100218.
- Tombuloglu H., Slimani Y., Tombuloglu G. Tracking of NiFe₂O₄ nanoparticles in barley (*Hordeum vulgare* L.) and their impact on plant growth, biomass, pigmentation, catalase activity, and mineral uptake // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. – 2019. – Vol.11. – P.100223.
- Битюцкий Н. П. Минеральное питание растений, Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета. – 2014. – 548 с.
- Shahzad B., Tanveer M., Rehman A., Cheema S. A., Fahad S., Rehman S., Sharma A. Nickel: whether toxic or essential for plants and environment - A review // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2018. – Vol.132. – P.641-651.
- Kim W., Park J., Suh C., Chang H., Lee J. Fabrication of alloy nanopowders by the electrical explosion of electrodeposited wires // *Materials Letters* – 2007. – V. 61 – P. 4259–4261.