

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В АГРАРНІЙ СФЕРІ

Нанотехнологія сьогодні ще знаходиться на початковій стадії розвитку, оскільки основні відкриття, які очікуються в цій новій галузі науки, поки що не зроблені. Проте низка виконаних досліджень дала змогу отримати цікаві практичні результати. І можна впевнено говорити, що нанотехнологія — наступний логічний крок розвитку наукоємних виробництв. Сфера застосування нанотехнологій досить широка. Зокрема, в аграрній науці є чимало об'єктів, де вже давно слід скористатися унікальними можливостями нанотехнологій. Про це розповідає автор даної публікації.

Одним із найважливіших напрямів застосування нанотехнологій у біології має стати цілеспрямована зміна відносин вірусів, бактерій, бактероїдів з вищими рослинами. Нині вдається досягти взаємодії штучних наночасток з природними об'єктами нанорозмірів — білками, нуклеїновими кислотами та ін. До науки ми повернемося, а спочатку кілька слів про умови існування живих організмів.

Кожна жива істота у боротьбі за існування, продовження якого на певному етапі є продукування потомства, стикається із безліччю різноманітних за складністю завдань. З навколишнього середовища необхідно одержувати потрібні поживні речовини та мінерали і в той же час позбавлятися відходів життєдіяльності, самостійно синтезувати речовини, яких бракує, отримувати енергію, необхідну для енергоємних хімічних і фізичних процесів, знаходити прийнятних партнерів для обміну спадковим матеріалом, піклуватися про потомство, захищатися від хижаків — і все це в мінливому, далеко не завжди сприятливому довкіллі.

Вимоги, які висуває життя до кожного окремого організму, не тільки численні й різноманітні — дуже часто вони ще і супе-

речливі. Неможливо оптимізувати складну систему відразу за всіма параметрами: щоб домогтися досконалості в чомусь одному, доводиться жертвувати іншим. Тому еволюція — це вічний пошук компромісу, і звідси випливає неминуча обмеженість можливостей будь-якої окремо взятої живої істоти. Найпростіший і ефективний шлях подолання цієї обмеженості — симбіоз, тобто кооперація «фахівців різного профілю». Такою є кооперація рослин з мікроорганізмами, здатними переводити з атмосфери азот, якого на кожний квадратний метр поверхні земної кулі припадає 8 тонн (на гектар 80 тис. тонн), або похованої в ґрунті органіки в доступну для рослин форму (амоній, NH₄⁺). Встановлено, що для фіксації атмосферного азоту необхідно витратити величезну кількість енергії, оскільки основна частина біосферного азоту міститься в атмосфері у хімічно інертній молекулярній формі (N₂). В той же час бульбочкові бактерії ощадливіше використовують енергію, необхідну для фіксації азоту, зачіпаючи 3–4 г вуглеводів на 1 г азоту, азотфіксуючі бактерії витрачають 50–100 і більше грамів на фіксацію 1 г азоту.

Ризобії, що живуть у бульбочках, забезпечують рослину амонієм, натомість отримують

муючи весь комплекс елементів живлення, в першу чергу — вуглеводи, утворювані в ході фотосинтезу. Між рослинним і бактерійним компонентами симбіотичного комплексу склалася ефективна і гнучка система взаємної координації та регуляції. Наприклад, спеціальні ферменти рослин, що працюють тільки в бульбочках, «підключаються» про те, щоб концентрація кисню в центральній частині бульбочки, де живуть ризобії, була якнайнижча (і вона там дійсно нижча, ніж в атмосфері, на 5–6 порядків). Біохімічна і генетична інтеграція симбіотичного комплексу доходить навіть до того, що активність деяких рослинних генів регулюється бактерійними білками-регуляторами.

Зараз фіксація молекулярного азоту бактеріями роду *Rhizobium* в умовах симбіозу характерна для великої групи рослин бобів. Разом з тим є ще близько 100 видів інших рослин, на коренях яких розвиваються специфічні для кожної рослини бульбочкові бактерії.

Можна стверджувати, що симбіоз — не просто дуже поширене явище. Це магістральний шлях еволюції, без якого прогресивний розвиток життя на Землі був би украй складним, якщо взагалі можливим. На симбіозі було засновано багато найважливіших ароморфоз (прогресивних перетворень), з яких, нагадаємо, найзначніша — формування еукариотичної (ядерної) клітини, тієї відправної точки, з якої надалі розвинулися всі вищі форми життя (тварини, рослини, гриби).

Проте це явище у величезному світі живої природи ще дуже обмежене, як і вирощування бобових рослин, і тому світове землеробство вимушене щорічно затрачувати величезну кількість енергії і матеріальних засобів на виробництво мінерального азоту добрив, собівартість яких з кожним роком різко зростає.

На прикладі симбіозу природа дає нам урок того, як можна розв'язувати складні

питання позитивної взаємодії мікроорганізмів і вищих рослин, як у період напруженої енергетичної кризи можна обходитися меншими витратами енергії. В цьому, на наше переконання, і полягає необхідність застосування в повному обсязі нанотехнологій у біології.

Молоді бульбочкові бактерії розміром 0,5–0,9; 1,2–3,0 мк не спороздатні, рухомі, грамнегативні, аеробні, величина їх у тисячі разів більша нанометра, і, застосувавши нанотехнології, їх можна забезпечити інформациєю або використати як «бактерію-візника», що дасть можливість здійснити симбіоз не тільки з бобами, а й іншими родинами культурних рослин.

Така конструкція цілком може стати реальною за умов правильно поставленого завдання і безумовно повного фінансування досліджень. Науковий потенціал і база для проведення таких досліджень в Україні є: Інститут сільськогосподарської мікробіології УААН, Інститут агроєкології УААН, Південний біотехнологічний центр у рослинництві УААН, Інститут захисту рослин УААН, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Інститут клітинної біології і генної інженерії НАН України, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України.

В Українській академії аграрних наук накопичено великий досвід і науково-дослідний матеріал з питань азотфіксації, створений великий банк штамів азотфіксуючих бактерій. Такі дослідження за умов належного фінансування вже могли б бути розпочаті, проте засобів на вирішення актуальних завдань біотехнології, не говоримо навіть про нанотехнології, не виділяють.

Спектр застосування нанотехнології в аграрному виробництві досить широкий. Усім відома проблема з американським «гостем» наших полів — колорадським жуком. Що тільки не пропонували для боротьби з ним — від сильнодіючих отрут до трансгенної картоплі, яку вже за даними Інституту

картоплярства УААН успішно поїдають окремі особини цієї комахи. Ймовірно не той шлях був вибраний для вирішення цієї проблеми. Мінливість комах з урахуванням їхньої чисельності та плодючості у багато разів перевершує зміни, що відбуваються в рослинах. Так чому не використати ці особливості і, застосовуючи нанотехнології, не змінити, наприклад, кормову базу колорадського жука — картоплю на осот? Фантастика, але вона може стати реальністю.

Пригадується, у 70–90-ті роки минулого століття у Криму було нашестя всеїдного і зазвичай нешкідливого лугового метелика. Він перепливав канали, за ніч спустошував поля соняшнику і люцерни, буряку і кукурудзи, але коли на шляху у нього постало поле сої, відносно чисте від бур'янів, він знищив усі залишки бур'янів і не торкнувся сої. Ось так треба змінити «смаки» колорадського жука, щоб йому хотілося іншої їжі.

Рашид Башир, який працює над проблемою доставки ліків у Центрі нанотехнологій у Барці, зміг помістити наночастки на поверхню бактерії, пов'язавши їх із відрізками ДНК. Розміри наночасток — від 40 до 200 нанометрів, їх учені прикріпили на поверхню бактерії спеціальними молекулами-лінкерами. На одній бактерії можна розмістити до декількох сотень наночасток, розширивши таким чином кількість і «типи» вантажів, які потрібно доставити.

Оскільки бактерії володіють природною здатністю проникати в живі клітини, то на сьогоднішній день вони є ідеальними кандидатами для доставки ліків. Особливо це цінно в генній терапії, де необхідно доставити фрагменти ДНК за призначенням, не вбивши при цьому здорову клітину. Після того, як гени потрапляють в клітинне ядро, воно починає виробляти специфічні білки, коректуючи, таким чином, генетичне захворювання. Як говорить Башир, так само можна доставляти всередину клітин ліки, або ж діагностичні агенти.

Цей метод міг би стати основоположним у діагностиці та лікуванні сільськогосподарських тварин, завдяки якому можна було б на ранніх стадіях попереджувати небезпечні епідемії і підвищувати стійкість організму тварин до таких хвороб.

Тим паче, що багато вірусів мають розмір 10 нм, а 1 нм майже точно відповідає характерному розміру білкових молекул (зокрема, радіус знаменитої подвійної спіралі молекули ДНК дорівнює саме 1 нм). Тому фундаментальні дослідження XXI століття в галузі нанотехнологій повинні обов'язково націлюватися саме на вивчення механізмів процесів на молекулярному рівні.

Ми повинні якнайшвидше розпізнати, яким чином кожна частинка квантової системи «знає» про те, що відбувається з іншими частинками, а вивчивши цей механізм, застосувати його на благо цивілізації.