

УДК 613.26:613.8+577.21

О.І. Скроцька, канд. біол. наук, Національний університет харчових технологій

О.В. Мор'єва, студентка, Національний університет харчових технологій

## ДОСЯГНЕННЯ СУЧАСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

*Розглянуто можливості генної інженерії щодо удосконалення якісних характеристик харчової продукції. Наведено дані щодо модифікованих продуктів харчування. Охарактеризовано нові ознаки генетично змінених організмів: зміна співвідношення жирних кислот, синтез вітамінів, модифікація вуглеводів, стійкість до несприятливих факторів навколишнього середовища, поліпшення поживних якостей худоби та риби. Показано можливість використання рослин у якості «їстівних вакцин».*

**Ключові слова:** ген, генетична модифікація, продукти харчування.

**Вступ.** На сьогоднішній день генетично модифіковані (ГМ) продукти харчування не рідкість і спектр застосування генетично модифікованих організмів (ГМО) у харчовій промисловості достатньо широкий. Масове застосування у промисловості знайшли генетично-модифіковані соя, картопля, кукурудза та ін. Отже існує велика ймовірність зустріти ГМО в продуктах харчування, які виготовляють з перерахованих вище рослин. ГМ-соя може входити до складу цукерок, хліба, печива, супів, піци, дитячого харчування, м'ясних продуктів і напівфабрикатів, шоколаду, соусів та ін. ГМ-кукурудза може міститися в їжі швидкого приготування і напівфабрикатах, супах, соусах та ін. Генетично модифікований крохмаль використовується в багатьох продуктах, включаючи навіть дитяче харчування.

**Мета.** Розглянути можливості генної інженерії щодо удосконалення якісних характеристик харчової продукції та навести дані щодо модифікованих продуктів харчування.

**Викладення основного матеріалу.** За інформацією International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications у 2014 р. 28 країн вирощували ГМ рослини, а площі промислових посівів трансгенних культур становили 181,5 млн га, що є на 3,5 % більше у порівнянні з 2013 р. і на 18,5 % більше у порівнянні з 2010 р. Якщо ж прослідкувати за темпами зростання сільськогосподарських угідь, виділених під генетично модифіковані культури, починаючи з 1996 р., то нині їх площа зросла більш, ніж у 100 разів. З кожним роком збільшується вирощування ГМ рослин, що дозволило скоротити на 37 % використання пестицидів, на 22 % підвищити врожайність і на 68 % збільшити прибутки фермерів [1].

Для підвищення кількості і якості їжі традиційних заходів недостатньо. Саме з цієї причини виробництво харчових продуктів стало найважливішим напрямом генної інженерії, яка дає змогу удосконалювати якісні характеристики харчової продукції шляхом видалення чи зменшення рівня шкідливих речовин, токсинів, алергенів; внесення чи збільшення рівня корисних речовин; поліпшення технологічних властивостей продовольчої сировини; корінної зміни характеристик продукції для поліпшення її дієтичних, смакових і харчових властивостей. Узагальнена інформація щодо деяких зареєстрованих у світі сільськогосподарських рослин, які були генетично модифіковані з метою покращення їх властивостей наведена у таблиці.

**Удосконалення якісних характеристик харчової продукції.** Нині ведуться роботи щодо зміни співвідношення жирних кислот олієвмісних рослин в бік зниження рівня насичених жирних кислот. Для покращення якості тютюнової олії у геном тютюну було введено ген ціанобактерій, який кодує синтез дельта 6-десатурази, в результаті було отримано сорт тютюну, який характеризувався наявністю гамма-ліноленової, а також ненасиченої октадекатетраєнової кислоти. Інгібування експресії олеатдесатурази (перетворює олеїнову кислоту в лінолеву) в сої сприяло підвищенню вмісту олеїнової кислоти у соєвій олії з 23 до 80%.

### Генетично модифіковані продукти, що використовуються у харчовій промисловості [3]

Модифікований продукт	Введений ген	Донор гену	Продукт експресії введеного гену	Набута ознака	Торгова марка	Розробник
Пшениця	<i>cp4 epsps (aroA:CP4)</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> CP4	Стійка до дії гербіцидів форма ферменту 5-енолпірувілшикімат-3-фосфат-синтази (EPSPS)	Стійкість до гербіциду гліфосату	Roundup Ready™ wheat	Monsanto Company
Помідор	<i>pg</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Не продукується функціональний фермент полігалактуроназа	Уповільнене пом'якшення плодів	FLAVR SAVR™	Monsanto Company
	<i>nptII*</i>	Транспозон Tn5 <i>Escherichia coli</i>	Фермент неоміцин-фосфотрансфераза II	Стійкість до антибіотиків (неоміцин, канаміцин)		
Баклажан	<i>cryIAc</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> HD73	CryIAc дельта-ендотоксин	Стійкість до лускокрилих комах	BARI Bt Begun-1 (2, 3 4)	Maharashtra Hybrid Seed Company
Рис	<i>cryIAb</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i>	CryIAb дельта-ендотоксин	Стійкість до лускокрилих комах	BT Shanyou 63, Huahui-1	Huazhong Agricultural University (China)
	<i>cryIAc</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> HD73	CryIAc дельта-ендотоксин			
	<i>bar</i>	<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	Фермент фосфінотріцин-N-ацетилтрансфераза (PAT)	Стійкість до гербіциду глюфосінату (фосфінотріцину)	Liberty Link™ rice	Bayer CropScience
Цукровий буряк	<i>cp4 epsps (aroA:CP4)</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> CP4	EPSPS	Стійкість до гербіциду гліфосату	InVigor™ sugarbeet	Novartis Seeds, Monsanto Company
	<i>goxv247</i>	<i>Ochrobactrum anthropi</i> LBAA	Гліфосат-оксидаза			
	<i>uidA*</i>	<i>Escherichia coli</i>	Фермент бета-D-глюкуронідаза (GUS)	Зміна кольору на синій при обробці поверхні		

Продовження табл.

Соя	<i>csr1-2</i>	Арабідопсис ( <i>Arabidopsis thaliana</i> )	Модифікована велика субодиниця ацетолактатсинтази (AtAHASL)	Стійкість до імідазолінових гербіцидів	Cultivance	BASF
	<i>fatb1-A</i> (+/-)	Соя ( <i>Glycine max</i> )	Не продукуються функціональні ферменти жирних кислот FATB	Знижуються рівні насичених жирних кислот; підвищується рівень олеїнової кислоти	Vistive Gold™	Monsanto Company
	<i>fad2-1A</i> (+/-)		Не продукується функціональний фермент дельта-12-десатураза			
	<i>cp4 epsps</i> ( <i>aroA:CP4</i> )	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> CP4	EPSPS	Стійкість до гербіциду гліфосату		
Ріпак	<i>bxn</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> subsp. <i>ozaenae</i>	Фермент нітрилаза	Стійкість до оксинілових гербіцидів (напр., бромоксиніл)	Navigator™ Canola	Bayer CropScience
	<i>te</i>	Лавровий лист ( <i>Umbellularia californica</i> )	Фермент тіоестераза	Збільшуються рівні триацилгліцеридів	Laurical™ Canola	Monsanto Company
Картопля	<i>asn1</i>	Картопля ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Дволанцюгова РНК	Зменшується накопичення аспарагіну	Innate™ Atlantic Potato	J.R. Simplot Co.
	<i>ppo5</i>			Відсутнє потемніння очищеної картоплі		
	<i>pPhL</i>			Зменшується утворення редукуючих цукрів		
	<i>pRI</i>					
Кукурудза	<i>ms45</i>	Кукурудза ( <i>Zea mays</i> )	Білок ms45	Відновлення фертильності	32138 SPT maintainer	Pioneer Hi-Bred International Inc.
	<i>zm-aa1</i>		Фермент α-амілаза	Стерильність пилку		
	<i>dsRed2*</i>	Дискоактинія ( <i>Discosoma</i> sp.)	Червоний флуорисцентний білок	Зміна кольору на червоний при обробці поверхні		

Примітка: \* – селекційний маркер

*Вуглеводи.* На сьогодні створено модифікований сорт цукрового буряку, в геном якого введений ген *Helianthus tuberosus*, що кодує 1-сахарозо-сахарозофруктозилтрансферазу (1-SST). В результаті такої модифікації у клітинах буряка здійснюється трансформація фруктози у фруктани низької молекулярної маси. Отримано картоплю, яка містить гени артишоку, що відповідають за синтез високомолекулярного інуліну (повноцінний замітник глюкози) [2].

*Вітаміни.* Створено сою, що містить ген гамма-токоферолметилтрансферази – ферменту, який перетворює попередників вітаміну Е з низькою біологічною активністю на більш активну складову –  $\alpha$ -токоферол. За рахунок такої модифікації вміст  $\alpha$ -токоферолу у насінні сої було збільшено в 10 разів. Нині створено сорт рису (так званий «золотий рис» або Golden Rice, GR), що містить високу кількість бета-каротину – попередника вітаміну А. Рис GR був модифікований шляхом вставки у геном рису фрагменту ДНК з генами фітоїнсинтази нарцису *Narcissus pseudonarcissus* і каротиндесатурази *Erwinia herbicola*. Також створено трансгенну кукурудзу, в якій модифіковано одночасно три метаболічні шляхи синтезу цільових сполук, і, порівняно зі звичайними сортами, її зерна характеризується підвищеним вмістом бета-каротину (у 170 разів), аскорбінової кислоти (у 6 разів) та фолату (у 2 рази). Отримано модифіковані сорти кукурудзи із надекспресією ферменту дегідроаскорбат редуктази (DHAR), що відповідає за утворення аскорбінової кислоти. Такі сорти кукурудзи характеризуються підвищеним вмістом вітаміну С, а також є стійкішими до захворювань [4].

*Мікро та макроелементи.* Нині створений модифікований сорт рису, геном якого містить ген ферритину сої (залізовмісний білок), ген фітази (розщеплює фітинову кислоту і вивільняє фосфор, підвищує біодоступність заліза) *Aspergillus fumigatus* та ген білку з підвищеним вмістом цистеїну (сірковмісна амінокислота). Вживання такого рису попереджує дефіцит заліза, фосфору і сірки в організмі. На сьогодні створено модифіковані сорти капусти (броколі, пекінської, брюсельської, цвітної, білоголової капусти, капусти кольрабі та ін.) зі збільшеним у декілька

разів вмістом кальцію і магнію. Ведуться роботи щодо створення модифікованих томатів з підвищеним вмістом фосфору [5].

**Стійкість до несприятливих факторів навколишнього середовища.**  
*Гербіциди.* Завдяки використанню методів генетичної інженерії були створені нові, стійкі до різних гербіцидів, сільськогосподарські культури (соя, кукурудза, рис, бавовник та ін.). В геном цих культур введені гени, які кодують синтез ферментів, що руйнують гербіциди. Для створення рослин, стійких до гербіцидів на основі фосфінотрицину і його похідних, у їх геном вводять ген фосфінотрицинацетилтрансферази *Streptomyces hygroscopicus*. Стійка до гербіциду гліфосату соя містить ген 5-енолпірувілшикімат-3-фосфат-синтази (EPSPS) ґрунтової бактерії *Agrobacterium tumefaciens* CP4.

*Комахи-шкідники.* Для створення рослин стійких до комах-шкідників існує кілька методів. Одним з них є перенесення в рослини генів *Bacillus thuringiensis* (*cry*-генів), що відповідають за синтез δ-ендотоксину – природнього інсектицидного білка (Bt-білок). Також розроблено метод перенесення генів, що відповідають за синтез інгібіторів амілази або протеази, які перешкоджають засвоєнню рослинних продуктів комахами.

*Вірусні захворювання.* Існує кілька підходів щодо створення стійких до вірусних захворювань рослин. Перший – введення у геном рослини генів структурних білків оболонки вірусу, при цьому у клітинах рослини синтезується вірусний білок, що стимулює розвиток захисних механізмів, які блокують розмноження вірусу, у разі його проникнення в рослину. Другий – введення у геном рослин антисмислової послідовності вірусного геному, яка є комплементарною до нормального вірусного геному. Антисмислова іРНК утворює комплекс з нормальною вірусною іРНК, блокуючи тим самим трансляцію вірусної РНК.

*Грибкові захворювання.* На сьогодні створено трансгенні ківі, томати, яблука, полуницю, що синтезують ресвератрол (низькомолекулярна антимикробна сполука) і є стійкими до *Phytophthora infestans*, рис, стійкий до грибків *Pyricularia oryzae*, люцерну, стійку до *Phoma medicaginis*. Також створено картоплю, в яку

перенесено гени стійкості до фітофторозу Rpi-blb1 і Rpi-blb2, виділені з південно-американського дикого сорту картоплі *Solanum bulbocastanum*.

*Абіотичні фактори.* Для створення трансгенних рослин з підвищеною стійкістю до абіотичних факторів (засоленість ґрунтів, засуха, заморозки, підвищена вологість тощо) використовують гени, що кодують ферменти ключових ланок відповіді на дані фактори або регуляторні гени, що кодують транскрипційні фактори та запускають цілий каскад реакцій при стресі. Створено цукровий буряк з підвищеною стійкістю до засоленості ґрунтів, за рахунок перенесення генів  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -антипорту з арабідопсіса. Трансгенні рослини салату латуку з вбудованим геном *ABF3 Arabidopsis thaliana* витримують засуху та пониження температури до  $-4\text{ }^\circ\text{C}$  [6].

**Поліпшення поживних якостей худоби та риби.** Інженери-біотехнологи працюють не лише над покращенням властивостей рослинної їжі, а й тваринної також. На сьогодні отримано багато представників тваринного світу зі зміненими властивостями, зокрема, вівці, корови, буйволи, свині, риба, птиця та ін. Розглянемо деякі генетичні модифікації, які допомогли у створенні корисних для людства тварин.

*Корови.* Одним із напрямків модифікації є створення ГМ корів, які дають безлактозне молоко, що може бути заміною фізичних та хімічних методів вилучення лактози з молока. Іншим напрямком є роботи щодо створення корів, молоко яких містить людські білки, такі як лізоцим, лактоферин та альфа-лактальбумін. Таке ГМ молоко за своїми властивостями дуже схоже на людське, має антимікробні властивості та кращий імуномодуючий вплив на немовлят. Також, вченим вдалось підвищити жирність коров'ячого молока до 20 %. Ведуться роботи щодо створення ГМ корів, в молоці яких вміст казеїну вдвічі більший, що дає переваги при виробництві сирів та інших молочних продуктів.

*Свині.* Гній свиней містить до 80 % фосфору, який забруднює нашу планету. Тому біотехнологи вбудували в геном свиней ген, що кодує виділення ферменту фітази у слині тварин. Коли ГМ свиня споживає зернові, фітаза змішується з кормом, а у кислому середовищі шлунка такий комплекс руйнується, фітинова

кислота перетравлюється з утворенням фосфату, який легко засвоюється в шлунку свині. Вміст фосфору в гної ГМ свиней на 65 % нижчий, ніж у немодифікованих, що запобігає потраплянню великих кількостей фосфору в водойми, цвітіння води та загибель риби. Також створені ГМ свині, в організмі яких утворюється лактоферин та лізоцим, які виступають в якості антибактеріальних агентів. Це може стати альтернативою застосування антибіотиків при комерційному вирощуванні свиней.

*Риба.* Роботи щодо модифікації риб ведуться в кількох напрямках. Одним з яких є пришвидшення росту. Нині створено швидкоростучу сьомгу *Salmo salar*, в геном якої вбудований ген гормону росту чавичі *Oncorhynchus tshawytscha* (риба роду тихоокеанських лососів розміром до 90 см). Така ГМ сьомга росте в 3-4 рази швидше, що зменшує час вирощування і підвищує доступність харчового продукту. Вказаний ген також був вбудований в геноми таких риб, як білий амур, райдужна форель, тілапія і сом. Іншим напрямком модифікацій є створення риб, стійких до ряду захворювань. Створено ГМ сьомгу з геном лізоциму райдужної форелі, а, як відомо, лізоцим володіє антибактеріальними властивостями. У геном сома введено ген секропіну (антибактеріальний білок) тутового шовкопряда. Також ведуться роботи щодо зменшення чутливості до холоду тепловодних риб, таких як короп і тілапія. Пропонований напрямок роботи в цій галузі полягає у зміні молекулярної конформації ліпідів з метою підвищення стійкості клітинних мембран. Цікавими є також роботи по створенню ГМ тілапії, у клітинах якої синтезується інсулін. Така трансгенна риба може служити початком для подальшого розвитку харчових технологій для лікування діабету [7].

**Трансгенні рослини як джерело біологічно активних білків ветеринарного та медичного призначення.** Рослини, в тканинах яких синтезуються і накопичуються рекомбінантні бактеріальні та вірусні антигени, називають так званими «істівними вакцинами». Створено картоплю, яка продукує білок Tat вірусу HIV-1, тому вживання такої картоплі є профілактикою захворювання на СНІД. Модифікована морква, що містить ген гемаглютиніну вірусу корі, може використовуватись як протикорева вакцина. Також ведуться

роботи щодо створення інших «їстівних вакцин»: картопля, що продукує білок вірусу ящура, вірусу папіломи людини, капсиду вірусу людини Norwalk, поверхневий антиген оболонки вірусу гепатиту В; кукурудза, що синтезує глікопротеїн S вірусу гастроентериту свиней; помідори, у клітинах яких продукується В-субодиниця холерного токсину, F-білок респіраторно-синцитіального вірусу, білок вірусу гепатиту Е, глікопротеїн вірусу сказу.

Антигени, що експресуються в клітинах рослинах, захищені клітинною стінкою від протеолізу при проходженні травного тракту і можуть бути легко доставлені до клітин слизової оболонки кишечника, які відповідають за мукозну систему імунітету. Слід зазначити, що мукозна вакцинація стимулює як місцеву імунну відповідь на рівні слизових оболонок, так і загальну імунну відповідь організму, тому отримання «їстівних вакцин» стало одним з перспективних напрямів сучасної біотехнології. Роботи зі створення «їстівних вакцин» ведуться у багатьох біотехнологічних лабораторіях різних країн світу і, можливо, ці нові препарати в недалекому майбутньому знайдуть своє місце в загальній системі захисту від патогенів [8].

**Висновки.** Використання можливостей сучасних біотехнологій та більш поглиблене і детальне вивчення метаболізму рослинних і тваринних організмів дадуть змогу в майбутньому більш ефективно їх модифікувати: видаляти небажані ознаки та додавати корисних властивостей. Нині у світі створено понад 300 видів генетично змінених рослин і тварин, однак генетично модифіковані продукти харчування становлять у раціоні людей наразі менше 1 %.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Clive J. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014 // ISAAA Brief. – 2014. – № 49 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/pdf/B49-ExecSum-English.pdf>
2. Бурлака О.М. Біофортифікація сільськогосподарських рослин / О.М. Бурлака, Б.В. Сорочинський // Біотехнологія. – 2010. – Т. 3, № 5. – С. 31-42.

3. GM Approval Database [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>

4. Бірта Г.О. Генно-модифіковані організми: за і проти: навч. посіб. / Г.О. Бірта, Ю.Г. Бургу. – К.: Центр учбової літератури, 2013. – 128 с.

5. Genetically modified food: its uses, future prospects and safety assessments / A. Pandey, M. Kamle, L.P. Yadava, M. Muthukumar, P. Kumar, V. Gupta, M. Ashfaque, B.R. Pandey // Biotechnology. – 2011. – Vol. 10, № 5. – P. 473-487.

6. Трансгенные растения, толерантные к абиотическим стрессам / Я.С. Колодяжная, Н.К. Куцоконь, Б.А. Левенко, О.С. Сютикова, Д.Б. Рахметов, А.В. Кочетов // Цитология и генетика. – 2009. – № 2. – С. 72-93.

7. Fedoroff N.V. The past, present and future of crop genetic modification // New Biotechnology. – 2010 – Vol. 27, № 5. – P. 461–465.

8. Трансгенные растения для фармакологии / Е.Б. Рукавцова, Я.И. Бурьянов, Н.Я. Шульга, В.А. Быков // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2006. – № 2. – С. 3-12.

**О.И. Скροцкая, Е.В. Морьева**

## **ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

*Рассмотрены возможности генной инженерии по усовершенствованию качественных характеристик пищевой продукции. Приведены данные по модифицированным продуктам питания. Охарактеризованы новые признаки генетически измененных организмов: изменение соотношения жирных кислот, синтез витаминов, модификация углеводов, устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, улучшения питательных качеств скота и рыбы. Показана возможность использования растений в качестве «съедобных вакцин».*

**Ключевые слова:** ген, генетическая модификация, продукты питания.

**O.I. Skrotska, O.V. Moreva**

## **THE MODERN BIOTECHNOLOGY'S ACHIEVEMENTS FOR PRODUCTION**

## **OF MODIFIED FOODS**

The possibilities of genetic engineering for improving the quality characteristics of foods were considered. Modified foods data were presented. New features of genetically modified organisms were characterized: changes in the fatty acid ratio, vitamins synthesis, carbohydrates modification, resistance to adverse environmental conditions, improving the nutritional quality of livestock and fish. The possibility of using plants as «eatable vaccines» was shown.

***Keywords:*** gene, genetic modification, food.