

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОЧАСТИНОК, СИНТЕЗОВАНИХ У РОСЛИНАХ

Т.П. Ромашко

Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна
завідувач кафедри біотехнології та хімії, tamila_romashko@ukr.net

Використання рослин для виробництва наночастинок має важливі переваги перед іншими біологічними системами. Низькі витрати на вирощування, короткий час виробництва, безпека та можливість регулювати необхідні обсяги виробництва роблять рослини привабливою платформою для задоволення таких потреб. Завдяки можливості змінювати склад реакційної суміші та умови реакції різними рослинними екстрактами, видами солей металів, температурою, зміною рН реакційної суміші та додаванням біологічно отриманих добавок можна створювати наночастинки різних металів певної форми та розмірів.

«Зелений» синтез наночастинок із рослинних матеріалів становить великий інтерес, але порівняння цих наночастинок з наночастинками, отриманими фізичними та хімічними методами, а також аспекти застосування та потенційні масштаби виробництва потребують подальшого вивчення. Звичайні металеві наночастинки, отримані фізико-хімічними методами, можуть і вже використовуються в дезінфікуючих засобах, спрямованій доставці ліків, молекулярній візуалізації, обробці стічних вод, каталізі, виробництві біосенсорів, паливних елементах, покриттях і косметичці [1, 2]. Рослини мають здатність відновлювати іони металів як на своїй поверхні, так і в різних органах і тканинах, віддалених від місця надходження іонів. У зв'язку з цим вони можуть використовуватись для вилучення цінних металів у тих випадках коли традиційні методи перестають бути прибутковими. Подібний процес називають фітовидобуванням. Накопичені метали можна вилучати з рослин за допомогою методів плавлення наночастинок, тощо. Частини рослин, такі як листя, стебла, кора, плоди та квіти, багаті флавоноїдами, фенолами, стероїдами, терпеноїдами, ферментами та алкалоїдами, відіграють важливу роль у відновленні іонів металів, які генерують металеві наночастинки. Терпеноїди представляють собою клас різноманітних органічних полімерів, синтезуються в рослинах з п'ятиуглецевих ізопренових ланок. Терпеноїди мають потужну антиоксидантну дію. Флавоноїди в рослинах можуть відновлювати іони металів шляхом включення їх у хелатні комплекси. Флавоноїди – велика група поліфенольних сполук у яких виділяють кілька класів: антоціани, ізофлавоноїди, флавоноли, халкони, флаволи та флаванони. Флавоноїди містять різні функціональні групи, які можуть викликати утворення наночастинок. Таутомерні перетворення флавоноїдів з енольної форми в кетоформу можуть вивільняти реакційний атом водню, який здатен відновлювати іони металів з утворенням наночастинок.

Дослідження процесів біоаккумуляції металів у рослинах показали, що метали зазвичай відкладаються у формі наночастинок. Наприклад, рослини *Brassica juncea* і *Medicago sativa* можуть накопичувати до 13,6 % своєї ваги в наночастинках срібла розміром 50 нм при вирощуванні на нітраті срібла як субстраті [2, 3].

Наночастинки, які можуть бути отримані в рослинах або рослинних екстрактах потребують достатню кількість проведених тестувань. Наприклад, наночастинки срібла, отримані з використанням екстракту *Tridax procumbens*, і еквівалентів, отриманих хімічними або фізичними методами, мають сильну антибактеріальну дію проти *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae* і *Vibrio cholera* [3]. Наночастинки срібла, отримані з екстракту шишок сосни Тунберга, ефективні проти різних грамположитивних і грамнегативних сільськогосподарських патогенів, включаючи *Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas oryzae*, *Burkholderia glumae* і *Bacillus thuringiensis* [4]. Екстракти *Cyatopsis tetragonaloba* можуть використовуватись для виготовлення композитних наночастинок срібла, які функціонують як біосенсори для аміаку

та мають потенційне застосування в сільському господарстві та біомедицині. Залежно від концентрації аміаку змінюється відстань між наночастинками всередині наноконструкції, що впливає на його оптичні властивості [4, 5]. Вважається, що каталітична активність також зумовлена наночастинками золота, отриманими з *Sesbania drummondii*, які можуть покращити перетворення ароматичних нітросполук, наприклад, шляхом перетворення високотоксичного 4-нітрофенолу в 2-аміно-фенол, що передбачає їх використання у дезактивації відходів.

Наведені приклади не охоплюють усіх даних щодо використання «зелених» наночастинок, але вони переконливо вказують на потенціал практичного застосування наночастинок, синтезованих за участю рослин або рослинних екстрактів. Основне питання, на яке буде необхідно відповісти – чи відрізняються біологічні та фізико-хімічні характеристики наночастинок рослинного «походження» від характеристик їх існуючих прототипів, і наскільки ці відмінності впливають на ефективність застосування наночастинок для конкретних практичних завдань.

Зараз також активно розвиваються *in vitro* підходи з використанням рослинних екстрактів для біовідновлення іонів металів з утворенням наночастинок. Цей підхід дозволяє більш гнучко контролювати розмір і форму наночастинок (наприклад, шляхом зміни рН середовища або температури реакції) і полегшує подальше їх очищення. Важливо відзначити, що цей процес набагато ефективніший, ніж синтез наночастинок цілої рослини, оскільки ця реакція відбувається майже миттєво, без затримок, необхідних для поглинання іонів та поширення іонів металів рослиною.

Важливо відзначити, що наночастинки, синтезовані в рослинних екстрактах, вже мають функціональні поверхні, які можуть включати органічні ліганди, білки, полісахариди та багатоатомні спирти, відсутні у наночастинках, синтезованих за допомогою фізичних та хімічних методів. Відомо, що присутність цих біологічних компонентів підвищує стабільність частинок і може також полегшити подальше приєднання функціональних молекул, таких як антитіла та ДНК, якщо це необхідно [6].

Отже зрозуміло, що синтез металевих наночастинок в рослинних екстрактах (рослинної біомаси), незважаючи на певні обмеження, пропонує великий потенціал і багато важливих переваг порівняно з традиційними методами синтезу наночастинок. Проте, щоб економічно конкурувати з наночастинками, отриманими фізичними та хімічними методами, необхідно розширити методи отримання наночастинок з використанням рослинної сировини та розробити системи, що знижують витрати на синтез.

Безперервні методи синтезу наночастинок досі використовувалися лише для дрібносерійного виробництва. В хімічному синтезу вартість наночастинок в основному визначається вартістю солей металів і відновників. У разі «зеленого» синтезу основна вартість визначається лише вартістю солі металу, оскільки відновником можуть бути рослинні відходи харчової промисловості. Крім того, можливо розраховувати, що компанії, які займаються харчовою промисловістю і зацікавлені в переробці цих відходів, зможуть частково фінансувати виробництво наночастинок. Цей факт ще більше підкреслює екологічні переваги використання «зеленого» синтезу, перед традиційними методами виробництва наночастинок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Soni V., Raizada P., Singh P. // J. Environmental Research. 2021. 202: 111622.
2. Amini S.M. // Materials Science and Engineering. 2019. 103: 109809.
3. Dhanalakshmi T., Rajendran S. // Arch. Appl. Sci. Res. 2012. 4: 1289–1293.
4. Velmurugan P., Lee S.M., Iydroose M., Lee K.J., Oh B.T. // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2013. 7: 361–368.
5. Pandey G., Madhuri S., Mandloi A.K. // Pl. Arch. 2012 b. 12: 1–4.
6. Sintubin L., Verstraete W., Boon N. // Biotechnol. Bioeng. 2012. 109: 2422–2436.