

Хэ Яньни (Китай),
Годымчук Анна Юрьевна (Россия),
Куровский Александр Васильевич (Россия)
Томский политехнический университет, г. Томск
Томский государственный университет, г. Томск
Научные руководители: Годымчук Анна Юрьевна,
канд. техн. наук, доцент ТПУ;
Куровский Александр Васильевич,
канд. биол. наук., доцент ТГУ

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ НА КОРНЕОБРАЗОВАНИЕ

Введение

Производство наночастиц Ni постоянно растет благодаря перспективам их применения для изготовления катализаторов [1], магнитных [2] и проводящих материалов [3]. Синтез наночастиц всегда сопровождается их выделением в атмосферу, гидросферу и литосферу [4]. При попадании в почву наночастицы могут взаимодействовать с корнями растений и негативно влиять на их развитие. Например, при уменьшении размера токсичность наночастиц Ni(OH)₂ по отношению к бобам увеличивается [5], и с увеличением концентрации наночастицы Ni могут подавлять развитие корня кориандра [6]. Однако, несмотря на имеющиеся результаты, до сих пор недостаточно данных для построения кривой «доза-эффект» для наночастиц Ni в отношении высших растений.

Целью данного исследования было изучение влияния концентрации наночастиц Ni на корнеобразование пшеницы.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования были выбраны наночастицы Ni, полученные методом электрического взрыва никелевого проводника. Согласно данным производителя (ООО «Передовые порошковые технологии», Россия) частицы имели состав Ni (99,8%мас.), средний размер частиц – 70 нм и удельную поверхность – 6,0 м²/г.

Для эксперимента использовали семена пшеницы сорта Ирень, полученные от ИП Орищенко, урожая 2020 г. (Томский район, Россия, масса 1000 зерен 35-42 г.).

Для замачивания семян готовили суспензии наночастиц на основе питательного раствора Хьюитта с суммарной концентрацией макроэлементов 18 мг-экв/л, который является универсальным и общепризнанным питательным раствором для гидропонных систем и проведения физиологических экспериментов на растениях в условиях водной культуры [7].

Раствор Хьюитта также использовали в качестве контрольной среды для проращивания семян пшеницы. В суспензиях концентрация наночастиц составляла 30, 100, 300 и 1000 мг/л. Для взвешивания использовали весы ALC-110d4 (ACCULAB, Россия, $\pm 0,0001$ г). Все суспензии и растворы обрабатывали в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, мощность 55 Вт) в течение 15 мин.

В эксперименте на дно чашки Петри (диаметр 9 см) размещали фильтровальную бумагу, на которую равноудаленно помещали 15 семян. Фильтровальную бумагу увлажняли, добавляя по 7 мл среды прорастания – суспензии или контроль. Затем закрытые чашки выдерживали термостате ТС-1/80 (СПУ, Россия) при $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (рис.1). Через 72 ч семена стерильным пинцетом доставали из чашек Петри и выкладывали на черный фон для фотографирования с масштабной линейкой. Изображения использовали для компьютерной морфометрии семян. Проросшим семенем считали семя, у которого образовалось не менее трех корней с длиной, превышающей длину зерна. Измеряли среднюю длину корня (L , см) и определяли всхожесть (G , %) как отношение числа проросших семян к общему числу замоченных семян.

Пророщенные семена переносили в пластиковые гидропонные стаканы оригинальной конструкции, имеющие двойное дно [8]. На верхнее перфорированное дно выкладывали проростки (рис.2), и стакан заполняли (300 мл) дистиллированной водой ($\text{pH}=6,5 \pm 0,2$, дистиллятор АЭ-25 МО (ОАО ТЗМОИ, Тюмень, Россия). Культивирование проводили при фотопериоде «день : ночь» – «12 ч : 12 ч» 7 дней при комнатной температуре. По окончании эксперимента для каждого проростка измеряли длину корней и побегов. Далее рассчитывали корневой индекс (RI , уд. ед.), как отношение суммарной длины корней к суммарной длине побега.

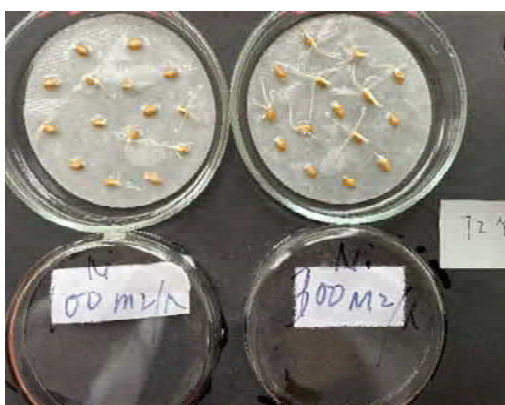


Рис. 1. Чашка Петри с проросшими семенами.



Рис. 2. Культивирование побегов в гидропонных стаканах.

Результаты и обсуждение

Результаты первичных экспериментов показали, что добавление наночастиц Ni в среду прорастания при 72 ч замачивании семян способствует стимулированию корнеобразования: так, при концентрации частиц 30 мг/л длина корня увеличивается на 32 % (рис.3а). Далее при концентрации наночастиц ≤ 300 мг/л прослеживается закономерность: чем больше содержание частиц, тем сильнее стимулирование. В ряду концентраций 30...100...300 мг/л величина L составила 2,3...2,4...2,8 см, соответственно (рис.3а). Однако, при дальнейшем увеличении концентрации до 1000 мг/л корнеобразование угнетается, и средняя длина корня уменьшается.

Видно, что по сравнению с контролем всхожесть пшеницы в присутствии наночастиц всегда выше на 33%, за исключением концентрации 300 мг/л (G на 7% выше, чем у контроля) (рис. 3а).

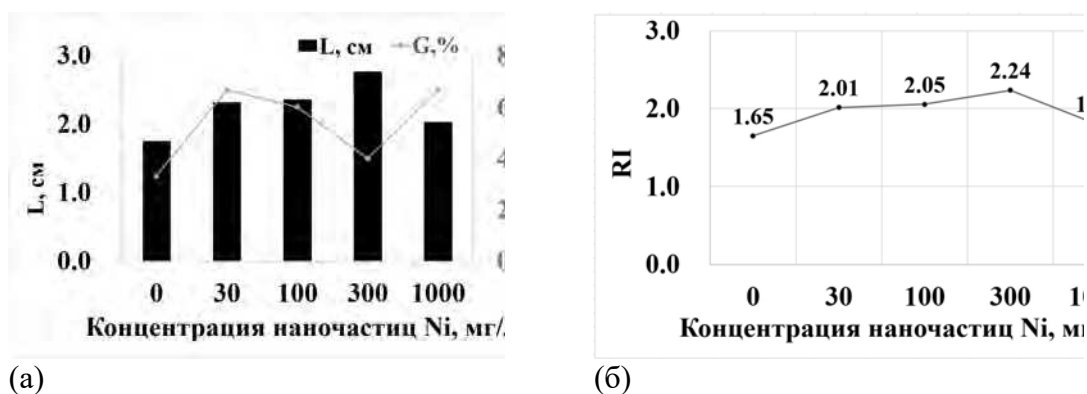


Рис. 3. Влияние концентрации наночастиц Ni (а) на длину корня (L, см) и всхожесть (G, %) 3-суточных проростков и (б) корневой индекс (RI, уд.ед.) 7-суточных побегов пшеницы.

Корневой индекс свидетельствует о реакции растения на внешние факторы: чем больше RI, тем больше (по длине) образуется корней по сравнению с наземной частью растения. При $RI > 1$ у проростка превалирует корневая часть, что является одним из показателей стрессоустойчивости [8]. Согласно полученным данным, при замачивании семян в суспензиях наночастиц корневой индекс проростков пшеницы возрастает как минимум на 9%. В диапазоне концентраций 30...300 мг/л чем больше наночастиц в среде прорастания, тем выше величина RI (в 1.4 раза больше по сравнению с контролем при 300 мг/л, рис.3б). Далее видно, что развитие корней тормозилось с увеличением концентрации наночастиц до 1000 мг/л.

Заключение

С применением промышленных электровзрывных наночастиц Ni со средним размером 70 нм, показано влияние концентрации наночастиц на

морфометрические параметры проростков пшеницы сорта Ирень. Показано, что добавление в среду замачивания семян наночастиц Ni в концентрации 30...300 мг/л стимулирует корнеобразование пшеницы: длина корня 3-суточного проростка увеличивается на 32...57%, всхожесть – минимум на 7 %, корневой индекс 7-суточных побегов – на 22...36 % по сравнению с контролем. При концентрации частиц > 300 мг/л наночастицы могут развивать токсическую реакцию, что требует дальнейших экспериментов.

Результаты получены с применением оборудования ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saini B., Tathod A.P., Diwakar J., Arumugam S., Viswanadham N. Nickel nano-particles confined in ZSM-5 framework as an efficient catalyst for selective hydrodeoxygenation of lignin-derived monomers // Biomass and Bioenergy. – 2022. – Vol.157. – P.106350.
2. Shahzad A., Khan I.A., Manzoor A., Kashif M., Ahsan M., He M., Razzokov J. Synthesis of nickel nanowires (Ni-NWs) as high ferromagnetic material by electrodeposition technique // Haliyon. – 2023. – Vol.9. – P.12576.
3. Rezaga B. F. Y., Balela M.D.L. Synthesis and characterization of nickel-coated copper nanowires for flexible conductive thin film applications // Aterialstoday. – 2020. – Vol.22. –P.241–247.
4. Ahmed T., Noman M., Manzoor N., Ali S., Rizwan M., Ijaz M., Allemailem K.S., BinShaya A. S., Alhumaydhi F.A., Li B. Recent advances in nanoparticles associated ecological harms and their biodegradation: Global environmental safety from nano-invaders // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol.9. – P.106093
5. Oliveira J. B., Marques J. P. R., Rodak B. W., Galindo F. S., Carr N. F., Almeida E., Araki K., Gonçalves J. M., Reis A. R. , Entf A., Carvalho H. W. P., Lavres J. Fate of nickel in soybean seeds dressed with different forms of nickel // Rhizosphere. – 2022. – Vol.21. – P.100464.
6. Abdolhossein M., Shakib E.S., Ebrahimi O., Sharifi-Rad J. Impacts of nickel nanoparticles on grow characteristics, photosynthetic pigment content and antioxidant activity of Coriandrum sativum L. // Oriental Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 33(3). – P.1297-1303.
7. Hewitt E.J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition // Experimental Agricultural. – 1966. – Vol. 3(2). – 547 p.

8. Куровский А.В., Андреева Ю.В., Брейт Д.В., Шептор А.С., Ромашова Д.Е., Стародубцев А.Е., Петроченко К.А., Якимов Ю.Е. Влияние вод рек Улу-Юл и Илиндук на аллометрические соотношения корень/побег у пшеницы и томатов // Гуминовые вещества в водах бассейна реки Улу-Юл. Эколого-физиологическое влияние на растения, под ред. Куровского А.В., Куровского В.Н. (Вып. 1). – Томск: Изд-во ТГУ, 2019. – С. 52-99.

Цай Дини (Китай),
Пань Мэнхуа (Китай),
Цзи Синьюй (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Воронова Гульнара Альфридовна,
канд. хим. наук, доцент

МЕТОД АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

***Abstract.** The study characterized the surface roughness of anodic aluminum oxide (AAO) films by using atomic force microscopy (AFM). The surface of the AAO thin film prepared under different treatment time was imaged by AC electron charge integral scanning probe microscope (ACM), and the correlation analysis was carried out. The experimental results show that when the preparation time is about 1 hour, the average surface roughness of AAO is about 3.2 nm; and as the preparation time continues to increase, the roughness gradually increases and presents a complex pore structure. In addition, by comparing the SEM images and AFM images of AAO films, some limitations and differences between the two methods in characterizing the AAO surface roughness were found, and the possible reasons for these differences were discussed.*

Введение. Анодированный оксид алюминия (АОА) может образовывать на своей поверхности регулярно расположенную пористую структуру и имеет широкий спектр применения в оптоэлектронике [1-4], биомедицине, накоплении энергии, катализе и других областях. Масуда и Фукуда открыли самоорганизующиеся массивы пор в 1995 году. Al₂O₃ [5], так как пористые пленки обладают многими уникальными свой-