

УДК 621.3-332

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Ситар О.В.¹, Новицька Н.В.², Таран Н.Ю.¹, Каленська С.М.², Ганчурін В.В.¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

² Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: o_sytar@ukr.net

Надійшла до редакції 09.04.2010

В огляді представлено результати досліджень по використанню нанопрепаратів та нанотехнологій в сучасному сільському господарстві. Особливу вагу сконцентрована на токсичності та не токсичності нанопрепаратів, залежно від природи походження. Розглянуто роль нанопрепаратів у підвищенні врожайності основних сільськогосподарських культур.

Ключові слова: нанопрепарати, нанотехнології, сільське господарство

Для розвитку нанотехнології непростим завданням є отримання нанобіоматеріалів, які б максимально засвоювались живими організмами та були екологічно безпечними. Та лише за таких умов наноматеріали можна кваліфікувати як функціональні нанобіоматеріали. У випадку їх практичного застосування у сільському господарстві (рослинництві, тваринництві) завдання ще більше ускладнюється, оскільки ці матеріали повинні отримуватись у відповідних масштабах при доступній вартості [1, 2].

Відомо, що мікроелементи в рослинах беруть участь у окисно-відновних процесах, каталізі та синтезі на атомарному рівні. Інколи достатньо дії лише мікромолярних концентрацій іонів металів для нормального функціонування рослини. В свою чергу незначний надлишок даного металу може викликати токсичне отруєння рослинного організму. Тому при вивченні особливостей дії наноматеріалів, необхідно, перш за все, відпрацювати методи аналізу їх вмісту в природних об'єктах. На другому етапі, слід отримати такі форми мікродобрив, що можуть повністю поглинатися рослиною, не забруднюючи навколишнє середовище і не завдаючи шкоди живим організмам і людині.

Використання нанопрепаратів в сільському господарстві. На сьогодні в нашій країні розроблені функціональні нанобіоматеріали, що є комплексними сполуками, в яких у ролі комплексоутворювача виступають наночастинки мікроелементів, електрично заряджені зі знаком «мінус». Можливість отримання саме таких наночастинок дає ерозійно-вибухова нанотехнологія [1], що базується на новому фізичному ефекті в галузі концентрації високих енергій [3].

Встановлено, що при зменшенні розмірів частинок до 100-10 нанометрів і менше істотно змінюються механічні, каталітичні, адсорбційні та інші властивості матеріалів, оскільки поведінка

наночастинок підпорядковується законам квантової механіки [4]. В нашій країні проводять дослідження зі створення плівок металів і сплавів (1,5-100 нм) методом конденсації у вакуумі на різних підкладках шляхом використання зондової скануючої мікроскопії та електроннографії [5].

Суспензіями нанокристалічних порошоків металів проводять передпосівну обробку насіння та саджанців буряків, картоплі, пшениці. Збільшення врожаю в результаті застосування такого прийому становить 20-35% [6].

Одночасно відзначається підвищення адаптації рослин до стресових умов і поліпшується якість сільськогосподарської продукції. Нанотехнології застосовуються для обробки соняшнику, тютюну і картоплі після збирання їх урожаю, при зберіганні яблук в регульованих умовах, та при озонуванні повітряного середовища [5, 6].

Наночастинки впливають на біологічні об'єкти на клітинному рівні, підвищуючи ефективність протікання процесів у рослинах, а також, беручи участь у формуванні мікроелементного балансу, тобто є біоактивними. Отримані варіанти наноформ таких металів як мідь, цинк і залізо, на відміну від їх солей, потенційно менш токсичні (наноформи міді-в 7 раз, наноформи цинку – в 30, а наноформи заліза - в 40 разів порівняно з їх сірчаноокислими солями) [7]. Вони вживаються поступово, їх іонні форми швидко включаються в біохімічні реакції [8]. Таким чином, досягається пролонгуючий ефект живлення рослин з величезної питомої поверхні (сотні квадратних метрів на 1 грам речовини), що містить безліч джерел, оточених оболонкою іонів. Препарати вносяться в мікродозах і не забруднюють середовище.

Наночастинки, беручи участь у процесах переносу електронів, посилюють дію ферментів, перетворюють нітрати в амонійний азот, інтенсифікують дихання клітин, фотосинтез, синтез ферментів та амінокислот,

вуглеводний і азотний обмін, і як наслідок безпосередньо впливають на мінеральне живлення рослин [9]. Маючи високу рухливість, вони взаємодіють один з одним і можуть конгломерувати на поверхні рослин, регулюючи цільові ефекти. Так, наночастинки міді, заліза, цинку характеризуються бактерицидними властивостями й можуть доповнювати і підсилювати дію традиційних засобів захисту рослин. Їх дія заснована на тому, що в умовах ґрунту вони поступово окиснюються, створюють на поверхні насіння умови, несприятливі для проживання патогенної мікрофлори. При цьому ушкоджуються (на відміну від рослин і живих істот) енергоємні оболонки клітин бактерій, що позбавляє бактеріальні клітини захисних функцій і доступу кисню (в результаті інгібування ферментів дихальної ланцюга). Активним знешкоджувачем патогенної мікрофлори є наночастинки срібла, що знайшли в цьому напрямку широке комерційне застосування. Діючі дози срібла не замінюють, а доповнюють існуючий агрофон.

Таким чином, питання захисту рослин доцільно розглядати в контексті сумісного застосування в бакових сумішах наночастинок біогенних елементів і зменшених доз отрутохімікатів. Розширюючи асортимент хімічних елементів, з яких формуються наночастинки, можна уповільнювати процеси адаптації шкідників до отрутохімікатів, а також вибірково впливати на популяції, стійкі до традиційних схем захисту рослин.

Іншим перспективним напрямом є збагачення через рослинну сировину продуктів харчування, комбікормів, медичних та ветеринарних препаратів селеном, йодом, германієм, кремнієм, кальцієм та іншими елементами в біологічно активних наноформах [10]. У рослинництві застосування нанопрепаратів, суміщених з бактеріоропсином, забезпечує зростання врожайності в 1,5-2 рази та підвищення стійкості до несприятливих погодних умов майже всіх продовольчих (картопля, зернові, овочеві, плодовоягідних) та технічних (бавовна, льон) культур.

Сучасні уявлення про дію наночастинок на живі організми. На думку багатьох експертів в ХХІ столітті нанотехнології будуть активно розвиватись. Під терміном «нанотехнологія» розуміють сукупність методів і прийомів, що забезпечують створення об'єктів з компонентами розміром менше 100 нм. Ці об'єкти мають принципово нові якості і можуть об'єднуватися у функціонуючі системи макромасштабу [11]. Так, наночастинки золота мають червоний колір, а не жовтий, звичний для нас. Наночастинки підпорядковані законам квантової механіки, а не класичної, ньютонівської. Структура наночастинок залежить від способу їх одержання (технологія електроерозійна, вибухова, випаровування і конденсації тощо), тому вони можуть бути як електронейтральні, так і заряджені, як у вигляді суспензії, так і у колоїдному стані. Структура наночастинок може бути ланцюгова, у вигляді нанотрубок або сфероїдів, на кшталт фулеренових сфер вуглецю C₆₀.

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України методом випаровування і конденсації парової фази металів одержує пористі, багаточастинкові багаточастинкові структури наночастинок металів та їх оксидів. Таким чином, основна особливість і перевага наночастинок в їх малому розмірі та в надзвичайно великій питомій поверхні. 1 г наночастинок заліза має вільну поверхню 32 м², що прискорює швидкість реакції до вибуху [12]. Тому наночастинки використовують не в ізольованому вигляді, а у вигляді, наприклад, аквахелатів, тобто комплексів наночастинок з молекулами води, які оточують наночастинку. Стійкість комплексу забезпечується кулонівськими силами між зарядженими частинками металу і диполями води. Гідратна оболонка попереджує агрегацію частинок і випадіння їх в осад.

Вчені Томського політехнічного університету [13] більш детально вивчали біологічну активність нанопорошків металів, одержаних електричним вибухом в аргоні. Порошки диспергували у фізіологічному розчині NaCl, готували розчини концентрацією 5 г/л і дозували їх введення в черевну порожнину мишей в кількості від 25 до 500 мг/кг живої маси. Найбільш токсичним виявився порошок міді (ЛД₁₀₀ = 25-125 мг/кг), за ним – порошок срібла, а нанопорошок заліза не призвів до загибелі жодної тварини у всьому діапазоні концентрацій. Найбільша антибактеріальна активність виявилася у нанопорошка срібла, майже така ж - у міді. Додавання нанопорошку заліза до пивного суслу збільшувало активність дріжджів від 19 до 25 %. Важливо, що нанопорошок заліза розчиняється в біологічних середовищах. Препарати з нанопорошками Fe і Cu в 1,5 рази прискорювали процес ранозаживлення і лікування опіків у сільськогосподарських тварин [14].

Протиріччя між результатами досліджень дії нанопорошків на живі організми полягають в тому, що одні дослідження свідчать про не токсичність нанопорошків, а інші – навпаки, пояснюють їх токсичність різною структурою та різними технологіями отримання [15]. В першому випадку це можуть бути аквахелати, а в другому – це іони металів, їх окиси, що ведуть себе як солі.

Аквахелати цікаві тим, що вода в гідратних оболонках може заміщуватися з молекулами карбонових кислот або білків рослинного чи тваринного походження. Це дає можливість їм проникати через мембрани клітин і там «розкриватися», що забезпечує біологічну ефективність та екологічну чистоту. Багато авторів [15, 16] відмічають біологічну активність наночастинок в стимулюванні росту рослин, в підвищенні врожайності на 25-50%, в збільшенні частки незамінних амінокислот в сирому протеїні.

Спеціалісти компанії «Наноматеріали і нанотехнології» (Київ) разом зі спеціалістами компанії «АМАКО» [17] проводили виробничу перевірку методу обробки насіння ярової пшениці комплексом мікроелементів (металів) в нанорозмірному вигляді на площі 40 га ДП «Агросвіт» Богзрянського району Чернігівської

області. Як результат було отримано прибавку врожаю в розмірі 30%. При цьому пропонується не обмежуватись обробкою насіння нанопрепаратами тільки перед сівбою, а вважають, що препарати можуть бути фунгіцидами, стимуляторами росту та фоліарами. В якості фунгіцидів насіння протравлюють препаратами проти мікроорганізмів твердої головної, стеблової іржі жита, пильної головної проса, проти мікроорганізмів на зародку (пильна головня пшениці і ячменю), а також проти хвороб, що є в ґрунті (пліснявіння насіння кукурудзи, фузаріози і кореневе загнивання зерна). Вважають, що нанопротруювачі нетоксичні для рослин і людей та не потребують точно дозування.

В якості фоліарів наномікродобрива проникають через листову поверхню при некоренових підкормках, а в подальшому і в клітини рослин. Наночастинки менші за розмірами від іонів солей, тому результат одержують через 2 години замість 6-8 годин від звичайного фоліара.

Вважають, що наночастинки магнію стимулює фотосинтез рослин, а наночастинки заліза прискорює ріст рослин [17]. Особливо відмічається біологічна активність органічних сполук кремнію – силатранів [18]. Відсутність в них токсичного ефекту на живі організми, легка біодеградація в воді, ґрунті та організмах рослин і тварин дозволяє рекомендувати їх в якості екологічно безпечних засобів захисту рослин. Використання кремнійорганічних біостимуляторів в рослинництві дозволяє підвищити холодостійкість, стійкість до жару і засухи, дозволяє опиратись стресовим погодним умовам, підсилює захисні сили рослин при хворобах і проти шкідників, а також зменшує пригнічуючу дію хімічних реагентів при комплексній обробці рослин [18].

За результатами багаторічних досліджень впливу кремнійорганічних препаратів на рослинні організми Держкомісією Російської Федерації було дозволено використання їх композиції на полімерній основі для передпосівної обробки в фазі вегетації для зернобобових, круп'яних, технічних та плодовоягідних культур. Використання в захищеному ґрунті світлотрансформуючої наноплівки, розробленої в НДІ «Платан» дозволило збільшити врожайність овочевих культур в 1,5 рази та прискорити їх дозрівання [19].

З приведених матеріалів видно, що нанотехнології та наноматеріали широко впроваджуються в біології, медицині, фармакології та інших сферах діяльності людини. В той же час слід відмітити недостатню кількість досліджень на молекулярному рівні для з'ясування механізмів дії нанопродуктів. Як результат - протиріччя у висновках. Під готові результати дослідів намагаються сформувати теорію, механізми дії наночастинок, виходячи з класичних уявлень.

Наука починається з визначень основних понять, термінів. В даному випадку знання про наносвіт ще не є наукою, йде накопичення кількості розрізнених результатів експериментів. Як було показано, немає чітких визначень структури наночастинок, і, як наслідок, відсутність розуміння механізмів їх дії. Для

класифікації наночастинок недостатньо розвинуте приладобудування та методологія.

В Інституті біоколоїдної хімії НАН України [20] вчені вивчали дію наносистем на біомембрани, оскільки за їх допомоги відбуваються більшість життєво важливих функцій клітини, зокрема, зв'язок з зовнішнім середовищем. Досліджувався вплив токсичної дії важких металів на формування патології біологічних мембран бактерій. Токсична дія металів полягає в інактивації деяких ферментів, які відповідають за зв'язок з зовнішнім середовищем клітини (АТФаза, що визначає трансмембранний потенціал). Патологічний вплив надлишкової дози важких металів на мікробну клітину дозволяє використовувати бактерії в якості біосенсорів.

Недостатність знань про властивості наночастинок приводить не тільки до зменшення областей, в яких можливе їх використання, а і до некоректної оцінки ризиків, які вони несуть для рослинного, тваринного і людського організму. Нові дослідження [20], проведені неурядовою організацією «Друзі Землі» в Австралії, Європі та США, фіксують швидке розповсюдження та підвищений ризик від вживання продуктів харчової промисловості і сільського господарства, виготовлених з використанням нанотехнологій. Ця публікація підкреслює необхідність регуляторних механізмів, введення правил техніки безпеки у відношенні нанотехнологій для захисту суспільства і навколишнього середовища. Вже тепер на ринку представлено від 150 до 600 видів нанопродукції і від 400 до 500 видів нанопакетів для харчових продуктів.

Вивчення позитивних сторін нанотехнологій призводить паралельно з оцінкою і попередженням ризиків від їх використання. Російська Федерація [15] затвердила Концепцію токсикологічних досліджень, методології оцінки ризиків, методів ідентифікації і кількісного визначення наноматеріалів. В ній виділено особливості нанопродуктів, їх можливий вплив на організми і необхідність нормування цього впливу. Після визначення допустимих концентрацій наночастинок в повітрі, продуктах, навколишньому середовищі ризик від них буде не вищим ніж від токсинів, ГМО та інших шкідливих факторів.

Незважаючи на ризики, впровадження нанотехнологій йде широким фронтом у всіх галузях техніки, матеріалознавства та сільському господарстві. З кожним роком збільшується фінансування робіт по даній тематиці та розширюється міжнародне співробітництво в цьому напрямі.

Література

1. *Лопатко К.Г., Афтандіяц Е.Г.* Влияние мощности искрового разряда на состав продуктов эрозии меди в воде. / Тезисы докладов Международной конф. «Электрические контакты и электроды», Крым, 2009. – С. 25.
2. *Захарченко С.Н., Шевченко Н.И., Масловский В.А. и др.* Стабилизация параметров систем объемной электроискровой обработки гетерогенных токопроводящих сред

- // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2005. – №2 (11). – Ч.2. – С. 9-13.
3. *Гуйда А.* Технологии XXI века. // Агропромышленная газета юга России. – 2008. – № 41 - 42 (148 - 149). – С.6
 4. *Salata O.V.* Application of nanoparticles in biology and medicine // J.Nanobiotech. – 2004. - P.1-6
 5. *Анспек П.И.* Микроудобрения: Справочная книга. – Л.: Колос, 1978. – 272с.
 6. *Авдошина К.А., Табарова К.П., Рязанова Г.Е.* Нанотехнологии в сельском хозяйстве <http://www.priytyki.net/nanotexnologii-v-rossijskoj-federacii-2/>
 7. *Зайцев С.Ю.* Мембранные наноструктуры на основе биологически активных соединений для бионанотехнологии // Российские нанотехнологии. - 2009. – Т.4. - № 7-8. - С. 44-55.
 8. *Ильин А.П., Кориунов А.В., Толбанова Л.О., Астанкова А.П.* Биологическая активность нанопорошков металлов, полученных с помощью электрического взрыва проводников // nanosvit.com/public/docs/nanoparticles_1.pdf.
 9. *Nesli S., Jozef L.* Kokini Nanotechnology and its applications in the food sector//Trends in Biotechnology. – 2009. - Vol. 27, №2. – P. 82-89
 10. *Tolles W.M., Ratch B.B.* Nanotechnology, a stimulus for innovation//Curr.Sci. – 2003. – Vol.85. – P.1746-1759
 11. *Асанов У.А., Цой А.Д., Щерба А.А и др.* Электроэрозионная технология соединений и порошков металлов. – Фрунзе: Илим, 1990.– 256 с.
 12. *Whitesides G.M.* The “right” size in nanobiotechnology//Nature Biotechnology. – 2003. – Vol.21. – P.1161-1165
 13. *Москаленко В.Ф., Розенфельд Л.Г., Мовчан Б.О., Чекман І.С.* Нанотехнології, наномедицина, нанофармакологія: стан, перспективи наукових досліджень, впровадження в медичну практику // 1 національний конгрес "Человек и лекарство — Украина". Київ, 2008. — С. 167—168.
 14. *Ильин А.П., Кориунов А.В., Толбанова Л.О., Астанкова А.П.* Биологическая активность нанопорошков металлов, полученных с помощью взрыва проводников // nanosvit.com/public/docs/nanoparticles_1.pdf.
 15. *Каплуненко В.Г., Косинов Н.В., Бовсуновский А.Н., Черный С.А.* Нанотехнологии в сельском хозяйстве. // Зерно. – 2008. – №4(25). – С. 46-54.
 16. *Бовсуновский А.М., Вялый С.О., Каплуненко В.Г., Косинов Н.В.* Нанотехнологии как движущая сила аграрной революции //Зерно. – 2008. -№11(31) . - С.80-83.
 17. *Ульберг З., Грузина Т., Карпов О.* Нанотехнології в медицині: роль колоїднохімічних процесів // Вісник національної академії наук України – 2008. - №8. - С.28-41.
 18. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника: мировые достижения за 2005 год.: Зб. под ред. П.П.Мальцева. – Москва: Техносфера, 2006. - 149 С.
 19. *Федоренко В.Ф.* Силатраны – органические соединения кремния// <http://nanoagro.ru/rastenievodstvo/silatranuyi-organicheskie-soedineniya-kremniya-2.html>
 20. *Трусевич А.В., Храмов С.С.* Применение кремнийорганических соединений при выращивании огурца и томата в теплице // www.agroxxi.ru/docs/07122004/07122004021.pdf.
 21. *Розенфельд Л.Г., Чекман І.С., Тертишина А.І. і ін.* Нанотехнології в медицині, фармації та фармакології // Фармакологія та лікарська токсикологія. - 2008. - №1 - 3. - С.3-7.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ситар О.В., Новицькая Н.В., Таран Н.Ю., Каленская С.М., Ганчурин В.В.

В обзоре представлены результаты исследований по использованию нанопрепаратов и нанотехнологий в современном сельском хозяйстве. Особенное внимание сконцентрировано на токсичности и не токсичности нанопрепаратов, в зависимости от природы их происхождения. Рассмотрена роль нанопрепаратов в повышении урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: нанопрепараты, нанотехнологии, сельское хозяйство

NANOTECHNOLOGY IN MODERN AGRICULTURE

Sytar O., Novicka N., Taran N., Kalenska S., Ganchurin V.

The investigations with use nanodrugs and nanotechnologies in modern agriculture are presented in this review. Particular attention is focused on the toxicity and no toxicity nanodrugs, which depend from their origin. The role of nanodrugs in crop productivity has been shown.

Key words: nanodrugs, nanotechnologies, agriculture