

О. СОЗІНОВ

АГРОБІОТЕХНОЛОГІЇ: БІОСФЕРНО-НООСФЕРНИЙ ПІДХІД

В останні десять років у зв'язку з прогресом біотехнології як високої технології, спроможної справити потужний вплив на різні соціально-економічні аспекти функціонування суспільства і на середовище проживання людини, виникли нові етичні проблеми. Сьогодні вже ставиться питання про необхідність відповідного коригування сформованих раніше правил моралі. Втім, у багатьох випадках суспільство поступово починає ліберальніше ставитися до біотехнологічних новацій. Так, наприклад, після досить бурхливих дискусій у суспільстві, особливо в релігійних сферах, про допустимість одержання дітей «із пробірки», нині більшість спокійно сприймає цю процедуру. Те ж саме стосується використання стовбурних клітин людини або лікарських препаратів, отриманих за допомогою генетично модифікованих організмів. І хоча ще багато проблем застосування досягнень біотехнології у медицині викликають неоднозначну реакцію суспільства, парадоксальним є те, що вона тут не має такого гострого характеру, як реакція на впровадження досягнень агробіотехнології у сільське господарство і пов'язані з ним галузі економіки.

В чому ж причина цього феномена?

Будь-які події у біології, медицині чи екології сьогодні мають розцінюватися з погляду моралі сучасного цивілізованого суспільства. Це аксіома. Однак коли йдеться про впровадження досягнень біотехнології у сільське господарство, далеко не завжди застосовуються чіткі та обґрунтовані критерії їх оцінки. На думку Wynne (1997), це пов'язане з тим, що їжа завжди була одним із символів національної культури, важливим елементом самоідентифікації нації і соціальних груп. У кожного народу і в різних релігіях існує табу або обмеження на споживання деяких продуктів, наприклад свинини у мусульман та іудеїв, надається перевага певним типам харчування, поширене дотримання постів. З розвитком цивілізації і посиленням міграції традиції, пов'язані з харчуванням, особливо в розвинених країнах, розмиваються. І все-таки люди насторожено ставляться до нових продуктів. Для їхнього поширення необхідні значні зусилля і реклама, як це було, наприклад, при введенні в культуру європейців кока- і пепсі-коли, жувальної гумки тощо. Водночас суспільство чутливо реагує на антирекламу певних харчових продуктів, коли поширюється навіть необґрунтована інформація про їхній негативний вплив на здоров'я. Все це створило підґрунтя для різних маніпуляцій навколо деяких продуктів харчування. Так, у багатьох країнах на тлі гучної кампанії проти споживання будь-яких продуктів, отриманих з використанням генетично модифікованих рослин, практично безперешкодно поширювалися і поширюються різноманітні недостатньо перевірені нутріцевтики, як, наприклад, розрекламований свого часу «гербалайф», велика кількість засобів для схуднення, омолодження тощо.

Останнім часом у розвинених країнах розгорнулася активна реклама «натуральної їжі». Йдеться про продукти, отримані на так званих біологічних фермах, де не застосовуються мінеральні добрива і пестициди. Але про їхню «натуральність» можна говорити тільки тоді, коли споживається продукт, отриманий безпосередньо з ферми. Якщо ж він зазнає технологічної переробки у харчовій промисловості, то його натуральність значною мірою

втрачається. А оскільки міське населення розвинених країн споживає переважно продукцію харчової промисловості, говорити про значне поширення натуральної їжі не доводиться, особливо з огляду на дуже високу собівартість продукції, одержаної на біофермах.

Отже, потрібні нові підходи, коли йдеться про біоетичні аспекти застосування досягнень біотехнології в агросфері. Дуже важливо, щоб біоетика розробила критерії оцінки можливих наслідків використання агробіотехнології не тільки з позицій біобезпеки, а й з погляду моралі. Тобто вона покликана розв'язувати складні етичні проблеми у сфері, де не існує точних критеріїв на зразок гранично допустимої концентрації, ступеня ризику тощо (втім, і ці показники є тільки однією із складових біоетичної оцінки).

Для України біоетичні аспекти застосування агробіотехнології мають особливе значення. Адже з огляду на природні, економічні, історичні чинники сільське господарство завжди відіграло і відіграватиме тут значну роль у житті суспільства. Одним з вирішальних факторів, які визначають такий тип розвитку економіки, є те, що агросфера, тобто територія, на якій домінують модифіковані людиною рослини і тварини та пов'язані з ними групи організмів, займає понад 70 % загальної площі країни. Агросфера не тільки забезпечує потреби країни та експорт сільськогосподарської продукції, вона є середовищем проживання значної частини населення, у тому числі й міського.

Як відомо, у 70—80-х роках минулого століття в Україні була здійснена індустріалізація сільського господарства, яка забезпечила значне зростання виробництва сільськогосподарської продукції. Однак вона супроводжувалася посиленням антропогенного тиску на довкілля, вичерпанням природних ресурсів, зокрема родючості ґрунтів, зникненням малих річок, забрудненням навколишнього середовища токсичними речовинами. До цього додалися проблеми, пов'язані з чорнобильською трагедією і процесами урбанізації. Все це призвело до екологічної кризи у багатьох регіонах України.

У 90-х роках, незважаючи на зменшення антропогенного тиску, екологічна ситуація в агросфері не поліпшилась, а навіть погіршилась, особливо в зонах водної меліорації і на сільських селітебних територіях. Стало очевидним, що єдиний безальтернативний шлях виходу агросфери України із системної кризи — перехід на засади сталого розвитку. Одним з важливих факторів досягнення цієї мети є широке застосування в аграрному виробництві здобутків агробіотехнології. Саме їй разом з інформатикою належить вирішальна роль у формуванні агросфери, котра за основними параметрами наблизиться до ноосфери, як її уявляв В. І. Вернадський. Проте йдеться про застосування технологій, в основі яких — безпрецедентні маніпуляції з живою речовиною на клітинному і молекулярному рівнях. І оскільки тут важко передбачити наслідки, велику роль починає відігравати біоетика, яка завдяки своїй, можна сказати, не тільки суто прагматичній, а й духовній функції, має оцінювати етичність застосування як окремих технологій, так і їхньої сукупності у формуванні нової агросфери.

Оскільки сучасна біотехнологія — це ряд певною мірою відокремлених підходів, варто розглянути біоетичні проблеми кожного з них стосовно його застосування в агросфері.

Найрозвиненіший розділ агробіотехнології — використання досягнень клітинної біології, що включає застосування культури клітин, тканин та органів рослин і тварин. На практиці ці методи дають змогу розв'язувати проблеми швидкого розмноження цінних генотипів рослин, очищення їх від патогенних вірусів, одержання соматичних гібридів, штучного запліднення тварин, ембріопересадки, отримання моноклональних антитіл, біологічно активних речовин тощо. Застосування більшості цих методів за умови дотримання певних

біоетичних правил не має істотних обмежень. Більше того, мені здається неприпустимим те, що за наявності високоякісних біотехнологій одержання безвірусного садивного матеріалу картоплі, хмелю, плодових, ягідних та інших культур наше сільське господарство і мільйони власників особистих господарств, городів і дач змушені використовувати заражений патогенним вірусом матеріал, що призводить до значних збитків. Проте варто підкреслити, що все сказане не стосується медицини, у тому числі ветеринарної, де необхідний особливий підхід до маніпулювання методами клітинної біології, зокрема при розмноженні особливо небезпечних збудників хвороб тварин.

Фактично до сфери клітинної біології можна віднести і проблему клонування тварин. Як відомо, після появи вівці Доллі дискусія про етичність цього шляху розмноження особливо цінних генотипів тварин набула гострого характеру. Але ми маємо визнати, що клонування тварин не суперечить принципам етики, якщо йдеться про створення і розмноження особливо цінних генотипів. Важко зрозуміти, на чому ґрунтується негативне ставлення до цього методу. Адже вже багато років у тваринництві широко використовуються маніпуляції з ембріонами. Крім того, в усьому світі не виникає проблем з вирощуванням мільйонів голів різних тварин спеціально для м'ясної галузі. Більше того, протягом тисячоліть це вважається богоугодною справою і благословляється майже всіма релігіями.

Ще одна велика сфера застосування сучасної біотехнології — використання молекулярно-генетичних маркерів у селекції, а також для розмноження рослин і тварин, збереження їх генофондів тощо. Це один з найдинамічніших напрямів реалізації досягнень біотехнології. Зокрема, з допомогою маркерів здійснюються ідентифікація і локалізація на хромосомах цінних генів або локусів господарчо важливих кількісних ознак (QTL), створюються мапи хромосом, контролюється генетична якість насіння, складаються молекулярно-генетичні каталоги сортів і ліній, що дає можливість їх ідентифікувати при захисті авторських прав, збереженні генофондів тощо. Молекулярні маркери на рівні ДНК і білків у поєднанні з культурою *in vitro* забезпечили нові можливості для реконструкції геному культурних рослин за допомогою так званої геномної і хромосомної інженерії. Загалом уся ця велика і важлива сфера застосування агробіотехнології не суперечить принципам біоетики, якщо, звичайно, маніпуляції не здійснюються для досягнення лихих намірів.

Найзапекліші дискусії точаться з приводу використання в агропромисловому виробництві так званих генетично модифікованих організмів (ГМО). Йдеться про те, що у зв'язку з універсальністю генетичного коду всієї живої речовини і розвитком методів маніпулювання ним на молекулярному рівні з'явилися можливості виділяти і переносити гени з одних організмів до інших, долаючи всі створені еволюцією бар'єри не тільки між видами, а й між родами і царствами. Наприклад, можна переносити гени від мікроорганізмів до рослин, від тварин і людини — до рослин або мікроорганізмів тощо. При цьому використовуються методи як молекулярної біології і молекулярної генетики, так і клітинної біології та інформатики. Для здійснення такого перенесення створюються спеціальні генетичні конструкції, які дають змогу вбудовувати потрібний ген у геном нового хазяїна і забезпечувати його ефективне функціонування.

Такий підхід, що одержав назву «генетична інженерія», має величезне значення для формування нової агросфери. Якщо говорити, наприклад, про рослини, то застосування методів сучасної біотехнології, особливо генетичної інженерії, може стати основою нової «зеленої революції». Одержання трансгенних рослин дає змогу створити нове покоління генетично модифікованих сортів, стійких до агресивних патогенів і шкідників (зокрема до нематод, які щорічно завдають шкоди сільському господарству приблизно на 100 млрд доларів США), до вірусів, віроїдів, мікоплазм, абіотичних стресів (низькі та високі

температури, засолення або закислення ґрунтів, посуха, перезволоження тощо), до тотальних гербіцидів. Це значно спростить боротьбу з бур'янами, створить можливості для підвищення ефективності фотосинтезу і кращого використання добрив. Крім того, стане доступним керування якістю продукції як за вмістом у ній вітамінів та інших поживних речовин, так і за придатністю для переробки, збереження і транспортування. Практично йдеться і про розв'язання проблеми створення рослин — продуцентів особливо цінних фармакологічних препаратів, а також рослин для фіторемідації (очищення) ґрунту від токсичних речовин.

Що ж до тварин, то генетична інженерія допоможе їм набути особливо цінних ознак (м'ясність, молочність, імунність), дасть змогу вирощувати органи для пересадки людині, а також створювати тварин-біореакторів, продуцентів цінних лікарських препаратів.

Генетично модифіковані мікроорганізми дадуть можливість розв'язати проблему активізації біологічної фіксації азоту і мобілізації фосфору, створити препарати для захисту рослин від хвороб, шкідників і низьких температур, продукувати біологічно активні речовини для тварин і рослин (вітаміни, ветпрепарати, стимулятори росту, вакцини тощо).

Проте з огляду на нові можливості реконструкції геному організмів, використовуваних в агросфері, виникла реальна небезпека негативного впливу їх на здоров'я людини, навколишнє середовище, біорізноманіття тощо. Тому в усьому світі тривають акції протесту проти використання генетично модифікованих організмів в агросфері. Форми їх найрізноманітніші — від масових демонстрацій до знищення дослідних ділянок трансгенних рослин. Причому відбувається це у розвинених країнах і навіть у дуже толерантній до використання нових технологій Індії. Але незважаючи на це, у 2001 р. трансгенні сорти рослин висівалися у США, Канаді, Аргентині, Китаї та в інших країнах на площі близько 50млн га. Все це свідчить про надзвичайну актуальність оцінки з погляду біоетики нової ситуації, що виникла у зв'язку зі створенням і поширенням генетично модифікованих організмів в аграрному виробництві.

Насамперед варто розглянути етичність штучної реконструкції геному організмів, які застосовуються в агросфері. При цьому згадаймо, що ця «технологія» широко використовувалася природою у процесі еволюції. Так, наприклад, близько 10 тисяч років тому внаслідок об'єднання в одному організмі хромосом трьох видів диких злаків виникла м'яка, або хлібна, пшениця, значення якої для розвитку цивілізації важко переоцінити. Але найголовніше — окремі цінні гени або їхні асоціації поширювалися в ході еволюції за допомогою процесів, які нині людина застосовує у біотехнології. Фактично природа протягом мільйонів поколінь використовувала методи генетичної інженерії (зокрема за допомогою транспозонів) для перенесення цінних генів або їхніх комплексів у найрізноманітніші форми живої речовини. Це, наприклад, гени «домашнього господарства», або такі, що кодують рецептори світла (а вони практично однакові у комах і людини). Подібних фактів безліч. Після розшифрування геному людини стало ясно, що він містить не тільки окремі гени, а й їхні асоціації, характерні для інших, навіть дуже віддалених, у тому числі й примітивних, видів. Усе це дає можливість стверджувати: сама по собі реконструкція геному — не нове явище. Можна, безперечно, посилатися на те, що не слід людині так радикально втручатися у створене вищим розумом (якщо він існує) або Господом. Але людство вже давно стало на цей шлях, створюючи культурні рослини і свійських тварин.

Проблема лежить в іншій площині. Необхідні не спроби накласти «вето» на молекулярно-генетичні методи реконструкції геному, а об'єктивна оцінка можливих негативних

наслідків для людини і навколишнього середовища застосування конкретного генетично модифікованого організму. При цьому біоетика має звертати особливу увагу на те, що агросфера по суті є штучно створеною людиною системою з пригніченими механізмами природної стійкості і тому варто дуже обережно підходити до оцінки наслідків поширення у ній нових організмів.

Сьогодні багато говорять про можливість вертикального перенесення вбудованих у трансгенні рослини генетичних конструкцій до геномів близьких диких родичів. Ця небезпека справді існує, хоча її наслідки часто перебільшуються. Наприклад, перенесення до диких рослин генів стійкості до тотальних гербіцидів не дасть їм якихось переваг на полях, де не застосовується відповідна обробка. Проте, безумовно, необхідно досить точно оцінювати цю небезпеку і зводити її до мінімуму. Серед можливих контрзаходів можна назвати вбудовування потрібних генетичних конструкцій не в хромосоми ядра, а в органели, що не переноситимуться з пилюком.

З погляду біоетики дуже важливо оцінити можливі негативні наслідки такого вертикального перенесення на всю біоту агроландшафту. Але не можна накладати якісь жорсткі обмеження, виходячи лише з умоглядного аналізу. Слід насамперед привернути увагу вчених, які працюють у галузі генетичної інженерії та біобезпеки, до необхідності глибше, на підставі безпосереднього експерименту, оцінювати можливі наслідки появи у навколишньому середовищі носіїв тих або інших генетичних конструкцій.

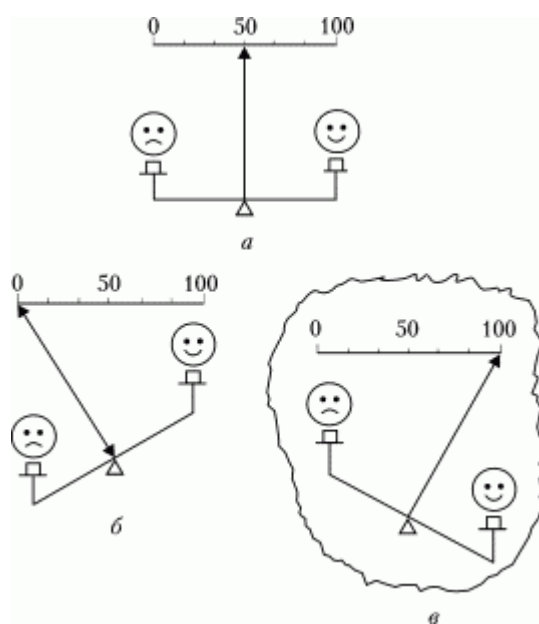
Важливе значення має біоетичний підхід до проблеми можливого безпосереднього негативного впливу як самих генетичних конструкцій, так і їхніх продуктів на здоров'я людей і фауну. Справді, створені трансгенні сорти кукурудзи, картоплі, бавовнику та інших культур, стійкі до враження шкідниками, продукують токсичні для комах білки. Проведені широкомасштабні дослідження, як стверджують біотехнологічні компанії і служби державного контролю США та Канади, довели, що ці білки абсолютно не токсичні для теплокровних тварин та людини і діють вибірково тільки на певний вид комах. Це стало підставою для широкого виробництва таких трансгенних сортів. Але проблему можливої токсичності Bt білків не можна вважати остаточно розв'язаною.

Мабуть, немає підстав для заяв про надзвичайну небезпеку генетично змінених організмів, насамперед рослин, для агросфери і навіть біосфери. Але їх застосування, безперечно, потребує ефективного контролю. Крім того, існує низка біоетичних проблем, які мають враховуватися під час поширення таких рослин. Насамперед, споживачі харчових продуктів, що містять такі рослини, мають право на відповідну інформацію. Необхідно також продовжити дослідження можливого їх впливу на все живе, а головне, не допускати агресивних форм пропаганди цих продуктів, що стала сьогодні звичайним явищем. Це ж стосується і трансгенних рослин, продуцентів біологічно цінних речовин. Безперечно, посилений синтез, наприклад, дефіцитних амінокислот чи вітамінів і збільшення їх кількості у харчових продуктах має важливе значення для поліпшення харчування, особливо населення країн, що розвиваються. Але необхідно враховувати і можливі негативні наслідки, зумовлені особливостями застосовуваних генетичних конструкцій. Актуальність біоетичних проблем, пов'язаних з використанням генетично модифікованих рослин, зумовлена тим, що, незважаючи на існуючий опір, посіви цих рослин розширюються і вже створено значний резерв цінних трансгенних генотипів багатьох культур.

У тваринництві генетична інженерія поки що не набула широкого розмаху. А головне — розмноження трансгенних тварин легко контролювати, а їхній вплив на навколишнє середовище такий самий, як у звичайних порід.

Значно більшої уваги з позицій біоетики потребує сфера створення рекомбінантних мікроорганізмів і вірусів, призначених для застосування в агросфері. Тут мають реалізовуватись такі ж підходи, що й у медичній мікробіології та вірусології, але є особливості, пов'язані з використанням рекомбінантних ґрунтових або ризосферних мікроорганізмів.

Ця стаття не має на меті детальний аналіз усіх біоетичних аспектів досліджень з агробіотехнології і застосування їхніх результатів в агросфері. Зроблено спробу тільки показати на деяких прикладах як актуальність, так і складність біоетичного підходу до цієї проблеми. Безумовно, у своєму ставленні до неї, як і до конкретних розробок у галузі агробіотехнології, біоетика керується такими критеріями, як співвідношення користі, очікуваного прибутку і рівня негативних наслідків від їхнього використання на практиці.



Різні співвідношення корисних і небажаних ефектів від застосування біотехнології: *a* — ситуація, за якої позитивний результат використання конкретної розробки дорівнює сумі його негативних ефектів, що неприпустимо з погляду як біобезпеки, так і біоетики; *b* — ситуація значного превалювання негативних ефектів над позитивними, що тим більше неприпустимо; *v* — ситуація значного превалювання позитивних ефектів над негативними, тому її оцінка з погляду біобезпеки однозначно позитивна (але біоетика зобов'язана при цьому враховувати і вплив повного комплексу чинників, зумовлених принципами моралі).

Якщо спробувати графічно відобразити суть такого підходу, то матимемо три різні картинки (див. рисунок). На якомусь етапі біоетичний критерій практично ідентичний критерію біобезпеки. Але якщо останній спирається тільки на чіткі кількісні значення очікуваного ризику, то біоетика вирішує складніше завдання. У визначенні своєї позиції вона повинна, крім співвідношення прибуток/ризик, враховувати аспекти, які фактично не піддаються точній кількісній оцінці. Вони ґрунтуються на принципах моралі й етики, тобто належать до сфери духовного розвитку суспільства. Тут немає простих рішень, але є необхідність забезпечувати консенсус інтересів виробника з інтересами суспільства або його окремих соціальних груп і враховувати можливі негативні наслідки для навколишнього середовища, а також моральні принципи самого суспільства.

Не можна погодитися з твердженням деяких учених, що суспільна мораль і етика досить швидко адаптуються до використання найнеймовірніших досягнень біологічної науки, наприклад клонування людини. Історія свідчить, що феномени, які важко піддаються кількісній оцінці, — мораль і духовність суспільства — відігравали і відіграють важливу

роль у розвитку цивілізації, накладаючи мораторій на небезпечні, антиморальні експерименти, як це було, наприклад, з євгенікою.

Стосовно агробіотехнології та застосування її досягнень на практиці біоетика повинна, з одного боку, не бути гальмом для прогресу в забезпеченні потреб населення у харчових продуктах і сировині, а з другого — не допустити перетворення агросфери на промисловий цех для виробництва таких продуктів. Адже тоді можуть кардинально змінитися середовище проживання і духовність не тільки сільського, а й міського населення, а також існуючі агроландшафти. Агросфера — це частина біосфери, де вирішальну роль відіграє процес функціонування живої речовини з її атрибутами — біоценозами, біорізноманіттям і певним біологічним кругообігом речовини та енергії. Тому, крім необхідності розв'язання конкретних проблем застосування досягнень агробіотехнології, перед біоетикою постає і глобальна для всього людства проблема формування біосферно-ноосферного підходу до розвитку агросфери за зростаючої ролі агробіотехнології та інформатики. Не можна, щоб вона перетворилася на різновид урбанізованої території, бо це суперечить глобальному біосферному підходові. В Україні ж села завжди були не тільки годувальниками урбанізованого суспільства, а й середовищем збереження природних ландшафтів, духовності, традицій нації. Нам усім необхідно усвідомити важливість біоетичного підходу до проблеми агросфери, особливо у зв'язку з бурхливим розвитком біотехнології, здатної за короткий час кардинально змінити особливості функціонування в ній живої речовини. Причому кінцевий позитивний або, навпаки, трагічно негативний результат цих змін значною мірою залежить від рівня розвитку і ролі біоетики.

© СОЗІНОВ Олексій Олексійович. Академік НАН України. Директор Інституту агроекології і біотехнології Української академії аграрних наук (Київ). 2002.