

ТРАНСГЕННІ КУЛЬТУРИ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

Як відомо, чисельність населення постійно зростає. Нині вона наближається до 7 млрд і збільшуватиметься до 10, а за даними деяких демографів, і до 11 млрд, після чого дещо стабілізується. Уже сьогодні, повідомляє Продовольча і сільськогосподарська організація ООН (ФАО), близько 1 млрд людей голодують. Щоб нагодувати всіх, необхідно використати всі наявні біотехнології. Проте це малоймовірно, особливо якщо зважити на скорочення орних земель унаслідок урбанізації, негативний ефект глобального потепління, зростання частки агрономічної продукції, спрямованої на виробництво біопалива. Для забезпечення продовольством у 2050 р. треба подвоїти сучасне виробництво сільгосппродукції, і генна революція — напевно, єдиний спосіб досягти цього.

ЕПОХА ТРАНСГЕННИХ РОСЛИН

Початок комерційним посівам трансгенних сортів¹ поклали не так давно — у 1996 р., але вже сьогодні під ними кожен десятий гектар у світі. Жодну з біотехнологій, включаючи «зелену революцію» Н. Борлауга, не опанували так швидко. Особливо парадоксальним виглядає поступ трансгенних сортів на тлі суцільного штучного гальмування їх адаптації в Ки-

таї, Європі, Америці, повсякчасної протидії мас-медіа. Як би там не було, але трансгенні рослини витісняють традиційні, а в деяких країнах навіть домінують з-поміж сільгоспкультур.

У чому секрет їхньої популярності?

У Європі з причин субсидування сільськогосподарства, імпорту величезної кількості продуктів, «розкішного» органічного землеробства більш ніж половину бюджету спрямовано на підтримку фермерів і конкурентоспроможності їх продукції. Така політика фактично закриває доступ до Європи агропродукції з багатьох країн, що розвиваються. У результаті західні сільгоспкорпорації суттєво виграють у ціні й обсягах продажів не лише на локальному, але й на світовому ринку.

Трансгенні сорти здешевлять сільгоспвиробництво. Відтак чимало держав прагнуть полегшити отримання дозволу на їх випробування або повністю ліквідувати цю процедуру. До того ж, ці рослини стійкі до гербіцидів, шкідників, хвороб, стресів (скорочення робочих годин, витрат на захист, тех-

¹ Термін «ГМО» придумали журналісти, він неточний і неправильний. У ЄС прийнято визначення, що ГМО — це організм, генетичний матеріал якого змінено методом, який не відбувається природним шляхом і/або внаслідок природної рекомбінації (пункт 2 (2) Директиви 2001/18/ЄС). Але тоді всі форми рослин, отримані через експериментальний мутагенез, поліплоїдію, віддалену гібридизацію з використанням культури зародків, андрогенез, клітинну селекцію, соматичну гібридизацію, підпадають під таку формулу. Наприклад, третину італійських спагеті виробляють з твердої пшениці сорту Крезо, який отримали в 60-ті рр. ХХ ст. через експериментальний мутагенез. Якщо йти за таким трактуванням ГМО, то вже кілька десятиліть Європа харчується модифікованою пшеницею. Відтак вважаємо, що правильніше використовувати термін «трансгенні культури».

ніку, паливо), мають поліпшений баланс амінокислот, білків, жирів, вуглеводів, довго зберігаються без втрати якості².

Перетворення європейської економіки до 2010 р. у найбільш конкурентноздатну в світі не досягнуто. Це вкотре довело, що прийняття чи неприйняття нових технологій залежить від комплексу взаємопов'язаних політичних, економічних, соціальних чинників³, який визначає перспективи ноу-хау.

МІФИ ПРО ТРАНСГЕНИ

Тези «тільки те, що виробляє природа, здорове і безпечне», «продукція органічного землеробства найздоровіша» учені неодноразово спростовували. Ще в 1990 р. доведено, що 99,9% усіх токсинів, спожитих з їжею, мають природне походження і лише 0,1% – побічний результат діяльності людини [1]. Плоди й овочі містять близько 100 тис. ідентифікованих природних пестицидів, 60% з них – канцерогени. Це кверцетин у яблуках, лимонін у цитрусах, кофейнова кислота в каві. У природних продуктах знаходять тератогени (соланідин у картоплі), імітатори естрогену (флавоноїди, ізофлавоноїди в овочах і фруктах), індуктори стерильності (теобромін у какао) і розривів хромосом (40% природних пестицидів викликають розриви хромосом під час вивчення на культурі клі-

тин), нервові токсини (соланін картоплі, томатин томатів, кукурбітацин гарбузових), сполуки, що порушують функції крові (кумарини в багатьох салатах, оксалат у багатьох хрестоцвітних). Селекція на підвищену стійкість до хвороб суттєво збільшує вміст природних пестицидів в органічних рослинах. Відтак прихильники органічного землеробства (де заборонено синтетичні пестициди) неминуче споживатимуть їжу з підвищеним вмістом природних пестицидів [1, 2].

Прибічники органічних продуктів наївно вважають, що останні вирощують без пестицидів. Проте Міністерство сільського господарства США, яке розробило правила органічного землеробства, щороку оновлює список дозволених пестицидів [3] й оприлюднює його на своєму сайті [4].

Мусимо розвіяти ще один міф, ніби органічне землеробство культивує тільки ті рослини, які створила мати-природа. Звичайна селекція – це схрещення сортів або близьких видів, при цьому перемішуються кілька тисяч генів, а наприклад для пшениці десятки тисяч. Часто нові сорти отримують, опромінюючи насіння іонізуючими випромінюваннями чи обробляючи хімічними сполуками (мутагенами), які провокують зміни (мутації) сотень генів, і в потомстві відбирають рослини з бажаними ознаками⁴. При цьому нові комбінації тисяч генів і мутації сотень можуть викликати токсичність або алергенність.

Парадоксально виглядають звинувачення науковців, які використовують методи, що відбуваються в природі, наприклад, ризобіальну (агробактеріальну) трансформацію, передачу генів з використанням вірусів, давно кваліфіковані як природне

² Першим трансгенним продуктом на світовому ринку був томат Flavr Savr компанії Калген. Він мав тривалий післязбиральний термін зберігання за кімнатної температури, з нього переважно готували томатну пасту.

³ У квітні 2006 р. Єврокомісія оприлюднила висновок Європейського агентства з безпеки харчових продуктів про безпідставність заборони до вирощування в усій Європі трьох ГМО-сортів кукурудзи і двох ГМО-сортів ріпаку, які не загрожують ні людині, ні тваринам, ні довкіллю. Крім того, у 2010 р. дозволено культивувати кукурудзу сорту Monsanto 810 і картоплю сорту Amflora, з якої отримують крохмаль.

⁴ За даними ФАО, у др. пол. ХХ ст. близько 70% сортів усіх сільськогосподарських, плодових, квіткових, декоративних культур (вони самі або їхні батьки) отримано методом експериментального мутагенезу.

перенесення⁵. Такий потужний у змінній структури сотень генів фактор, як хімічний і фізичний мутагенез, не вимагає додаткових регуляторних обмежень, і рослини, отримані так, не зазнають ніякої додаткової токсикологічної чи екологічної експертизи.

Чимало методів органічного землеробства більш шкідливі, ніж традиційні чи використання ГМО-сортів. Наприклад, для контролю бур'янів пропонують оранку і поверхневий обробіток ґрунту, виснажуючи його і породжуючи ерозію, збільшуючи викиди вихлопних газів у повітря тощо. Органічне землеробство потребує також великих земельних площ через низьку продуктивність.

Ще один приклад. Віра в користь усього, створеного природою, неочікувано спопуляризувала рослинні харчові добавки. Однак, за інформацією науковців, «більшість БАДів не дала позитивних результатів у тестуванні». У них багато токсинів, канцерогенів. Деякі препарати нічого не лікують, інші під час серйозних випробувань дають істотні побічні ефекти — порушують згортання крові, серцевий ритм, підвищують тиск, провокують алергічні реакції, посилюють автоімунні хвороби тощо. Не даремно Американське товариство анестезіологів спонукає пацієнтів, яким призначено операцію, відмовитися принаймні за 14 діб до неї від рослинних добавок, щоб запобігти ускладненням.

НА ТЛІ ПРОТИСТОЯННЯ

Особливо люто проти трансгенних сортів виступають Грінпіс, Друзі Землі, деякі групи зелених. Нечисленні, але дуже

⁵ Генетичну модифікацію з використанням рекомбінантних ДНК запропоновано в 1983 р. як більш надійний, точний, безпечний, передбачуваний метод порівняно зі звичайною гібридизацією й експериментальним мутагенезом. Замість пошуку і відбору випадкових мутацій або сприятливих поєднань генів, додають гени, що кодують бажані ознаки, експресія яких добре вивчена і передбачувана.

галасливі активісти вважають, що трансгенні рослини алергенні, токсичні, негативно впливають на довкілля. Вони часто посиляються на принцип обережності: якщо сьогодні не відомо про негативну дію цього сорту, сполуки, пристосування, то невідомо, що буде завтра — словом, як би чого не вийшло. Якби цей принцип застосували на зорі людства, ми б досі харчувалися сирово їжею і сиділи в холодних печерах. Будь-яке відкриття — використання вогню, колесо, автомобіль, літак, ядерна енергія, мобільний зв'язок — крім безсумнівних позитивних властивостей має негативні, просто позитивних набагато більше.

Чому суспільство активно підтримує позицію Грінпіс, Друзів Землі, зелених? У Європі спалахнув коров'ячий сказ, ящур великої рогатої худоби, виявлено діоксин у пташиних кормах, хоча влада заявила, що використання таких тварин безпечно. Однак, коли у Великій Британії зареєстрували кілька смертей після споживання цих продуктів, населення перестало вірити заспокоєнням. Та й залякування активістів Грінпіс також не пройшли без сліду. Відтепер продукти з трансгенних культур у ЄС обов'язково містять маркування про наявність ГМО. До речі, відповідний аналіз партії насіння коштує \$150–250. Проти маркування виступають США і Канада. Адже воно неминуче підвищує вартість продукції.

Маркування насторожує людей, які не розуміють, що таке ГМО-продукт, не цікавляться, як його отримано, чи відрізняється він за інгредієнтами від традиційного. Це посилює безграмотність настільки, що навіть у США, де посіви трансгенних сортів перевищують половину всіх сільгоспугідь, 43% учасників опитування, яке провели вчорні Рутгерського університету, вважають, що звичайні помідори не мають генів, а трансгенні мають.

Яку альтернативу біотехнології пропонує Грінпіс? Органічне землеробство: ніяких

синтетичних добрив і засобів захисту рослин, тільки звичайні сорти, створені в межах «природних кордонів селекції». Звучить заманливо.

Але що станеться, якщо весь агросектор стане органічним? За винятком диких ягід і грибів у нашому меню практично всі зернові, плодові, овочеві культури модифіковані генетично. Багато рослин, включаючи томати, картоплю, овес, рис, кукурудзу, походять від організмів, створених міжвидовим схрещенням, що перевищує межі «природних кордонів селекції». Генетична інженерія продовжує, при чому більш точно і передбачувано, звичайні методи.

Рух зелених, Друзів Землі, інших антибіотехнологічних залякувачів засновано на міфах і містицизмі, це скоріше релігія, а не наукові аргументи. Вони наївно вірять, нібито всі природні сполуки (миш'як, рицин, афлатоксин) хороші, а хімічні, які створили люди (сульфоніламід, ізоніазид), — погані.

Один із засновників Грінпіс, його колишній президент, сер Патрік Мур, який вийшов з організації через незгоду з політикою нового керівництва, заявив, що діяльність основоположників Грінпіс і зелених привела до жорсткіших законів про охорону довкілля, збереження водних ресурсів, вони зробили великий внесок у підтримання різноманіття рослинного і тваринного світу, припинили полювання на китів, посилили контроль за використанням хімічних сполук. Однак нинішнє керівництво Грінпіс поводить по-екстремістськи, заперечує більшість винаходів і відкриттів. Цей рух, який на початку приніс чимало користі, нині набув сильної антигуманної тенденції, спрямованої проти бізнесу, врешті, усїєї цивілізації, це швидше неомарксизм. «Я не знав, що після того, як я покинув (цю організацію) вони перетворилися в зграю науково безграмотних людей. Очевидно, що мої колишні колеги по Грінпісу або не читають газет, або просто не піклуються про

правду», — писав сер Патрік у жовтні 2001 р. у канадській газеті «National Post».

Чи має він слушність? Стовідсотково! Наведемо кілька прикладів. В Америці трансгенні сорти викликали великий спротив фермерів, які схилиються до органічного землеробства. Активісти Грінпіс залякували їх, що від переzapилення з трансгенними сортами вони втратять сертифікат органічного продукту. Національні органічні стандарти Департаменту сільського господарства США чітко констатують, що коли дотримано «органічного процесу», не потрібно ніяких тестів для доказу «органічного» стандарту продукції. Департамент змушений був розробити правила органічного землеробства і виступити з заявою про брак нормативів переzapилення, які позбавлять «органічних» фермерів сертифіката.

У Бразилії було заборонено трансгенні сорти. Однак тут усе одно широко культивують стійку до гербіцидів сою з сусідньої Аргентини. Уряду довелося терміново скасувати заборони.

Індійський уряд довго випробовував трансгенні сорти бавовнику, стійкі до комах-шкідників, і не дозволяв їх використовувати. Однак селяни нелегально купували насіння на чорному ринку. Дізнавшись про це, влада заявила, що конфіскує і спалить урожай. Агровиробники відповіли, що це буде тільки через їхні трупи. Держава відступила. За оцінками фахівців, Індія через затримку на 2 роки дозволу вирощувати трансгенний бавовник втратила \$40 млн.

ЯК ВПЛИВАЮТЬ ТРАНСГЕНИ НА ЗДОРОВ'Я І ПРИРОДУ?

Чи можуть трансгенні сорти негативно впливати на людину і природу? Теоретично, так. Тому їх ретельно перевіряють. Вартість перевірки становить кілька десятків мільйонів доларів, тому багато малих і середніх біотехнологічних компаній відмовилися від отримання трансгенних рослин.

Які негативні наслідки від використання такої продукції? З 1996 р., коли США вперше у світі висіяли такі сорти на площі 1,7 млн га, трансгенні кукурудза, соя, бавовник, ріпак і в невеликих кількостях інші рослини «захопили» 148 млн га у 29 країнах. За підрахунками американських спеціалістів, їхні співвітчизники з'їли понад 3 трлн порцій продуктів з трансгенних рослин. Досі не зареєстровано жодного випадку токсичної чи алергенної дії. Існує об'єктивний інтегральний показник якості життя і в т.ч. продуктів харчування — середня тривалість життя. У США, де найінтенсивніше використовують модифіковані продукти, він в останні десятиліття зростає.

Тепер про довілля. Через стійкість до гербіцидів трансгенних сої, кукурудзи, бавовнику, ріпаку винайдено нові покоління засобів захисту рослин. Їхні переваги: висока ефективність, відтак дуже низькі концентрації застосування (г/га); швидке руйнування ґрунтовими мікроорганізмами; безпека для вод тощо. З цими гербіцидами постала безвідвальна (безоранкова) технологія, що знизилася ґрунтову ерозію, витрати на паливно-мастильні матеріали, а також викиди вуглекислого газу.

Вельми поширені стійкі до комах-шкідників трансгенні сорти. Показове вирощування такого бавовнику в Китаї. Селяни, які зазвичай володіють невеликими ділянками, змушені були 15–18 разів за сезон обробляти звичайну культуру інсектицидами, здебільшого вручну. Через високу токсичність гербіцидів кілька сотень аграріїв щороку гинуло від отруєння, десятки тисяч потрапляли до лікарень. На модифіковану рослину потрібно тільки 2–3 обробки, кількість загиблих скоротилася на 70%, отруєних стало на десятки тисяч менше.

Є трансгенні рослини з кращим використанням мінеральних сполук, коли ті не змиються у ґрунтові води, не попадуть у джерела водоспоживання. Наприклад, фосфор у

насінні кукурудзи представлено в основному фітатом, який погано засвоюють тварини з однокамерним шлунком. Незасвоєний фітат — головне джерело фосфорного забруднення на свинофермах. Мікробіологічна фітаза як харчова добавка посилює поглинання фосфору, однак висока вартість і спеціальні заходи для приготування кормів гальмують її широке використання. Набагато простіше створити трансгенні рослини з високою активністю фітази. Відомі ГМ-пшениця [6], соя [7, 8], рис [9], ріпак [10], люцерна [11], що експресують ген фітази різного походження.

Нині продукти від генно-інженерних рослин перевіряє Агентство захисту довкілля (EPA), Федеральна адміністрація з харчових продуктів і медикаментів (FDA), Департамент сільського господарства США (USDA), Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO). Вони підтвердили, що продукти трансгенних рослин, які зараз вирощують, не загрожують здоров'ю і годяться в їжу.

Робоча група Британського товариства антимікробної хемотерапії (British Society for Antimicrobial Chemotherapy — BSAC) восени 2005 р. оприлюднила заяву про безпеку практично всіх генів резистентності до антибіотиків у рослинах: «Відсутні об'єктивні наукові підстави вірити, що бактеріальні гени АУ (антибіотикостійкість) мігрують з ГМ-рослин до бактерій, створюючи нові клінічні проблеми. Використання цих генів для отримання ГМ-рослин не можна розглядати як серйозну чи варту довіри загрозу людині, тваринам чи довкіллю».

Учені Російської академії сільськогосподарських наук, Російської академії медичних наук, Російської академії наук на спільному засіданні одноголосно визнали нешкідливість ГМ-продуктів [5]. На думку багатьох дослідників, фенотип трансгенних рослин, їхня поведінка в довкіллі, а не метод отримання повинні бути предметом законодавства, що нормує їх використання.

Слід вивчати і регулювати зовнішній ефект експресованих ознак і токсикологічний ефект — власне, не процес, а продукт.

ТРАНСГЕННИЙ ПОСТУП

У травні 1989 р. 16 європейців-лауреатів Нобелівської премії звернулися з відкритим листом до Європейської Комісії, президента Європейського парламенту, Ради ЄС на підтримку висунутої Європейською організацією з молекулярної біології (ЕМВО) пропозиції про законодавче регулювання продукту, а не процесу. Однак незабаром прийнято директиви, де саме «генетичну модифікацію» визначено основним критерієм оцінення організмів.

З 2000 р. більше 4000 учених, включаючи 25 нобелівських лауреатів, підписали «Декларацію на підтримку сільськогосподарської біотехнології». У липні 2010 р. Європейська Комісія прийняла доповнення до директиви 2001/18/ЕС, що дозволяє членам ЄС самим визначати політику щодо ГМО на їхній території.

У грудні того ж року Єврокомісія оприлюднила компендіум (коротке резюме) «Декада субсидованих ЄС досліджень ГМО». У ньому говориться, що понад 500 незалежних груп протягом 25 років досліджували ГМО, на що витрачено понад €300 млн. «Згідно з результатами досліджень не виявлено наукових доказів підвищення ризику, пов'язаного з [використанням] ГМО для навколишнього середовища, харчових продуктів і кормів у порівнянні з традиційними рослинами і організмами».

Нині генетики і біологи зосереджені на отриманні нових культур, що формують високий урожай біомаси — сировини для фітопалива, етанолу, біодеградованих пластмас, вакцин; окремо варто згадати про створення олійних культур, які продукують жирні кислоти, що замінюють нафтове паливо. Культури повинні бути багаторічними, споживати менше добрив, рости на малопродуктивних,

необроблюваних землях, бути стійкими до хвороб, шкідників і при цьому мати високу продуктивність. Зростає застосування трансгенних культур — продуцентів різних сполук.

В Університеті Рединга у Великій Британії підраховали, що вирощування генетично модифікованих культур бодай на половині нив у ЄС знизить використання хімічних засобів захисту рослин на 14 тис. т, дизельного палива на 20 млн л, викиди вихлопних газів, що викликають глобальне потепління, — на 73 тис. т.

За даними Інтернету, 63 країни досліджують 57 різних трансгенних культур. Результати вражають. Олія німецького трансгенного льону містить омега-3-ненасичені жирні кислоти, що перешкоджають утворенню холестерину на стінках кровоносних судин і серцево-судинним захворюванням. Отримано помідори з підвищеною концентрацією лікопіну — одного з найсильніших рослинних антиоксидантів, що знижують ризик серцево-судинних і онкологічних недуг. Ротамстедська станція створила ріпак з омега-3-ненасиченими жирними кислотами, аналогічними тим, що в рибі. Їхні сполуки рятують від патології очей і мозку дитини [12].

Швейцарці Інго Потрікус і Петер Байер створили «золотий рис»⁶, названий так через здатність синтезувати каротин, який забарвлює зерна в золотистий колір і в організмі людини перетворюється на вітамін А, через дефіцит якого втрачають зір мільйони дітей у слабо розвинених країнах. У цьому рисі також підвищено вміст заліза, нестача якого призводить до анемії. У Великій Британії компанія Синджента розробила друге покоління «золотого рису», де приблизно в 30 разів більше каротину порівняно з першим.

⁶ «Золотий рис» нині випробовують у кількох країнах. Деякі азійські держави під впливом Грінпісу відмовляються від випробувань. А у Франції горе-активісти взагалі знищили його посіви.

Рослинне біопаливо послабить залежність від нафтовидобувних країн, які «граються» цінами на свій товар. Зараз основна частина такого палива представлена етанолом, якій видобувають з рослинного крохмалю чи цукру, і біодизелем з рослинних жирів. Сировиною стають кукурудза, цукровий очерет і буряк, ріпак, соя. А можна брати і нехарчові культури⁷, целюлозовмісні матеріали⁸, такі як просо (*Panicum virgatum*), міскантус, соломки, тирси, ін. культури.

За даними ФАО, низка країн, що розвиваються, зайняті отриманням і випробуванням ГМО-бананів, плантейну, маніоки, рису, сорго, стійких до абіотичних стресів і з поліпшеною якістю. Це насамперед Китай, Індія, Куба, Мексика, Аргентина, Бразилія, Південно-Африканська Республіка, Єгипет.

Крім традиційних трансгенних культур (сої, кукурудзи, бавовни, ріпаку) у різних країнах дозволено вирощування модифікованих рису, цукрового буряка, папайї, гарбуза, тополі, томатів, бананів, перцю, картоплі, квіткових культур, і в найближчі п'ять років ці посіви зростуть [15].

У багатьох державах генно-інженерні сорти переважають над традиційними. Так, у 2010 р. 93% площ сої в США, 99% в Аргентині, 75% у Бразилії висіяли ГМ-насінням. Для кукурудзи це, відповідно, 86%, 86%, 56%. 88% ріпаку в США і 94% у Канаді трансгенні [16]. У ЄС через штучні заборони в 2010 р. засіяли тільки трансгенну кукурудзу, стійку до головного шкідника — кукурудзяного метелика (MONSANTO

⁷ Завдяки біотехнології можна дістати великі обсяги дешевих целюлаз, що перетворюють целюлозу на прості цукри, які переробляють на етиловий спирт — заміну нафтовому паливу. Недавні розрахунки Департаменту енергетики США показали, що в 2020 р. вони здатні отримати для транспортної галузі 30% і більше палива з рослинних жирів.

⁸ Виготовлення біоетанолу з целюлозовмісних рослин базується на розщепленні целюлозної оболонки клітин на моноцукри, ферментація яких і приводить до утворення біоетанолу.

810). В Іспанії під неї відведено 76,6 тис. га, у Португалії — 4,9, у Польщі — 3, у Словаччині — 1,2, у Чеській Республіці — 4,75, у Румунії — 0,8. На дуже невеликих площах розпочато вирощування картоплі Amflora для отримання крохмалю [17]. Вступаючи в ЄС, Румунія була змушена відмовитися від вирощування сої, стійкої до гербіциду гліфосату (Раундапу), забороненого в Союзі. Через це, за даними міністра сільського господарства Румунії, країна щороку втрачає \$100 млн.

ТРАНСГЕННІ РОСЛИНИ УКРАЇНСЬКОГО ПОХОДЖЕННЯ

У нас великий досвід отримання трансгенних організмів. В Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України виведено:

- горох, стійкий до гербіцидів фосфіотрицину [19], персюїту [20];
- цукровий буряк О-типу [21], стійкий до фосфіотрицину [22];
- стійкий до фосфіотрицину ріпак [23];
- салат [24], тютюн [25], моркву [26] з людським геном інтерферону альфа-2b;
- салат [27], цикорій [28] з антигеном ESAT6 бактерії *Mycobacterium tuberculosis*, що викликає туберкульоз (зауважимо, що вакцини і сироватки з рослин — один з найперспективніших напрямів біотехнології у світі).

В Інституті фізіології рослин і генетики і Національному ботанічному саду отримано:

- сою, цукровий буряк, картоплю, гречку, стійкі до гербіциду гліфосату [29–32];
- виноград, стійкий до фосфіотрицину і бактеріального раку⁹. Тут уперше викорис-

⁹ Серед випробуваних гербіцидостійких рослин 3 не утворювали корончатих галлів в умовах *in vitro*. У 2 в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України (д.б.н. Р.І. Гвоздяк) підтверджено стійкість до бактеріального раку у ґрунтовій культурі і до всіх випробуваних агресивних штамів ризобій. Молекулярно-генетичний аналіз зафіксував трансгени в геномі цих трансформантів [34, 35].

тано суміш кількох штамів *Rhizobium radiobacter* (раніше *Agrobacterium tumefaciens*). Один штам ніс ген *bar*, що визначає стійкість до фосфінотрицину, другий — детермінант антионкогенності *ita*. *bar* був селективним маркером. Отримано рослини сортів Каберне Совінйон, Подарунок Магарача, Рубіновий Магарача, Крона 42, що містять ген *bar* [33];

– ріпак, олійну редьку з геном пірролін-5-карбоксилатсинтетази *Medicago truncatula* [36], що підвищує вміст проліну, *Brassica napus*, *Raphanus sativus* з антисмисловим супресором гена проліндегідрогенази [37, 38] з підвищеною стійкістю до абіотичних стресів.

До речі, за неофіційними даними, в Україні трансгенні 60–70% сої, 10–20% кукурудзи¹⁰, 5%¹¹ — ріпаку.

Увійшовши в 2008 р. до СОТ, ми офіційно зобов'язалися ставитись до продуктів біотехнології так само, як до інших. Проте нещодавно прийнято низку законодавчих актів про їх маркування. Такі вимоги під-

вищують вартість товару для імпортерів і вітчизняних виробників.

Крім ініціатив зі створення в Україні зон, вільних від біотехнологічних продуктів, до Верховної Ради надійшли два законопроекти про заборону продажу всіх біотехнологічних продуктів і товарів. Наголосимо, і законодавці, і покупці не мають достатніх знань, щоб об'єктивно оцінити безпеку і якість таких продуктів. Ці акти суперечитимуть підписаним при вступі України до СОТ документам і негативно вплинуть на торгівлі відносини і членство в СОТ, не кажучи вже про величезні економічні втрати.

ВИСНОВКИ

Найчастіше страх перед продуктами новітніх біотехнологій заснований на невігластві, чим недобросовісно користуються т.зв. захисники природи і споживачів. Чим об'єктивніше поінформоване суспільство, тим лояльніше воно ставиться до біотехнології, тим активніше її використовує.

Ринок має дати покупцеві право вибору. Необхідна широкодоступна зважена інформація, а не істеричні залякування. В Австрії, наприклад, найпопулярніші повідомлення запускають бульварні газети, які атакують біотехнологію. У результаті населення найбільш категорично виступає проти її продукції. Голландці більше поінформовані про досягнення генетиків, 75% підтримують модифіковані продукти.

Наостанок кілька показових фактів.

У результаті використання трансгенних сортів на фермах і в переробній промисловості дохід Бразилії за 1996–2010 рр. становить \$5,9 млрд. Прогноз на наступне десятиліття називає цифру \$80,3 млрд [13]. У США прибуток від них за 1996–2009 рр. досяг \$29,6 млрд, в Аргентині — 10,4, Китаї — 9,27, Індії — 7, Канаді — 2,64. З 1996 р. країни, що «не бояться» генно-модифікованих рослин, збагатились на \$64,7 млрд. За цей період застосування пестицидів скоротилося на 39,3 млн т [14].

¹⁰ Кукурудзу лінії 3272, що експресує ген альфа-амілази, розроблено для заміщення цього ферменту, звичайно одержуваного мікробіологічним синтезом, у продукуванні етанолу для біопалива. У виробництві її змішують з традиційною. Раніше лінія 3272 отримала дозвіл на використання в їжу. Ця кукурудза допущена до імпорту в харчових і кормових цілях в Австралії, Новій Зеландії, Канаді, Японії, Мексиці, Філіппінах, має схвалення Сільгоспдепартаменту США.

¹¹ У Росії для харчових цілей і перероблення санкціоновані лінії кукурудзи BT11, GA-21, MIR604, SYN-3272-5 (Event 3272) (Syngenta); MON810, MON863, MON88017, NK-603 (Monsanto); T-25 (Bayer CropScience). Для цих же цілей вільно використовувати картоплю «Єлизавета» 2904/KGS, «Луговський» 1210/АМК (Центр «Біоінженерія» РАН), рис LLRICE62 (Bayer CropScience), сою A2704-12, A5547-127 (Bayer CropScience), GTS40-30-2, MON89788 (Monsanto), цукрові буряки Н7-1 (Monsanto). Для кормових цілей дозволена кукурудза BT11, GA-21, MIR604, SYN-3272-5 (Event 3272) (Syngenta), MON810, MON863, NK-603 (Monsanto), T-25 (Bayer CropScience), соя A2704-12, A5547-127 (Bayer CropScience), GTS40-30-2 (Monsanto).

Трансгенні культури, стійкі до екологічно небезпечних гербіцидів, хвороб, шкідників, до посухи, засолення, холоду, з підвищеним вмістом білків, вітамінів, мікроелементів, корисних жирних кислот, вуглеводів, безсумнівно привернуть покупців, і ніякі залякування «екологів» не зупинять прогресу.

Єдине, чого досягнуть антибіотехнологічні агітатори, – кількарічна затримка з упродовженням, що неминуче призведе до підвищення вартості сільськогосподарської продукції та загибелі багатьох мільйонів людей в найбільш небезпечних районах світу. Екофундаменталізм веде до нетерпимості, сильно загрожує демократії. Тільки розумний підхід, заснований на наукових знаннях, буде фундаментом справедливого і відкритого суспільства.

1. Ames B., Profet M., Gold L.S. Natures Chemicals and Synthetic Chemicals: Comparative Toxicology and Dietary Pesticides // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1990. – 87. – P. 7777–7781.
2. Beier R.C. Natural pesticides and bioactive components in food // Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 1990. – 113. – P. 47–137.
3. United States Department of Agriculture. The National List of Allowed and Prohibited Substances. – Washington, D.C.: National Organic Program, Agricultural Marketing Service, United States Department of Agriculture. – 2002.
4. USDA 2002 // www.ams.usda.gov/nop/National-List/FinalRule.Html.
5. http://www.ng.ru/science/2011-06-08/12_biotech.html.
6. Brinch-Pedersen H., Olesen A., Rasmussen S.K., Holm P.B. Generation of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) for constitutive accumulation of an *Aspergillus* phytase // Mol. Breed. – 2000. – 6. – P. 195–206.
7. Denbow D.M., Grabau E.A., Lacy G.H., Kornegay E.T., Russell D.R., Umbeck P. Soybeans transformed with a fungal phytase gene improve phosphorus availability for broilers // Poultry Sci. – 1998. – 77(6). – P. 878–881.
8. Chiera J.M., Finer J.J., Grabau E.A. Ectopic expression of a soybean phytase in developing seeds of *Glycine max* to improve phosphorus availability // Plant Mol. Biol. – 2004. – 56. – P. 895–904.
9. Hong C.Y., Cheng K.J., Tseng T.H. et al. Production of two highly active bacterial phytases with broad pH optima in germinated transgenic rice seeds // Transgenic Res. – 2004. – 13. – P. 29–39.
10. Ponstein A.S., Bade J.B., Verwoerd T.C. et al. Stable expression of phytase (*phyA*) in canola (*Brassica napus*) seeds: towards a commercial product // Mol. Breed. – 2002. – 10. – P. 31–44.
11. Ullah A.H., Sethumadhavan K., Mullaney E.J. et al. Cloned and expressed fungal *phyA* gene in alfalfa produces a stable phytase // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 2002. – 290. – P. 1343–1348.
12. <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/science/article4276255.ece>.
13. www.celeres.com.br.
14. www.pgeconomics.co.uk.
15. McGougall P. International trade and the global pipeline of new GM crops // Nature Biotechnol. – 2010. – 28. – P. 23–25.
16. James C. Global status of commercialized biotech/GM crops [Text] / Clive James // ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). – 2010. – № 42.
17. Europabio_booklet_web-lowdef.pdf.
18. Тышко Н.В., Жминченко В.М. и др. Оценка влияния ГМ растительного происхождения на развитие потомства крыс в трех поколениях // Вопросы питания. – 2011. – 8. – № 1. – С. 14–28.
19. Simonenko Yu.V., Gleba Yu.Yu., Kuchuk N.V. Double transformation: Producing transgenic phosphinotricin-resistant plants of commercial pea lines // Rus. J. Plant Physiol. – 1999. – V. 46. – № 6. – P. 804–807.
20. Нифонтова С.Н., Симоненко Ю.В., Комарницкий И.К., Кучук Н.В. Получение трансгенных растений гороха посевного (*Pisum sativum* L.), устойчивых к гербициду Pursuit // Цитология и генетика. – 2005. – 39. – № 2. – С. 16–21.
21. Кищенко О.М., Комарницкий И.К., Глеба Ю.Ю., Кучук М.В. Отримання трансгенних рослин цукрового буряку (*Beta vulgaris* L.) лінії 0-типу за допомогою *Agrobacterium tumefaciens* // Цитол. генетика. – 2004. – 38. – № 5. – С. 3–8.
22. Kishchenko E.M., Komarnitsky I.K., Gleba Yu.Yu., Kuchuk N.V. Production of transgenic sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) plants resistant to phosphinotricin // Cell Biol. Internat. – 2005. – 29. – P. 15–19.
23. Сахно Л.А., Гочева Е.А., Комарницкий И.К., Кучук Н.В. Стабильная экспрессия беспромоторного гена *bar* в трансформированных растениях рапса // Цитол. генетика. – 2008. – 42. – № 1. – С. 21–28.
24. Матвеева Н.А., Василенко М.Ю., Шаховский А.М., Кучук Н.В. Агробактериальная трансформация салата (*Lactuca sativa* L.) конструкциями, несущими гены бактериальных антигенов из *Mycobacterium tuberculosis* // Цитол. генетика. – 2009. – 43. – № 2. – С. 27–32.

25. *Синдаровская Ю.Р., Шелудько Ю.В. и др.* Очистка рекомбинантного GFP, образованного при агробактериальной транзиентной экспрессии у *Nicotiana excelsior* // Цитол. генетика. — 2008. — 42. — № 2. — С. 10–15.
26. *Luchakivskaya Y., Kishchenko O. et al.* High-level expression of human interferon alpha-2b in transgenic carrot (*Daucus carota* L.) plants // Plant Cell Rep. — 2011. — V. 30. — № 3. — P. 407–415.
27. *Матвеева Н.А., Шаховський А.М. та ін.* Переніс гена alpha2b інтерферону в рослини цикорію (*Cichorium intybus* L.) за допомогою агробактеріальної трансформації // Біополімери і клітина. — 2009. — 25. — № 2. — С. 120–125.
28. *Матвеева Н.А., Василенко М.Ю. и др.* Эффективная агробактериальная трансформация цикория (*Cichorium intybus* L.) антигеном ESAT6 *Mycobacterium tuberculosis* // Цитол. генетика. — 2011. — 45. — № 1. — С. 11–17.
29. *Levenko B.A., Stekhin I.N. et al.* Obtaining soybean plants resistant to herbicide glyphosate // All Union Symp. «New Methods Biotech. Plants». — 1991. — P. 139.
30. *Levenko B.A., Stekhin I.N. et al.* Introduction of glyphosate resistance gene into soybean // Abstr. XVII Int. Congr. Genetics. — 1993. — P. 234.
31. *Левенко Б.А., Стехин И.Н., Заяц А.И.* Введение гена устойчивости к глифосату в растения картофеля и сахарной свеклы // Физиол. биохим. культ. раст. — 1993. — 25. — С. 197–200.
32. *Rubtsova M.A., Taranenko L.K., Levenko B.A.* Transfer of gene conferring herbicide bialaphos resistance into buckwheat plants // Biopolim. Cell. — 1997. — 13. — P. 416–418.
33. *Рубцова М.А., Левенко Б.А.* Трансгенные растения винограда, устойчивые к гербициду фосфинотрицину и бактериальному раку // Физиол. биохим. культ. раст. — 1999. — 31. — С. 214–219.
34. *Levenko B.A., Rubtsova M.A.* Herbicide resistant transgenic plants of grapevine // Acta Horticult. — 2000. — 528. — P. 337–339.
35. *Rubtsova M.A., Levenko B.A.* Phosphinothricin- and crown gall-resistant transgenic plants of grapevine // Acta Hort. — 2003. — 625. — ISHS. — P. 465–472.
36. *Сюттикова О.С., Рахметов Д.Б. и др.* Получение и анализ трансгенных растений рапса, масличной редьки с использованием генетических конструкций, несущих гены, повышающие содержание пролина // IX Междун. конфер. «Биология клеток растений in vitro и биотехнология», Звенигород. — М., 2008. — С. 380–381.
37. *Сюттикова О.С., Рахметов Д.Б. и др.* Трансгенные растения рапса и редьки масличной с повышенной устойчивостью к абиотическим стрессам // Мат. 5 Межд. конгр. «Биотехнология: состояние и перспективы развития». — 2009. — Т. 1. — С. 353–354.
38. *Сюттикова О.В., Любинская А.В. и др.* Трансгенные растения *Brassica napus* и *Raphanus sativus* с антисмысловым супрессором гена пролилиндегидрогеназы // Мат. міжн. конф. присвяч. 75-річчю НБС ім. М.М. Гришка НАН України. — 2010. — С. 625–627.

Б. Левенко

ТРАНСГЕННІ КУЛЬТУРИ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

Резюме

У статті висвітлено історію появи і дослідження трансгенних (генетично модифікованих — ГМ) сортів сільгоспкультур. Проаналізовано причину спротиву громадських організацій поширенню й культивуванню трансгенних сортів у провідних аграрних країнах. Наведено низку нових ГМ-культур, що мають властивості, недосяжні у традиційних агрометодах. Представлено дані про органічне землеробство і його продуктивність. Описано переваги генномодифікованих сортів: зниження витрат на вирощування, суттєве скорочення використання пестицидів, пально-мастильних матеріалів, викиду вуглекислого газу. Оприлюднено інформацію про отримання трансгенних рослин в Україні.

Ключові слова: ризобіальна трансформація, мутагенний вплив, біотехнологічні продукти, органічне землеробство.

В. Левенко

TRANSGENIC CROPS IN WORLD AND UKRAINE

Abstract

The history of transgenic (genetically modified — GM) cultivars of agricultural plants, their appearance and studying is presented. The reason for public organization opposition to cultivation and extension of transgenic cultivars in leading agricultural countries is analyzed. A number of new GM-crops with properties unachievable by traditional methods is named. The data concerning the organic farming and its productiveness are presented. The author points the advantages of genetically modified cultivars: fewer expenses on growing, fewer usage of pesticides, fuels and lubricants, fewer emission of carbon dioxide. The information about transgenic plants produced in Ukraine is shown.

Keywords: rhizobial transformation, mutagenic impact, biotechnology products, organic farming.