

Я. БЛЮМ, Ю. СИВОЛАП, Р. РУДИЙ, О. СОЗІНОВ

## НОВА ХВИЛЯ «ЗЕЛЕНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ»

### Перспективи застосування в Україні досягнень молекулярної біотехнології та геноміки

*Кінець ХХ і початок ХХІ ст. ознаменувалися розвитком сучасних біотехнологій, які базуються на досягненнях молекулярної генетики, зокрема генетичної інженерії, а тепер уже і геноміки та біоінформатики. Технології рекомбінантних ДНК, запроваджені на перших порах у фармакологічній індустрії, сьогодні широко використовуються у сільському господарстві для створення генетично модифікованих рослин. Разом з тим активне застосування молекулярних маркерів, складання молекулярно-генетичних карт геномів найважливіших сільсько-господарських культур, розвиток методів клітинної біології відкрили якісно нові перспективи фактичного конструювання нових сортів, упровадження у рослинництво інших досягнень генетики, біотехнології, геноміки та генетичної інженерії.*

*Чи може Україна стати перспективним ринком для інвестицій іноземних біотехнологічних компаній? Що треба зробити для ефективного використання вітчизняного наукового потенціалу у сфері біотехнології? Розмірковуючи над цими питаннями, автори формулюють конкретні пропозиції для розробки національної стратегії розвитку біотехнології рослин та біобезпеки.*

Грунтовний аналіз світового й вітчизняного досвіду засвідчує, що серед найважливіших факторів зростання ефективності агропромислового виробництва провідне місце належить створенню і впровадженню нового

покоління сортів рослин. Сорт — це концентрація досягнень біологічної науки у практиці рослинництва. Він являє собою унікальний засіб виробництва, який внаслідок закладених у ньому генетичних властивостей

© БЛЮМ Ярослав Борисович. Член-кореспондент НАН України. Заступник директора Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України. Заступник академіка-секретаря Відділення загальної біології НАН України (Київ).

СИВОЛАП Юрій Михайлович. Академік УААН. Директор Південного біотехнологічного центру в рослинництві УАНН і МОН України (Одеса).

РУДИЙ Роман Богданович. Кандидат хімічних наук. Учений секретар Сектору хімічних і біологічних наук Президії НАН України (Київ).

СОЗІНОВ Олексій Олексійович. Академік НАН України та УААН. Радник Президії НАН України (Київ). 2006.

протягом тривалого часу забезпечує вищу продуктивність, якість, екологічну безпечність фактично без додаткових витрат енергетичних та інших ресурсів. Саме створення нових поколінь сортів ініціювало «зелені революції», що сприяли значному підвищенню виробництва зерна у світі. Прискорення створення нового покоління сортів набуває особливого значення за умов зростаючого дефіциту природних й антропогенних ресурсів, вищих вимог до якості продукції, екологічності виробництва, а також через глобальні зміни клімату. Доведено, що витрати зі створення нового сорту відшкодовуються у виробництві у співвідношенні 1:20; 1:50.

Наразі перед селекцією відкриваються якісно нові можливості, особливо завдяки бурхливому розвитку в останній чверті століття біологічної науки та її нових гілок: молекулярної генетики, біотехнології, генетичної інженерії, геноміки, біоінформатики, культури ізолюваних тканин й органів тощо. За допомогою культури ізолюваних клітин, тканин та органів стало можливим розширення генетичної бази культурних видів рослин, а також скорочення терміну отримання нових сортів шляхом перенесення ідентифікованих генів чи їхньої сукупності до створюваних сортів методами генетичної інженерії.

Фактично стало можливим розпочати конструювання нових генотипів із заданими властивостями, впровадження яких може істотно змінити ситуацію у сфері аграрного виробництва, зокрема біоенергетики, ремедіації та утилізації екологічно небезпечних відходів. Головними напрямками у розв'язанні цих завдань є створення трансгенних рослин і застосування у селекції молекулярно-генетичних маркерів з метою поєднання у перспективі потенціалу структурної та функціональної геноміки з можливостями генетичної інженерії.

Слід зазначити, що генетична інженерія з низки причин, зокрема спротиву окремих

виробників хімічних засобів захисту рослин, а також радикальних «зелених», викликає негативну реакцію у населення багатьох країн. Так, в Україні під впливом деяких політиків і журналістів роботи з генетичної інженерії та використання трансгенних рослин були практично згорнуті, розірвано зв'язки з провідними біотехнологічними компаніями світу, загальмовано прийняття законів і нормативних актів з біобезпеки і т. п.

Водночас генетична інженерія рослин з такою швидкістю змінила практику світового сільськогосподарського виробництва, що з великою упевненістю можна говорити про нову «зелену революцію». За останнє десятиліття, яке минуло від часу появи перших генетично модифікованих комерційних рослин, ці сорти активно поширювались у 17 країнах світу. Нині площа їхніх посівів перевищує 81 млн га, що становить близько 5% усієї оброблюваної землі планети (1,5 млрд га). Лише за 2004 р. приріст цих площ досяг 20%, а вартість генетично модифікованої сільськогосподарської продукції — 44 млрд дол. США. Лідерами виробництва трансгенних культур стали основні експортери сільськогосподарської продукції, %: США (59), Аргентина (20), Бразилія (6), Канада (6). До цієї групи стрімко наближається Китай (5%). Останніми роками ставлення до генетично модифікованих організмів (ГМО) у Західній і Центральній Європі почало істотно змінюватися. Тут ГМО вирощують Іспанія, Швейцарія, Румунія, Болгарія. Росія активно співпрацює з біотехнологічною індустрією у створенні генетично модифікованих сортів, а також розвиває власний потенціал у цьому напрямі.

Розповсюдження генетично модифікованих культур відбувається здебільшого за рахунок ГМО першого покоління, тобто з перенесеними ознаками стійкості проти гербіцидів, комах та вірусів. Основними ГМ культурами є соя, кукурудза, бавовник, ріпак. Але нині вже створено якісно нові ГМО,

ефективніші та безпечніші. Все це дає підстави для кардинальної зміни ставлення до створення, випробування і впровадження трансгенних рослин в Україні на державному рівні.

Застосування молекулярних маркерів дає можливість значно прискорити процес створення нових сортів й істотно підвищити його ефективність. Нині у багатьох зарубіжних університетах і компаніях активно визначають молекулярні маркери важливих господарсько цінних ознак рослин, зокрема продуктивності, стійкості проти хвороб, шкідників, несприятливих факторів навколишнього середовища та ін. Почали використовувати ці маркери в селекційному процесі і в Україні.

Попри всі негаразди, доречно нагадати, що Україна не є новачком у галузі створення трансгенних рослин. Основи генетичної інженерії рослин були закладені в установах НАН України та ВАСГНІЛ (Одеському селекційно-генетичному інституті) ще в 70-ті роки минулого століття. Власне ці витоки і визначили інтенсивний розвиток в Україні генетичної інженерії рослин у середині 80-х років, в результаті чого було засновано Інститут клітинної біології та генетичної інженерії (1990). Цей напрям розвивався і в окремих лабораторіях академічних інститутів — фізіології рослин і генетики, молекулярної біології та генетики, біоорганічної хімії та нафтохімії. Співробітниками Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України разом із московськими колегами були створені перші трансгенні рослини в колишньому СРСР (наприклад, картопля, стійка проти вірусних захворювань) з метою реалізації на практиці.

І хоча сьогодні практичні роботи з випробування та впровадження трансгенних рослин в Україні призупинені, а заяви про важливість їх створення для сільського господарства часто суто декларативні, слід відзначити, що в наукових установах НАН України та УААН здійснюються фундаментальні та прикладні дослідження у галузі застосування

генетичної інженерії та молекулярних маркерів, які мають істотне значення для розвитку АПК України.

Так, в Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України широко застосовують методи опосередкованої трансформації агробактеріями важливих видів сільськогосподарських рослин, розробляють і впроваджують методи біолістичної трансформації і трансформації хлоропластів. Отримано мутанти рослин, з яких ізолюють гени, відповідальні за стійкість/чутливість проти гербіцидів та фунгіцидів, на основі чого створюють лінії стійких рослин. Розроблено нові маркерні системи для селекції трансформованих ліній рослин, а також основи отримання рекомбінантних білків шляхом транз'єнтної експресії в рослинах, упроваджено методи молекулярно-генетичного аналізу рослин та продуктів їхньої переробки на вміст у них чужинної ДНК.

Водночас роботи у цих напрямках розвиваються і в інститутах молекулярної біології і генетики, фізіології рослин та генетики, біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України. В Інституті молекулярної біології і генетики розроблено методики отримання клітинних штамів—продуцентів низки біологічно активних речовин, проведено молекулярно-генетичний аналіз ДНК з ліній кукурудзи, різко відмінних за регенераційними властивостями, перевірено стабільність ознак стійкості до комплексу стресових факторів в одержаних калюсних ліній та рослин-генерантів. В Інституті фізіології рослин та генетики за допомогою методів селекції *in vitro* отримано клітинні лінії та рослини-регенеранти буряків, стійких до комплексу стресових факторів навколишнього середовища. В Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії практикується використання потатинового та світлочутливого промоторів для трансформації рослин.

Крім того, в установах НАН України вже отримано трансгенні рослини цукрового бу-

ряку, картоплі, тютюну, ріпаку, капусти, люцерни, сої, гороху, льону, ячменю, дагуси (Інститут клітинної біології та генетичної інженерії), сої, гречки (Інститут фізіології рослин і генетики), тютюну, картоплі (Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії) на основі сортів вітчизняної селекції. На нинішньому етапі роботи науковців НАН України координуються у рамках програми фундаментальних досліджень «Генетична та клітинна інженерія як основа «зеленої революції» у рослинництві» (2002–2006).

Методи молекулярно-генетичного аналізу рослин успішно розвиваються також в УААН відповідно до Державної програми «Сільськогосподарська біотехнологія 2001–2005». У Південному біотехнологічному центрі (ПБЦ) у рослинництві УААН та МОН України розроблені та впроваджені методи аналізу молекулярно-генетичного поліморфізму в генетиці, селекції й насінництві, система ідентифікації зареєстрованих в Україні сортів, ліній, гібридів пшениці, ячменю, кукурудзи за даними мікросателітного аналізу, створені каталоги алельних характеристик за мікросателітними локусами сортів, ліній та гібридів найважливіших сільськогосподарських культур. Досліджено молекулярно-генетичні особливості інтрогресії генетичного матеріалу від *Aegilops cylindrica* у пшеницю, внаслідок чого до її геному внесені нові гени стійкості проти грибних захворювань. Для використання у селекційному процесі визначено відповідні молекулярні маркери. За допомогою полімеразної ланцюгової реакції опрацьована детекція алелів генів *ripA* та *ripB*, що контролюють якісний показник зерна м'якої пшениці — твердозернистість. Здійснено мікросателітний аналіз сортів пшениці завдяки маркерам, зчепленим із QTL, які визначають високий вміст білка.

Укладено довгострокову угоду між Південним біотехнологічним центром у рослинництві УААН та МОН України й Селекційно-генетичним інститутом — Національним

центром насіннізнавства та сортовивчення УААН з упровадження молекулярно-генетичних методів для прогнозування гетерозису, добору за локусами кількісних ознак і створення на їхній основі нових високопродуктивних ліній і гібридів кукурудзи та сортів пшениці.

В Інституті цукрових буряків УААН отримано трансгенні вітчизняні гібридні лінії стійких проти гербіцидів цукрових буряків із використанням вихідних батьківських трансгенних форм буряку компаній KWS (Німеччина) та Syngenta (Швейцарія).

За активної участі науковців НАН України та УААН розроблена Державна науково-технічна програма «Біотехнологія рослин і біобезпека» (2002–2006). У рамках проектів цієї програми вже здійснено генно-інженерну трансформацію і селекцію злаків на основі використання селективних маркерних касет з геном мутантного тубуліну, стійкого до динітроанілінів, та отримано стійкі до цього класу гербіцидів трансгенні рослини, розроблено біотехнологічні засади отримання рекомбінантних фармакологічно цінних білків — альфа-інтерферону та соматотропіну (гормону росту) людини шляхом транзиторної експресії у рослинах. Завершено також створення робочої методики трансформації картоплі вітчизняних сортів геном стійкості проти колорадського жука, проаналізовано ефективність застосування синтезованих олігонуклеотидних праймерів для тестування ГМ рослин та продуктів харчування на вміст продуктів їхньої переробки тощо.

Науковці двох академій розробили десятки нових біотехнологій, які вже впроваджені або готові до цього. Так, дослідниками Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України у співпраці з фахівцями з Інституту картоплярства УААН створено і впроваджено перший біотехнологічний сорт картоплі «Зарево», а у співдії із селекціонерами Національного аграрного університету — сорт ріпаку «Клеточный» на основі соматоло-

нальної варіабельності. Нині ж у цьому інституті завдяки використанню безпромоторного гена створено трансгенні рослини цукрового буряку ліній-запилювачів О-типу зі стійкістю проти гербіцидів. У 2003 р. сорти ярого ячменю Одеський 115 і Прерія, отримані з використанням культури *in vitro* селекціонерами СГП і фахівцями, які нині працюють у ПБЦ, займали в Україні 600 тис. га. Південним біотехнологічним центром розроблена технологія і видано науково-методичне керівництво з генетичного поліпшення популяцій кукурудзи шляхом добору за ДНК-маркерами локусів кількісних ознак. Слід зазначити, що ці новаторські розробки виконані за надзвичайно низького рівня фінансування.

Значна робота здійснюється вченими НАН України та УААН і в галузі безпечного використання продукції генетичної інженерії. Робочою групою під керівництвом фахівців НАН України запропоновано проект Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні та практичному використанні генетично модифікованих організмів», прийнятого Верховною Радою України у першому читанні. Вчені НАН України беруть активну участь у розробці заходів щодо подальшої імплементації Картахенського протоколу на міжнародному рівні. В Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України та Інституті цукрових буряків УААН упродовж останніх років успішно розвиваються дослідження з проблеми вертикального перенесення чужинних генів від трансгенних рослин до їхніх диких родичів (ріпак, цукровий буряк, льон). Інститутом клітинної біології та генетичної інженерії й Інститутом харчової хімії і технології НАН України розроблено та впроваджено у практику методики детекції ГМ матеріалу у продуктах харчування, на основі яких завершується розробка ДСТУ.

Установи НАН України та УААН співпрацюють з вищими навчальними закладами у

галузі генетичної інженерії та молекулярних маркерів. Так, на базі Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України успішно функціонує міжкафедральна філія клітинної біології та генетичної інженерії при біологічному факультеті Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. В Національному аграрному університеті України створено Навчально-науковий інститут охорони природи і біотехнологій, кафедри молекулярної генетики та біобезпеки, екобіотехнології та біорізноманіття, де викладають фахівці обох академій. У ПБЦ від 1988 р. результативно працює філія кафедри молекулярної біології і генетики Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. І хоча значна частина фахівців у галузі біотехнології рослин виїхала з України на роботу за кордон (зокрема й у біотехнологічних компаніях), у країні ще зберігається критичний потенціал для підтримання належного рівня знань і технологій у цій галузі, а також їхньої практичної реалізації.

Отож, можна стверджувати, що коли українські селекціонери не матимуть безпосередньої можливості використовувати зазначені високі технології і потенціал нашої фундаментальної науки, через короткий відрізок часу вітчизняні сорти стануть не конкурентоспроможними, і аграрне виробництво буде змушене завозити з-за кордону насінний матеріал, що, з одного боку, потребуватиме значних валютних коштів, а з другого — істотно посилиться нестабільність виробництва.

Таким чином, фахівці НАН України та УААН вважають за доцільне поставити перед урядом питання про необхідність розвитку біотехнології рослин як державного пріоритету. Цей напрям акумулює багаторічні напрацювання вітчизняних учених і має перспективи широкого застосування у майбутньому. Однак подальші дослідження у галузі генетичної інженерії та молекулярних маркерів потребують значного й адекватного за-

питам сьогодення розширення їх науково-організаційного, матеріального та новітнього інфраструктурного забезпечення.

Необхідно визнати пріоритетними дослідження з молекулярної генетики та молекулярної біотехнології рослин з урахуванням передових досягнень цієї дисципліни. Потребують розширення та поглиблення фундаментальні дослідження у галузі геноміки, протеоміки рослин та біоінформатики, зокрема розвиток молекулярно-генетичних методів аналізу геномів рослин, маркування кількісних ознак, ізолювання та клонування нових генів рослин, створення біоінформаційних баз даних і генетичних конструкцій, картування їхніх хромосом з метою подальшого використання у клітинно- та генно-інженерних розробках і селекційному процесі.

Слід докорінно поліпшити створення методами генетичної інженерії нових форм рослин для потреб сільського господарства України, систему їх випробовувань та впровадження, а також використання потенціалу біотехнології рослин для збереження біорізноманіття, запобігання фіторемедіації та біодеградації. Необхідним елементом розвитку на цьому шляху є створення державної системи підтримки трансферу технологій, співпраці державного та приватного секторів.

Уже перші кроки у використанні ГМ рослин могли б інтенсифікувати економічний розвиток України, насамперед шляхом підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Хибним вважається твердження, що ми вирощуємо достатньо сільськогосподарської продукції і високої якості. Врожайність основних культур (пшениця, жито, кукурудза, картопля, цукровий буряк) в Україні у 2–3,5 раза нижча, ніж у розвинених країнах Європи. В переважній більшості наші сорти рослин не конкурентоспроможні на світовому ринку, оскільки не відповідають його вимогам, а на-

сінневий (посадковий) матеріал не може експортуватися через те, що не сертифікований за міжнародними стандартами.

Використання нових технологій має низку й інших переваг. Захист рослин від комах-шкідників, так само, як і від бур'янів, шляхом створення відповідних трансгенних форм є екологічно більш чистим способом, аніж застосування традиційних засобів (пестициди й гербіциди), а також значно збільшує доходи виробників. Наочно це можна проілюструвати на прикладі сої, кукурудзи і бавовни у США, рапсу в Канаді, кукурудзи у Франції, Іспанії і Швейцарії, сої та картоплі в Румунії. Вирощування трансгенних олійних культур (рапсу, а згодом і соняшнику) зі зміненим складом жирних кислот збільшує вартість виробленої продукції (олії) у 1,5–2 рази. Зміна складу білків й інших компонентів (соя, у перспективі й горох) поліпшить якість кормового й харчового білка, що особливо важливо в умовах Європи. Використання трансгенних рослин дає змогу також значно подовжити період зберігання овочевої продукції. Отже, змінюється технологічний ланцюжок переробки (знімається проблема терміновості), скорочуються обсяги ведення овочівництва у закритому ґрунті (зимовий час), знижуються втрати під час зберігання цієї продукції (завдяки стійкості проти бактеріальних і грибних захворювань).

Варто враховувати й те, що використання біотехнології рослин в остаточному підсумку має докорінно трансформувати процеси одержання сировини для багатьох галузей виробництва, де на зміну корисним копалинам прийдуть поновлювані ресурси (включаючи біопаливо і біомасу для водневої енергетики).

Сприятим розв'язанню цих питань може створення державної науково-технічної програми, яка допомогла б об'єднати зусилля вчених двох академій для:

♦ дослідження молекулярної структури й мінливості геномів сільськогосподарських рослин;

- ♣ створення і вдосконалення молекулярно-генетичних карт геномів сільськогосподарських рослин;
- ♣ створення генетичних конструкцій, що містять агрономічно важливі гени поліпшеної якості продукції, стійкості проти гербіцидів, шкідників, вірусних та грибних захворювань;
- ♣ одержання нових сортів сільськогосподарських рослин з підвищеною стійкістю до несприятливих умов навколишнього середовища (посухо-, морозо-, солестійкість тощо);
- ♣ розробки і впровадження супутніх методів біотехнології рослин (клітинна селекція генотипів сільськогосподарських культур, стійких проти патогенів та їхніх токсинів);
- ♣ створення програми збереження природних екосистем, а також генофонду вітчизняних генотипів найважливіших видів сільськогосподарських рослин та їхніх диких родичів — донорів агрономічно важливих ознак при впровадженні у сільськогосподарське виробництво ГМ рослин.

Прикро констатувати, але у багатомільярдному потоці світової інвестиційної активності, який супроводжує практичне використання цих технологій, роль України є зовсім незначною. Водночас їхнє застосування — неодмінна умова розвитку нашої держави як потужного самостійного гравця на ринку агропромислової продукції. Більше того, у світі склалась унікальна ситуація, коли Україна змогла б залучити чималі інвестиції у розвиток рослинних біотехнологій, попри всі проблеми, що гальмують такі інвестиції в інші галузі народного господарства. Ось аргументи на користь цієї тези.

- ♣ У світі реально з'явилися настільки якісно нові та ефективні розробки в галузі генетичної інженерії рослин, що перші з них уже досягли комерційного успіху за неймовірно короткий час.
- ♣ Нині ці технології активно впроваджують країни Американського континенту, де

продукти рослинництва дають великі прибутки, та Китай, який розв'язує проблему самозабезпечення продовольством.

- ♣ Хоча в країнах Західної Європи виникла достатньо стійка опозиція (на рівні національних урядів та громадськості) вирощуванню трансгенних рослин, однак ЄС не може відмовитися від імпорту ГМ продуктів. Так, Європа лише на 27% покриває свої потреби у білку, а іншу частину завозять із США, Аргентини та Бразилії у вигляді трансгенних соєвих бобів. Окрім того, вирощування більшості сільськогосподарських культур на європейському континенті є дотаційним. Це збільшує обсяг продукції, не впливаючи на її якість, а тому така тенденція не може зберігатись у майбутньому.
  - ♣ Провідні світові біотехнологічні компанії зацікавлені у вирощуванні в Європі трансгенних рослин на значно більших площах, що, зрештою, має переконати європейців в економічній, екологічній та етичній доцільності не лише споживання ГМ продуктів, а й їх створення та вирощування.
  - ♣ Україна поки що не є членом Європейського Союзу, а це — тимчасова перевага з точки зору відсутності обмежень у розвитку сільськогосподарського виробництва, яку слід якнайшвидше використати.
  - ♣ Потенційно Україна — одна з небагатьох європейських держав, де за умови застосування нових високих біотехнологій рослинництво могло б стати прибутковим, екологічно безпечним і задовольняти потреби населення у високоякісних харчових продуктах та сировині, зокрема для біоенергетики, важливість якої в енергозабезпеченні швидко зростає. Крім того, застосування трансгенних рослин допомагає протидіяти розповсюдженню бур'янів, яке вже набуває обрисів національної катастрофи.
- Отже, проведення політики активного сприяння вирощуванню генетично модифі-

кованих сортів рослин в Україні, враховуючи її високий аграрний потенціал, може реально зацікавити найбільші біотехнологічні компанії світу в інвестиціях у наш аграрний сектор. Ключовим моментом для залучення таких інвестицій є не тільки зростання фінансування на розробку і впровадження біотехнологій, а й затвердження комплексу заходів і публічна декларація на державному рівні пріоритету розвитку біотехнології рослин.

Це такі заходи:

- прийняття і подальше вдосконалення законодавства щодо регулювання цієї сфери діяльності;
- прозора система реєстрації ГМО і видачі дозволів на польові випробування трансгенних рослин, обмеження випробувань рослин двома–трьома роками (що достатньо за нашими нормами для оцінки переваг нового сорту);
- розв'язання проблеми захисту інтелектуальної власності у цій галузі та трансферу технологій.

Першочерговим є прийняття Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні та практичному використанні генетично модифікованих організмів». До речі, зазначимо, що з колишніх республік Радянського Союзу аналогічний закон уже прийняли Росія, Молдова, а в Білорусі підготовлено відповідний проект. В Естонії від 1999 р. діє закон, який регулює сфери обігу ГМО. Внаслідок скоординованої державної політики Росії, що базується на неупередженій науковій експертизі й реальній оцінці економічних пріоритетів, там уже зареєстровано трансгенну сою, стійку до гербіцидів, і наближається до завершення робота з реєстрації картоплі, стійкої проти колорадського жука (обидва продукти виробництва компанії «Монсанто», США). З огляду на офіційну реєстрацію перших трансгенних рослин у Болгарії, й особливо в Румунії, стає очевидним, яке

чергове технологічне й економічне відставання загрожує Україні у разі невжиття адекватних заходів, хоча перспективи розвитку аграрного сектору для нашої країни мають бути, безперечно, ще пріоритетнішими. За офіційними оцінками фахівців сільськогосподарського сектору тільки завдяки сприятливим кліматичним і ґрунтовим умовам Україна могла б стати одним із найпотужніших експортерів елітного, зокрема трансгенного, насінневого матеріалу в Європу, для постачання передусім у Росію, Казахстан, Молдову, Грузію, Узбекистан, які традиційно були ринком збуту українського насіння рослин. За рахунок використання такого матеріалу можна одержати значні валютні надходження і 10–12% приросту врожайності впродовж перших років.

Необхідною умовою також є система захисту інтелектуальної власності — розв'язання проблеми патентування ГМО. Все це можна створити на основі вже відпрацьованих схем, які діють у Північній Америці, а тепер впроваджуються і в Західній Європі. На відміну від цих країн, у Китаї процвітає піратське створення ГМ рослин, де вони займають значні посівні площі, не підконтрольні зарубіжним експертам і представникам «потерпілих» компаній.

Цікавим є приклад Бразилії. Тут внаслідок широкого безконтрольного використання фермерами трансгенної сої президент країни був змушений відмовитися від подальшого ігнорування ГМ рослин та офіційно схвалити вирощування такої продукції у країні. Це зразу вивело Бразилію на одне з перших місць у світі з культивування ГМ рослин. Слід зауважити, що ситуація в Україні багато в чому подібна: за неофіційними оцінками у 2005 р. ми мали значні площі посівів ГМ сої, у гібридних лініях кукурудзи тестується до 4% ГМ-матеріалу і ввозиться велика кількість насінневого матеріалу генетично модифікованого ріпаку.



В Україні поки ще є унікальний шанс — можливість швидко впроваджувати нові підходи, які зовсім недавно запропонувала світова наука і які пройшли випробування на полях країн-лідерів, насамперед США й Канади. Досвід країн, що долали економічні кризи і ввійшли до групи розвинених держав, засвідчує правильність такого шляху. Уповільнення в промисловому використанні цих технологій у ряді країн Західної Європи дає можливість Україні привернути увагу та залучити інвестиції великих біотехнологічних компаній, які внаслідок недалекогоглядної вітчизняної політики сьогодні категорично відмовляються розглядати наш ринок як перспективний для впровадження своїх технологій і тому не співпрацюють з нашими науковцями.

Не торкаючись усіх аспектів безпеки застосування трансгенних рослин (це питання заслуговує на окремий розгляд), слід відзначити, що нині *немає фактів і наукових доказів стосовно потенційної небезпеки* або, тим паче — вже виявленої *шкідливості ГМО, використовуваних у сільському господарстві*. Звичайно, при цьому варто враховувати, що генетична інженерія є потужною сучасною технологією, яка дає змогу ввести в рослинний організм *будь-які гени*, у тому числі й такі, що кодують синтез токсичних білків (наприклад, нейротоксини і т.п.). Однак можливості самої технології не можна використати як критерій для оцінки генетично модифікованих рослин, створених з метою поліпшення якості сільськогосподарської продукції і біологічних властивостей рослин. Будь-яку високу технологію можна використати в діаметрально протилежних цілях. Тому в цивілізованій державі мають вести мову не про заборону технології, що вже сама по собі формує упереджену суспільну думку і спричинює огульне паплюження експертів, а про створення ефективної системи державного та громадського контролю за впровадженням цієї технології та напрямками її розвитку.

Конкретні питання, що виникають під час експертизи, випробувань і розгляду можливостей подальшого впровадження трансгенних рослин, як й інших ГМО, мають розв'язуватися за умов чіткого розподілу відповідальності між зацікавленими міністерствами й відомствами за наявності міжвідомчого експертного органу (яким є Комісія з біобезпеки при МОН України). Він формував би науково обґрунтовані критерії безпечного використання генетично модифікованих організмів, механізми регуляції цього процесу і здійснював би первинну оцінку їхнього потенційного ризику з біологічної й екологічної точок зору. Все це має передбачати відповідне законодавство України, про що йшлося вище, і з використанням уже створених у країні елементів національної системи біобезпеки в галузі ГМО. Без змішування цього питання з іншими аспектами безпечного використання нових технологій у медицині та промислових галузях (типичним прикладом такого змішування понять є створена комісія з біобезпеки при РНБОУ).

У нас ще недостатній рівень координації в опрацюванні питань розвитку біотехнології рослин між зацікавленими академічними установами, міністерствами та відомствами. Є нагальна потреба в якомога швидшій розробці національної стратегії розвитку біотехнології рослин з урахуванням наукових досягнень та можливостей інфраструктури. Об'єднання зусиль учених УААН і НАН України для виконання спільних завдань з розвитку генетичної інженерії та молекулярних маркерів сприятиме створенню і впровадженню новітніх біотехнологій у сільське господарство України. Це виведе на якісно новий рівень вітчизняне сільськогосподарське виробництво, причому за оптимальних витрат енергії, природних ресурсів і збереження довкілля різко зросте його ефективність.

Підсумовуючи, сформулюємо основні пропозиції, реалізація яких потребує об'єднан-

ня зусиль НАН України, УААН, зацікавлених міністерств, відомств та інших організацій. Сподіваємося, що вони знайдуть підтримку на найвищому державному рівні.

✧ Розроблення національної концепції (стратегії) розвитку біотехнології рослин та біобезпеки спільними зусиллями НАНУ, МОН України, Мінагрополітики, Мінекології та УААН. Кардинальні напрями стратегії:

фундаментальні дослідження та науково-технічні розробки;

створення законодавчо-нормативної бази для захисту здоров'я людей та навколишнього середовища;

розробка біотехнології рослин для сталого розвитку сільського господарства та біоенергетики, поліпшення здоров'я населення країни;

забезпечення прав інтелектуальної власності у цій сфері;

комерціалізація біотехнологій;

міжнародна співпраця у галузі біотехнології рослин та біобезпеки;

формування громадської думки, розвиток екологічної освіти.

✧ Внесення на затвердження Верховною Радою України самостійного напрямку «Біотехнологія» як державного пріоритету на 2007–2012 рр. та продовження у його межах функціонування ДНТП «Біотехнологія рослин та біобезпека».

✧ Затвердження окремого середньострокового інноваційного пріоритетного напрямку загальнодержавного рівня з біотехнології, передбачення його наповнення підрозділами, спрямованими на залучення досягнень біотехнології та молекулярної генетики рослин для розв'язання проблем агропромислового комплексу України.

✧ Якнайшвидше прийняття Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні та практичному використанні генетично модифікованих організмів», який давно очікує розгляду Верховною Радою України.

✧ Забезпечення координації відомчих інтересів при імплементації Картахенського протоколу з біобезпеки з одночасним збереженням і розблокуванням уже створеної нормативно-правової бази, продовження випробування та реєстрації рослин до набуття чинності зазначеного Закону України.

✧ Проведення зустрічі на урядовому рівні з представниками біотехнологічних компаній з метою створення умов для залучення їхніх інвестицій та продукції на вітчизняний ринок і сприяння розвитку практичної генетичної інженерії, молекулярної генетики та геноміки в НАН України та УААН. Обговорення питання про створення цим компаніям середовища для прозорого та ефективного входження на наш ринок нової продукції з урахуванням результатів її тестування на біологічну безпечність, харчову придатність і частково — екологічність у тих країнах, чиї стандарти прийнятні для України з погляду рекомендацій міжнародних організацій або з якими будуть укладені відповідні двосторонні угоди (за умов збереження особливостей національних екологічних вимог і польових випробувань).

✧ Розробка МОН України пропозицій щодо гармонізації національного законодавства з міжнародними нормами і підписання двосторонніх угод (США, Канада, ЄС, Росія тощо) у галузі біобезпеки, зокрема про технічну допомогу та взаємне визнання норм і правил випробувань генетично модифікованих рослин.

✧ Розгляд фахівцями НАНУ та УААН питання про створення Об'єднаного центру геноміки та біотехнології рослин із закріпленням за ним у подальшому статусу технопарку з правом організації спільних венчурних структур, залучення вітчизняного й іноземного капіталу для впровадження конкретних розробок та одержання прибутку.

✧ Стимулювання інвестицій зарубіжних компаній у розвиток біотехнологічних роз-

робок за участю українських науковців шляхом підтримки діяльності такого центру. Передача останньому ексклюзивних прав на створення нових ГМ рослин на основі сортів вітчизняної селекції. Законодавче забезпечення відрахувань (так званого роялті) цьому центру від використання як одержаних у ньому нових рослин, так і створених іноземними компаніями трансгенних рослин на базі вітчизняного матеріалу для розвитку технологій.

♦ Розробка пропозицій щодо матеріально-технічного забезпечення біоінформатики (доступ до ефективних інструментів для керування масивами геномних даних та їхньої інтерпретації, ґрид-технології тощо) з метою розвитку біотехнології та геноміки рослин.

♦ Прийняття державної науково-технічної програми «Використання методів генетичної інженерії та молекулярної генетики для створення нових продуктів рослинництва та їх безпечного використання».

♦ Підтримка на державному рівні ідеї проведення в Україні у 2006 р. Міжнародної конференції з питань геноміки та біотехнології рослин за активної участі фахівців НАНУ та УААН.

♦ Забезпечення Міністерством закордонних справ України підтримки ініціативи НАНУ щодо створення кафедри геноміки та біотехнології ЮНЕСКО при Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України.

*Я. Блюм, Ю. Сиволоп, Р. Рудий, О. Созінов*

#### **НОВА ХВИЛЯ «ЗЕЛЕНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ» Перспективи застосування в Україні досягнень молекулярної біотехнології та геноміки**

##### **Резюме**

Аналізуються проблеми, які постають сьогодні перед біологічною наукою у галузі рослинництва. Зростаючий дефіцит природних та антропогенних ресурсів, підвищені вимоги до якості рослинницької продукції спонукають до розвитку біотехнологій та генетичної інженерії, створення нових поколінь сортів. Конструювання нових генотипів із заданими можливостями дало змогу отримати трансгенні рослини, тобто генетично модифіковані організми, які дедалі більше змінюють практику світового сільськогосподарського виробництва. Окреслюються напрями для розробки національної стратегії розвитку біотехнології рослин, селекції та забезпечення біобезпеки трансгенних сільськогосподарських культур.

*Ya. Blyum, Yu. Syvolap, R. Rudyi, O. Sozinov*

#### **THE NEW WAVE OF «GREEN REVOLUTION» The prospects of molecular biotechnology and genomics achievements application in Ukraine**

##### **S u m m a r y**

The problems that arise in front of biological science in the field of vegetation are analyzed. Growing deficiency of natural and anthropogenic resources, high requirements to vegetation product quality urge to development of biotechnologies and genetic engineering, creation of new sort generations. New genotypes engineering with predetermined characteristics has given an opportunity to get transgenic plants that are genetically modified organisms that more and more change the world farming industry practice. The trends for elaboration of the national strategy of plant biotechnology development, selection and provision for biosecurity of transgenic crops are outlined.