

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ И ИОНОВ НИКЕЛЯ НА КОРНЕ- ОБРАЗОВАНИЕ ПШЕНИЦЫ

Введение

Благодаря быстрому росту нанотехнологий, создается все больше источников выделения наночастиц в окружающую среду и, соответственно, растет обеспокоенность относительно их влияния на природу. Концентрации промышленных наночастиц, выделяемых в природные воды, почвы и воздух будут продолжать увеличиваться, что, может привести к накоплению наночастиц в осадках, отложениях и грунтах и активному взаимодействию наночастиц с растениями. Например, есть данные о токсичности никельсодержащих наночастиц при их добавлении в среду прорастания пшеницы [1], ячменя [2] и дерезу обыкновенную [3]. При этом несмотря на то, что никель является канцерогенным металлом, есть данные об участии никеля в регуляции активности нитратредуктазы в растительных клетках [4].

Весьма противоречивые данные свидетельствуют о необходимости накопления информации о влиянии никеля в разной форме на протекание физиологических процессов, в том числе, стадий физиологического пробуждения и прорастания семян, включая процессы первичного корнеобразования.

Целью исследования являлось установление влияния никеля в форме наночастиц и ионов на параметры роста корня проростков.

Экспериментальная часть

В работе использовали нанопорошок никеля (Ni), полученный с помощью электрического взрыва никелевой проволоки в среде аргона в ООО «Передовые порошковые технологии» (г. Томск, Россия). Согласно данным рентгенофазового анализа нанопорошок содержал 95 мас.% металлического Ni, остальное – NiO. В качестве источника ионов использовали NiCl₂•6H₂O (ГОСТ4038-79, ч.д.а.). Основной для приготовления суспензий наночастиц и растворов, а также контролем, являлся питательный раствор Хьюитта с суммарной концентрацией макроэлементов 18 мг-экв/л. Концентрация никеля в суспензиях и растворах соли составляла 30...1000 мг/л. Для оптимального диспергирования и придания максимальной гомогенности суспензии наночастиц подвергали ультразвуковой обработке в течение часа в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 50 Вт). Эту же процедуру проводили для растворов солей.

Морфологию наночастиц определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа Merlin (SEM, Carl Zeiss, Германия). Перед съемкой на порошок, нанесенный тонким слоем на проводящий скотч, напыляли пленку углерода; съемку проводили при ускоряющем напряжении 0,1...20 кВ. Обработку изображений проводили в программе ImageJ.

В качестве тест-объекта использовали семена пшеницы яровой сорта Ирень (*Triticum aestivum* L.) – раннеспелый и урожайный сорт с вегетационным периодом 70-80 дней (масса 1000 зерен – 32-40 г).

В стеклянные чашки Петри диаметром 90 мм закладывали по 25 семян пшеницы на фильтровальную бумагу, смоченную 7 мл среды прорастания. Закрытые чашки заворачивали в полиэтиленовую пленку (для предотвращения испарения влаги) и инкубировали в суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ (Смоленское СКТБ СПУ, Россия) в течение 48 ч при $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Затем семена выкладывали на темный фон, фотографировали и измеряли длины проросших корней посредством метода компьютерной морфометрии с использованием программы ImageJ. Для калибровки изображений использовалась линейка точностью 0,5 мм. Полученную длину проростка использовали для расчета степени подавления корня (RI, %) по формуле:

$$RI = \frac{L_0 - L_1}{L_0} * 100\% .$$

где L_1 и L_0 – средняя длина корня проростка в среде образца и в среде контроля, соответственно.

Всхожесть семян определяли, как отношение проросших и взшедших семян в %.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным электронной микроскопии частицы никеля имеют условно сферическую форму (рис.1а). Распределение частиц составляет 17...129 нм (рис.1б), а средний размер частиц – 57 ± 23 нм.

Визуальное сравнение морфологии проростков после экспозиции в среде контроля и в никель-содержащих средах в наименьшей концентрации не позволило обнаружить какого-либо различия. Однако, анализ полученных данных показал, что при добавлении никеля в концентрации 30 мг/л длина корня уменьшается на 13 и 29%, соответственно, для наночастиц Ni и ионов Ni^{2+} (рис. 2а). При увеличении концентрации никеля в среде прорастания, степень подавления роста корня увеличивается. Например, в ряду концентраций ионов Ni^{2+} 100...300...1000 мг/л степень подавления корня проростка составила 55...100...100% (рис. 2а). В то же время для наночастиц ситуация дру-

гая: при концентрации ≤ 300 мг/л морфология корня меняется в пределах ошибки этого эксперимента (до 15%), и только при более высокой концентрации (1000 мг/л) наблюдается статистически значимое угнетение корня (до 37%, рис.2а).

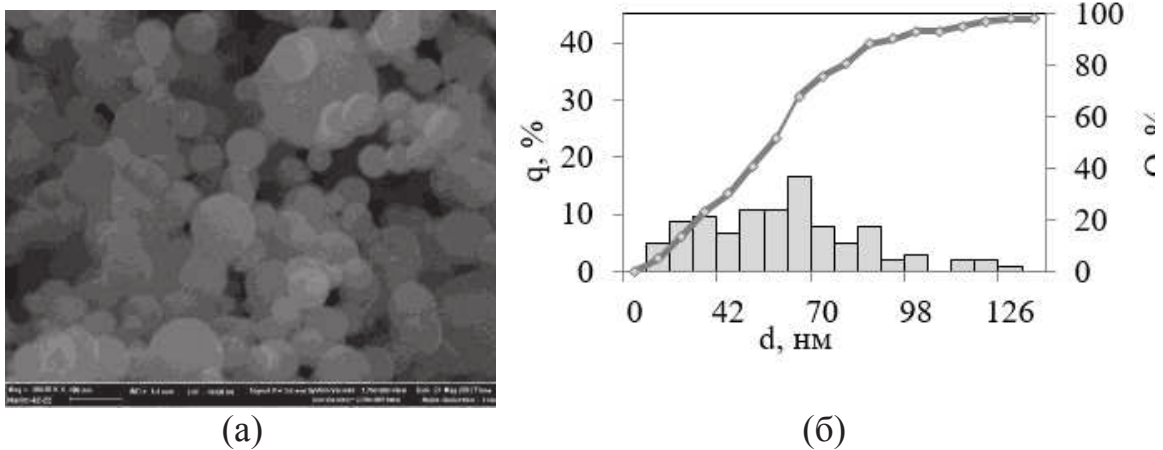


Рис. 1. Микрофотография наночастиц Ni (а) и распределение частиц по размерам (б)

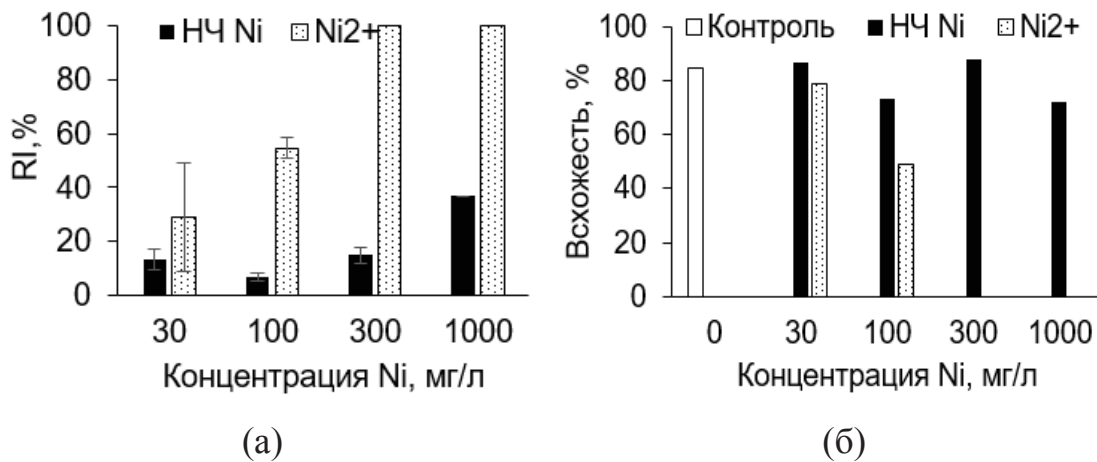


Рис. 2. Изменение степени подавления корня проростка (RI, %) (а) и всхожести (б) в средах наночастиц Ni и ионов Ni^{2+} .

Далее показано, что всхожесть семян, выращенных при добавлении наночастиц Ni во всем интервале выбранных концентрацией, варьируется в пределах значения всхожести контрольного варианта $\sim 72...82\%$ (рис.2б). При добавлении в среду прорастания ионов Ni^{2+} в самой низкой концентрации всхожесть семян слабо зависит от присутствия хлорида никеля ($\sim 75\%$). Однако, далее при увеличении концентрации Ni^{2+} до 100 мг/л всхожесть семян снижается на 30%. При

концентрации ионов ≥ 300 мг/л жизнеспособность семян полностью подавлена, семена не всходят (рис.2б).

Заключение

Таким образом, в работе произведено сравнение влияния промышленных наночастиц никеля со средним размером 57 нм и ионов никеля на корнеобразование проростков пшеницы сорта «Ирень». Установлено, что добавление в среду прорастания наночастиц никеля в концентрации 30...100 мг/л не оказывает влияния на всхожесть семян, а корнеобразование подавляется не более, чем на 16%. В то время, как в Ni^{2+} -среде – всхожесть семян снижается до 40%, а длина образующихся корней у проростков уменьшается на 30...60%. При концентрации никеля 300...1000 мг/л в присутствии Ni^{2+} полностью подавляется жизнеспособность семян, тогда как в среде с наночастицами сохраняется всхожесть на уровне контроля, а корень подавляется не более, чем на 30%.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Saleh A. M., Hassan Y.M., Selim S., AdbElgamad H. NiO-nanoparticles include reduced phytotoxic hazards in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under future climate CO_2 // Chemosphere. – 2019. – Vol.220. – P.1047-1057.
- 2.Tombuloglu H., Slimani Y., Tombuloglu G. Tracking of NiFe_2O_4 nanoparticles in barley (*Hordeum vulgare* L.) and their impact on plant growth, biomass, pigmentation, catalase activity, and mineral uptake // Environmental Nanotechnology. – 2019. – Vol.10223. – P.2215-1532.
- 3.Pinto M., Soares C., Pinto S. A., Fidalgo F. Phytotoxic effects of bulk and nano-sized Ni on *Lycium barbarum* L. grown *in vitro* – Oxidative damage and antioxidant response // Chemosphere. – 2019. – Vol.218. – P.507-517.
- 4.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.