

phosphorylation by microtubule-associated serine/threonine kinases / Valiente M., Andrés-Pons A., Gomar B., Torres J., Gil A., Tapparel C., Antonarakis S.E., Pulido R. // J. Biol. Chem. – 2005. – V. 280, N 32. – P. 28936-28943.

11. Walden P.D., Cowan N.J. A novel 205-kilodalton testis-specific serine/threonine protein kinase associated with microtubules of the spermatid manchette // Mol. Cell. Biol. – 1993. – V. 13, N 12. – P. 7625-7635.

## ПРОБЛЕМИ БІОБЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГМ-РОСЛИН

С.Д. РУДИШИН, *кандидат біологічних наук*  
Університет «УКРАЇНА», Вінниця

### Вступ

Аналітичний погляд на початок ХХІ століття свідчить, що дві глобальні проблеми – харчування та екологічна безпека – стають для цивілізації найголовнішими. Усі інші – економічні, енергетичні, технологічні, демографічні, медичні, соціальні, військові, психологічні – прямо або опосередковано пов’язані з ними. Сьогодні виробництво сільськогосподарської продукції досягає близько 5 млрд. тонн на рік. Щоб збільшити цей показник вдвічі і забезпечити їжею у 2025 р. майже 9 млрд. населення Землі, традиційних способів буде недостатньо. Звідси, створення і впровадження генетично модифікованих організмів (ГМО) є науково-політичною проблемою.

Необхідно констатувати, що засоби масової інформації, а не академічні наукові журнали, з самого початку робіт у цьому напрямку наділили ГМО презумпцією вини. Звідси ГМ рослини вважаються потенційно небезпечними доти, доки не доведена їх повна безпечність. Зауважимо, що менший запас у пересічного українця біологічних знань, то більше паніка населення від жаху статей журналістів. Генетики-професіонали більш спокійні і толерантні [1, 2, 4, 8, 9]. За таких умов особливо важливим стає професійне розуміння проблеми, здійснення заходів щодо посилення біобезпеки на державному рівні, захисту громадян від можливих ризиків використання ГМО. Екологічна і біологічна науки, освіта і просвіта стають одним з головних важелів екологічно-безпечноного (збалансованого) розвитку будь-якої країни, інструментом екологізації людської діяльності, вдосконалення виробництва і природокористування на засадах коеволюційної прарадигми з урахуванням можливостей біосфери. Високий рівень біологічних та екологічних знань сьогодні є основним фактором підвищення якості і безпеки життя, збереження і відновлення потенціалу природи [7]. Крім того, важливо оцінити місце України в процесі розвитку новітніх біотехнологій та її власні економічні інтереси як потужного виробника продовольства.

### Обговорення

За останні 25 років біотехнологія, використовуючи рекомбінантні (гібридні) ДНК, перетворилася в унікальний науковий метод дослідження і одночасно у виробництво продукції сільського господарства, харчування. ДНК-технології дозволяють біотехнологам відбирати і вводити в рослини конкретні гени стійкості до шкідників, хвороб, гербіцидів, холоду, нестачі вологи, засolenня, кислотності ґрунту тощо. Відомо понад 20 способів проникнення та міжвидової міграції генетичних елементів; до їх складу зараховують трансформацію, трансдукцію, транспозони, віруси, нестатевий обмін хромосомами, утворення симбіотичних асоціацій тощо. Технологія створення ГМ-рослин складається з багатьох етапів, серед яких можна виділити такі: 1) одержання конкретних генів, створення векторів; 2) трансформація рослинних клітин за допомогою бактеріальних плазмід; 3) підтвердження трансформації молекулярно-генетичними методами – виявлення

працюючого гена; 4) регенерація цілої рослини з трансформованих клітин.

Перші трансгенні рослини одержані у 1983 р., а широке культивування їх розпочинається з 1996 р. Перший харчовий ГМ-продукт (сир), виготовлений із використанням генетично модифікованого ферменту, був дозволений у США у 1990 р. У більшості Європейських країн законодавчо введені суворі обмеження на вирощування трансгених культур і обов'язкове маркування продуктів харчування на присутність трансгених домішок, якщо їх вміст перевищує 0,9%.

Незважаючи на опозицію до трансгених рослин у певних колах, нові сорти швидко завойовують популярність у світі, площа під ними сьогодні складає понад 120 млн. га. Найбільша частка ГМ-культур вирощується в США, Аргентині, Канаді, Китаї (домінують соя, ріпак, бавовник, кукурудза, рис, тютюн). Сьогодні важко назвати вид рослин, культурні представники якого не є генетично модифіковані.

**Чому існує опозиція щодо створення ГМО?** Найголовніше те, що пересічні громадяни бояться ГМО з причин незнання сутності ДНК-технологій. Популяризатори встигли впровадити гасло на кшталт: «Нехай генетично модифіковану (штучну) іжу їдять генетично модифіковані (штучні) істоти!». Виступають проти також ті транснаціональні компанії, які займаються виробництвом пестицидів (зауважимо, що одночасно вони вкладають величезні кошти у біотехнологічні дослідження щодо створення ГМ-рослин). Інколи мотивація опонентів (громадських організацій) спирається на зненависть до глобалізації або на політичні (передвиборчі) чи прагматичні інтереси більше, ніж на стурбованість щодо біологічної безпеки.

Розглянемо **аргументи науковців за ГМО**. Оскільки усі живі організми (від вірусів до ссавців) містять однакові чотири «ноти» життя (А, Т, Г, Ц) в молекулі ДНК, то чому рекомбінантні (гіbridні) ДНК треба вважати протиприродними? Однакові (вироджені) триплети кодують 20 амінокислот, які є складовими усіх білків біосфери. Усі метаболіти трастгенних рослин вже існують у природі. Тобто, якщо відомо, що багато рослин містять отруйні речовини і такі, що мають фармакологічну дію (загальна частка вторинних сполук – алкалоїдів, терпеноїдів, глікозидів, флавоноїдів, ефірних олій тощо в сучасних ліках складає майже 25%), то забезпечення біобезпеки пов’язано насамперед із дослідженням алергенної, токсичної, канцерогенної дії ГМ-продуктів на людину і сільськогосподарські тварини. Зокрема, колхіцин – алкалоїд рослини крокус осінній (*Colchicum autumnale* L.) – є мітозною отрутою (проникаючи у клітини, які діляться, колхіцин руйнує ахроматинове веретено, дочірні клітини не розходяться до полюсів, цитокінез не відбувається і число хромосом подвоюється) [6, с. 194].

Варто підкреслити, що у США і Канаді (де прискіпливо стежать за здоров’ям населення) відсутнє маркування їжі з домішками ГМ-продуктів, а вимоги до медико-генетичної і технологічної оцінки ГМ продуктів більш високі, ніж до сортів, які одержані шляхом звичайної селекції чи хімічного, фізичного мутагенезу [1, 2, 8]. Вважається, що ГМ-сорти рослин несуть не більше ризиків, ніж традиційні сорти відповідної сільськогосподарської культури, що вже підтвердили свою безпечність.

**Медико-генетична оцінка** ґрунтуються на застосуванні полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР), яка передбачає аналіз усіх внесених генів в рослину (трансгенів, маркерів, промоторів, термінаторів). Зокрема ГМ-рослини містять однакові послідовності промотора 35S і термінатора NOS, що дозволяє на першому етапі ідентифікувати наявність ГМО в продукті. Потім проводять ПЛР з маркерами на послідовність нуклеотидів ДНК (трансген), що визначають внесену ознаку. Створення і використання спеціалізованих ДНК-мікрочіпів дозволяє проводити масовий скринінг харчових продуктів та вихідної сировини на присутність трансгенів.

**Технологічна оцінка** визначає органолептичні і фізико-хімічні властивості, а також вплив генетичних модифікацій на технологічні параметри продукції.

Спеціальні дослідження проводяться для виявлення впливу ГМ-продукту на імунний статус; визначають його мутагенну, канцерогенну та нейротоксичну дію. Хронічна токсичність продукту визначається на тваринах, раціон яких упродовж 6 місяців максимально складається з ГМ-продукту. Визначається активність ферментів системи антиоксидантного захисту, вміст продуктів перекисного окислення ліпідів та ін.

Чи є небезпека від ДНК, яку ми ковтаємо з їжею? В організмі людини в травному тракті чужа ДНК руйнується ферментами нуклеазами (рестрикційними ендонуклеазами) до мономерів - нуклеотидів, які всмоктуються клітинами для власних потреб. Нуклеази однаково «ріжуть» ДНК бактерій, вірусів, рослин чи тварин. Майже 150 тисяч років людство з каріотипом кроманьйонця (*Homo sapiens* L.) споживає чужорідну ДНК з м'ясом, овочами тощо і буде «рідну» ДНК власних клітин з «чужих» нуклеотидів. Біологічна еволюція кроманьйонця за цей період не зазнала значних змін.

Це говорить про те, що кишечник людини вже багато тисячоліть є чудовим хемостатом з ідеальними умовами співіснування мікроорганізмів з різними фрагментами ДНК. В геномі симбіонта людини – кишкової палички (*Escherichia coli*) майже 17% ДНК має еукаріотичне походження. Щосекунди ми контактуємо з генетичним апаратом вірусів і бактерій, який зі «злими» (з точки зору людини) намірами атакує наш геном. Віруси і ділянки плазмід бактерій завдяки природному механізму вбудовуються в генетичний апарат рослин, тварин, людини і навіть успадковуються (наприклад вірус герпесу, що передається аналогічно ВІЛ). Ніхто сьогодні не спростував вірусної теорії виникнення раку. У геномі людини на нуклеотидні послідовності вірусів і мобільних елементів припадає 0,5% геному [2, с. 6]. Мікророганізми і віруси всюдисущі у живій речовині планети. Отже, феномен генетичної трансформації не є новиною для біосфери, а лише одним із численних механізмів горизонтального і вертикального трансгенезу.

Немає жодного наукового повідомлення, що окремі гени чи фрагменти ДНК їжі вмонтовуються в генетичний матеріал людських клітин (чи ссавців взагалі) [1, 2, 4, 9]. Є підстави для ствердження, що в процесі еволюції системи травлення виробили захисні механізми від простої передачі генів з продуктів живлення. Така передача генів практично неможлива, оскільки було б потрібно, щоб:

- ДНК з новим геном не руйнувалася травним соком з нуклеазами;
- ДНК була спроможна проникнути крізь клітинну стінку і клітинну мембрани мікроорганізмів і вижити при роботі механізму знешкодження чужорідної ДНК;
- ДНК (чужа) рекомбінувалась в ДНК хазяїна і стабільно інтегрувались на ділянці, на якій можлива експресія гена;
- ген рослинної їжі, який навіть і трансформувався в мікроорганізм, в ньому почав працювати (здійснювати експресію).

Підкреслимо, що технологія створення ГМ-рослин відбувається за участю природних інструментів. Зокрема, усі ферменти, з якими працюють генні інженери (рестриктази, лігази, полімерази, нуклеази та ін.), виділені з живих організмів. Майже усі ГМ-рослини містять однакові природні послідовності ДНК, які регулюють роботу трансгена, а саме: промотор 35S (одержаний з вірусу мозаїки кольорової капусти) і термінатор NOS (з ґрунтової бактерії *Agrobacterium tumifaciens*). Якщо проаналізувати генетичну генеалогію усіх наших традиційних продуктів харчування (пшениці, картоплі, томатів, кукурудзи та ін.) – вони є результатом природних мутацій і генетичних трансформацій. Значне число генетиків вважає, що взагалі немає не генетично модифікованих культурних рослин.

Обговорення проблеми дає обґрутоване твердження: ДНК з генетично модифікованих організмів так само безпечні, як і будь-яка інша ДНК харчових продуктів. Побоювання щодо потенційної алергенності ГМ-продуктів можна віднести також і до інших продуктів (цитрусових, шоколаду тощо) та доведеної токсичності інгредієнтів нашої їжі (синтетичних харчових добавок, залишків нітратів, пестицидів,

афлотоксинів, важких металів тощо). У супермаркетах разом з хлібом можна вільно купити сигарети. Сьогодні майже весь промисловий тютюн генетично модифікований. Нікотин – однозначно небезпечний для здоров'я (говорити про ризик – це «від лукавого» виробника). Крім нікотину, радіонуклідів, смоли та інших небезпечних речовин, токсичною є також селітра, яку додають до паперу, щоб сигарета не гасилася.

Ми споживаємо з їжею безліч ксенобіотиків [3]. Дуже небезпечні консерванти, залишки стероїдних гормонів та антибіотиків у продуктах харчування. Жахливі прогнози щодо збільшення серед населення онкогенних та інших захворювань після двох десятиліть Чорнобильського лиха, на жаль, підтверджуються. Радіонукліди (цезій і стронцій) здійснюють свій природний розпад, а іонізуюче випромінювання не додає здоров'я популяціям виду *Homo sapiens*.

У біологічному контексті при дослідженні поняття «небезпека/ризик» необхідно говорити про існування небезпеки від споживання неякісного алкоголю та ризик від надлишку якісного (заборона якого перманентно виникає і припиняється). Зазначимо, що генетично модифіковані лікарські препарати легко сприймаються фахівцями і населенням усіх країн і не викликають тривоги. ГМ-мікроорганізми давно й активно використовують для виробництва антибіотиків, амінокислот, ферментів, вакцин, вітамінів та ін. Зокрема, ніхто не протестує проти генно-інженерного інсуліну, якому діабетики віддали перевагу перед вітчизняним «свинячим».

Існує занепокоєння щодо появи «супербур'янів». Вчені вивчають можливий екологічний ризик самочинної передачі нових генів від ГМ-рослин до дикої флори (вітром, комахами). Водночас у реальних природних умовах перенесення генів від одних видів рослин до інших відбувається дуже рідко, інакше ми були б свідками постійного виникнення нових видів, що насправді не спостерігається. Якщо ж у результаті перехресних запилень і з'являється гібриди первого покоління F<sub>1</sub>, то вони практично ніколи не дають покоління F<sub>2</sub> [8, с. 11]. У цьому аспекті ГМ-рослини нічим не різняться від звичайних, не модифікованих.

Дослідження свідчать [2, 8, 9], що екологічний ризик при вирощуванні трансгенних рослин можна порівняти із ризиком випробування нових селекційних сортів, одержаних звичайним способом. Усі ознаки (сполучки), які з'являються (чи з'являються) в трансгенних рослинах, вже існують у біосфері. Зауважимо, що бур'янів у природі немає, вони є тільки в антропоцентричній уяві людини. Бур'яни – це рослини, які еволюційно виникли упродовж мільйонів років, є ланцюгами в екосистемах, а людині для розв'язання продовольчих проблем заважають. Для нових буряків знайдуть нові гербіциди. Отже, не зареєстровано жодних достовірних прикладів міграції трансгенів від ГМ-рослин до інших і впливу ГМ-рослин на біорізноманіття і структуру популяцій в агроценозах. Вчені вивчають зміни біоти штучних агросистем (мікрофлори ґрунтів, комах та ін.), в яких ростуть трансгенні рослини. Зокрема, кумулятивні наслідки потрапляння трансгенного білка (Bt-токсину) на ґрутову фауну і мікрофлору.

Якщо говорити про екологічні наслідки людської діяльності, то людина з моменту появи на Землі виписала себе з класичного розуміння екології як біології екосистем. Відповідно до закону конкурентного витіснення Гаузе [5], конкуренція між видами на одній території тим сильніша, чим види близькі за потребами у споживанні кормових ресурсів та просторі проживання. Для власного існування людина усуває або знищує усіх біологічних конкурентів за природні ресурси, називаючи при цьому їх шкідниками, бур'янами тощо.

Видається правомірним стверджувати, що штучні урбо- та агроландшафти планети (і з ГМ-рослинами разом) знижують буферну ємність біосфери, яка забезпечує її гомеостаз. Аналіз шаленого техногенезу останніх 60 років свідчить: головна причина біологічної небезпеки у споживацькому (не збалансованому) здійсненні промислової діяльності та веденні сільського господарства, які нелінійно підводять біосферу до точки

біфуркації, і наукові сценарії майбутнього невтішні. Цивілізації необхідно встигнути зрозуміти: якщо збережемо біологічне і ландшафтне різноманіття, воно збереже нас. Це означає, що біосфері для власного відновлення і подальшого сталого розвитку важливіші мільйони гектарів природних біомів тайги, джунглів, тундри, степів, боліт, океану тощо, а не урбоекосистеми (мегаполіси, сотні тисяч кілометрів автотрас тощо) та штучні агроландшафти зернових, бобових тощо.

Екологічний закон незаперечний: тільки 1% чистої продукції фотосинтезу використовується в усіх ланках природних трофічних ланцюгів. Перевищення цієї межі, наприклад шляхом вилучення частини продукції, порушує біотичну регуляцію вмісту  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$  в атмосфері, а через них – стабільність парникового ефекту і утворення озону. Надходження цієї частки тільки в антропогенний канал (в іжувак, волокна, паливо тощо) стає загрозливим для існування сучасного стану біосфери.

Реалії сьогодення: зменшуються площі під сільськогосподарськими культурами, існує генетична межа їх урожайності; збільшується населення планети; інтенсивно застосовуються мінеральні добрива і пестициди, які допомагають побороти голод, але забруднюють довкілля; посилюється дефіцит родючості ґрунту (зменшується вміст гумусу); масштабно втрачається біологічне і ландшафтне різноманіття. Тільки один мільярд людей біосфера спроможна надійно прогодувати і при цьому безболісно для себе відновитися. Факт ХХІ століття – природні ресурси планети є джерелом достатку лише для країн «золотого мільярду», що ускладнює шлях до гарної ідеї ноосфери В.І. Вернадського.

Створення і поширення ГМ-рослин (рослин «зеленої» революції-2) має пряме відношення до забезпечення людства іжею (особливо білком), оскільки тваринництво і рибальство майбутнього повністю цього зробити не зможуть з об'єктивних причин. Наши міркування такі: 1) існує екологічне правило Р. Ліндемана: тільки 10% енергії переходить з одного ланцюга трофічної піраміди на більш високий, що є наслідком другого закону термодинаміки; 2) площа океану майже у 2,5 раза більша за площу суші, проте морські екосистеми фіксують сумарну сонячну енергію менш ефективно; суша дає майже у два рази більше продукції, ніж океан. Отже, людству треба вирощувати адаптовані до несприятливих умов середовища рослини, одержувати з них калорійні і протеїнові продукти та спускатися вниз по харчовому ланцюгу – зокрема до сої, а не втрачати 80-90% енергії іжі на годівлю тварин.

Найважливіші задачі генних інженерів рослин ми вбачаємо у такому: 1) здійснення генетичної трансформації злакових щодо їх спроможності фіксації атмосферного азоту; 2) підвищення ефективності фотосинтезу сільськогосподарських рослин; 3) створення стерильних ГМ-рослин та ін.

## Висновки

Поширення ГМ-рослин стало незворотним процесом. Переваги перевищують гіпотетичний ризик від їх використання. Вчені покладають надію на трансгенні рослини, вирощування яких значно дешевше, менше забруднює пестицидами довкілля, допомагає вирішити проблему продовольства країн «третього світу» та біопалива, не потребує застосування нових площ. Як і будь-який витвір людського розуму (літак, гідроелектростанція, ліки, горілка, мінеральні добрива, консерви тощо), ГМ-рослини створюють певний ризик, але *пряма небезпека їх для здоров'я людини та сільськогосподарських тварин науково не доведена*. Явну небезпеку для збереження біорізноманіття і здоров'я людини складають кислотні опади, пестициди, радіонукліди, важкі метали, нітрати, нітрати, нітrozаміни, мікотоксини, штучні консерванти, синтетичні харчові домішки та інші ксенобіотики.

Усвідомлення і пересторога – два принципи усіх міжнародних нормативно-правових документів щодо біобезпеки при використанні ГМ-рослин. Принципова полеміка навколо трансгенних організмів корисна, оскільки примушує генних інженерів постійно поліпшувати конструкції, посилювати контроль за наслідками і, таким способом, працює на користь стратегії виживання людства в умовах стрімкого росту населення і виснаження біоресурсів. Але суспільство сьогодні має право робити вибір – споживати органічну чи генетично трансформовану їжу. Тому державі необхідно обов'язково забезпечити маркування ГМ-продуктів.

### **Список літератури**

1. Современные биотехнологии – вызов времени / Блюм Я., Борлауг Н., Суржик Л., Сиволап Ю. – К.: РА NOVA, 2002. – 102 с.
2. Глазко В.И. Генетически модифицированные организмы: от бактерий до человека. – К.: «КВІЦ», 2002. – 210 с.
3. Димань Т.М., Барановський М.М., Білявський Г.О. Екотрофологія. Основи екологічно безпечно харчування. – К.: Лібра, 2006. – 304 с.
4. Колотовкина Я.Б., Наумкина Е.М., Чижкова С.И. Методы идентификации и мониторинг трансгенных компонентов в продуктах питания // Докл. Рос. академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 5. – С. 44-47.
5. Реймерс Н.Ф. Экология: Теория, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с.
6. Рудишин С.Д. Основи біотехнології рослин. – Вінниця: МП «ЗАПАЛ», 1998. – 224 с.
7. Рудишин С.Д. Біологічна підготовка майбутніх екологів: теорія і практика: монографія. – Вінниця: ВМГО «Темпус», 2009. – 394 с.
8. Сорочинський Б.В. Екологічні ризики від випуску й використання генетично модифікованих рослин // Физиология и биохимия культ. растений. – 2008. – Т. 40. – С. 3-14.
9. Плейотропные эффекты гена хитиназы из *Serratia phymuthica* в трансгенном картофеле / Шахbazov A.B., Яковleva G.A., Родькина И.А., Картель Н.А. // Цитология и генетика. – 2008. – № 2. – С. 3-9.

### **EFFICIENT PLANTLET REGENERATION AND AGROBACTERIUM TRANSFORMATION OF FLAX BY CHIMERIC GFP-TUA6 GENE**

E.N. SHYSHA<sup>1</sup>, A.I. YEMETS<sup>1</sup>, *PhD*; V.I. KORKHOVYY<sup>1</sup>, *PhD*;  
S.I. SPIVAK<sup>1</sup>, E.V. GUZENKO<sup>2</sup>, *PhD*; V.A. LEMESH<sup>2</sup>, *PhD*;  
N.A. KARTEL<sup>2</sup>, *DrSci*; YA.B. BLUME<sup>1</sup>, *DrSci*

<sup>1</sup>Institute of Food Biotechnology and Genomics, National Academy of Science of Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Science of Belarus

### **Introduction**

Flax (*Linum usitatissimum* L.) is one of the perspective agricultural culture in Europe and in the Ukraine, particularly. One of the aims of flax selection is a creation of new varieties with improved agro-technical characteristics that include the higher wind-resistance. Cell wall plays an essential role in formation of mechanical flax resistance to wind. It is well known that cellulose microfibrils is the main mechanical element of the cell wall, and it is generally considered that cortical microtubules control the direction of cellulose microfibril deposition [1, 2]. Thus, elucidation the correlation between microtubules organization peculiarities and their role in cellulose microfibril arrangement helps to understand the wind resistance in flax plants