

# ВПЛИВ НАНОГІДРОКСИАПАТИТІВ НА РОСЛИНИ

Галицька І.Є., Гринюк І. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, [halytska.iryna1@iit.kpi.ua](mailto:halytska.iryna1@iit.kpi.ua)

## Abstract

*The negative impact of synthetic chemicals on the environment and human health can be reduced by adopting the latest technological approaches. This can be achieved by using nanohydroxyapatites as nanofertilizer and nanopriming are considered. Nanoparticles are effective because of their small size and unique physio-chemical properties, which make them an ideal seed priming agent.*

**Keywords:** *nanohydroxyapatite, nanopriming, nanofertilizers.*

**Вступ.** Насьогодні використання хімічних добрив хоча й сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, але й спричиняє забруднення навколишнього середовища. Надмірне використання хімічних добрив призводить до зміни популяції ґрунтової мікрофлори, зменшення її різноманітності та до забруднення підземних вод [1, 2].

Негативний вплив синтетичних хімікатів на навколишнє середовище та здоров'я людей можна зменшити впровадженням новітніх технологічних підходів, зокрема нанотехнологій. Дослідження різних авторів показують, що застосування наночастинок може різними способами стимулювати як проростання, так і ріст рослин [3-10]. Наночастинки є перспективними для нанопраймінгу - інноваційної технології пророщування насіння для підвищення його стійкості до хвороб та збільшення врожайності сільськогосподарських культур без шкоди для екосистеми [3].

З появою нанотехнологій зріс інтерес до використання наноматеріалів, здатних поліпшити «розумні» характеристики добрив (наприклад, адресну доставку, контрольоване вивільнення та ін.) у сільськогосподарському секторі. Нанодобрива з такими характеристиками володіють потенціалом збільшення врожайності сільськогосподарських культур при мінімальному впливі на навколишнє середовище. Гідроксиапатит - одна з найбільш поширених форм і, ймовірно, найбільш відома кристалічна фаза з усіх солей фосфату кальцію. Потенціал наногідроксиапатиту (nHAP) як нанодобрива пов'язаний з його підвищеною розчинністю в порівнянні з звичайним гідроксиапатитом і з тим фактом, що його хімічний склад може бути адаптований для максимального підвищення ефективності розподілу фосфору в ґрунті і поглинання рослинами. [3].

Метою нашої роботи було обґрунтування застосування наногідроксиапатитів для покращення врожайності сільськогосподарських рослин.

**Методи дослідження.** Дослідження проводили шляхом аналізу наукової літератури з використанням міжнародних систем цитування (NCBI, PubMed, OUCI та ін.).

**Результати та обговорення.** Наночастинки – це часточки розмірами 1-100 нм, які мають специфічні фізичні, хімічні, фізико-хімічні, квантово-хімічні,

біологічні та властивості різних матеріалів, що отримані за допомогою нанотехнологій. Вони можуть слугувати макро- та мікронанодобривами в рослинах для полегшення симптомів дефіциту поживних речовин і доповнення основних елементів [3].

Нанопраймінг полягає у замочуванні насіння в наноматеріалах. Наночастинки проникають в оболонку насіння та збільшують поглинання води. Це сприяє проростанню насіння, стимулює ріст, врожайність, покращує зберігання та підвищує стійкість до негативного впливу навколишнього середовища [4].

Не зважаючи на те, що чіткий механізм нанопраймінгу насіння невідомий, дослідження показують, що використання наночастинок призводить до утворення нанопор у оболонці насіння та введення у насіння активних форм кисню. Утворені нанопори можуть сприяти поглинанню більшої кількості води рослиною, а активні форми кисню необхідні для стимулювання проростання насіння [4].

Siddiqui та інші виявили, що обробка томатів (*Solanum lycopersicum L.*) наногідроксидом кремнію в концентрації 8 г/л позитивно впливає на схожість насіння [5]. Rai-Kalal та Jajoo досліджували вплив наночастинок оксиду цинку на пшеницю (*Triticum aestivum*) і встановили, що обробка насіння пшениці наночастинками оксиду цинку в концентрації 10 мг/л мала позитивний вплив на проростання насіння та індекс живлення [6].

В дослідженні [7] було виявлено, що обробка пшениці (*Triticum aestivum*) в концентраціях 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500 і 1000 мкг/мл призводить до покращення енергійності насіння та морфології рослини.

Maswada та інші дослідили вплив наночастинок оксиду заліза в концентрації 10, 50, 100 і 500 мг/л на сорго (*Sorghum bicolor*) і виявили підвищення біохімічної активності, вмісту води у листі та збільшення біомаси [8].

В дослідженні [9] було виявлено, що обробка насіння сої (*Glycine max*) наночастинками оксидів кобальту та молібдену в концентрації 1 л/40 кг насіння призводить до покращення енергійності насіння, морфології рослини та збільшення біомаси.

Баз та інші показали, що нанопраймінг водорозчинними вуглецевими наночастинками покращує проростання насіння та ріст розсади салату в засолених ґрунтах. Така обробка посилила ріст бічних коренів, що призвело до накопичення хлорофілу за умов абіотичного стресу [10].

Наночастинки, зокрема наногідроксиапатит, можуть розглядатися як альтернативне фосфорне нанодобриво завдяки багатому джерелу фосфору та чудовій біосумісності. Невеликий розмір дозволяє йому легко проникати до кореневої зони, поглинатися корінням та переміщуватись до пагона через масовий потік, що створюється транспірацією. pHAP, розміщений навколо ризосфери, може бути розчинений органічними кислотами в корневих екsudатах. Також було виявлено, що pHAP може проникати в коркові та епідермальні клітини коренів і розчинятися в кислому середовищі клітинної

стілки. Таким чином він може безперервно розчинятися та постачати рослинам фосфор незалежно від розподілу в коренях [11].

nНАР позитивно впливав на стимулювання росту ячменю (*Hordeum vulgare*), соняшнику (*Helianthus annuus*), сої (*Glycine max*), помідорів (*Solanum lycopersicum*), кукурудзи (*Zea mays*) та імбиру (*Zingiber officinale*) [12].

Xiong та спів. [13] виявили, що додавання nНАР збільшувало біомасу рослин у 6,4–11,6 разів, при цьому nНАР з поверхневим зарядом  $-13,8$  мВ найбільше збільшували свіжу біомасу (у 16,5 разів для пагонів та у 8 разів для коренів).

У роботі [14] було встановлено, що у зразках пагонів та коренів сої, обробленої nНАР, при 100% інтенсивності опадів спостерігалось на 10,0% більше P, на 17,6% більше  $Ca^{2+}$ , на 14,6% більше  $Mg^{2+}$  і на 54,8% більше S порівняно з необробленою групою. Також при 100% інтенсивності опадів проростки, оброблені nНАР, мали на 71,1% більше  $Ca^{2+}$  в пагонах і на 15,9% більше  $Ca^{2+}$  в коріння порівняно з контролем.

Xiaorong та інші показали, що зразки кукурудзи, що вирощували з додаванням nНАР були вищими та сильнішими, ніж контрольні рослини без додавання nНАР. Також, порівняно з контролем, спостерігалось збільшення свіжої біомаси листя та коренів на 71,9% та 18,9% відповідно. Відносний вміст хлорофілу в листі також збільшився на 24,7%. Крім того, вміст фосфору в листі та корені значно збільшився на 178% та 60% відповідно. Згідно з цими даними, nНАР позитивно впливає на ріст кукурудзи [12].

Alhammad та інші виявили, що при комбінованому застосування наночастинок оксиду цинку та nНАР зменшило несприятливий вплив Pb на ріст рослин з точки зору збільшення площі листя на 117,6% у рослин, вирощених у забрудненому ґрунті плюмбумом. Також така обробка призвела кращих значень маси колоса, урожайності зерна та індексу врожаю [15].

Також було досліджено вплив nНАР на ріст і врожайність імбиру. Результати показали приріст кількості листя та вмісту хлорофілу в рослинах, оброблених nНАР (200 ppm) з 9 по 13 тиждень, і вищий процентний приріст швидкості фотосинтезу з 11 по 13 тиждень (20 -54%) у оброблених рослинах (200-1000 ppm) порівняно з контролем [16].

Автори дослідження [17] показали, що використання 5 г/кг nНАР на забруднених свинцем ґрунтах значно збільшує біомасу райграсу. Швидкість видалення свинцю із забрудненого ґрунту райграсом помітно зросла після додавання nНАР. То ж результати підтверджують, що nНАР підходить для використання на забруднених свинцем ґрунтах для рекультивациі.

**Висновки.** Таким чином, згідно з літературними даними застосування наночастинок для ґрунтування насіння та у якості нанодобрив сприяє кращому проростанню насіння та підвищенню продуктивності сільськогосподарських культур. Завдяки технології нанопраймінгу відбувається стимуляція синхронного проростання насіння, росту, розвитку рослин та підвищується стійкість до абіотичних стресових факторів. Наногідроксиапатит, як нанодобриво може збільшувати біомасу коренів, листя та пагонів; позитивно

вливає на вміст хлорофілу; покращує поглинання поживних речовин рослинами, зокрема, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, а також може використовуватись для рекультивації ґрунтів, забруднених свинцем.

### Список використаної літератури:

1. Prashar, P., Shah, S. Impact of Fertilizers and Pesticides on Soil Microflora in Agriculture. In: Lichtfouse, E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews, 2016, vol 19. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_8)
2. Sharma N., Singhvi R. Effects of Chemical Fertilizers and Pesticides on Human Health and Environment: A Review. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. 2017;10(6): 675-679. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00083.3>
3. Shelar A, Singh AV, Maharjan RS, et al. Sustainable Agriculture through Multidisciplinary Seed Nanoprimering: Prospects of Opportunities and Challenges. Cells. 2021 Sep 15;10(9):2428. <https://doi.org/10.3390%2Fcells10092428>
4. do Espirito Santo Pereira A., Caixeta Oliveira H., Fernandes Fraceto L., et al. Nanotechnology Potential in Seed Priming for Sustainable Agriculture. Nanomaterials. 2021, 11, 267. <https://doi.org/10.3390/nano11020267>
5. Siddiqui MH., Al-Wahaibi MH. Role of nano-SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). Saudi J Biol Sci. 2014; 21(1):13–7,. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.04.005>
6. Rai-Kalal P, Jajoo A. Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. Plant Physiol Biochem. 2021, 160, 341–51. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.032>
7. Sundaria N., Singh M., Upreti P., et al. Seed Priming with Iron Oxide Nanoparticles Triggers Iron Acquisition and Biofortification in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grains. J. Plant. Growth Regul. 2019, 38, 122–131. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9818-7>
8. Maswada H.F., Djanaguiraman M., Prasad P.V.V. Seed treatment with nano-iron (III) oxide enhances germination, seeding growth and salinity tolerance of sorghum. J. Agron. Crop. Sci. 2018, 204, 577–587. <https://doi.org/10.1111/jac.12280>
9. Chau N.H., Doan Q.H., Chu T.H., et al. Effects of Different Nanoscale Microelement-Containing Formulations for Presowing Seed Treatment on Growth of Soybean Seedlings. J. Chem. 2019, 8060316, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8060316>
10. Baz H., Creech M., Chen J., et al. Water-Soluble Carbon Nanoparticles Improve Seed Germination and Post-Germination Growth of Lettuce under Salinity Stress. Plants. 10, 1192, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081192>
11. Montalvo D., McLaughlin M.J., Degryse F.. Efficacy of hydroxyapatite nanoparticles as phosphorus fertilizer in andisols and oxisols Soil Sci. Soc. Am. J., 2015, 79 ,551-558. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.09.0373>
12. Xiaorong J., Nibin S., Weijie T., et al. Nano-hydroxyapatite increased soil quality and boosted beneficial soil microbes, Plant Nano Biology. 2022, vol 1,100002.
13. Xiong, Lei et al. Bioavailability and movement of hydroxyapatite nanoparticles (HA-NPs) applied as a phosphorus fertiliser in soils.” Environmental science. Nano 5, 2018, 2888-2898 <http://dx.doi.org/10.1039/C8EN00751A>
14. Li, Q., Ma, C., White, J.C. et al. Effects of Phosphorus Ensembled Nanomaterials on Nutrient Uptake and Distribution in Glycine max L. under Simulated Precipitation. Agronomy. 2021, 11, 1086. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061086>
15. Alhammad, B.A., Ahmad, A., Seleiman, M.F. Nano-Hydroxyapatite and ZnO-NPs Mitigate Pb Stress in Maize. Agronomy. 2023, 13, 1174. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041174>
16. Chong W., Kiew W., Low Y., et al. The Effects of Hydroxyapatite Nanoparticles on the Growth and Yield of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) from Seedling to Tillering Stage. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023, 1139, 012005.
17. Jin Y., Liu W., Li X.L., et al. Nano-hydroxyapatite immobilized lead and enhanced plant growth of ryegrass in a contaminated soil. Ecol. Eng. 2016. 95, 25–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.071>