

Тань Хуа (Китай), Станько А.Ю. (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Станько Анна Юрьевна, к. т. н., доцент

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА НА КОРНЕОБРАЗОВАНИЕ ПШЕНИЦЫ

Аннотация: Цель работы – определение влияния концентрации промышленных наночастиц ZnO на корнеобразование пшеницы. Показано, что добавление наночастиц ZnO со средним размером 40 нм в среду прорастания семян пшеницы приводит к изменению биометрических параметров проростков. Установлено, что при концентрации наночастиц 10 мг/л корнеобразование пшеницы стимулируется: длина 3-суточного проростка увеличивается на 20 %, но при концентрации 10 000 мг/л длина корня уменьшается на 20 % по сравнению с контролем.

Ключевые слова: наночастицы ZnO, семена пшеницы, развитие корней, концентрация.

Введение

Благодаря малому размеру и повышенной реакционной способности наночастиц можно решить самые разные задачи сельского хозяйства, медицины и биотехнологий. Например, наночастицы ZnO могут повысить урожайность тысячелистника и защитить от червей [1], повысить активность клеток горчицы и улучшить их антиоксидантную способность [2], способствовать росту растений [3]. С другой стороны, есть данные о токсичности наночастиц ZnO по отношению к рачкам [4], водорослям [5] и рыбкам [6]. Разнообразие используемых методик, условий и самих наночастиц, использованных для исследований, не позволяет сделать комплексный анализ и прогнозировать влияние концентрации наночастиц на растительные объекты.

Целью работы являлось определение влияния концентрации промышленных наночастиц ZnO на корнеобразование пшеницы.

Экспериментальная часть

В эксперименте использовались частицы ZnO со средним размером 40 нм производства NanoAmor (США). Была приготовлена суспензия с концентрацией наночастиц ZnO 10 000 мг/л (весы ALC-110d4, Acculab, США, точность $\pm 0,0001$ г) в пластиковом стаканчике емкостью 60 мл на дистиллированной воде. Закрытые емкости помещали в ультразвуковую ванну ODA-LQ40 (ОДА Сервис, Россия, 1 л, мощность 120 Вт) на 15 минут для обработки. Далее методом последовательного разбавления готовили суспензии с концентрацией 1000, 100, 10 и 1 мг/л.

Затем 20 семян пшеницы сорта «Тризо» (ИП Орищенко, Томский район, Россия, урожай 2020 г.) равномерно распределяли на фильтровальной бумаге,

выложенной на дно стеклянной чашки Петри (рис. 1). На семена аккуратно выливали 7 мл свежеприготовленной суспензии наночастиц или контроля (дистиллированная вода). Закрытые чашки, завернутые в полиэтиленовые пакеты, выдерживали 72 часа при $25 \pm 0,5$ °C. Через три дня доставали проросшие и непроросшие семена и помещали их на черный фон для морфометрии корней (рис. 2), проводимой путем обработки изображений с помощью программы ImageJ: измеряли длину корней проросших семян и рассчитывали среднюю длину (L, см). Всхожесть определяли как отношение числа проросших семян к числу засеянных (G, %).

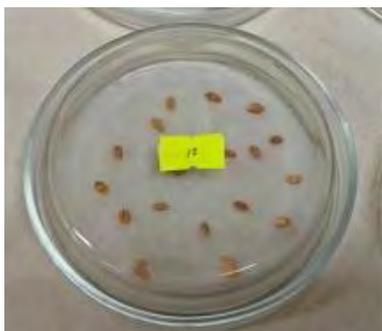


Рис. 1. Замоченные семена в чашках Петри



Рис. 2. Проросшие семена, выложенные для морфометрии через 3 дня

Пророщенные семена помещали на верхнее перфорированное дно пластикового стакана с двойным дном, в который залили 150 мл дистиллированной воды. Стаканы закрыли крышками и поставили на подоконник для естественного освещения (рис. 3). Позже крышку заменили длинным стаканом без крышки, чтобы побеги свободно росли вверх. Через 2 дня проростки поместили на черный фон для измерения длины корней и побегов (рис. 4), на основе которого рассчитывали корневой индекс (RI, уд. ед) как отношение средней длины корней к средней длине побегов.



Рис. 3. Выращивание проростков в гидропонных стаканах



Рис. 4. Корни и побеги, выложенные для морфометрии через 7 дней

Результаты

Проведенные эксперименты позволили установить некоторые закономерности. Показано, что добавление в среду на стадии замачивания семян наночастиц ZnO в концентрации 1 мг/л не оказывает влияния на длину корня проростка, но при увеличении концентрации до 10 мг/л корнеобразование несколько стимулируется: величина L увеличивается на 19 % (рис. 5). Дальнейшее увеличение концентрации приводит опять к уменьшению длины корня. А при концентрации 10 000 мг/л длина корня была меньше контроля на 24 %. В целом, при увеличении концентрации частиц от 10 до 10 000 мг/л длина корня уменьшилась на 28 % (рис. 5).

В отношении показателя всхожести нужно отметить, что при концентрации частиц 10 мг/л величина G была 65 % по сравнению с 70 % в контроле. При концентрации 100 мг/л всхожесть увеличилась до 90 %, а при увеличении концентрации опять уменьшилась (рис. 5).

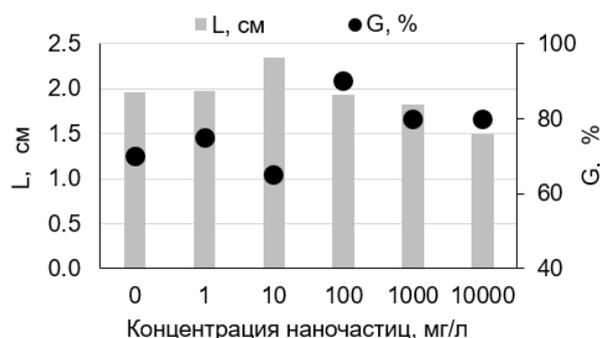


Рис. 5. Влияние концентрации наночастиц ZnO на среднюю длину (L, см) и всхожесть (G, %) 3-суточных проростков. Однократный эксперимент

Индекс корней показывает реакцию растения на дополнительные вещества в окружающей среде: чем выше индекс корней, тем больше корней образуется по отношению к массе почвы. Эксперимент показал, что семена пшеницы, обработанные 10 и 100 мг/л, лучше развивались в направлении доминирования корней (рис. 6).

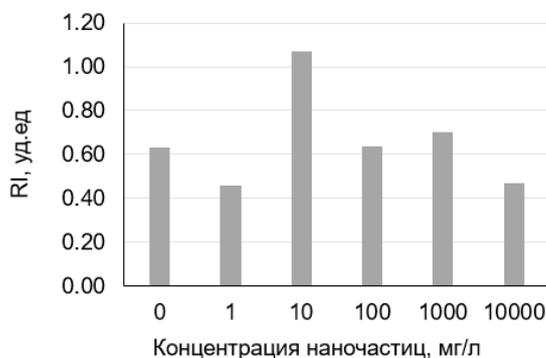


Рис. 6. Влияние концентрации наночастиц ZnO на корневой индекс (RI, уд. ед.) 7-суточных проростков. Однократный эксперимент

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что добавление наночастиц ZnO со средним размером 40 нм в среду прорастания семян пшеницы приводит к изменению биометрических параметров проростков. Установлено, что при концентрации наночастиц 10 мг/л корнеобразование пшеницы стимулируется: длина 3-суточного проростка увеличивается на 20 %, но при концентрации 10 000 мг/л длина корня уменьшается на 20 % по сравнению с контролем.

Список литературы

1. Jindal A., Bhat A.H., Raja V., Ahmad S.S., Hussain M.A., Ataya F.S., Fouad D. Eco-friendly synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Achillea millefolium*: Multifunctional applications in plant growth and nematode control // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. – 2025. – Vol.136. – P. 102590.
2. Singh T., Saffeullah P., Umar S. Foliar application of zinc oxide (ZnO) nanoparticles ameliorates growth, yield traits, osmolytes, cell viability, and antioxidant system of *Brassica juncea* (L.) Czern. grown in lead (Pb) stress // *Chemosphere*. – 2025. – Vol. 370. – P. 143950.
3. Hanif S., Javed R., Cheema M., Kiani M. Z., Farooq S., Zia M., Harnessing the potential of zinc oxide nanoparticles and their derivatives as nanofertilizers: Trends and perspectives // *Plant Nano Biology*. – Vol. 10. – P.2773–1111
4. Hernández-Pedraza M., Alvarado-Flores J., Silva-Briano M., Adabache-Ortiz A., Rico-Martínez R. Toxicity and bioaccumulation of nanoparticles of zinc oxide (ZnO) and titanium dioxide (TiO₂) in *Chydorus sphaericus* and *Cypridopsis cf. vidua* (Crustacea) // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. – 2025. – Vol. 115. – P. 1382–6689.
5. Ganie Z.A., Guchhait S., Talib M., Choudhary A., Darbha G.K., Investigating the sorption of zinc-oxide nanoparticles on Tire-wear particles and their toxic effects on *Chlorella vulgaris*: Insights from toxicological models and physiological analysis // *Journal of Hazardous Materials*. – 2025. – Vol. 483. – P. 136648.
6. Aliko V., Vasjari L., Istifli E.S., Gjonaj G., Impellitteri F., Faggio C., Benedetti E., Zugaro S., Iannetta A., Perugini M. Molecular docking analysis and in vivo assessment of zinc oxide nanoparticle toxicity in zebrafish larvae // *Aquatic Toxicology*. – 2024. – Vol. 276. – P. 445.