

УДК 604.6: 581.5+591.5

Рудишин С.Д. (Україна, Вінниця)

ПОГЛЯД НА ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ З ПОЗИЦІЙ ЕКОТОРОФОЛОГІЇ ТА МОЖЛИВОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ

Постановка проблеми. Початок XXI століття засвідчив, що для цивілізації найголовнішими стають дві глобальні проблеми - харчування та екологічна безпека. Сьогодні виробництво сільськогосподарської продукції досягає близько 5 млрд. т. на рік. Щоб збільшити цей показник вдвічі і забезпечити їжею у 2025 році майже 9 млрд. населення планети традиційних способів буде недостатньо. Звідси створення і впровадження ГМО є науково-політичною проблемою.

Необхідно констатувати, що ГМО вважаються потенційно небезпечними доти, доки не доведена їх повна безпечність. Зауважимо, чим менший запас в пересічного українця біологічних знань, тим більше паніка населення від жаху статей журналістів. Генетики-професіонали більш спокійні і толерантні [1;2;4;8;9]. У багатьох Європейських країнах законодавчо введені обмеження на вирощування трансгенних культур і обов'язкове маркування продуктів харчування на присутність трансгенних домішок, якщо їх вміст перевищує 0,9% (це межа чутливості методу ідентифікації чужерідної ДНК). За таких умов важливим стає професійне розуміння проблеми, здійснення заходів щодо посилення біобезпеки на державному рівні, захисту громадян від можливих ризиків використання ГМО. Екологічна наука і освіта стають головним важелем збалансованого розвитку будь-якої країни, інструментом екологізації діяльності, вдосконалення виробництва на засадах коеволуційної парадигми із врахуванням можливостей біосфери [7]. Крім того, важливо оцінити місце України в процесі розвитку новітніх біотехнологій та її власні економічні інтереси як потужного виробника продовольства.

Результати та обговорення. За останні 25 років біотехнологія, використовуючи рекомбінантні ДНК, перетворилась в унікальний метод дослідження і, одночасно, виробництва продукції сільського господарства, харчування. ДНК-технології дозволяють відбирати і вводити в рослини конкретні гени стійкості до шкідників, хвороб, гербіцидів, холоду, нестачі вологи, засолення, кислотності ґрунту тощо. Відомо понад 20 способів проникнення та міжвидової міграції генетичних елементів; до їх числа відносять трансформацію, трансдукцію, транспозони, віруси, нестатевий обмін хромосомами, утворення симбіотичних асоціацій тощо.

Перші трансгенні рослини одержані у 1983 році; широке культивування їх розпочалося у 1996 р; перший харчовий ГМ-продукт (сир), виготовлений із використанням генетично модифікованого ферменту, був дозволений у США у 1990 році. Незважаючи на опозицію до трансгенних рослин у певних колах, нові сорти швидко завойовують популярність у світі; площа під ними сьогодні складає понад 125 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? Пересічні громадяни бояться ГМО з причин незнання сутності ДНК-технологій. Популяризатори встигли впровадити гасло: «Нехай генетично модифіковану (штучну) їжу їдять генетично модифіковані (штучні) істоти!». Виступають проти також ті компанії, які займаються виробництвом пестицидів (зауважимо, що одночасно вони вкладають величезні кошти у дослідження щодо створення ГМО). Інколи мотивація опонентів (громадських організацій) спирається на зневажливість 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 (гібридні) ДНК треба вважати протиприродними? Однакові вироджені триплети кодують 20 природних амінокислот, які є складовими усіх білків. Усі метаболіти трансгенних рослин вже відомі біосфері. Тобто, якщо рослини містять отруйні речовини і такі, що мають фармакологічну дію, то забезпечення біобезпеки пов'язано, насамперед, із дослідженням алергенної, токсичної, канцерогенної дії ГМ- продуктів на людину і тварини. Зокрема, колхіцин –алкалоїд рослини *Colchicum autumnale* – є мітозною отрутою (руйнує ахроматинове веретено, дочірні клітини не розходяться і число хромосом подвоюється) [6, с. 194]. Варто підкреслити, що у США і Канаді відсутнє маркування їжі з домішками ГМ-продуктів, а вимоги до їх медико-генетичної і

технологічної оцінки 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 ґрунтується 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), які визначають внесену ознаку. Створення і використання ДНК-мікročіпів 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 можливого 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.

Чи є небезпека від ДНК, яку ми ковтаємо з їжею? В травному тракті чужа ДНК руйнується ферментами (рестрикційними ендонуклеазами) до мономерів - нуклеотидів, які всмоктуються клітинами для власних потреб. Нуклеази універсальні - однаково «ріжуть» ДНК бактерій, вірусів, рослин або тварин. Сотні тисяч років людство з каріотипом кроманьйонця (*H.sapiens L.*) споживає чужорідну ДНК з м'ясом, овочами тощо і будує «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 (*E.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 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]. Мікроорганізми і віруси всюдиусі у живій речовині планети. Отже, феномен генетичної трансформації не є новиною для біосфери, а лише одним із багаточисельних 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 потребувала б, щоб: 1) ДНК з новим геном не руйнувалася травним соком з нуклеазами; 2) ДНК була спроможна проникнути крізь клітинну стінку і клітинну мембрану мікроорганізмів і вижити при роботі механізму знешкодження чужерідної ДНК; 3) ДНК (чужа) рекомбінувалась в ДНК хазяїна і стабільно інтегрувались на ділянці, на якій можлива експресія гена; 4) ген рослинної їжі, якій навіть і трансформувалась в мікроорганізм, в ньому почав працювати.

Підкреслимо, що технологія створення ГМ-рослин відбувається за участю природних інструментів. Усі ферменти, з якими працюють генні інженери (рестриктази, лігази, полімерази, екзонуклеази 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 tumefaciens*). 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 обґрунтоване 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 для інших продуктів (цитрусові, шоколад тощо) та доведеної небезпечності інгредієнтів нашої сучасної їжі (синтетичних харчових добавок, залишків нітратів, пестицидів, афлотоксинів, важких металів тощо). В 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 в 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 прибавляє здоров'я популяціям виду *H. sapiens*.

В біологічному контексті дослідження поняття «небезпека/ризик» необхідно говорити про існування небезпеки від споживання неякісного алкоголю та ризик - від надлишку якісного. Зазначимо, що генетично модифіковані лікарські препарати легко сприймається населенням усіх країн і не викликають тривоги. ГМ-мікроорганізми активно використовують для виробництва антибіотиків, амінокислот, ферментів, вакцин, вітамінів та ін. Діабетики не протестують проти генно-інженерного інсуліну, якому вони 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'являться гібриди першого покоління F1, то вони практично ніколи не дають покоління F2 [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 (сполуки), які з'являються (чи з'являться) в трансгенних рослинах, вже існують в біосфері. Зауважимо, що бур'янів в 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 бур'янів 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 (Вt-токсину) на ґрунтову фауну і мікрофлору.

Якщо говорити про екологічні наслідки людської діяльності, то, згідно закону конкурентного витіснення Гаузе [5], конкуренція між видами на одній території тим сильніша, чим види ближче за потребами у споживанні кормових ресурсів та просторі проживання. Для власного існування біологічний вид *H. sapiens* 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 ведення 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.

Існує екологічний закон, - тільки 1% чистої продукції фотосинтезу використовується в усіх ланках трофічних ланцюгів біосфери. Перевищення цієї межі, наприклад шляхом вилучення частини продукції, порушує біотичну регуляцію вмісту CO₂ і O₂ в атмосфері, а через них – стабільність парникового ефекту і утворення озону. Надходження цієї частки тільки в антропогенний канал (в їжу, волокна, паливо тощо) загрожує існуванню сучасного стану біосфери. Реалії наукових розрахунків: зменшуються площі під культурами, існує генетична межа їх урожайності; збільшується населення планети; близько 1 мільярду людей біосфера спроможна надійно прокормити і при цьому, безболісно для себе, відновитися; інтенсивно застосовуються мінеральні добрива і пестициди, які усувають голод але забруднюють довкілля; посилюється дефіцит родючості ґрунту (зменшується вміст гумусу); масштабно втрачається біологічне і ландшафтне різноманіття.

Створення і поширення ГМ рослин (рослин «зеленої» революції-2) - має пряме відношення до забезпечення людства їжею (особливо, білком), оскільки тваринництво і рибальство майбутнього повністю цього зробити не зможуть з об'єктивних причин: 1) існує екологічне правило - тільки 10%

енергії переходить з одного ланцюга на більш високий у трофічній піраміді, що є наслідком другого закону термодинаміки; 2) хоча площа океану майже у 2,5 рази більша за площу суші, але морські екосистеми менш ефективно фіксують сумарну сонячну енергію - 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 їжі на годівлю сільськогосподарських тварин. Найважливіші задачі генних інженерів рослин: 1) здійснення генетичної трансформації злакових щодо їх спроможності фіксації атмосферного азоту; 2) підвищення ефективності фотосинтезу сільськогосподарських рослин; 3) створення стерильних ГМ- рослин та ін.

Висновок

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 залучення нових площ. Як і будь-який витвір людського розуму (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, нітрити, нітрозаміни, мікотоксини, штучні консерванти, синтетичні харчові домішки та інші ксенобіотики.

Усвідомлення і пересторога – два принципи усіх міжнародних нормативно-правових документів щодо біобезпеки при використанні ГМО. 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. Суспільство сьогодні має право робити вибір – споживати органічну чи генетично трансформовану їжу. Тому державі необхідно обов'язково забезпечити маркування ГМ-продуктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блом Я., Борлауг Н., Суржик Л., Сиволап Ю. Современные биотехнологии – вызов времени. К.: РА NOVA, 2002. – 102 с.
2. Глазко В.И. Генетически модифицированные организмы: от бактерий до человека.- К.: Видавництво «КВІЦ», 2002. – 210 с.
3. Димань Т.М., Барановський М.М., Білявський Г.О. та ін. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування.- К.: Лібра, 2006. – 304 с.
4. Колотовкина Я.Б., Наумкина Е.М., Чиждова С.И. и др. 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. Шахбазов А.В., Яковлева Г.А., Родькина И.А., Картель Н.А. Плейотропные эффекты гена хитиназы из *Serratia phymuthica* в трансгенном картофеле // Цитология и генетика. – 2008. - № 2. – С. 3-9.