

ТРАНСГЕННІ РОСЛИНИ: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

Рибальченко Анна Михайлівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
ORCID: 0000-0002-2308-7853
anna.rybalchenko@pdau.edu.ua

Криворучко Людмила Михайлівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
ORCID: 0000-0002-8263-0481
lyudmyla.kryvoruchko@pdau.edu.ua

З появою сучасних методів генної інженерії, використовуючи перенесення генів, з'явилася можливість, конструювати вихідний матеріал з поліпшеними цінними господарськими ознаками і залучати його у селекцію для прискорення роботи. В сучасних умовах, рослинні біотехнології здатні змінити практику ведення сільського господарства і змінити виробництво продуктів харчування та вплив на навколишнє середовище. Генетичні модифікації рослин здійснюються в основному за допомогою двох способів перенесення чужорідної ДНК у рослинну клітину: *Agrobacterium*-опосередкована трансформація та біолістична трансформація. Для рослин найбільш часто використовують метод введення у рослинні геноми ґрунтової бактерії *Agrobacterium tumefaciens*.

Країни, що є лідерами з вирощування ГМ-культур: США, Аргентина, Канада, Бразилія, Китай. П'ять культур, таких як соя, кукурудза, бавовник, ріпак і картопля займають найбільше посівних площ ГМ-культур. Основні напрямки генетичних модифікацій сільськогосподарських культур пов'язані з стійкістю до гербіцидів, хвороб та шкідників. Покращення у сільськогосподарських культур цінних господарських ознак здійснюється з метою комерційної реалізації ГМ сортів рослин. Незважаючи на швидке поширення та переваги ГМ-культур, у науковій спільноті здійснюється активне обговорення та занепокоєння щодо їх використання з моменту сертифікації першого ГМ продукту.

В статті проаналізовано вітчизняні процеси регулювання систем біобезпеки під час виконання операцій з ГМО для запобігання їх неконтрольованого використання та розповсюдження. Відповідно біологічна безпека полягає в тому, щоб не впливати негативно на людей (включаючи майбутні покоління), сільськогосподарські рослини, інші організми, а генетична безпека – у відсутності неприродного та неконтрольованого впливу на геном людини, рослини.

Прихильники технології трансгенної модифікації пропагують її, як можливість, здійснити суттєві зміни у виробництві продуктів харчування та ліквідувати їх нестачу. В умовах сьогодення науковці не дійшли єдиного висновку щодо позитивного чи негативного впливу вирощування ГМ-культур на навколишнє середовище, здоров'я населення та споживання харчових продуктів, з їхнім вмістом.

Ключові слова: генетично модифіковані організми, біотехнологія, ген, генна інженерія, стійкість до гербіцидів, стійкість до шкідників.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.13>

Вступ. Генетично модифіковані (ГМ) рослини – рослини, у яких генетичний матеріал (послідовність ДНК) штучно змінений за допомогою методів генної інженерії. Такі рослини досить часто називають трансгенними, оскільки, фрагменти ДНК з певного організму були перенесені в геном рослини. Терміни GE (генна інженерія), генетична модифікація (GM) і трансгенний використовуються, як синоніми для позначення вставки ДНК (або РНК) у геном організму господаря. Отриманий трансгенний організм має назву ГМО (Kunakh, 2008; Melnychuk et al., 2003).

Генна інженерія – це застосування біотехнології, що передбачає маніпуляції з ДНК і передачу генних компонентів між видами з метою досягнення стабільного вираження нових ознак між поколіннями (Herasymenko et al., 2006; Karlov et al., 2010; Kratsiv et al., 2008; Lutman, 1999).

В галузі генної інженерії рослин перші досягнення були відразу ж застосовані на практиці. У 1994 році

в США отримано перший дозвіл на виробництво генетично модифікованого продукту – томатів «Flavr Savr», хоча лише на початку 80-х років минулого століття були створені перші трансгенні рослини. В 1995 році відбувається поява на ринку трансгенних рослин кукурудзи, що стійкі до комах-шкідників (Bt-кукурудза). В цьому ж році комерційно починають вирощувати кабачки, сою, бавовник (Barton & Dracup, 2000; Haslberger, 2006; Singh et al., 2006).

Країни, що є лідерами з вирощування ГМ-культур: США, Аргентина, Канада, Бразилія, Китай. Лише на США припадає 74% модифікованих сільськогосподарських угідь. У всьому світі 19,8% цієї площі засіяно культурами, стійкими до гербіцидів, 7,7% – культурами, стійкими до комах, і 0,3% – культурами, стійкими до комах і гербіцидів. П'ять культур, таких як соя, кукурудза, бавовник, ріпак і картопля займають найбільше посівних площ генетично модифікованих культур

(Bliusiuk & Yevstafieva, 2010; Levidow & Carr, 2007; Zhang et al., 2017).

В сучасних умовах, рослинні біотехнології здатні змінити практику ведення сільського господарства і, ймовірно, змінити виробництво продуктів харчування та вплив на навколишнє середовище.

Виробництво генетично модифікованих продуктів харчування дедалі зростає останні два десятиліття. Протягом 1996–2016 років глобальне вирощування ГМ-культур зросла з 1,7 млн га до приблизно 185,1 млн га. Завдяки методам генної інженерії можна вирощувати рослини з визначеними характеристиками, збільшити врожайність і використовувати менше пестицидів. Ці характеристики можуть допомогти світу, зокрема країнам, що розвиваються, рухатися до сталого розвитку та вирішити питання, що пов'язані з харчовою безпекою та здоров'ям (Shapran, 2019).

Замінюючи звичайні методи виробництва продуктів на методи з використанням генетичної модифікації можна певною мірою вирішити проблему забезпечення продуктами харчування. Існують також екологічні переваги, що пов'язані з ГМ методами виробництва харчових продуктів. Наприклад, використання меншої кількості пестицидів призводить до зменшення кількості газів, що викидаються в атмосферу, і підвищення врожайності також може зменшити вирубку лісів, зменшити споживання води та забезпечити збереження дикої природи (Bagla, 2010; Crawley et al., 2001; Karuscinski et al., 2003; Kvakkestad et al., 2007).

В 59 країнах світу на теперішній час використовуються біотехнологічні культури, з яких у 28 – дозволено їх вирощування, а в 31 – дозволено їх ввезення. Площі, зайняті під вирощуванням трансгенних культур у 2022 році становили вже більше 200 млн га, що є підтвердженням того що вирощування таких культур є сільськогосподарською технологією, що досить швидко адаптується (Khablak, 2023).

Для великої кількості країн вирощування ГМ-культур – це питання виживання, а не примха національних лідерів і лобіювання інтересів міжнародних корпорацій. Так, станом на 2017 рік 821 млн людей у всьому світі страждають від нестачі продуктів харчування, і ця цифра зростає з кожним роком. Для порівняння, в 2016 році число людей, які не можуть повністю забезпечити себе продовольством, становило 8400 млн. У недалекому майбутньому ця цифра буде тільки зростати. Так, згідно з дослідженнями, до 2050 року населення Землі складе близько 10 млрд чоловік, і щоб забезпечити продовольством всіх, виробництво слід збільшитися на 20%, але це необхідно зробити без істотного збільшення орних земель, адже практично всі можливі площі вже використовуються для аграрного виробництва. Тому нам потрібно шукати нові технології. І одним з перспективних напрямів, котрий забезпечить вищу урожайність сільськогосподарських культур, науковці розглядають саму генну інженерію (Lohar, 2019).

Незважаючи на швидке поширення та переваги ГМ-культур, у науковій спільноті здійснюється активне обговорення та занепокоєння щодо їх використання

з моменту сертифікації першого ГМ продукту. Споживачі побоюються шкідливого впливу ГМ продуктів на навколишнє середовище та здоров'я населення (Altieri, 2003; Cook et al., 2004; Krayner et al., 2008; Wolfenbarger & Phifer, 2000; Wynne, 2001).

Метою статті є встановлення переваг та недоліків використання трансгенних рослин, на основі опрацювання значної кількості, як вітчизняних так і закордонних літературних джерел.

Результати. Генетичні модифікації рослин здійснюються в основному за допомогою двох способів перенесення чужорідної ДНК у рослинну клітину: *Agrobacterium*-опосередкована трансформація та біолістична трансформація. Для рослин найбільш часто використовують метод введення у рослинні геноми ґрунтової бактерії *Agrobacterium tumefaciens*. Даний спосіб застосування *Agrobacterium tumefaciens* є досить ефективним при перенесенні ДНК у дводольних рослин. Хоча було здійснено велику кількість спроб для адаптації даного методу для однодольних культур (Kunakh, 2005; Satarova et al., 2016)

Агробактерії (*Agrobacterium tumefaciens* Smith & Townsend) – ґрунтові паличкоподібні бактерії, що уражують більше 1000 видів рослин і спричиняють утворення пухлин на коренях (так звані корончасті гали, хвороба відома під назвою бактеріальний рак коренів). Агробактерія «трансформує» клітину кореня рослини, тобто «вбудовує» свою плазмиду (кільцеподібну молекулу ДНК) у ДНК рослини. Плазміда містить гени, які відповідають за синтез рослинних гормонів, а підвищений їх рівень власне і спричиняє появу пухлин на коренях. Здатність агробактерій вбудовувати плазмиду в ДНК рослини і є провідним фактором у створенні ГМ-рослин. У плазмиди видаляють гени, що відповідають за синтез фітогормонів, та замінюють послідовностями з визначеною ознакою. Модифікованими плазмідами, що більше не спричиняють утворення пухлин і в той же час містять нові гени, трансформують рослинні клітини (Portier et al., 2006; Yulevych et al., 2012).

Найбільшого поширення в світі мають наступні генетичні модифікації сільськогосподарських культур: кукурудза – гербіцидна толерантність, стійкість до комах-шкідників; соя – гербіцидна толерантність, стійкість до вірусів; бавовник – стійкість до шкідників, гербіцидна толерантність; ріпак – гербіцидна толерантність, покращений склад олії; картопля – стійкість до комах-шкідників, вірусів, підвищений рівень вмісту крохмалю; соняшник – покращений склад олії; пшениця – гербіцидна толерантність, покращений вміст вуглеводів; суниця, кавуни – покращена придатність до зберігання (Dubrovna et al., 2014; Waltz, 2015; Zaidi et al., 2018).

Покращення у сільськогосподарських культур цінних господарських ознак здійснюється з метою комерційної реалізації ГМ сортів рослин. В сучасній селекційній роботі селекціонери іноді мають проблему недостатньої кількості вихідного матеріалу з покращеними ознаками, які доцільно було використовувати для створення нових генотипів (сортів і гібридів) (Strelchuk et al., 2002). З появою сучасних методів генної інженерії, використовуючи

перенесення генів, з'явилася можливість, конструювати вихідний матеріал з поліпшеними цінними господарськими ознаками і залучати його у селекцію для прискорення роботи (Visarada et al., 2009).

Велика кількість культур була генетично модифікована для збільшення стійкості до шкідників, стійкості до патогенів (включаючи віруси) і гербіцидів, а також для поліпшення таких характеристик, як затримка дозрівання, якісні характеристики насіння, посухостійкість, безкісточковість плодів, цукристість (Krutiakova et al., 2018).

Стійкість до шкідників. Сьогодні багато культурних рослин генетично модифіковано, щоб містити трансгенні послідовності ДНК бактерії *Bacillus thuringiensis* (Bt), що кодує експресію так званих токсинів Cry від 3 до 4 різних класів (Cry1, Cry2, Cry3) (Graeber et al., 1999). Ці мікробні токсини, введені в рослини ГМ-культур, спрямовані на контроль певних цільових видів шкідників, які відрізняються залежно від регіону, де вирощуються культури (Reisig & Heiniger, 2024).

У рослинах Bt токсини Cry присутні постійно і, зазвичай, у всіх частинах рослин від проростання до збору врожаю. Зокрема, завдяки генній інженерії пилок ГМ-рослин також може експресувати ці бактеріальні токсини. Bt-токсини в пилку не розкладаються ультрафіолетовим світлом і залишаються біоактивними, коли, наприклад, осідають на рослинах-господарях. Токсичний пилок рідко зустрічається в природі, оскільки, як правило, немає селективної переваги для розвитку такої ознаки (Andow et al., 2006; Lu et al., 2012; Zhang et al., 2017).

При застосуванні інсектицидів на основі *Bacillus thuringiensis* для зовнішнього розпилення ризик поглинання токсинів Cry для нецільових організмів низький через обмежену стійкість цих аерозолів у просторі та часі, оскільки Bt-токсин швидко розкладається під дією УФ-світла та видалається з рослин дощем. Ризики для нецільових комах ще більше зменшуються, оскільки, розпилювані продукти *Bacillus thuringiensis* зазвичай складаються з Cry-токсинів у їхній неактивній кристалічній формі (звідси їх аббревіатура «Cry»), які мають пройти складний процес активації, перш ніж стати активними (Magg et al., 2001).

З впровадженням ГМ-культур, що виробляють Cry-токсин, у промисловій сільськогосподарській системі відкрився абсолютно новий вимір просторово-часового впливу Cry-токсинів, що включає набагато ширший спектр нецільових організмів під і над землею. Отже, саме з впровадженням ГМ-культур, що виробляють токсин Cry, з'явилася ймовірність потенційного несприятливого впливу (тобто ризиків) на нецільові організми, зокрема на корисних комах, таких як природні вороги шкідників, запилювачів і види, що потребують збереження (Hilbeck & Schmidt, 2006; Yevstafieva, 2020).

Прикладом ГМ-рослин, стійких до шкідників, зокрема, колорадського жука, є картопля, завдяки перенесенню у її генетичний код гена ґрунтової бактерії *Bacillus thuringiensis* (Bt) – найціннішого природного пестициду, рослина здатна продукувати пептид, який є токсичним для коло-

радського жука (Blackwood & Buyer, 2004; Lovei & Arpaia, 2005; Shelton et al., 2013).

Стійкість до хвороб. Стійкі до хвороб сільськогосподарські культури мають певні потенційні переваги, які дозволяють зменшити використання фунгіцидів. Однак, масштабне вирощування рослин, що експресують вірусні та бактеріальні гени, може призвести до певних негативних екологічних наслідків. Найбільш значним ризиком є потенційна можливість передачі генів стійкості до хвороб від культурних рослин до родичів-бур'янів (Butsenko & Pyroh, 2018; Esse et al., 2020).

Наприклад, існує припущення, що стійкий до вірусів культивований кабачок (*Cucurbita pepo*) може передати свої нові гени стійкості до вірусів дикорослому кабачку (*C. pepo*), який росте на півдні США. Більше того, оскільки США є батьківщиною кабачків, то зміни в генетичному складі дикорослих видів можуть зменшити їхню цінність для селекціонерів. Дослідження, подібні до цього, у поєднанні з документацією про ймовірність передачі генів із сільськогосподарських культур у природні умови та обстеженнями захворюваності на віруси в природних популяціях можуть забезпечити основу для оцінки екологічного ризику сільськогосподарських культур, створених за допомогою генної інженерії для стійкості до вірусів (Harth et al., 2018; Laughlin et al., 2009).

Поглиблена оцінка потенційних соціально-економічних наслідків, пов'язаних з впровадженням деяких генетично модифікованих сортів вірусостійкої картоплі (PVY, PVX, PIRV) в Мексиці, підкреслює важливість біотехнологій. Цей тип генетичної модифікації може виявитися особливо вигідним для великих фермерів, але лише незначною мірою вигідним для малих фермерів, оскільки більшість малих фермерів використовують червоні сорти картоплі, які не вважаються придатними для біотехнологічних перетворень (Haltermann et al., 2015; Martinez-Prada et al., 2021).

Вірусні захворювання культурних рослин (мозаїчна хвороба тютюну й бавовнику, вірусні хвороби картоплі) здатні викликати виродженість садивного матеріалу та урожайність сільськогосподарських культур (Bradford et al., 2005; Kramarets & Matsiakh, 2017; Krutiakova et al., 2018).

Мікоплазмові та вірусні захворювання в Мексиці наразі не контролюються за допомогою пестицидів і посідають друге і третє місце за економічними збитками. Основний шкідник, грибок *Phytophthora infestans*, посідає перше місце за економічними збитками і в деяких випадках вимагає до 30 застосувань фунгіцидів. Таким чином, цікаві нові генетично модифіковані стійкі сорти картоплі (Arora et al., 2014; Hameed et al., 2018).

Стійкість до гербіцидів. Стійкість до гербіцидів надає рослині можливість бути невразливою до хімікатів і як наслідок, поле очищається від зайвих рослин, тобто бур'янів, а культури, стійкі до гербіциду, виживають (Batashova, 2014). Стійкість рослини проявляється до конкретного гербіциду (Dubrovna et al., 2012). Наприклад, відома транснаціональна біотехнологічна корпорація «Monsanto» випускає гербіцид Раундап та стійкі до нього генетично модифіковані сою та кукурудзу (Scott & Pollak, 2005).

Розвиток стійких до гербіцидів культур є новою технологією боротьби з бур'янами (Goldburg, 1992; Gould, 1994). Приклади включають сою (*Glycine max* (L.) Merr.), кукурудзу (*Zea mays* L.), ріпак (*Brassica napus* L.), стійкі до гліфосату (діючої речовини Раундапу), і глюфозинату (2-аміно-4 (гідроксиметилфосфініл) бутанової кислоти) (Elmore et al., 2001). Стійка до гліфосату (GR) соя була одним із перших великих застосувань генної інженерії на польових культурах. Виробники інтегрували стійкі до гербіцидів культури у свою виробничу практику. Більшість стійких до гербіцидів сортів сої є GR (Carpenter & Gianessi, 1999).

Вирощування культур, стійких до гербіцидів може призвести до розширення використання гербіцидів на полях та їх надходження в їжу і навколишнє середовище, що може збільшити ризик захворювання на рак та інші хвороби. Так, використання гербіциду Ураган Форте (компанії «Syngenta») в системі захисту від бур'янів трансгенного сорту картоплі, розрахована не більше ніж шість обробок.

Незважаючи на те, що технологія GR набуває визнання в системах землеробства США, потенційне зниження врожайності, пов'язане з GR сортами, викликає занепокоєння виробників і насінневих компаній. Дані університетських випробувань продуктивності сортів сої в кількох штатах свідчать про те, що може існувати пригнічення врожайності (Nelson & Renner, 1999; Firbank et al., 2003). Пригнічення врожайності може бути наслідком або (I) генетичних відмінностей сорту, (II) процесу введення гена/генів GR (ефект GR), або (III) гліфосату (ефект гербіциду), або комбінації цих трьох компонентів. Таким чином, у першій ситуації врожайність сортів GR може бути пригнічена порівняно з іншими сортами просто тому, що ген GR був вставлений у низьковрожайні або старі сорти (Roberts et al., 1999; Reddy et al., 2003).

Стійкі до гербіцидів ГМО культури, включаючи сою, призвели до появи стійких до гербіцидів, так званих «супербур'янів». Проблема супербур'янів зростає. Коли з'являються стійкі до гербіцидів супербур'яни, необхідно застосовувати сильніші гербіциди, щоб їх видалити. Зброєю, яку вибирають фермери США, котрі вирощують сою, зазвичай є гербіцид Дикамба. Дикамба є дуже руйнівним гербіцидом. У 2016 році Monsanto створила стійку до дикамби ГМО сою. Дикамба відомий своєю летючістю, тобто здатністю за певних умов утворювати газ і поширюватися на значні відстані від місця, де його розпилюють, знищуючи посіви та природні території. Лінійка насіння Monsanto Roundup Ready, створена для стійкості до гліфосату, втратила ефективність, оскільки бур'яни розвивають власну стійкість до цього хімікату. (Nickel & Polansek, 2018; Waddell, 2023).

Транснаціональні корпорації, такі як Monsanto, DuPont, і Novartis, які є основними прихильниками біотехнології, стверджують, що ретельно сплановане впровадження цих культур повинно зменшити або навіть усунути величезні втрати врожаю через бур'яни, шкідників і патогени. Вони стверджують, що використання таких культур матиме додатковий сприятливий вплив на навколишнє середовище, завдяки значному скороченню

використання агрохімікатів. Варто відзначити той факт, що біореволюцію просувають ті ж інтереси, які сприяли першій хвилі агрохімічного землеробства, але цього разу, оснащуючи кожен культуру новими генами, вони обіцяють світу безпечніші пестициди, скорочення хімічно-інтенсивного землеробства та більш стійке сільське господарство (Pimentel & Ali, 2020).

Комерційне впровадження ГМО виявило широкий спектр поглядів серед вчених та інших зацікавлених сторін на перспективи генної інженерії і на те, чи слід регулювати ГМО і як. У цій суперечці принцип запобіжних заходів став спірним питанням, що отримав високу підтримку з боку скептично налаштованих груп, але викликав опір із боку прихильників ГМО (Prytulska et al., 2013; Rudyshyn, 2011; Sorochynskyi et al., 2005).

Крім того, наукова невизначеність, виявлена в оцінці ризику ГМО, означає, що необхідно розробити ефективне управління та включення нормативних аспектів в оцінку ризиків на довкілля. Це в свою чергу, може допомогти забезпечити стійкі інновації розвитку ГМО зараз і в майбутньому (Dale et al., 2002; Sanvido et al., 2005; Totskyi, 2008).

Враховуючи здатність біотехнології виробляти комбінації генів, яких немає в природі, найбільш суттєві екологічні ризики, пов'язані з комерційним використанням трансгенних культур є (Marvier, 2002; Paoletti & Pimentel, 2000; Raybould, 2007; Rudyshyn, 2009; Sanvido & Bigler, 2007):

- поширення трансгенних культур є загрозою генетичному різноманіттю культур шляхом спрощення систем землеробства та сприяння генетичним змінам;
- потенційна передача генів з HRC до дикорослих родичів, таким чином створення супербур'янів;
- використання HRC зменшує можливості диверсифікації культур, таким чином зменшуючи агробіорізноманіття в часі та просторі;
- векторно-опосередкований горизонтальний переніс генів і рекомбінація для створення нових патогенних бактерій;
- рекомбінація вектора для створення нових вірулентних штамів вірусу, особливо в трансгенних рослинах, створених для резистентності до вірусів з вірусними генами;
- комахи-шкідники швидко виробляють стійкість до посівів з Bt-токсином;
- масове використання Bt-токсину в посівах може розв'язати потенційні негативні взаємодії, що вплинуть на екологічні процеси та організми, включаючи корисних комах і ґрунтову біоту.

ГМО-популяція в природних умовах може витіснити вихідну форми, а потім може відбуватися і зникнення самого трансгенного угруповання під впливом добору. Таким чином, будь-які напрямки поширення ГМО в біосфері, не завжди є позитивними. Ряд авторів, стверджують про необґрунтованість ризиків генетичного забруднення та поширення ГМ-рослин (Andow & Zwahlen, 2006; Marvier, 2001; Mayer & Stirling, 2004).

На офіційному рівні визнання достовірно шкодочинного впливу ГМО на організм людини не існує. Зде-

більшого часто застосовують визначення «небезпечно потенційні». В умовах сьогодення, вчені висувають лише гіпотези про можливі негативні наслідки (Devos et al., 2008; Weaver & Morris, 2005).

Законодавче регулювання генетично-інженерної діяльності. Обсяги і сфери використання ГМО кожного року збільшуються, відповідно це вимагає розроблення вітчизняних, а також зарубіжних процесів регулювання, зокрема систем біобезпеки під час виконання операцій з ГМО для запобігання їх неконтрольованого використання та розповсюдження (Biliak, 2016; Datsenko, 2008; Leiba et al., 2013).

В останній час Україна є досить привабливою для світових транснаціональних біотехнологічних компаній, які прагнуть реалізувати свою продукцію на нових ринках збуту (Bashuk, 2017; Novozhylov, 2008). В Україні на законодавчому рівні заборонено вирощування, а також комерційна реалізація генетично модифікованих культур, але вирощується близько 60% ГМ сої, 10–20% кукурудзи та близько 5% ріпаку (Rozhkov et al., 2024).

Дані події потребують від України нормативних правил біобезпеки, розробки та запровадження нормативно-правових актів, державного контролю.

Більшістю країн світу в 1992 році в Ріо-де-Жанейро було підписано Конвенцію про біологічну різноманітність, складовою котрого є єдиний міжнародний документ з регулювання ринку ГМО у світі: Картагенський протокол по біологічній безпеці. У 2002 році було прийнято Закон України № 152-IV «Про приєднання до Картагенського протоколу про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття» (Zakon Ukrainy..., 2002).

В країнах ЄС комерційне вирощування ГМ-кукурудзи дозволено в Іспанії та Португалії, тоді як інші країни заборонили, а деякі залишили право вирощування в дослідних цілях (Levenko, 2011).

Варто зазначити, що в Україні на теперішній час відповідно до Закону України № 1103-V «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» існує заборона промислового виробництва та введення в обіг ГМО, а також продукції, що вироблена із використанням ГМО. Проте можливо отримати дозвіл на випробування ГМ рослин у польових умовах (ст. 15).

Заборонено ввезення на митну територію України ГМО, а також продукції, виробленої із застосуванням ГМО, до їх державної реєстрації, за винятком таких, що призначені для науково-дослідних цілей або державних апробацій (випробовувань) (ст. 16) (Zakon Ukrainy..., 2007).

Відсутність на полях сільськогосподарських культур з генетично модифікованим ДНК важливо, оскільки з одержаної сировини виготовляють продукти харчування. Використання сортів сільськогосподарських культур з генетично модифікованим ДНК в відкритих системах незаконно і їх насіння не повинно потрапити в торговельну мережу (Zhukova et al., 2014).

При закупівлі насіння, особливо важливо звертати увагу чи є сорт в переліку Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні. Жодного

ГМО сорту в Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні немає. До реєстрації вивільнення в навколишнє середовище ГМО можливе тільки з метою випробовувань і на основі спеціального дозволу. Доцільно перевіряти Сертифікати, що засвідчують посівні та сортові властивості насіння; порівнювати дані, що зазначені на етикетках, якими марковано пакування насіння з даними, котрі занесені до супровідних документів. Такі дії дають змогу переконатись, що насіннєвий матеріал не генетично модифікований, так як ЗУ «Про насіння і садивний матеріал» не розповсюджується на обіг насіння і садивного матеріалу ГМО (рослин), тому вищезазначені документи, що передбачені даним законом, видаються на сорти рослин, що не є генетично модифікованими (Lushpraiev, 2017).

Найбільш вірним рішенням встановити чи є насіння трансгенним буде за результатами лабораторного аналізу в лабораторіях, що є акредитованими на визначення наявності або відсутності ГМО, бо, навіть, видача Сертифіката, котрий засвідчує посівні якості насіння, не зобов'язує суб'єкт насінництва робити аналіз насіння, що призначене для реалізації, на вміст ГМО.

Питання щодо поводження з ГМО регулюється постановою КМУ «Деякі питання проведення апробації (випробування) та реєстрації генетично модифікованих організмів сортів сільськогосподарських рослин» від 2009 р. (Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy..., 2009).

Відповідно до ст. 6 Закону України № 2639-VIII «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів», що була прийнятий 06.12.2018. виробники мають маркувати продукти, в складі яких містяться генетично модифіковані організми за прикладом країн ЄС (при наявності в складі харчового продукту ГМО у розмірі більше 0,9%, виробник зобов'язаний вказати це на упаковці «з ГМО») (Zakon Ukrainy..., 2018).

На теперішній час залишається ще досить значна кількість недосліджених щодо використання продукції, котра містить ГМО, питань, що стосуються безпеки конкуренції трансгенних рослин з природою, то потрібно розуміти вплив і наслідки на здоров'я теперішнього і майбутніх поколінь, навколишнє середовище. Кожен споживач вільний самостійно обирати продукцію, на свій власний розсуд.

Висновки. В статті проаналізовано спектр вирощування трансгенних рослин в світових масштабах та встановлено, що найбільше поширення мають такі трансгенні культури, як кукурудза, соя, бавовник, ріпак, картопля. Основні напрямки генетичних модифікацій сільськогосподарських культур пов'язані з стійкістю до гербіцидів, хвороб та шкідників. Розглянуто основні нормативно-правові документи, що регламентують поширення та маркування харчових продуктів, у складі яких містяться ГМО.

На основі аналізу значної кількості літературних джерел, як вітчизняних так і закордонних, встановили, що на теперішній час науковці не дійшли єдиного висновку щодо позитивного чи негативного впливу на навколишнє середовище, здоров'я населення вирощування ГМ-культур та споживання харчових продуктів, з їхнім вмістом.

Прихильники технології трансгенної модифікації пропагують її, як можливість, здійснити революцію у виробництві продуктів харчування та ліквідувати загрозу їх нестачі. Та все ж реальні наслідки використання трансгенних культур, їх вплив на людський організм та навколишнє середовище зможемо побачити в майбутньому.

Бібліографічні посилання:

1. Altieri, M. A. (2003). The sociocultural and food security impacts of genetic pollution via transgenic crops of traditional varieties in Latin American centers of peasant agriculture. *Bulletin of Science, Technology, & Society*, 23(5), 1–10. doi: 10.1177/0270467603259774
2. Andow, D. A., Lovei, G. L. & Arpaia, S. (2006). Ecological risk assessment for Bt crops. *Nat. Biotechnol.* 24, 749–751. doi: 10.1038/nbt0706-749
3. Andow, D. A. & Zwahlen, C. (2006). Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecological Letters*, 9, 196–214. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00846.x
4. Arora, R. K., Sharma, S. & Singh, B. P. (2014). Late blight disease of potato and its management. *Potato Journal*, 41(1), 16–40.
5. Bagla, P. (2010). Hardy cotton-munching pests are latest blow to GM crops. *Science*, 327(5972), 1439. doi: 10.1126/science.327.5972.1439
6. Barton, J. E. & Dracup M. (2000). Genetically modified crops and the environment. *Agronomy Journal*. 92(4), 797–803. doi: 10.2134/agronj2000.924797x
7. Bashuk, V. V. (2017). Kontseptsiiini zasady formuvannya svitovoho rynku henetychno modyfikovanykh produktiv [Conceptual principles for the formation of the global market for genetically modified products]. *Scientific Bulletin of Kherson University. Series «Economic Sciences»*, 23, 8–12 (in Ukrainian).
8. Bashuk, V. V. (2017). Teoretyko-metodolohichni osnovy rozvytku hlobalnoho rynku henetychno modyfikovanykh produktiv [Theoretical and methodological foundations for the development of the global market of genetically modified products]. *Young Scientist*, 3(43), 576–581 (in Ukrainian).
9. Batashova, M. Ye. (2014). Biotekhnolohichni kultury u suchasnomu ahrarynomu sektori [Biotech crops in the modern agricultural sector]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 35–43 (in Ukrainian).
10. Biliak, Yu. V. (2016). HMO na eksport – holovna tendentsiia zbilshennia valiuty v Ukraini [GMOs for export – the main trend of increasing currency in Ukraine]. *Ahrosvit*, 6, 19–22 (in Ukrainian).
11. Blackwood, C. B. & Buyer, J. S. (2004). Soil microbial communities associated with Bt and non-Bt corn in three soils. *Journal of Environmental Quality*, 33(3), 832–836. doi: 10.2134/jeq2004.0832
12. Bliusiuk, S. M. & Yevstafieva, Yu. M. (2010). Zhyvuchy v henetychno modyfikovanomu sviti [Livin in GM World]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series «Animal Husbandry»*, 7, 10–14 (in Ukrainian).
13. Bradford, K. J., Deynze, Van A., Gutterson, N., Parrott, W. & Strauss, S. H. (2005). Regulating transgenic crops sensibly: lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature biotechnology*, 23(4), 439–444. doi: 10.1038/nbt1084
14. Butsenko, L. M. & Pyroh, T. P. (2018). Biotekhnolohichni metody zakhystu roslyn: pidruchnyk [Biotechnological methods of plant protection: a textbook]. K.: Vydavnytstvo Lira, 346 (in Ukrainian).
15. Carpenter, J. E. & Gianessi, L. P. (1999). Herbicide tolerant soybeans: Why growers are adopting Roundup ready varieties? *Agbioforum*, 2(2), 2–9.
16. Cook, G., Pieri, E., & Robbins, P. T. (2004). The scientists think and the public feels: Expert perceptions of the discourse of GM food. *Discourse & Society*, 15(4), 433–449. doi: 10.1177/095792650404043
17. Crawley, M. J., Brown, S. L., Hails, R. S., Kohn, D. D., & Rees, M. (2001). Transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 409(6821), 682–683. doi: 10.1038/35055621
18. Dale, P. J., Clarke, B. & Fontes, E. M. (2002). Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature biotechnology*, 20(6), 567–574. doi: 10.1038/nbt0602-567
19. Datsenko, L. Ie. (2008). Pravovi aspekty biolohichnoi bezpeky pry povodzhenni z henetychno-modyfikovanymy orhanizmamy [Legal aspects of biological safety in the handling of genetically modified organisms]. *Environmental safety*, 3–4, 110–114 (in Ukrainian).
20. Devos, Y., Maesele, P., Reheul, D., Van Speybroeck, L. & De Waele, D. (2008). Ethics in the societal debate on genetically modified organisms: A (Re)quest for sense and sensibility. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21, 29–61. doi: 10.1007/s10806-007-9057-6.
21. Dubrovna, O. V., Morhun, B. V. & Bovol, A. V. (2014). Biotekhnolohii pshenytsi: klitynna selektsiia ta henetychna inzheneriia [Wheat biotechnology: cell selection and genetic engineering]. K.: Lohos, 375 (in Ukrainian).
22. Dubrovna, O. V., Chuhunkova, T. V., Bovol, A. V. & Lialko, I. I. (2012). Biotekhnolohichni osnovy stvorennia roslyn, stiikykh do stresiv [Biotechnological basis for the creation of plants resistant to stress]. K.: Lohos, 428 (in Ukrainian).
23. Elmore, R. W., Roeth, F. W., Klein, R. N., Knezevic, S. Z., Martin, A., Nelson, L. A. & Shapiro, C. A. (2001). Glyphosate-resistant soybean cultivar response to glyphosate. *Agronomy Journal*, 93(2), 404–407. doi: 10.2134/agronj2001.932408x
24. Esse, van H. P., Reuber, T. L. & Does, van der D. (2020). Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist*, 225(1), 70–86. doi: 10.1111/nph.15967
25. Firbank, L. G., Heard, M. S., Woivod, I. P., Hawes, C., Haughton, A. J., Champion, G. T. & Perry, J. N. (2003). An introduction to the Farm-Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Journal of Applied Ecology*, 40, 2–16.
26. Goldberg, R. J. (1992). Environmental concerns with the development of herbicide-tolerant plants. *Weed Technology*, 6(3), 647–652. doi: 10.1017/S0890037X0003596X
27. Gould, F. (1994). Potential and problems with high dose strategies for pesticidal engineered crops. *Biocontrol Science and Technology*, 4, 451–461. doi: 10.1080/09583159409355357

28. Graeber, J. V., Nafziger, E. D. & Mies, D.W. (1999). Evaluation of transgenic, Bt-containing corn hybrids. *Journal of Production Agriculture*, 12(4), 659–663. doi: 10.2134/jpa1999.0659
29. Halterman, D., Guenther, J., Collinge, S., Butler, N., & Douches, D. (2015). Biotech potatoes in the 21st century: 20 years since the first biotech potato. *American Journal of Potato Research*, 93(1), 1–20. doi: 10.1007/s12230-015-9485-1
30. Hameed, A., Zaidi, S.S.-E.A., Shakir, S. & Mansoor, S. (2018). Applications of new breeding technologies for potato improvement. *Frontiers in plant science*, 9, 925. doi: 10.3389/fpls.2018.00925
31. Harth, J. E., Ferrari, M. J., Tooker, J. F. & Stephenson, A. G. (2018). Zucchini yellow mosaic virus infection limits establishment and severity of powdery mildew in wild populations of *Cucurbita pepo*. *Frontiers in plant science*, 9, 792. doi: 10.3389/fpls.2018.00792
32. Haslberger, A. G. (2006). Need for an «integrated safety assessment» of GMOs, linking food safety and environmental considerations. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54(9), 3173–3180. doi: 10.1021/jf0511650
33. Herasymenko, V. H., Herasymenko, M. O., Tsvilikhovskiy, M. I., Kotsiumbas, I. Ia., Zakharenko, M. O., Obrazhei, A. F. & Holovko A. M. (2006). *Biotehnolohiia: Pidruchnyk [Biotechnology: Textbook]*. K: Firma «INKOS», 647 (in Ukrainian).
34. Hilbeck, A. & Schmidt, J. E. (2006). Another view on Bt proteins—how specific are they and what else might they do. *Biopesticides international*, 2(1), 1–50.
35. Kapuscinski, A. R., Goodman, R. M., Hann, S. D., Jacobs, L. R., Pullins, E. E. & Johnson, C. S. (2003). Making safety first a reality for biotechnology products. *Nature Biotechnology*, 21, 599–601. doi: 10.1038/nbt0603-599
36. Karpov, O. V., Demydov, S. V. & Kyriachenko, S. S. (2010). *Klitynna ta henna inzheneriia: Pidruchnyk [Cell and genetic engineering: Textbook]*. K.: Fitosotsiotsentr, 208 (in Ukrainian).
37. Khablak, S. (2023). Chy take shkidlyve HMO dlia vyroshchuvannia i vykorystannia u yizhu v Ukraini? [Are GMOs harmful for growing and using in food in Ukraine?]. *SuperAgronom.com*. Access mode: <https://superagronom.com>
38. Kramarets, V. O. & Matsiakh, I. P. (2017). *Biolohichni zakhyst roslyn [Biological plant protection]*. Lviv: Panorama, 112 (in Ukrainian).
39. Kratsiv, R. Y., Kolotnytskyi, A. H. & Butsiak, V. I. (2008). *Henetychna inzheneriia [Genetic engineering]*. Lviv, 214 (in Ukrainian).
40. Krayner von Krauss, M. P., Kaiser, M., Almaas, V., Sluijs, van der J. & Klopogge, P. (2008). Diagnosing and prioritizing uncertainties according to their relevance for policy: the case of transgene silencing. *Science of the Total Environment*, 390, 23–34. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.09.028
41. Krutiakova, V. I., Hulych, O. I. & Pylypenko, L. A. (2018). *Biolohichni metod zakhystu silskohospodarskykh kultur: perspektyvy dlia Ukrainy [Biological method of crop protection: prospects for Ukraine]*. Bulletin of Agricultural Science, 11, 159–168. doi: 10.31073/agrovisnyk201811-20 (in Ukrainian).
42. Kunakh, V. A. (2005). *Biotehnolohiia likarskykh roslyn. Henetychni ta fiziolohe-biokhimichni osnovy [Biotechnology of medicinal plants. Genetic, physiological and biochemical bases]*. K.: Lohos, 730 (in Ukrainian).
43. Kunakh, V. A. (2008). *Biotehnolohiia roslyn dlia polipshennia umov zhyttia liudyny [Plant biotechnology to improve human living conditions]*. *Biotechnologia Acta*, 1(1), 28–39 (in Ukrainian).
44. Kvakkestad, V., Gillund, F., Kjolberg, K. A. & Vatn, A. (2007). Scientists perspectives on the deliberate release of GM crops. *Environmental Values*, 16, 79–104. doi: 10.3197/096327107780160373
45. Laughlin, K. D., Power, A. G., Snow, A. A. & Spencer, L. J. (2009). Risk assessment of genetically engineered crops: fitness effects of virus-resistance transgenes in wild *Cucurbita pepo*. *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*, 19(5), 1091–1101. doi: 10.1890/08-0105.1
46. Leiba, L. V., Batyhina, O. M., Zhushman, V.M. & Kornienko, V. M. (2013). *Pravovi problemy vykorystannia henetychno-modyfikovanykh orhanizmiv pry vyrobnytstvi silskohospodarskoi produktsii ta produktiv kharchuvannia [Legal problems of using genetically modified organisms in the production of agricultural products and food]*. Aktualni problemy pravovoho zabezpechennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy. Kh.: Pravo, 326 (in Ukrainian).
47. Levenko, B. (2011). *Transhenni kultury u sviti ta Ukraini*. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 9, 31–40 (in Ukrainian).
48. Levidow, L. & Carr, S. (2007). GM crops on trial: Technological development as a real-world experiment. *Futures*, 39, 408–431. doi: 10.1016/j.futures.2006.08.002
49. Levidow, L. (2001). Precautionary uncertainty: Regulating GM crops in Europe. *Social Studies of Science*, 31, 842–874. doi: 10.1177/030631201031006003
50. Lohar, P. S. (2019). *Textbook of Biotechnology*. Hawthorne, CA: MJF Publisher, 774.
51. Lovei, G. L. & Arpaia, S. (2005). The impact of transgenic plants on natural enemies; a critical review of laboratory studies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 114, 1–14. doi: 10.1111/j.0013-8703.2005.00235.x
52. Lushpaiev, S. (2017). *Pravove rehuliuвання vykorystannia henetychno-modyfikovanykh orhanizmiv pid chas vyrobnytstva kharchovykh produktiv [Legal regulation of the use of genetically modified organisms in food production]*. *Entrepreneurship, business and law*, 11, 90–93 (in Ukrainian).
53. Lutman, P. J. W. (1999). Gene flow and agriculture: Relevance for transgenic crops. *British Crop Protection Council Symposium Proceedings*, 72, 43–64.
54. Lu, Y. H, Kongming, W., Yuying, J., Yuyuan, G. & Nicolas, D. (2012). Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487, 362–365. doi: 10.1038/nature11153
55. Magg, T., Melchinger, A. E., Klein, D. & Bohn, M. (2001). Comparison of Bt maize hybrids with their non-transgenic counterparts and commercial varieties for resistance to European corn borer and for agronomic traits. *Plant Breeding*, 120, 397–403. doi: 10.1046/j.1439-0523.2001.00621.x

56. Martinez-Prada Del Mar, Curtin, M. S. J. & Gutierrez-Gonzalez, J. J. (2021). Potato improvement through genetic engineering. *GM crops & food*, 12(1), 479–496. doi: 10.1080/21645698.2021.1993688
57. Marvier, M. (2001). Ecology of transgenic crops. *American Scientist*, 89, 160–167. doi: 10.1511/2001.2.160
58. Marvier, M. (2002). Improving risk assessment for nontarget safety of transgenic crops. *Ecological Applications*, 12, 1119–1124. doi: 10.1890/1051-0761(2002)012[1119:IRAFNS]2.0.CO;2
59. Mayer, S. & Stirling, A. (2004). GM crops: Good or bad? *EMBO reports*, 5, 1021–1024. doi: 10.1038/sj.embor.7400285
60. Melnychuk, M. D., Novak, T. V. & Kunakh, V. A. (2003). *Biotehnolohiia roslyn*. Pidruchnyk [Plant biotechnology. Textbook]. Kyev: Polihrafkonsal'tynh, 520 (in Ukrainian).
61. Nelson, K. A. & Renner K. A. (1999). Weed management in wide and narrow-row glyphosate resistant soybean. *J. Prod. Agric*, 12, 460–465.
62. Nickel, R. & Polansek T. (2018). Battle of the beans: Monsanto faces a fight for soy market. Reuters. Access mode: <https://www.reuters.com/>
63. Novozhylov, O.V. (2008). Zakonodavcha i normatyvno pravova baza dlia vykorystannia ta rehuliuвання obihu henetychno modyfikovanykh orhanizmiv v Ukraini [Legislative and regulatory framework for the use and regulation of the circulation of genetically modified organisms in Ukraine]. *Henetychno modyfikovani orhanizmy: problemy i perspektyvy vykorystannia yikh v Ukraini*. K.: Ahrarna nauka, 116 (in Ukrainian).
64. Paoletti, M. G. & Pimentel, D. (2000). Environmental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 12 (3), 279–303. doi: 10.1023/a:1009571131089
65. Pimentel, D. & Ali, M. S. (2020). An economic and environmental assessment of herbicide-resistant and insect/pest-resistant crops. In *Cost-benefit Analysis*, 241–252.
66. Portier, P., Fisher-Le Saux M., Mougel C., Lerondelle C., Chapulliot D., Thioulouse J. & Nesme X. (2006). Identification of genomic species in *Agrobacterium biovar 1* by AFLP genomic markers. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 7123–7131. doi: 10.1128/AEM.00018-06
67. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy «Deiaki pytannia provedennia aprobatsii (vyprobuvannia) ta reiestratsii henetychno modyfikovanykh orhanizmiv sortiv silskohospodarskykh roslyn» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «Some issues of approbation (testing) and registration of genetically modified organisms of agricultural plant varieties»] vid 23.07.2009 № 808. Access mode: <http://zakon.rada.gov.ua>
68. Prytul'ska, N. V., Ponomarov, P. Kh. & Dontsova, I. V. (2013). Stan i perspektyvy vyrobnytstva henetychno modyfikovanykh silskohospodarskykh kultur [State and prospects of production of genetically modified agricultural crops]. *Bulletin of the Lviv Commercial Academy. Commodity research series*. 13. 28–31 (in Ukrainian).
69. Raybould, A. (2007). Ecological versus ecotoxicological methods for assessing the environmental risks of transgenic crops. *Plant Science*, 173, 589–602. doi: 10.1016/j.plantsci.2007.09.003
70. Reddy, K. N. & Zablutowicz, R. M. (2003). Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. *Weed Science*, 51(4), 496–502. doi: 10.1614/0043-1745(2003)051[0496:GSR TVS]2.0.CO;2
71. Reising, D. & Heiniger, R. (2024). Yield analysis and corn earworm feeding in Bt and non-Bt corn hybrids across diverse locations. *Journal of Economic Entomology*, 117(4), August 2024, 1503–1509. doi: 10.1093/jee/toae120
72. Roberts, R. K., Pendergrass, R. & Hayes, R. M. (1999). Economic analysis of alternative herbicide regimes on roundup ready soybeans. *Journal of Production Agriculture*, 12(3), 449–454.
73. Rozhkov, A. O., Marenych, M. M., Kulyk, M. I., Kuts, O. V. & Svyrydova L. A. (2024). *Ekolohichne roslynnytstvo: navchalnyi posibnyk* [Ecological crop production: a training manual]. Kharkiv: DBTU, 177 (in Ukrainian).
74. Rudyshyn, S. D. (2009). *Biolohichna pidhotovka maibutnikh ekolohiv: teoriia i praktyka* [Biological training of future ecologists: theory and practice]. Vinnytsia: VMHO «Tempus», 394 (in Ukrainian).
75. Rudyshyn, S. D. (2011). *Henetychno modyfikovani roslyny: problemy i perspektyvy vykorystannia* [Genetically modified plants: problems and prospects for use]. *Science and innovation*, 7(6), 5–13 (in Ukrainian).
76. Sanvido, O., Romeis, J. & Bigler, F. (2007). Ecological impacts of genetically modified crops. Ten years of experiences from ten years of field research and commercial cultivation. *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology*, 107, 235–278.
77. Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M. & Bigler, F. (2005). A conceptual framework for the design of environmental post-market monitoring of genetically modified plants. *Environmental Biosafety Research*, 4, 13–27. doi: 10.1051/embr:2005008
78. Satarova, T. M., Abramova, O. Ie., Vinnikov, A. I. & Cherenkov A. V. (2016). *Biotehnolohiia roslyn: navchalnyi posibnyk* [Plant biotechnology: a textbook]. Dnipropetrovsk: Adverta, 136 (in Ukrainian).
79. Scott, M. P. & Pollak, L. M. (2005). Transgenic Maize. *Starch*, 57, 187–195. doi.org/10.1002/star.200400396
80. Shapran, Yu. P. (2019). *Biotehnolohiia, henna inzheneriia: navchalno-metodychnyi posibnyk* [Biotechnology, genetic engineering: teaching and methodological manual]. Pereiaslav-Khmelnitskyi: Dombrovska Ya., 132 (in Ukrainian).
81. Shelton, A. M., Olmstead, D. L., Burkness, E. C., Hutchison, W. D., Dively, G., Welty, C. & Sparks, A. N. (2013). Multi-state trials of Bt sweet corn varieties for control of the corn earworm (*Lepidoptera: Noctuidae*). *Journal of economic entomology*, 106(5), 2151–2159. doi: 10.1603/ec13146
82. Singh, O. V, Ghai, S., Paul, D. & Jain, R. K. (2006). Genetically modified crops: success, safety assessment, and public concern. *Applied Microbiology Biotechnology*, 71(5), 598–607. doi: 10.1007/s00253-006-0449-8
83. Sorochnytskiy, B. V., Danylchenko, O. O. & Kripka, H. V. (2005). *Henetychno modyfikovani roslyny* [Genetically modified plants]. K.: Fitosotsiotsentr, 204 (in Ukrainian).
84. Strelchuk, S. I., Demidov, S. B., Berdyshev, H. D. & Holda D. M. (2002). *Henetyka z osnovamy selektsii* [Genetics with the basics of breeding]. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 292 (in Ukrainian).

85. Totskyi, V. M. (2008). Henetyka: Pidruchnyk [Genetics: Textbook]. Odesa: Astroprint, 712 (in Ukrainian).
86. Visarada, K.B.R.S., Meena, K., Aruna, C., Srujana, S., Saikishore, N. & Seetharama, N. (2009). Transgenic breeding: perspectives and prospects. *Crop Science*, 49, 1555–1563. doi.org/10.2135/cropsci2008.10.0581
87. Waddell, M. (2023). The GMO high-risk list: soybeans. Nongmoproject. Access mode: <https://www.nongmoproject.org/blog/the-gmo-high-risk-list-soybeans/>
88. Waltz, E. (2015). USDA approves next-generation GM potato. *Nature biotechnology*, 33(1), 12–13. doi: 10.1038/nbt0115-12
89. Weaver, S. A. & Morris, M. C. (2005). Risks associated with genetic modification: An annotated bibliography of peer reviewed natural science publications. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 18, 157–189. doi: 10.1007/s10806-005-0639-x
90. Wolfenbarger, L. L. & Phifer, P. R. (2000). The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290, 2088–2093. doi: 10.1126/science.290.5499.2088
91. Wynne, B. (2001). Creating public alienation: Expert cultures of risk and ethics of GMOs. *Science as Culture*, 10, 445–481. doi: 10.1080/09505430120093586
92. Yevstafiiyeva, Yu. (2020). Henetychno modyfikovani roslyny – problemy i perspektyvy vykorystannia u hodivli tvaryn [Genetically modified plants – problems and prospects of using them in animal feeding]. Scientific Collection «InterConf», (32): with the Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in XXI Century» (October 16-18, 2020) in Ottawa, Canada. Kyiv: SPC InterConf, 281–288 (in Ukrainian).
93. Yulevych, O. I., Kovtun, S. I. & Hyl, M. I. (2012). Biotekhnolohiia: navchalnyi posibnyk [Biotechnology: a study guide]. Mykolaiv: MDAU, 476 (in Ukrainian).
94. Zaidi, S. S., Mukhtar, M. S. & Mansoor, S. (2018). Genome Editing: Targeting susceptibility genes for plant disease resistance. *Trends in biotechnology*, 36(9), 898–906. doi: 10.1016/j.tibtech.2018.04.005
95. Zakon Ukrainy «Pro derzhavnu systemu biobezpeky pry stvorenni, vyprobuvanni, transportuvanni ta vykorystanni henetychno modyfikovanykh orhanizmiv» [Law of Ukraine «On the State Biosafety System for the Creation, Testing, Transportation and Use of Genetically Modified Organisms»] vid 31.05.2007. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/>
96. Zakon Ukrainy «Pro informatsiiu dlia spozhyvachiv shchodo kharchovykh produktiv» [Law of Ukraine «On Information for Consumers on Food Products»] vid 06.12.2018. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/>
97. Zakon Ukrainy «Pro pryiednannia do Kartakhenskoho protokolu pro biobezpeku do Konventsii pro biolohichne riznomanittia» [Law of Ukraine «On Accession to the Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity»] vid 12.09.2002. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/>
98. Zhukova, Ya., Korol, Ts. & Vakulenko, M. (2014). Ekonomichni aspekty vyroshchuvannia henetychno modyfikovanykh kultur [Economic aspects of growing genetically modified crops]. *Commodities and markets*, 1, 36–48 (in Ukrainian).
99. Zhang H., Zhang J., Lang Z., Botella J. R. & Zhu J.-K. (2017). Genome editing-principles and applications for functional genomics research and crop improvement. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36, 291–309. doi: 10.1080/07352689.2017.1402989
100. Zhang J., Khan S. A., Heckel D. G. & Bock R. (2017). Next-generation insect-resistant plants: RNAi-mediated crop protection. *Trends Biotechnol*, 35, 871–882. doi: 10.1016/j.tibtech.2017.04.009

Rybalchenko A. M., PhD (Agricultural Sciences) Associate Professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Kryvoruchko L. M., PhD (Agricultural Sciences) Associate Professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Transgenic plants: problems and prospects for use

With the advent of modern genetic engineering methods, using gene transfer, it has become possible to construct source material with improved valuable economic traits and involve it in breeding to accelerate the work. In modern conditions, plant biotechnology has the potential to change agricultural practices and change food production and environmental impact. Genetic modifications of plants are carried out mainly using two methods of transferring foreign DNA into a plant cell: Agrobacterium-mediated transformation and biolistic transformation. For plants, the most commonly used method is the introduction of the soil bacterium Agrobacterium tumefaciens into plant genomes.

Countries that are leaders in growing GM crops: USA, Argentina, Canada, Brazil, China. Five crops, such as soybeans, corn, cotton, rapeseed and potatoes, occupy the largest area of GM crops. The main directions of genetic modifications of agricultural crops are related to resistance to herbicides, diseases and pests. Improvement of valuable economic traits in agricultural crops is carried out with the aim of commercial implementation of GM plant varieties. Despite the rapid spread and benefits of GM crops, there has been active discussion and concern in the scientific community about their use since the certification of the first GM product.

The article analyzes the domestic processes of regulating biosafety systems during operations with GMOs to prevent their uncontrolled use and distribution. Accordingly, biological safety consists in not negatively affecting people (including future generations), agricultural plants, other organisms, and genetic safety – in the absence of unnatural and uncontrolled effects on the human and plant genome.

Proponents of transgenic technology promote it as an opportunity to make significant changes in food production and eliminate food shortages. In today's conditions, scientists have not reached a single conclusion regarding the positive or negative impact of growing GM crops on the environment, public health, and consumption of food products and their content.

Key words: *genetically modified organisms, biotechnology, gene, genetic engineering, herbicide resistance, pest resistance.*