

УДК: 544.72:547.96.

МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК

Горобець О.Ю., Ковальова С.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Svitlayak@gmail.com

Наночастинки (НЧ) – це субмікронні фрагменти з діаметром від 1 до 100 нм, виготовлені з неорганічних або органічних матеріалів, які мають багато важливих властивостей у порівнянні з об'ємними матеріалами [1]. Магнітні наночастинки (МНЧ) мають унікальні фізико-хімічні властивості, зокрема малий розмір, суперпарамагнетизм, низьку токсичність, біосумісність, хімічну стабільність, велике відношення поверхні до об'єму і відповідно високу поверхневу енергію. Найбільш широко вивчаються та застосовуються магнітні наночастинки Fe (магнетит, магеміт, вюстит), Ti, Zn, Co, Ni, Ag, Au [2].

Актуальним науковим спрямування останніх років є удосконалення відомих та пошук нових методів отримання магнітних МНЧ. Головною задачею у нових та вдосконалених методах синтезу є отримання гомогенних за розмірами, стабільних наночастинок контрольованої геометричної форми [3].

Загалом існуючі методи отримання МНЧ можна поділити на фізичний хімічний та біологічний синтез. До фізичних методів відносять метод механічного кулькового подрібнення, метод лазерного випаровування та електровибух (метод вибуху дроту) [4].

Найуживанішими методами синтезу є хімічні, зокрема широкого застосування знайшов метод співосадження. В його основі лежить хімічна реакція співосадження з водних розчинів оксидів двох- та трьохвалентного заліза з їх солей шляхом додавання луку в інертній атмосфері при кімнатній або при високій температурі [5]. Також до хімічних методів відносяться термічне розкладання, мікроемульсійний синтез, гідротермальний синтез та золь-гель метод. Альтернативним сучасним підходом до отримання МНЧ є метод біологічного (зеленого) синтезу. Суть методу полягає в використанні живих організмів для синтезу МНЧ.

Для біологічного синтезу використовують різноманітні живі організми, такі як рослини, вищі гриби та мікроорганізми (гриби, дріжджі, віруси, бактерії). Цим методом можна отримувати МНЧ контрольованих розміру та форми, окрім того вони є біосумісними та придатними для застосування в біомедичній галузі. Перевагами цього методу є його ефективність, екологічність та чистота процесу. Однак механізм утворення МНЧ за допомогою мікроорганізмів і рослин недостатньо вивчений. На сьогодні запропоновано три механізми біологічного синтезу – активність нітрат редуктази, перенос електронів хінонів та змішаний механізм [6].

Найчастіше у біологічному синтезі в якості продуцентів МНЧ використовують магнітотаксисні бактерії (МТБ), але зважаючи на складність створення умов для їх культивування, вирощувати МТБ в лабораторних чи промислових умовах важко [7]. Тому для біологічного синтезу МНЧ також можуть бути використані інші різноманітні організми, які мають генетично

запрограмований процес біомінералізації. Водночас були знайдені способи для збільшення природних феромагнітних властивостей живих організмів, до яких відносяться вирощування в зовнішньому магнітному полі або на модифікованому поживному середовищі чи шляхом комбінації цих двох методів [8]. МНЧ знайшли широке застосування в різноманітних галузях, зокрема використовуються для: магнітомічення сорбентів та біосорбентів, очищення стічних вод, у магнітно-рідинній гіпертермії, тканинній інженерії, магнітній сепарації біологічних об'єктів, для виробництва наносенсорів, магнітній діагностиці, в якості нанодобрив в сільському господарстві, для ремедіації ґрунтів, цілеспрямованій векторній доставці ліків та генів, в таргетній медицині, тощо [3]. Векторна доставка, застосовується для цілеспрямованої доставки лікарських засобів, що використовується для лікування різноманітних хвороб людей та тварин. Водночас властивості наночастинок дозволяють накопичувати і спрямовувати їх до певних ділянок з наступним вивільненням необхідного агента для обробки рослин. МНЧ можна також використовувати для систематичної адресної доставки регуляторів росту, добрив, гербіцидів, пестицидів для рослин [9].

Отже, методи отримання МНЧ – актуальна сфера досліджень, оскільки МНЧ знайшли своє застосування в різноманітних галузях. Великий інтерес у дослідників викликає метод біологічного синтезу МНЧ, оскільки він дозволяє отримати біосумісні наночастинки, контрольованої форми та розміру. Технологію векторної доставки, з використанням МНЧ, можна застосовувати не тільки для лікування людей та тварин, але і для обробки рослин.

Список використаної літератури:

1. Wu, W., He, Q., and Jiang, C. (2008). Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies. *Nanoscale Res. Lett.* 3, 397–415.
2. Shabatina, T. I., Vernaya, O. I., Shabatin, V. P., & Melnikov, M. Y. (2020). Magnetic Nanoparticles for Biomedical Purposes: Modern Trends and Prospects. *Magnetochemistry*, 2020. 6(3), 30.
3. Nosrati, H., Salehiabar, M., Davaran, S., Ramazani, A., Manjili, H. K., and Danafar, H. (2017). New Advances Strategies for Surface Functionalization of Iron Oxide Magnetic Nano Particles (IONPs). *Res. Chem. Intermed.* 43
4. Ali A, Review on Recent Progress in Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Diverse Appl. *Front Chem.* 2021.
5. Chaudhary, Varun & Chaudhary, Richa. (2018). Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Functionalization, and Applications.
6. Gahlawat, Geeta & Roy Choudhury, Anirban. (2019). A review on the biosynthesis of metal and metal salt nanoparticles by microbes. *RSC Advances.* 9.
7. Kuzajewska D, Wszolek A, Żwieręło W, Kirczuk L, Maruszewska A. Magnetotactic Bacteria and Magnetosomes as Smart Drug Delivery Systems: A New Weapon on the Battlefield with Cancer?. *Biology (Basel)*. 2020;9(5):102.
8. Gorobets S. Control of magnetic susceptibility of probiotic strain *Lactobacillus Rhamnosus* GG / S. Gorobets, O. Gorobets, L. Kuzminykh. // arXiv. – 2022. – С. 1–7.
9. Spanos A, Athanasiou K, Ioannou A, Fotopoulos V, Krasia-Christoforou T. Functionalized Magnetic Nanomaterials in Agricultural Applications. *Nanomaterials (Basel)*. 2021 Nov 18;11(11):3106.