

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва,
стандартизації та біотехнології

Кафедра переробки продукції тваринництва та харчових технологій

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ОРГАНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Конспект лекцій

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Харчові
технології» спеціальності G13 – «Харчові технології»
денної та заочної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв

2026

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії факультету технології виробництва і переробки продукції тваринництва, стандартизації та біотехнології Миколаївського національного аграрного університету від 25.06.2026 р., протокол № 12.

Укладачі:

О. І. Петрова – кандидат с.-г. наук, доцент, завідувач кафедри переробки продукції тваринництва та харчових технологій Миколаївського національного аграрного університету;

А. В. Зюзько – кандидат техн. наук, доцент кафедри переробки продукції тваринництва та харчових технологій Миколаївського національного аграрного університету;

Н. П. Шевчук – доктор філософії, старший викладач кафедри переробки продукції тваринництва та харчових технологій Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

Г. І. Калиниченко – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва продукції тваринництва Миколаївського національного аграрного університету;

А. А. Ракова – директор ТОВ «Миколаївський хлібзавод №1» м. Миколаїв

ЗМІСТ

Вступ	4
Лекція 1. Органічне виробництво в Україні	5
Лекція 2. Органічне рослинництво	14
Лекція 3. Органічне тваринництво	25
Лекція 4. Особливості виробництва органічної продукції	35
Лекція 5. Теоретичні основи генно-модифікованих продуктів	60
Лекція 6. Розвиток сучасної біотехнології	79
Лекція 7. Генно-модифіковані організми	92
Лекція 8. Генно-модифіковані організми в харчовому виробництві	118
Лекція 9. Негативні фактори генно-модифікованих організмів	127
Лекція 10. Позитивні аспекти генно-модифікованих організмів	158
Лекція 11. Якість та безпека продовольчої сировини і харчових продуктів	184
Список використаних джерел	208

ВСТУП

Перший органічний рух виник в Великобританії в 40-х роках минулого сторіччя, тоді ж вперше було використано термін органічний в науковій праці Єви Бальфур «Жива земля», де порівнювалися органічні і традиційні методи господарства. З середини XIX сторіччя почався активний розвиток цього руху і було засновано ряд громадських організацій для контролю за виробниками продуктів харчування. Одна з найбільших організацій та найвагоміших в світі – Міжнародна Федерація Органічного Руху (IFOAM), заснована в 1972 році, яка зараз об'єднує організації із 108 країн світу.

На сьогодні в світі під органічним виробництвом зайнято 28 млн. га. Основні засади, на яких ґрунтується органічне виробництво, це відмова від використання мінеральних добрив синтетичного походження, стимуляторів росту і генетично модифікованих організмів та продуктів їх життєдіяльності; використання натуральних засобів та методів боротьби з шкідниками і хворобами рослин; недопустимо використання антибіотиків для профілактики захворювань і гормональних препаратів для стимулювання росту тощо.

В процесі органічного виробництва отримуємо корисний для здоров'я натуральний продукт з чудовими смаковими якостями. Адже вчені дослідили, що в середньому органічна їжа в порівнянні з традиційною містить більше вітаміну С й необхідних мінералів, таких як кальцій, магній, залізо, хром, а також на 10-15% більше фенольних сполук та антиоксидантів, що протидіють ракові. Органічне молоко, наприклад, багатше жирними кислотами омега-3, вітаміном Е, і вітаміном А (бета-каротином).

Лекція 1

Органічне виробництво в Україні

1. Стан і розвиток органічного виробництва в Україні
2. Переваги і принципи органічного виробництва
3. Органічне виробництво та органічні продукти харчування

1. Стан і розвиток органічного виробництва в Україні

Ринок органічних продуктів є перспективним сегментом агропромислового ринку розвинених країн світу. За даними експертів Міжнародної федерації органічного сільського господарства IFOAM і науково-дослідного Інституту біоземлеробства FiBL нині виробництво екологічно чистої сільськогосподарської продукції розвивається у 153 країнах світу, а обсяг ринку досягає 50-60 млрд доларів США.

Світовий ринок органічної продукції почав розвиватися наприкінці минулого століття. В Україні виробництво органічної продукції проходить період становлення, а суттєвим позитивним зрушенням, що дасть можливість активізувати ринок органічних продуктів є ухвалення Закону України «Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції та сировини» від 03.09.2013, № 425-VII.

Відповідно до Закону, виробництво органічної продукції – це виробнича діяльність фізичних або юридичних осіб, де під час виробництва виключається застосування хімічних добрив, пестицидів, генетично модифікованих організмів, консервантів тощо, та на всіх етапах виробництва застосовуються методи, принципи та правила для отримання натуральної (екологічно чистої) продукції, а також збереження та відновлення природних ресурсів. Україна досягла певних результатів щодо розвитку власного органічного виробництва.

Україна займає перше місце в східноєвропейському регіоні щодо сертифікованої площі органічної ріллі, спеціалізуючись переважно на

виробництві зернових, зернобобових та олійних культур. Серед світових країн-лідерів виробників органічної продукції наша країна займає 21 місце.

В Україні офіційну статистику на національному рівні щодо виробників органічної продукції не веде жоден уповноважений орган. Інформацію про сертифіковані підприємства та асортимент продукції виробників, сертифікованих 16-ма міжнародно акредитованими сертифікаційними органами, можна знайти в Органік бізнес-довіднику України.

Більшість господарств, які займаються виробництвом органічної продукції, розташовані на півдні країни – Одеська, Херсонська області, у західній Україні – Закарпатська, Львівська, Хмельницька області, а також у Київській, Вінницькій та Харківській областях.

Сьогодні на органіку припадає лише 1% обсягу продажу продуктів харчування, хоча й спостерігається тенденція до його зростання. Споживачами цієї продукції є переважно люди з середнім та високим рівнем доходу. На думку українських експертів, потенційними споживачами органічної продукції в Україні є близько 5% населення великих міст, які готові платити за неї на 30-50% більше, ніж за звичайну продукцію.

В Україні залишилось чотири невеликих регіони, де можливе вирощування екологічно чистої продукції на рівні найсуворіших світових стандартів:

1) Північно-Полтавський – охоплює більшу частину Полтавської області, північно-західні райони Харківської області, південно-західні райони Сумської області, південно-східні райони Чернігівської області та східні райони Київської і Черкаської областей (лівобережна частина);

2) Вінницько-Прикарпатський – тягнеться широкою смугою близько 100 км від м. Попельня Житомирської області і простягається до півночі Вінницької, Хмельницької та Тернопільської областей у напрямку до м. Львова;

3) Південно-Подільський – включає невелику південно-східну частину Вінницької області, південно-західну частину Кіровоградської області, північ Миколаївщини і північну половину Одеської області;

4) Північносхідно-Луганський – охоплює Міловський і Новопсковський райони Луганської області.

До основних чинників, які стримують виробництво органічних продуктів відносять наступні: нерозвиненість внутрішнього ринку, домінування імпортової органічної продукції на ринку, недостатня розвиненість інфраструктури торгівлі органічною продукцією, наявність недобросовісних виробників на ринку, недосконалість нормативно-правової бази, недостатня кількість офіційно зареєстрованих сертифікаційних центрів, слабкий розвиток інтеграції з міжнародними структурами та обмежений доступ на зовнішні ринки органічної продукції, відсутність державної підтримки, недостатня просвітницька робота.

Уряди багатьох розвинених країн розробили системи стимулювання та заохочування виробників органічної продукції. Так, у Німеччині обсяг державної підтримки становить 170-750 євро/га, Швейцарії – 162-970, Франції – 80-900, Нідерландах – до 650, Польщі – 66,6-394,5, Литві – до 376 євро/га. За такого підходу поліпшується не тільки якість продукції та забезпечується охорона довкілля, а й економніше використовуються енергетичні ресурси.

Варто зазначити, що вітчизняними вченими розроблено економічний механізм стимулювання виробників органічної продукції, основними елементами якого є: економічні важелі і стимули (пільгове оподаткування, підвищення розміру доплат до закупівельної ціни, пільгові ціни на послуги і засоби виробництва, державне страхування); економічні санкції (застосовуються до забруднювачів навколишнього середовища через зниження цін на екологічно забруднену продукцію, систему штрафних санкцій за нерациональне використання природних ресурсів).

В Україні існує великий потенціал для виробництва сертифікованої органічної продукції. Незважаючи на проблеми становлення, органічний сектор є перспективним завдяки родючим чорноземним ґрунтам, сприятливим кліматичним умовам, низьким цінам на оренду землі, зростаючому попиту населення на органічні продукти харчування тощо.

Органічне виробництво передбачає екологічно безпечне та соціально орієнтоване ефективне ведення сільського господарства, що дає змогу отримати стабільний прибуток, забезпечуючи рентабельність господарювання за рахунок використання природної родючості ґрунтів і значної економії за окремими статтями витрат. Окрім того, відбувається зростання економічного ефекту паралельно з поліпшенням у соціально-економічному розвитку аграрного сектора економіки. А підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва варто здійснювати шляхом обов'язкового врахування екологічної складової задля забезпечення збалансованого розвитку суспільства.

В Україні простежуються загальносвітові тенденції до популяризації виробництва органічної продукції. Органічне виробництво повільно, але розвивається. На сьогоднішній день Україна має значний потенціал розвитку виробництва органічної продукції. Продукція органічного походження стає все більш привабливою як для європейського, так і для національного споживача. Враховуючи те, що Україна має потужний потенціал агропромислового комплексу, країна може стати одним із головних експортерів цієї продукції на ринку ЄС.

Для удосконалення й росту виробництва органічної продукції уже сертифікованими операторами органічного виробництва та заохочення й підтримки, створення нових підприємств органічного ринку необхідне удосконалення нормативно-правової бази щодо виробництва органічної продукції та її гармонізація відповідно до вимог європейських Постанов, Регламентів, Директив. Розвиток органічного виробництва в Україні можливий лише за умови державної підтримки. Державне стимулювання може бути реалізоване через фінансову підтримку, пільгове оподаткування, підвищення розміру доплат до закупівельної ціни, пільгові ціни на послуги і засоби виробництва, державне страхування, популяризацію органічної продукції серед виробників і споживачів, створення розгалуженої інфраструктури ринку органічних продуктів. У такому випадку вітчизняний агровиробник здатний забезпечити виробництво достатньої кількості органічної продукції, що буде

сприяти, з одного боку, покращанню стану навколишнього середовища, з іншого, – зростанню вітчизняного сільського господарства та стане досить значущою складовою підвищення рівня здоров'я нації.

2. Переваги і принципи органічного виробництва

Органічне виробництво має цілу низку економічних, екологічних та соціальних переваг, а також цей метод завдяки виробництву та споживанню власне органічних харчових продуктів позитивно впливає на здоров'я населення.

Екологічні переваги органічного виробництва полягають у тому, що воно:

- зберігає довкілля в процесі виробництва;
- сприяє збереженню та відновленню біорізноманіття в агроландшафтах;
- сприяє збереженню та відтворенню родючості ґрунтів;
- оберігає від забруднення водні джерела.

Економічні переваги органічного виробництва полягають у тому, що за умов належного впровадження сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур та розведення худоби згідно із принципами та вимогами органічного виробництва, при подальшому розвитку внутрішнього ринку в Україні в середньостроковій перспективі зростатиме прибутковість виробництва органічної продукції та її конкурентоздатність.

Це відбуватиметься шляхом:

- поступового зростання природної продуктивності агроценозів та ґрунтів в умовах органічного аграрного виробництва;
- суттєвого зниження виробничих витрат завдяки відмові від застосування дорогих хімікатів та зменшення енергоємності виробництва, зокрема витрат на пальне та мастильні матеріали;
- підвищення самодостатності та скорочення залежності виробників від не вигідних умов зовнішнього фінансування – банківських кредитів і виплат з них.

Соціальні переваги органічного виробництва полягають у створенні додаткових робочих місць у сільській місцевості й нових перспектив для малих та середніх фермерських господарств, збільшенні життєздатності сільських громад тощо.

Органічне землеробство – це система землеробства, метою якої є баланс між продуктивністю агроценозу і деградацією навколишнього середовища з метою забезпечення збереження якості земель для майбутніх поколінь. Практично це система, яка повністю або в основному виключає використання: синтетичних добрив; пестицидів; регуляторів росту; кормових добавок до раціону тварин та інших потенційно небезпечних речовин. Це включає: впровадження сівоzmіни; використання механічних і біологічних методів захисту рослин.

Надходження поживних елементів відбувається за рахунок: розширення вирощування бобових; рослинних залишків; гною; зелених добрив; інших органічних відходів та сирих мінеральних добрив (руд).

Метою такої системи є відтворення природних екосистем.

Органічне сільське господарство може бути визначене як таке ставлення до сільського господарства, метою якого є створення стійкої, з точки зору людства, якості навколишнього середовища і економічно обґрунтованої продукційної системи.

Основна ідея полягає у використанні саморегуляційних механізмів агроєкосистем, місцевих і отриманих на території господарства ресурсів і управління екологічними та біологічними процесами і реакціями.

Використання зовнішніх джерел енергії, як хімічних, так і органічних, обмежується, наскільки це можливо. У багатьох європейських країнах органічне землеробство відоме під терміном екологічного, воно спирається на управління екосистемами, а не на привнесення ресурсів ззовні.

Використання зовнішніх джерел енергії, як хімічних, так і органічних, обмежується, наскільки це можливо. У багатьох європейських країнах органічне землеробство відоме під терміном екологічного, воно спирається на

управління екосистемами, а не на привнесення ресурсів ззовні.

Основні цілі органічних технологій виробництва і переробки такі:

- виробництво продуктів харчування високої якості у достатній кількості;
- конструктивна взаємодія з природними системами і кругообігом речовин та енергії зі збереженням і покращанням різноманіття форм життя;
- урахування зростаючого соціального і екологічного значення технологій виробництва та переробки продукції органічного землеробства;
- інтенсифікація біологічних циклів у межах господарства із залученням у них мікроорганізмів, ґрунтової флори і фауни, рослин і тварин;
- створення цінних і стійких водних екосистем; збереження і підвищення родючості ґрунтів;
- збереження природної різноманітності продукційної системи і її природного оточення, включаючи захист дикоростучих рослин та інших організмів;
- забезпечення дбайливого ставлення до водних ресурсів та водних екосистем і бережного їх використання;
- використання, наскільки можливо, відновлюваних ресурсів власних (внутрішніх) продукційних систем;
- створення гармонійного балансу між рослинництвом і тваринництвом;
- створення для всієї худоби умов, що відповідають основним аспектам їх природної поведінки;
- мінімізація всіх форм забруднення;
- переробка продукції з використанням відновлюваних ресурсів; виробництво тільки такої продукції, яка повністю біологічно розкладається;
- виробництво текстильної продукції довготривалого використання високої якості;
- забезпечити можливість будь-кому, хто займається органічним землеробством, жити якісним життям із задоволенням основних потреб людини, створення умов для безпечної і продуктивної праці;

- соціально і екологічно обґрунтований розвиток виробництва, переробки і реалізації виробленої продукції.

Реалізація всіх цих пунктів можлива при обов'язковому дотриманні наступних правил: захист навколишнього середовища; зменшення забруднення; підтримка здоров'я і оптимізація біологічної продуктивності систем.

3. Органічне виробництво та органічні продукти харчування

Органічне сільськогосподарське виробництво згідно із проектом Закону України «Про органічне виробництво», прийнятим Верховною Радою України у першому читанні – це виробництво за встановленими правилами, які дозволяють продукувати органічні продукти з оздоровчими властивостями; а також зберігати та відновлювати природні ресурси у процесі виробничої діяльності. Сфера органічного виробництва включає в себе також продукцію, що збирається у лісах, утримується в результаті бджільництва та рибальства.

Кінцевою метою органічного виробництва є не тільки забезпечення умов для збереження довкілля, а й також виробництво органічних продуктів харчування, які можуть бути вироблені безпосередньо на полі чи внаслідок первинної обробки сировини чи внаслідок її переробки на підприємствах харчової промисловості згідно із вимогами до переробки органічної продукції.

Згідно того ж проекту закону органічна продукція та сировина – це продукція та сировина рослинного і тваринного походження, до яких належать:

- а) не перероблена сільськогосподарська продукція рослинного походження; а також продукція тваринництва та не перероблена продукція тваринного походження;

- б) перероблена сільськогосподарська продукція рослинного та тваринного походження, призначена для споживання;

- в) корми, концентровані корми, комбікорми та кормові добавки, окрім тих, що призначені для лісового господарства

- г), лісова, бджоло та рибопродукція, що вирощується, виробляється,

переробляється, сертифікується, маркується, зберігається та реалізується за правилами органічного виробництва.

Органічне агровиробництво є єдиним серед широкого спектру методів господарювання на Землі, що не завдає шкоди довкіллю. Системи органічного виробництва базуються на специфічних та точних вимогах (стандартах) до процесу виробництва, спрямованих на підтримку оптимального стану екосистеми на соціальному, екологічному та економічному рівнях. Повторне використання поживних речовин та посилення природних процесів допомагають підтримувати родючість ґрунтів та забезпечувати прибуткове виробництво. Рівень шкідників та захворювань рослин контролюється природним шляхом, а також профілактичними, біологічними та іншими сучасними науковими методами. Органічне агровиробництво виключає застосування штучних добрив та пестицидів, а також використання генетично модифікованих організмів та продуктів (речовин), що від них походять.

Органічне агровиробництво відрізняється від виробництва продукції, яка не містить синтетичні домішки та системи ґрунтозахисного землеробства, що базується на технологіях ретельного обробітку ґрунту без обертання скиби, але не виключає застосування генетично модифікованих організмів та синтетичних пестицидів.

Аналогічно органічне агровиробництво суттєво відрізняється від так званої інтегрованої системи землеробства, що базується на інтегрованій системі боротьби із шкідниками та хворобами, яка передбачає обмежене застосування речовин хімічного походження, з метою запобігання розмноженню паразитів, але не виключає використання синтетичних хімікатів.

Лекція 2

Органічне рослинництво

1. Загальні вимоги та особливості органічного рослинництва
2. Засоби захисту рослин та покращення ґрунту
3. Перспективи розвитку органічного землеробства

1. Загальні вимоги та особливості органічного рослинництва

Основна мета органічної системи – оптимізація біологічної продуктивності, безпечність навколишнього середовища для здоров'я людей. Фермери «органіки» намагаються зменшити або зовсім не використовувати речовини (природні і синтетичні), які можуть бути шкідливі для організмів ґрунту, збіднюють невідновлювані ресурси, погіршують якість води і повітря або шкідливі для здоров'я робітників ферми та споживачів.

Стійке відтворення і збереження родючості ґрунтів відбувається за допомогою створення оптимальних умов біологічної активності ґрунтів.

Здоров'я ґрунту є основою здоров'я всієї екосистеми і може бути оцінене як стабільність його біологічної активності. «Підживлення ґрунтів, а не рослин» продовжує бути основною тенденцією так званих екологічних агротехнологій. Покращання родючості включає збалансування фізичних, хімічних та біологічних властивостей для оптимізації кількості і різноманітності організмів ґрунту. Така практика включає впровадження сівозмін, ротації пасовищ, покривних культур, ущільнюючих посівів, зелених добрив, рослинних решток і гною, спеціальний обробіток ґрунту, використання дозволених необхідних мінеральних сполук поживних елементів.

Збереження біорізноманітності усередині господарства і навколо нього, захист середовища для дикоростучих видів і тварин.

Біорізноманіття – основна екологічна заповідь, необхідна для стабільного, а значить, стійкого існування екосистем. Різноманіття необхідно збільшувати в

усіх аспектах органічного виробництва, включаючи підбір видів, сортів, культур, порід худоби, циклів ротації, стратегії боротьби з шкідниками.

Повторне використання та переробка матеріалів і ресурсів, наскільки це можливо, у господарстві або біля нього як частина регіональної системи сільського господарства.

Органічна система віддає перевагу використанню таких енергетичних ресурсів, які привносяться ззовні і мають біологічне походження, а не є продуктами переробки нафти. Поживні елементи ґрунту, які виносяться з урожаєм, втрачаються з промиванням або іншими шляхами, повертають за допомогою речовин, що отримують у господарстві або у навколишніх господарствах. Витрати енергії на транспортування, переробку та зберігання цих матеріалів і продукції в міру можливості мінімізують.

Уважне ставлення до потреб і здоров'я худоби. Домашніх тварини необхідно доглядати так, щоб запобігти їх захворюванню. При цьому основна увага приділяється дотриманню дієти, умов утримання і догляду. Використання кормів органічного землеробства разом з турботою про умови утримання мінімізують стрес, що є основою здорової системи тваринництва. Уважне ставлення до здоров'я тварин є основною заповіддю тваринництва в органічному землеробстві.

Збереження цілісності поняття «органічні продукти» на кожному етапі їх виробництва від посіву до реалізації.

Продукти органічного землеробства можуть вважатися такими, коли виконані принципи даної системи для кожного етапу їх виробництва – вирощування продукції, її транспортування, переробки, реалізації. Інгредієнти, добавки і технології переробки повинні відповідати загальним принципам органічного землеробства. Споживачі повинні бути впевнені, що продукти з маркою «органічні» отримані при дотриманні всіх стандартів і мають всі сертифікати засвідчення якості від насіння до права продаж продукції.

Розробка і адаптація нових технологій із урахуванням довготривалості їх соціального і екологічного ефекту.

Нові матеріали і технології зазвичай оцінюються згідно з розробленими для органічного землеробства критеріями. Це передбачає розвиток органічної системи сільськогосподарського виробництва у напрямку підвищення стійкості у часі за допомогою технічних новацій і соціальної еволюції.

Фермери органіки повинні уважно стежити за агрохімічними показниками родючості ґрунту для забезпечення адекватного рівня поживних елементів. Для оцінки рівня забезпеченості культур поживними елементами проводять аналіз ґрунтів і рослин.

Азот. Джерелом надходження азоту можуть бути бобові культури, у тому числі і однорічні зернобобові, такі, як горох, боби; багаторічні кормові культури – люцерна і конюшина, а також культури для зелених добрив – люпин або буркун. Якщо достатня кількість рослинних решток потрапляють у ґрунт, це може бути істотним джерелом азоту для наступних культур. Гній тварин також є джерелом надходження значної кількості азоту та інших поживних елементів, але у сирому гної можуть бути дуже високі концентрації іонів амонію.

Контролюючі організації дозволяють використовувати сирий гній із певними обмеженнями. При компостуванні відбуваються перетворення нітратів і амонію гною в більш стабільні органічні сполуки N, які стають доступними для рослин повільніше при мінералізації цих сполук у ґрунті. Гарячий спосіб компостування також призводить до загибелі насіння бур'янів. Максимального ефекту від використання гною і зелених добрив досягають при внесенні їх у ґрунт на глибину до 10 см. На більшій глибині в анаеробних умовах мікробіологічна активність пригнічується.

Фосфор. Законодавство, що визначає вимоги до органічного землеробства, дозволяє використовувати гній і природні мінерали фосфору. Гній тварин є відмінним джерелом фосфору для рослин. Фосфор фосфоритів та інших мінералів, в основному, недоступний для рослин, як і фосфорити ґрунту. Тому, використання фосфоритів малоефективне (за винятком кислих ґрунтів). Оскільки в органічному землеробстві дефіцит фосфору часто трапляється, вчені

шукають біологічні методи підвищення розчинності фосфоритів у ґрунтах.

Калій. Ще один з основних елементів живлення, дефіцит якого часто трапляється на піщаних і торф'яних ґрунтах. Дефіцит калію призводить до значного зниження врожайності однорічних і багаторічних фуражних культур. Багаторічні фуражні культури потребують більших кількостей калію, ніж однорічні. Коли культури вирощуються на корм худобі і більша частина рослини вивозиться з поля, відбувається значний винос калію, який повинен бути компенсований. Внесення гною забезпечує значною мірою повернення калію в ґрунт. Також фермерам дозволено використовувати сирі безхлорні форми калійних добрив.

Сірка. Дефіцит сірки часто трапляється у високо дренажованих, піщаних та буроземних лісових ґрунтах. Зернові культури і льон менш чутливі до дефіциту цього елемента, ніж зернобобові і фуражні бобові. Для підвищення вмісту сірки у ґрунтах дозволено використовувати гіпс та інші природні мінерали сірки. Дозволено також використовувати різні солі – сульфати цинку, заліза і калію. Заборонено використовувати сульфат амонію.

Мікроелементи. Найчастіше росту і розвитку культур шкодить дефіцит цинку і міді. Для визначення дефіциту цих елементів необхідне проведення аналізів рослин і ґрунту. Певні культури більш чутливі до дефіциту мікроелементів. Наприклад, дефіцит цинку частіше виникає у кукурудзи, бобів і льону, міді - у пшениці, а бору - у цукрових буряків і люцерни. Контролюючі організації дозволяють фермерам використовувати мікроелементи для внесення у ґрунт у випадку виявлення їх дефіциту в результаті аналізів.

2. Засоби захисту рослин та покращення ґрунту

Нові регулятори росту рослин. Сільськогосподарське виробництво завжди стикалося із проблемою підвищення врожайності вирощуваних культур. Протягом розвитку землеробства врожайність підвищувалась найрізноманітнішими способами обробіток, удобрення, селекція, захист рослин

та ін. Нині рівень розвитку агрономічної науки дозволяє розробляти технології вирощування сільськогосподарських культур із досить високим виходом продукції, при цьому не знижуючи якості ґрунтів. Одним із елементів цих технологій, який дозволяє з мінімальними затратами суттєво підвищувати продуктивність культур, є застосування у землеробстві регуляторів росту та розвитку рослин, використання яких у невеликих дозах дозволяє:

- підвищити енергію проростання і сходження насіння; активізувати діяльність багатьох ферментних систем (хлорофілазу, РНК-полімерази, нітрат-редуктази та ін.);
- підвищити стійкість рослин до деяких стресових факторів (посуха, високі та низькі температури, засолення та інші);
- підсилити імунний статус рослинної клітини, в результаті чого ступінь ризику захворювань у рослин значно знижується;
- захистити рослини від негативної дії багатьох пестицидів (фунгіцидів, інсектицидів, гербіцидів та ін.);
- скоротити строки і досягти одночасності дозрівання деяких сільськогосподарських культур;
- більш раціонально використати поживні елементи та вологу ґрунту;
- активізувати діяльність корисних мікроорганізмів (азотфіксуючих, целюлозорозкладаючих та інших).

Використання бобових. Бобові накопичують азот і органічну речовину в ґрунті для наступних культур і підвищують їх врожайність. Вирощування бобових є попередньою вимогою ефективного органічного землеробства. Крім того, зелені добрива, багаторічні бобові трави, зернобобові також корисні для створення сівозмін. Врожайність ячменю, що вирощувався після внесення рослинних решток зернобобових, була значно кращою, ніж на рештках ячменю, завдяки дії накопиченого азоту та інших неідентифікованих факторів.

При виборі культур для своїх сівозмін виробники повинні враховувати вологість ґрунтів, використання поживних елементів попередніми культурами, враженість культур хворобами і шкідниками, засміченість бур'янами, а також

брати до уваги ринкові фактори. Це важливий аспект для багатьох полікультурних систем і особливо відноситься до низько енергетичного органічного землеробства. Інші культури у бобовій/не бобовій полікультурній системі або бобовій/не бобовій сівозміні використовують азот, що був зафіксований бобовими. Так, наприклад, перехід від монокультури кукурудзи до ротації: кукурудза-боби-кабачки у минулому у Мексиці призвів до підвищення врожайності кукурудзи на 50%. Ротація бобових і злакових дозволяє значно знизити або відмовитись від необхідності внесення азоту ззовні.

Нові регулятори росту рослин. Сільськогосподарське виробництво завжди стикалося із проблемою підвищення врожайності вирощуваних культур. Протягом розвитку землеробства врожайність підвищувалась найрізноманітнішими способами обробіток, удобрення, селекція, захист рослин та ін. Нині рівень розвитку агрономічної науки дозволяє розробляти технології вирощування сільськогосподарських культур із досить високим виходом продукції, при цьому не знижуючи якості ґрунтів. Одним із елементів цих технологій, який дозволяє з мінімальними затратами суттєво підвищувати продуктивність культур, є застосування у землеробстві регуляторів росту та розвитку рослин, використання яких у невеликих дозах дозволяє:

- підвищити енергію проростання і сходження насіння;
- активізувати діяльність багатьох ферментних систем (хлорофілазу, РНК-полімерази, нітрат-редуктази та ін.);
- підвищити стійкість рослин до деяких стресових факторів (посуха, високі та низькі температури, засолення та інші);
- підсилити імунний статус рослинної клітини, в результаті чого ступінь ризику захворювань у рослин значно знижується;
- захистити рослини від негативної дії багатьох пестицидів (фунгіцидів, інсектицидів, гербіцидів та ін.);
- скоротити строки і досягти одночасності дозрівання деяких сільськогосподарських культур;

- більш раціонально використати поживні елементи та вологу ґрунту;
- активізувати діяльність корисних мікроорганізмів (азотфіксуючих, целюлозорозкладаючих та інших).

В останні роки для захисту рослин від шкідників і хвороб все ширше застосовують біологічні препарати. Їх основа – живі, що існують в природі, культури мікроорганізмів або їх метаболіти, безпечні для навколишнього середовища, людини, теплокровних тварин.

Розроблені і впроваджуються у виробництво три основні типи біологічних препаратів – бактеріальні, грибні і вірусні. На відміну від хімічних інсектицидних і фунгіцидних, тобто спрямованих проти комах і хвороб з всезагальною винищувальною властивістю дія біологічних препаратів вибірково направлена здебільшого на зниження чисельності шкідливих видів і підтримання їх на безпечному рівні.

Бактеріальні препарати – на основі спор, вегетативних клітин або продуктів життєдіяльності бактерій.

Найширше практичне застосування отримали препарати спорових бактерій групи турінгієнзіс. За механізмом і специфікою дії їх можна розділити на три групи:

Препарати, початком дії яких є спори, кристали ендотоксину і термостабільний екзотоксин (із таких препаратів поширений біотоксибацилін).

1. Препарати, в яких початком дії є спори, кристали ендотоксину (дендробацилін, лепідоцид).

2. Препарати, основою яких є або термостабільний екзотоксин (турінгін) або кристали ендотоксину (кристалін).

Дендробацилін застосовують проти капустяної і ріпакової білянок, капустяної і плодових молей, шовкопрядів, п'ядаків, золотогузки білана капустяного. Комахи гинуть через 3-7 днів після застосування препарату (2-5 кг/га). Лускокрилі знищуються до 85%.

Кристалін рекомендують проти гусениць лускокрилих шкідників тих видів, у боротьбі з якими використовують лепідоцид. Норма витрачання 1-2

кг/га. Діє як біологічний інсектицид. Смерть комах наступає на 3-6 день. Ефективність – до 90%.

Турингін рекомендують проти личинок колорадського жука, совок, гусениць лускокрилих. Норма витрачання – 0,1-0,4 кг/га. Діє на комах як біологічний інсектицид. Через 2-3 доби шкідники гинуть (80-90% чисельності).

Бацитифіт створений на основі спорової бактерії родини бацилюс. Використовується проти кореневої гнилі шляхом обробки насіння або внесення в ґрунт проти судинного бактеріозу і борошнистої роси – шляхом обприскування рослин. Норма витрачання – 2-6 кг/га. Знижує захворюваність рослин на 10-20%.

Гаупсин – препарат на основі неспоривих бактерій типу псевдомонас. Діючим початком є живі клітини бактерій і їх метаболіти. Вражає гусениць яблуневої плодожерки на 80-90% і одночасно пригнічує розвиток заразних захворювань рослин – плодових гнилей, парші. Норма витрачання 2 кг/га.

Грибні препарати (на основі спор ентомопатогенних грибів або грибів антагоніських). Застосовують переважно в захищеному ґрунті.

Боверін – діючий початок препарату – спори гриба боверін. Рекомендується проти тепличної білокрилки, тютюнового трипса (10 кг/га), личинок колорадського жука і гусениць яблуневої плодожерки (2 кг/га). Препарат має виражений ефект післядії. Загибель комах наступає повільно – на 6-9 день, хворі комахи гинуть протягом всього свого розвитку. Боверін зменшує їх чисельність на 70-93%.

3. Перспективи розвитку органічного землеробства

Сучасна екологічна обстановка в окремих країнах почала викликати тривогу, що призвело до виникнення руху за альтернативне землеробство. Не дивно, що воно зародилося саме в промислово розвинених капіталістичних країнах, де особливо проявилися наслідки надмірної інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. Альтернативне землеробство

користується зростаючою популярністю у населення цих країн. Збільшується кількість ферм, у практику ведення господарства яких міцно ввійшли альтернативні методи. Налагоджена чітко діюча система атестації й збуту продукції альтернативного землеробства. Прихильники альтернативного землеробства об'єднуються в різні національні й міжнародні організації для пропаганди та обміну досвідом із альтернативного землеробства, збуванню його продукції. Активізувалися наукові дослідження в цій області, зосереджені в основному на пошуках шляхів створення бездефіцитного балансу поживних речовин (передусім азоту) в землеробстві, проведенні порівняльного аналізу економічних та енергетичних аспектів альтернативних і традиційних систем. Вивчаються можливі шляхи боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами сільськогосподарських культур, а також впливу методів вирощування на врожайність і якість сільськогосподарської продукції, на навколишнє середовище. Дослідження фінансуються як приватними особами, так і з державного бюджету.

Більшість методів його добре відомі землеробам і перевірені багатовіковою практикою ведення сільського господарства. Відмова від мінеральних добрив і пестицидів дає можливість одержувати продукцію, що не містить їх залишків і має більш високу біологічну цінність. Вона користується справжнім попитом у населення, не зважаючи на підвищені ціни. Заміна синтетичних мінеральних добрив гноєм і компостами збагачує ґрунт органічними речовинами й сприяє росту чисельності організмів, що знаходяться в ґрунті, і які відіграють вирішальне значення в підвищенні його родючості. Ґрунтозахисний обробіток і суворе дотримання сівозмін запобігає розвитку ерозії, сприяючи зменшенню втрат поживних елементів із ґрунту. Не потребує доказів величезна роль в оздоровленні ґрунту і сільськогосподарських рослин відмова від мінеральних добрив і пестицидів, вартість яких безперервно зростає, дає значну економію грошових коштів і енергії. Як результат, застосування альтернативних методів позитивно впливає на стан навколишнього середовища і здоров'я людини.

Американські вчені виявили такі можливі механізми, за рахунок дії яких у майбутньому (приблизно через 50 років) альтернативне землеробство в окремих країнах світу стане провідною системою землеробства.

1. Економічний тиск на фермерів і покупців їх продукції підштовхуватиме сільське господарство до пошуку більш дешевих альтернатив. Зростання цін на пестициди і добрива змусить фермерів відмовитися від їх застосування.

2. Вплив досягнень біотехнології і генної інженерії на сільське господарство позначиться не раніше, ніж через 10 років; біологічна структура сільського господарства буде піддана в значній мірі впливу альтернативних методів, більшість із яких відомі вже протягом віків і випробувані на практиці.

3. Забруднення навколишнього середовища пестицидами і добривами досягне такого рівня, коли стане необхідним введення загальних обмежень на застосування даних хімікатів.

4. Розвиток засобів масової інформації сприятиме поширенню методів альтернативного землеробства.

5. Сільське господарство видозмінюватиметься під впливом недоліків інших секторів суспільного життя, особливо медицини й охорони здоров'я. Основною метою сільського господарства стане виробництво високоякісних продуктів харчування.

Широкомасштабне застосування альтернативного землеробства у чистому вигляді в нашій країні з метою вирішення екологічних проблем, на думку вчених, навряд чи можливе. Вони висловлюють незгоду з окремими складовими концепції альтернативного землеробства, зокрема з повною відмовою від мінеральних добрив, які, як вони вважають, не забезпечують повного повернення відчужуваних із урожаєм поживних речовин, особливо фосфору. Біологічні засоби підвищення ґрунтової родючості не рекомендують протиставляти мінеральним добривам, пестицидам та іншим засобам хімізації, оскільки за правильного використання хімікатів дія біологічних факторів посилюється. Високу оцінку вітчизняних вчених одержали такі складові

альтернативного землеробства, які є водночас й елементами інтенсивних технологій багатьох культур. Серед них необхідність освоєння й суворого дотримання сівозмін, включення в них бобових культур, широке застосування органічних добрив, включаючи і сидерати, біологічних методів захисту рослин. Безсумнівною перевагою альтернативного землеробства є його ґрунтозахисний напрям. Необхідно домагатися суворого дотримання й застосування на практиці сільськогосподарського виробництва даних важливих елементів.

З цієї точки зору увагу сучасних вчених повинно привабити альтернативне землеробство, можливості застосування якого в країні необхідно ретельно вивчити. Можна припустити, що переведення окремих господарств на виробництво рослинницької продукції, наприклад, овочів і картоплі без застосування пестицидів і мінеральних добрив з одночасним вирішенням проблеми збуту цієї продукції навіть за підвищеними цінами, було б добре сприйняте населенням.

Реальним, із нашого погляду, є обміркування можливості розробки інтегрованого землеробства, яке б включало всі кращі властивості альтернативних систем і в той же час допускало б у розумних межах застосування мінеральних добрив і пестицидів. Таке землеробство відповідало б, з одного боку, вимогам інтенсивного ведення рослинництва з використанням сучасних досягнень науки і техніки, а з іншого – завданням охорони навколишнього середовища та максимальній реутилізації всіх відходів сільськогосподарського виробництва.

Лекція 3

Органічне тваринництво

1. Стандарти і правила органічного тваринництва в країнах ЄС
2. Переваги органічного тваринництва
3. Перехід від звичайного тваринництва на органічне
4. Розведення і селекція в органічному тваринництві

1. Стандарти і правила органічного тваринництва в країнах ЄС

Правила для органічного тваринництва розроблені і встановлені спочатку на чисто цивільно-правовій основі при підставі різних фермерських союзів органічного, екологічного, біологічного сільського господарства.

Всесвітні базові правила розроблялися з 1974 року організацією IFOAM. За наполяганням спілок органічного сільського господарства були розроблені і узгоджені в 1991 році правила для фермерського рослинництва в приписі «2092/91/ЄС» в рамках Європи.

На 6 років пізніше, 19 липня 1999 року, було прийнято розпорядження «1804/99 / ЄС» для органічного тваринництва, яке вступило в чинності 24 серпня того ж року. Воно було включено в розпорядження «2092/91 / ЄС», яке охоплює з тих пір рослинництво і тваринництво.

Цей припис являє собою компроміс, до якого прийшли різні фермерські союзи органічного (біологічного, екологічного) сільського господарства держав-учасників ЄЕС. Воно містить в собі мінімальні стандарти для органічного сільського господарства, включаючи органічне тваринництво у всьому Європейському Союзі.

Кілька видів тварин ще не враховані в приписі ЄЕС (наприклад, риби, кролики) і мало специфіковані (наприклад, коні, кози). Ряд правил для виробництва ще не заповнені (наприклад, немає списку дозволених ліків для тварин), неточні і непрактичні. Тому правила будуть постійно

вдосконалюватися. Для пристосування підприємств до правил органічного тваринництва передбачені перехідні періоди, які заплановані до 2010 року. Існуючі на цивільно-правовій основі положення спілок органічного сільського господарства ЄС продовжують діяти. Найбільш важливими правилами і стандартами для органічного тваринництва є наступні: перехід підприємства на органічне сільське господарство. мінімальні кількості власних кормів підприємства. обмеження в годуванні, кормах і кормових добавках. обмеження в приміщеннях і пасовищах; суворі інструкції змісту для захисту тварин, списки недозволених ліків для тварин, інструкції з транспортування і забою тварин, специфічні інструкції по догляду; точний контроль дотримання правил.

Більш високі стандарти будь-якого фермерського союзу з органічного сільського господарства служать прикладом для інших союзів, а також для підприємств з органічного сільського господарства, які тримаються тільки за мінімальні стандарти.

Для визнання підприємства біопідприємством необхідне дотримання термінів переходу зі звичайного (традиційного) сільського господарства на органічне та проведення перевірки дотримання правил незалежними контролюючими організаціями щонайменше, раз на рік. Для цього кожне підприємство має державний контрольний номер, який служить також для присудження премій в рамках сприяння органічному землеробству.

При порушенні діючих правил та інструкцій передбачені санкції (штрафи), аж до позбавлення статусу біо-підприємства.

2. Переваги органічного тваринництва

В органічному тваринництві відмовилися від певних методів розведення, кормів і кормових добавок, які дозволені в звичайному тваринництві. Застосовуються заходи, відповідні природним умовам і сприяють збереженню здоров'я тварин. Якщо в органічному тваринництві заходи спрямовані на гуманне утримання тварин в природних умовах і сприяють збереженню

здоров'я тварин, то в звичайному тваринництві упор робиться на підвищення продуктивності.

Основні особливості органічного тваринництва:

1. Відповідає утриманню тварин (близьке до природних умов утримання даного виду тварин);
2. Органічне годування (без застосування синтетичних кормових добавок);
3. Органічне розведення (природне розведення);
4. Збереження здоров'я тварин.

Ці особливості знаходяться в тісному взаємозв'язку між собою. На основі цього розроблені стандарти і правила органічного тваринництва.

В органічному тваринництві, так як і в звичайному тваринництві головним завданням є виробництво продуктів харчування і сировини тваринного походження.

У зв'язку з цим тваринництво є мультифункціональною галуззю. Тваринництво відіграє центральну роль в органічному сільському господарстві. Велика частина органічних сільськогосподарських підприємств займається тваринництвом. У біолого-динамічному сільському господарстві (один з різновидів органічного сільського господарства) обов'язковою умовою є розведення великої рогатої худоби. Для органічного сільського господарства поряд з виробництвом продуктів харчування, сировини тваринного походження і нематеріальних послуг (тварини послуги) найбільше значення мають умови утримання тварин.

Тваринництво поставляє для землеробства гній, який служить цінним органічним добривом для рослин. Він є складовою частиною кругообігу речовин органічного підприємства.

Взаємодія тваринництва і рослинництва є складовою частиною сільськогосподарського організму. Кожне органічне сільськогосподарське підприємство повинно орієнтуватися на замкнуту цілісну систему, яка виробляє органічне добриво для рослинництва, яке виробляє корми для тварин.

3. Перехід зі звичайного тваринництва на органічне

Тільки після точно певного часу, після переходу зі звичайного на органічне виробництво господарство отримує статус біопідприємства. Протягом цього періоду рослинництво і тваринництво функціонує в рамках правил органічного сільського господарства. Однак вироблені корми ще не можуть вважатися екологічно чистими (Біокорм) і продукція тваринництва також не має статусу біологічної. Через один рік після переходу продукти маркуються, як вироблені на підприємстві, що знаходиться в стані переходу на органічне виробництво. Лише після закінчення двох років продукція рослинництва отримує позначення виробленої в органічному сільському господарстві.

Проходження перехідного періоду підтверджується незалежною контролюючою організацією. Протягом часу переходу надаються більш високі державні премії, ніж з часом переходу зі звичайного на органічне тваринництво. Величина премії встановлюється країнами самостійно і тому різна в різних країнах.

Приклад переходу на органічне виробництво молока. Вже після 15-місячного терміну переходу на органічне господарство молоко може вважатися біомолоком і продаватися по екоприпису ЄС.

Припис ЄС допускає перехід на органічне виробництво тільки частини підприємства. Наприклад, перехід на органічне тваринництво і збереження звичайного (традиційного) рослинництва або переклад молочної худоби на органічне виробництво продукції і збереження традиційного змісту свиней. Однак бажаним все ж є переклад всіх галузей підприємства на органічне господарювання. Це означає, наприклад, що підприємство повинно переводити на органічне виробництво все молочне стадо, включаючи і всі сільськогосподарські угіддя, призначені для виробництва корму. Дві галузі підприємства – одна органічна, інша звичайна – не повинні перекриватися і стикатися. Тільки якщо підприємство має два чітко лежать на відстані один від

одного структурних підрозділи (наприклад, ферму і сільськогосподарські угіддя) і ясне відділення одного від іншого може документуватися, підприємство може займатися як звичайним, так органічним виробництвом продукції.

При переході зі звичайного на органічне сільське господарство можуть виникати дві ситуації:

1. Одночасний перехід всього підприємства (тваринництва і рослинництва): в цьому випадку перехід триває щонайбільше 24 місяці. При годуванні тварин кормами власного виробництва, час переходу починається після останнього годування звичайними кормами. Час збирання останнього врожаю кормових при звичайному рослинництві має підтверджуватися незалежними контролюючими організаціями. Час переходу може зменшуватися на рік для сільськогосподарських угідь, які використовуються травоїдні тваринами (курки, свині). Як виняток, можливо скорочення терміну переходу на 6 місяців, якщо контролюючою організацією підтверджується, що в недавньому минулому (приблизно 6 місяців) ніякі заборонені засоби в тваринництві та для виробництва кормів не застосовувалися.

2. Перехід на органічне виробництво тільки рослинництва або тваринництва. При неодноразовому переході кормовиробництва і тваринництва виникає необхідність в додатковій покупці кормів або тварин з органічних підприємств. В цьому випадку потрібно встановлювати специфічні для кожного виду тварин і специфічні для використання продуктів від них терміни переходу на органічне господарство.

В даний час фермерськими союзами органічного сільського господарства і «IFOAM» просуваються правила, які вимагають переходу всього підприємства і не дозволяють існування паралельно звичайного і органічного сільського господарства.

4. Розведення і селекція в органічному тваринництві

У тваринництві прагнуть отримати тварин, що відповідають інтересам тваринників. При цьому в стаді відбираються ті тварини, які краще відповідають цілям селекції. Ці тварини використовуються в подальшому розведенні.

На сьогоднішній день в світі налічується приблизно 5500 різних порід сільськогосподарських тварин, які розводяться в різних кліматичних умовах – від тропіків до Заполяр'я, при екстенсивних та інтенсивних умовах розведення. Наприклад, в Німеччині розлучається близько 35 різних порід овець, які вирощувалися для різних типів ландшафту і напрямів продуктивності.

В останні десятиліття стає не настільки важливою пристосованість тварин до локальних умов зовнішнього середовища (місцевого клімату, кормів, хвороб). Цілорічне утримання в приміщеннях, сприятливий клімат, ветеринарні препарати та оптимізоване годування дозволяли однобічний розвиток в сторону максимальної продуктивності, яка не була б можливою в природних умовах навколишнього середовища і харчування.

Це однобічний розвиток для отримання максимуму продукції від тварин було так успішно, що на сьогодні майже всі види сільськогосподарських тварин складаються з небагатьох високопродуктивних порід і ліній. Менш продуктивні аборигенні породи знаходяться під загрозою зникнення.

В органічному тваринництві умови зовнішнього середовища знову знаходять велике значення. Аборигенні тварини не вимагають такої великої кількості концентрованих кормів в раціонах. У них обмежується ветеринарне втручання. Вони вільно випасаються на пасовище, поїдаючи звичні корми.

В органічному тваринництві деякі ознаки тварин важливіше, ніж при звичайному змісті: наприклад, здоров'я, довголіття, енергійність, соціальна поведінка, материнський інстинкт або невимогливість до умов утримання і годівлі. Культурні породи тварин, які відрізняються високою продуктивністю, також представляють інтерес для органічного тваринництва. Тварини

аборигенних порід не досягають такої високої продуктивності. Можливе проведення схрещування заводських високопродуктивних порід з аборигенними для отримання так званого ефекту гетерозису. Помісі, отримані від таких схрещувань, мають більш високі показники продуктивності, ніж обидві батьківські породи, які беруть участь в схрещуванні (в середньому). Чим більше різниця в продуктивності між породами, тим більший ефект гетерозису. Це використовується, наприклад, при гібридизації – крайній формі схрещування, коли схрещуються тварини не тільки різних порід, але і видів.

Проблеми подальшого схрещування полягає в тому, що помісі можуть втратити свої особливості, і у них може не виявитися ефект гетерозису.

Метою в екологічному тваринництві є власне розведення тварин. Купівля тварин зі звичайних підприємств (не органічною) жорстко регламентована і має протікати згідно з приписом еко-ЄС 2003 року.

На продуктивність тварин, крім спадкових задатків (генотипу), великий вплив мають умови навколишнього середовища (годування і утримання). Таким чином, часто тварини не досягають такої високої продуктивності в органічному тваринництві, який би могли досягти у звичайних інтенсивних умовах годівлі та утримання, як в звичайному тваринництві.

Це особливо відноситься до високо-продуктивним тваринам, які зазвичай показують невисоку продуктивність за умов органічного тваринництва.

Органічне тваринництво має враховувати умови навколишнього середовища підприємства, що займається органічним сільським господарством. При цьому для тварин важливі такі показники: величина зростання; характер розвитку (скоростиглість, пізньоспілість); можливості споживання корму (велике споживання об'ємистих кормів); можливості відкладання жиру (у вигляді резерву, для подолання періоду нестачу кормів).

Розведення всередині господарства завжди орієнтоване на місцеві виробничі умови. Тварини, народжені в господарстві, пристосовані до місцевих умов, соціальній структурі стада, умов розведення. При цьому вироблена толерантність зменшує ризик стресу і хвороб. Крім того, власне розведення

скорочує витрати на покупку тварин.

Однак в деяких випадках потрібна додаткова покупка племінних тварин. В першу чергу, для запобігання близькоспорідненого розведення необхідна регулярна ротація виробників (раз в 2 роки). Для цього потрібно обмінюватися виробниками з іншими органічними підприємствами. Також покладено покупка племінних тварин. Купувати теж потрібно в органічних підприємствах, переважно знаходяться в схожих умовах навколишнього середовища, для того, щоб тварини вже були пристосовані до даних умов господарства. Тільки у виняткових випадках можна купувати тварин зі звичайних господарств. При всіх умовах потрібно обережати здоров'я тварин і захищати їх від епізоотій.

Тварини повинні бути пристосовані до умов органічного сільського господарства, здоровими та продуктивними. Таким чином, потрібно переважно розводити тварин, пристосованих до даних умов середовища порід і ліній, а не погано пристосованих заводських порід. Купуватися тварини повинні, як правило, з інших органічних підприємств. Тварини зі звичайних підприємств можуть бути введені в стадо тільки у вигляді винятків, при особливих умовах і тільки з дозволу контролюючої організації. Винятки можливі, якщо: за достовірними джерелами немає в розпорядженні тварин з органічних господарств; відбувається відновлення поголів'я після масової загибелі тварин внаслідок епідемії і т. д.; тварини купуються для природного збільшення і оновлення поголів'я. Це може бути молодняк (самки, які ще не приносили потомство) з підприємств звичайного змісту. У великих стадах максимально дозволеним їх кількістю є у великої рогатої худоби і коней 10%, у свиней, кіз і овець – 20% від загального поголів'я стада. У маленьких стадах (10 голів великої рогатої худоби або коней і, відповідно, 5 свиней, кіз або овець) максимально можливе введення однієї тварини на рік. При значному збільшенні поголів'я, зміні породи і при створенні нової лінії, сімейства або породи як виняток допускається введення до 40%; племінні тварини – самці-виробники можуть купуватися зі звичайних господарств, оскільки після введення в стадо вони містяться за правилами органічного змісту. Всі тварини,

що відбуваються зі звичайних стад, повинні проходити перехідний період, перш ніж їх продукти можуть позначатися як «біо» та, відповідно, «еко».

При додатковій покупці тварин зі звичайного підприємства потрібно звертати увагу на наступне: курки-несучки для виробництва яєць повинні бути не старше 18-тижневого віку; курчата-бройлери повинні бути не старше 3-денного віку; телята і лошата повинні бути не старше 6-місячного віку; ягнята і козенята повинні бути не старше 45-денного віку; поросята повинні мати живу масу менше 25 кг.

Органічне годування має покривати потреби тварин в різні вікові періоди. Відгодівлю (проте без примусового годування) дозволений, якщо він може закінчуватися в будь-який час без прояву недоліків і порушень у тварин.

В органічному годуванні тварин за приписом «2092/91 / ЄС» дозволені тільки корми, приготовані за правилами органічного сільського господарства.

Синтезовані амінокислоти і м'ясо-кісткове борошно категорично заборонені. Корми з генно-модифікованими рослинами і тваринами теж заборонені. Однак синтезовані вітаміни, ідентичні природним, дозволені в годуванні тварин, але тільки, якщо необхідність в них на підприємстві підтвердить контролююча організація.

Корми для тварин згідно з приписом «2092/91 / ЄС» повинні бути бажано власного виробництва, але не обов'язково. Корми можуть купуватися, але тільки в біо-підприємств. Відповідно до припису «2092/91 / ЄС» корми повинні бути на 60% власного виробництва і на 40% можуть бути придбані у перехідних підприємств. Допускається годування певними невеликими кількостями звичайних кормів, але тільки у вигляді винятків. Також можуть використовуватися кормові добавки, вироблені в звичайному тваринництві, але тільки для певної мети. Вони повинні проводитися без хімічних компонентів.

Антибіотики, інші синтетичні ліки, стимулятори росту і продуктивності заборонені до застосування в годівлі тварин. Не можна використовувати в приготуванні корму генетично модифіковані організми (ГМО).

Окремі союзи біо-підприємств мають ще більш жорсткі правила до кормів

і годівлі, ніж в приписі ЄС. Для виведення тваринництва з кризи, пов'язаної з кормовим лихом, з 2001 року фермерські союзи ековиробників «Bioland» і «Demeter» повністю відмовилися від кормів, вироблених на звичайних підприємствах. За приписом ЄС, з 2005 року всі органічні підприємства повинні годувати тварин тільки кормами, виробленими на органічних підприємствах. Молоді тварини повинні годуватися молоком матерів. Телята і лоша повинні годуватися молоком матерів мінімум 3 місяці, ягнята і козенята – мінімум 45 днів. Молочні замітники цільного молока на рослинній основі не дозволені. Сухе молоко не повинно містити ніяких інших добавок. Утримання молодняку після закінчення молочного періоду має відбуватися на пасовище, а не в приміщенні. Звичайно, при цьому необхідно враховувати земельні та погодні умови.

Раціон жуйних тварин повинен складатися мінімально на 60% з об'ємистих кормів, багатих на клітковину. Контролюючі організації можуть дозволяти для високопродуктивних корів протягом перших 3 місяців після отелення лише 50% об'ємистих кормів, щоб збільшити частку концентрованих для запобігання нестачі в енергії і протеїні. Силос не може використовуватися як єдиний об'ємистий корм, його необхідно поєднувати з сіном доброї якості. Домашня відгодівельних птах повинна отримувати раціон з включенням не менше 65% зерна. Примусове годування принципово заборонено. Об'ємні корми (сіно і силос) потрібно включати в раціон свиней і домашньої птиці.

Для приготування силосу використовуються тільки дозволені допоміжні матеріали і концентрати.

Лекція 4

Особливості виробництва органічної продукції

1. Законодавче забезпечення та нормативно-правова база
2. Сертифікація органічної продукції
3. Маркування органічної продукції
4. Правила поводження з органічними продуктами

1. Законодавче забезпечення та нормативно-правова база

Експерти сходяться на тому, що регулювання органічного сектора на його початковому етапі має допомогти розвитку органічного виробництва і споживання органічних харчових продуктів. На даний час в Україні здійснюється розробка відповідної законодавчо-нормативної бази, що регулює сферу виробництва, переробки, збуту та споживання органічної продукції. У травні 2007 року проект Закону України «Про органічне виробництво» прийнято Верховною Радою України у першому читанні. Цей закон визначає правові, економічні, соціальні та організаційні основи ведення органічного сільського господарства, порядок затвердження вимог щодо вирощування, виробництва, перероблення, сертифікації, етикетування, перевезення, зберігання та реалізації органічної продукції та сировини і спрямований на забезпечення раціонального використання ґрунтів, охорону здоров'я населення та довкілля.

Передбачається, що закон буде регулювати органічне виробництво і торгівлю, забезпечуючи: мінімальний набір принципів виробництва і переробки, яких потрібно дотримуватися, щоб продукцію можна було позначити ярликом «органічна»; обов'язковий режим інспектування для поставок органічних продуктів на ринок збуту, незалежно від того, чи є вони з України, чи імпортовані; законодавчий захист марки «органічний продукт» та державного логотипу для маркування та ідентифікації органічних продуктів.

Закон надає органічному сектору легальної визначеності (легітимності), а його технології виробництва отримують офіційне визнання. Це дозволить сектору чітко визначити себе перед споживачами і гарантувати, що органічні продукти, що надходять на ринок, заслуговують на довіру і є справді органічними з відповідними перевагами для споживання, особливо як здорові продукти харчування. Таким чином, законодавче регулювання допоможе органічному секторові знайти своє місце на ринку, забезпечить його визнання харчовою індустрією та ланками розподілу, включаючи супермаркети та загального споживача.

Закон повинен захистити і сільськогосподарських товаровиробників та дозволить справедливую конкуренцію їх з іншими виробниками у межах України та в інших державах. Подібний клімат протекціонізму буде стимулювати сільськогосподарських товаровиробників вдаватися до заходів, необхідних для конверсії (переходу) на органічне виробництво. Це також сприятиме розвитку органічного сектора за рахунок майбутньої фінансової підтримки у формі державних субсидій та стимулювання впровадження ґрунтозахисних технологій та агроекологічних програм.

Щоб гарантувати якість продукції споживачеві, варто було б щоб уповноважена державна інституція чи відповідний орган державної влади запровадили систему державного маркування органічної продукції (відповідний державний знак або символ), присвоєння котрого було б обов'язковим для органічних виробників, переробних підприємств та продавців.

Правове регулювання у сфері органічного виробництва має здійснюватися відповідно до Конституції України та Законів України «Про органічне виробництво», «Про безпечність та якість харчових продуктів», іншими нормативно-правовими актами, які приймаються відповідно до них.

Проект Закону України «Про органічне виробництво» передбачає розподіл повноваження органів державної влади у сфері органічного виробництва, а також визначення основних засад державної політики у сфері органічного виробництва.

У статті 3 проекту Закону зазначається, що держава визнає органічне сільськогосподарське виробництво та виробництво органічних продуктів харчування пріоритетним напрямком розвитку національної економіки та стратегії суспільного розвитку, оскільки воно сприяє гармонійному розвитку національної економіки держави, вирішенню економічних, соціальних та екологічних проблем суспільства, збереженню національних культурних традицій, довкілля та здоров'я населення.

Усі органи державної влади, відповідальні за розробку, прийняття і впровадження стратегії суспільного розвитку, національної аграрної політики, державних програм розвитку сільського господарства і сільської місцевості та нормативно-правових актів, затверджених Верховною Радою України, Кабінетом Міністрів України, відповідними міністерствами та відомствами, зобов'язані враховувати пріоритетний розвиток органічного виробництва та виробництва органічних продуктів харчування.

Згідно із проектом Закону державна політика у сфері органічного виробництва спрямована на досягнення таких стратегічних цілей: забезпечення людині права на високоякісне харчування, яке сприяє створенню здорових умов для її життя та нормального розвитку, поліпшенню демографічної ситуації в Україні, а також враховує особливості національної культури; створення умов для перетворення органічного сільськогосподарського виробництва на високоефективне, конкурентоспроможне на внутрішньому та зовнішньому ринках виробництво; забезпечення умов збільшення експорту органічної сільськогосподарської продукції, сировини та сертифікованих органічних продуктів харчування; створення ринкового, конкурентоспроможного, ефективного органічного сільськогосподарського сектору; забезпечення належних умов життя для сільських жителів, включаючи задоволення їх соціальних, економічних та культурних потреб; створення сприятливих умов для розвитку внутрішнього ринку органічної продукції, кращого задоволення потреб українських споживачів органічною продукцією, виготовленою в місцевих умовах; забезпечення збереження природного довкілля, відтворення і

раціонального використання природних ресурсів.

Згідно із статтею 4 проекту Закону для досягнення стратегічних цілей щодо розвитку органічного виробництва в Україні держава ставить наступні завдання: розробити та затвердити Кабінетом Міністрів України державну стратегію розвитку органічного виробництва у вигляді Державної програми розвитку органічного виробництва в Україні (Національного плану дій); сформувати цілісну систему розвитку органічного сектора в Україні, включаючи технічні регламенти, виробництво органічної продукції та сировини, її переробку, сертифікацію, збут, маркування, що базується на міжнародних принципах, і перш за все постановах та стандартах ЄС та IFOAM; створити державну систему сертифікації та відповідних уповноважених органів сертифікації органічного виробництва та переробки органічної продукції та сировини, що є еквівалентними міжнародним стандартам; впровадити економічне стимулювання органічного сільськогосподарського виробництва, а також інших заходів, спрямованих на здешевлення та підвищення якості органічної продукції та сировини вітчизняного виробництва; забезпечити державну підтримку розвитку органічного агровиробництва в Україні шляхом надання фінансової підтримки виробникам та переробникам органічної продукції на відшкодування вартості послуг сертифікації та втрат під час перехідного періоду, запровадження системи додаткового відшкодування кредитних ставок за позиками, взятими в комерційних банках, кредитних спілках та інших операторів фінансових послуг, запровадження низького рівня оподаткування виробників та переробників органічної продукції та надання неприбуткового статусу для органів сертифікації; запровадити державний нагляд під час вирощування, виробництва, перероблення, маркування, перевезення, зберігання та реалізації органічної продукції та сировини, а також за діяльністю органів органічної сертифікації; запровадити систему відшкодування збитків, заподіяних порушенням законодавства України про органічне виробництво; забезпечити доступ до здійснення сертифікації органічного агровиробництва підприємств та організацій як державної, так і

недержавної форми власності, юридичних та фізичних осіб-суб'єктів підприємницької діяльності, резидентів та нерезидентів України; забезпечити залучення широкого кола представників зацікавлених сторін, державного, приватного та громадського сектора до створення кооперативної системи управління органічним сектором, в якому виробники органічної продукції є співвласниками цієї системи, створення умов для кращого поширення інформації про органічне виробництво, органічну продукцію, систему гарантій та контролю; створити Громадські Ради з питань органічного виробництва при Кабінеті Міністрів України та центральному органі виконавчої влади з питань аграрної політики, як консультативних інституцій, що співпрацюють на добровільних засадах з представниками державної та місцевої влади, громадських організацій, з відповідними структурою та повноваженнями; організувати тісну співпрацю органів державної та місцевої влади, місцевого самоврядування з представниками виробництва органічної сільськогосподарської продукції, об'єднаннями гуртових покупців, переробними підприємствами, сільськогосподарськими товаровиробниками та іншими громадськими організаціями, науковими, освітніми та консультативними центрами з метою реалізації політики підтримки розвитку органічного сектора України.

Органічне сільськогосподарське виробництво та виробництво органічних продуктів харчування здійснюється згідно із певними правилами, які ще називають стандартами.

Основні міжнародні стандарти (правила) органічного виробництва:

1 Стандарти Європейського Союзу (Постанова Ради (ЄЕС) № 2092/91 про органічне виробництво та інші рішення стосовно виробництва сільськогосподарської продукції та продуктів харчування);

2 Міжнародні. Базові Міжнародні Стандарти органічного виробництва та переробки продукції, ухвалені IFOAM (Міжнародною Федерацією Руху за Органічне Сільське Господарство);

3. Стандарти Комісії з Кодекс Аліментаріус, прийняті спільно FAO

(Організацією з продовольства та сільського господарства при ООН) і ФАО/ВОЗ Комісії з Кодекс Аліментаріус WHO (Всесвітньою організацією з охорони здоров'я).

Обов'язкові державні стандарти Міжнародні стандарти визначають мінімальні вимоги до органічного агровиробництва, які спрямовані на встановлення системи стандартів для державних та приватних органів сертифікації. Тому, їх можна вважати стандартами для стандартів.

Ці вимоги можуть використовуватись для створення національних державних правил. Більшість національних стандартів (наприклад, у країнах ЄС, Японії, Аргентині, Індії, США) представлені у вигляді постанов, які є юридично пов'язаними. В Україні експертами завдяки підтримки Проекту БІСТРО-2003 Програми TACIS ЄС та Канадсько-української програми FARM підготовлено проекти відповідних стандартів, які називаються «Правилами органічного виробництва та сертифікації», що охоплюють увесь процес виробництва, переробки, пакування продукції тощо.

Місцеві стандарти, укладені на добровільних засадах. У деяких країнах, наприклад Німеччині, Швеції, Великобританії, окремі органи сертифікації запровадили власні стандарти, які нерідко є більш суворими, ніж загальноприйняті. Така процедура здійснюється у відповідь на особливі вимоги споживачів. Хоча вони не є обов'язковими, приватні органи сертифікації можуть бути більш вимогливими, ніж це передбачено законом.

На даний час в Україні також розроблено приватні стандарти органічного сільськогосподарського виробництва та маркування сільськогосподарської продукції і продуктів харчування «БІОЛан». Стандарти розроблено робочою групою в складі спеціалістів швейцарсько-українського проекту «ЕкоФінЛан» та Асоціації «БІОЛан Україна» під керівництвом Василя Пиндуса. В основу їх покладено Базові Стандарти Міжнародної федерації органічного сільського господарства (IFOAM), Постанову Ради (ЄЕС) №2092/91 стосовно органічного виробництва сільськогосподарських продуктів та вказівок на таке виробництво сільськогосподарської продукції та продуктів харчування, а також Стандарти

БІО СВИСС (Асоціації Швейцарських організацій виробників органічної продукції).

Згідно із проектом Закону України про органічне виробництво, правила органічного виробництва – нормативний документ, який регламентує технологічні процеси виробництва, переробки, маркування, зберігання, реалізації органічної сільськогосподарської продукції та сировини рослинного і тваринного походження.

Проектом Закону також передбачається здійснювати державний нагляд за дотриманням виробниками правил органічного виробництва. З цією метою передбачається здійснювати державний нагляд за органами сертифікації – діяльність уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань аграрної політики щодо здійснення державного нагляду та контролю за іноземними, державними та приватними органами сертифікації з метою дотримання ними правил проведення процесу сертифікації виробників, а також відповідних технічних регламентів фізичними та юридичними особами, які здійснюють вирощування, виробництво, перероблення, маркування, перевезення, зберігання та реалізацію органічної продукції та сировини.

Правила органічного виробництва базуються на основних принципах органічного сільськогосподарського виробництва, затверджених IFOAM (Міжнародною федерацією руху за органічне сільськогосподарське виробництво). Ці принципи також включені до проекту Закону України про органічне виробництво. Основними з них є такі:

- забезпечення збереження та відтворення родючості ґрунтів методами, які оптимізують біологічну активність ґрунтів, забезпечують збалансоване постачання поживних речовин для рослин, зберігаючи водночас земельні та інші природні ресурси, які використовуються при веденні органічного сільськогосподарського виробництва;
- забезпечення сталого розвитку сільськогосподарського виробництва шляхом повторного використання залишків рослин та відходів тваринництва, що є центральною ланкою стратегії удобрення;

- підвищення саморегуляції та стійкості природних процесів для боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами через використання різноманітних взаємозалежних форм життя; а також селекції культур, сівозмін, сидератів, регулювання зрошування, обробітку ґрунту, використання біологічних препаратів тощо;

- відмова від використання генетично модифікованих організмів чи продуктів та речовин, які походять з них;

- запобігання забрудненню довкілля;

- заборона використання пестицидів та агрохімікатів, отриманих шляхом хімічного синтезу;

- гарантоване забезпечення всім сільськогосподарським тваринам умов утримання, що відповідним чином враховують основні аспекти їхнього природного поведіння;

- забезпечення раціонального використання та належної охорони водних ресурсів;

- розвиток цінних і сталих водних екосистем та всіх форм життя в них; підтримка і розширення біологічних циклів у системі ведення господарства і переробки, включаючи мікроорганізми, земну флору і фауну, рослини та тварини;

- збереження генетичного біорізноманіття виробничих систем та їхнього оточення, включаючи захист рослин, диких птахів і тварин;

- гармонійна рівновага між рослинницькою і тваринницькою галузями виробництва.

Органічна продукція сільськогосподарського, лісового чи водного походження може бути вироблена на будь-яких землях сільськогосподарського, лісового чи водного використання, де немає жодних обмежень щодо санітарних зон, на яких сільськогосподарська продукція (сировина) чи вироблені з них органічні продукти харчування не можуть бути вироблені через причини безпеки сільськогосподарської продукції.

Усі сільськогосподарські товаровиробники, переробні підприємства та

інші оператори органічного виробництва, незалежно від місця розташування, виду власності та організаційно-правових форм мають бути поставлені в однакові умови. Не дозволяється жодних проявів дискримінації.

Рішення про можливість переходу того чи іншого господарства на органічний метод господарювання приймають уповноважені органи сертифікації, які діють у суворій відповідності з правилами органічного виробництва та сертифікації.

За підтримки Програми TACIS ЄС (Проект Бістро-2003) та Канадсько-української програми FARM в рамках виконання проектів «Розвиток органічного агровиробництва в Україні» та за участі робочих груп, створених при Міністерстві аграрної політики України було підготовлено та обговорено проекти нормативних документів, що містять правила органічного виробництва рослинницької продукції, правила для виробників сертифікованої органічної тваринницької продукції, положення про порядок сертифікації органічного сільськогосподарського виробництва, а також порядок затвердження та здійснення державного нагляду за органами сертифікації органічного агровиробництва.

Проект державних нормативів (правил) органічного виробництва рослинницької продукції (надалі Правила) надає опис вимог щодо виробництва, перевезення, зберігання органічної продукції. Продукти, які відповідають вимогам, висвітленим у цій збірці, можуть вважатися органічними продуктами та мати відповідне позначення (маркування), що свідчить про органічний спосіб їх виробництва.

У правилах передбачені відповідні вимоги щодо охорони довкілля та дотримання відповідних рівнів забруднення:

- при веденні органічного виробництва потрібно з увагою ставитися до охорони довкілля та забезпечувати відповідну якість врожаю;
- органічні господарства не можуть функціонувати у зонах із забрудненим довкіллям, також не дозволяється спричиняти таке забруднення при веденні органічного виробництва. Тому органи сертифікації мають

оцінювати умови, в яких перебуває довкілля та рівень забруднення. В разі, якщо існує загроза забруднення, орган сертифікації має провести відповідний аналіз ґрунтів, води та продуктів;

- в разі, якщо господарства – виробники, знаходяться недалеко від джерела забруднення, орган сертифікації повинен оцінити рівень забруднення та підготувати певні заходи щодо зменшення його рівня;

- в разі, якщо господарства – виробники знаходяться поблизу територій, де використовуються хімічні речовини чи добрива (за винятком тих, що дозволені), необхідно обговорити можливі заходи щодо захисту від забруднення всіх сертифікованих територій та культур, що там знаходяться. Поля з органічним виробництвом повинні бути відокремлені від забруднених територій природними бар'єрами шляхом створення дренажу чи водного джерела, або залишенням незасіяних розмежувань буферних смуг тощо;

- не дозволяється будь-який прямий чи непрямий контакт органічної сільськогосподарської продукції із матеріалами та речовинами, використання яких заборонено в органічному виробництві та харчовій промисловості. У разі, якщо існують сумніви стосовно осаду чи небезпечних речовин, орган сертифікації повинен провести відповідний аналіз;

- у господарствах, що виробляють органічну продукцію, необхідно уникати знищення органічних речовин шляхом спалювання (наприклад, соломи);

- господарствах, що займаються виробництвом органічної продукції, вміст важких металів у засобах, що використовуються для поліпшення ґрунтів та добривах не може перевищувати рівень, дозволений вимогами законодавства України;

- дозволяється використовувати поліетиленову, поліпропіленову та інші тонкі плівки, в якості захисного покриття чи для інших цілей. Використану плівку необхідно вилучити з ґрунтів, забороняється знищувати матеріали вищезазначеного типу шляхом спалювання;

- погोलів'я худоби в органічних господарствах встановлюється

відповідно до площі земельних угідь, з метою запобігання деградації ґрунту, забруднення поверхневих чи підземних вод. Частка азоту у добривах не може перевищувати 170 кг/га. сільськогосподарських угідь на рік;

- орган сертифікації може анулювати сертифікат виробника органічної продукції, у випадку, якщо у водах чи ґрунтах господарства виявлена частка залишкових чи небезпечних речовин більша за ту, яка є дозволеною згідно із законодавством України.

2. Сертифікація органічної продукції

Для функціонування світових ринків органічної продукції та розвитку органічного сільського господарства надзвичайно велику роль відіграє гарантійна система, яка включає певні стандарти, а також установи з інспекції та сертифікації. Ця система забезпечує відповідність органічним стандартам усього процесу аграрного виробництва та переробки сільськогосподарської сировини до рівня кінцевої продукції, включно з її упаковкою та маркуванням. Таким чином, *сертифікація органічної продукції* представляє собою процедуру підтвердження відповідності, за допомогою якої незалежна від виробника організація засвідчує в письмовій формі, що продукція відповідає встановленим вимогам.

Система сертифікації органічної продукції відрізняється від систем сертифікації якості іншої продукції, оскільки в даному випадку спеціальний аналіз продуктів не застосовується при визначенні походження продуктів, однак, оцінюють спосіб та весь процес виробництва, починаючи від умов довкілля, підготовки ґрунту до постачання продукції споживачам.

Система сертифікації охоплює весь ланцюг просування органічних продуктів від виробника до споживача (від поля до столу), включаючи контроль процесу виробництва продукції на полі, її первинну обробку, пакування, сортування, доочистку, миття тощо, а також процес переробки органічної сировини та виготовлення готових харчових продуктів,

транспортування, зберігання та продаж продукції. В основу тієї чи іншої сертифікації органічної продукції кладуться бізнесові стандарти та/або правові норми. Стандарти є добровільними угодами – результатом досягнення певного консенсусу споживачів та виробників товарів та послуг, тоді як правові норми встановлюють обов'язкові вимоги, які використовуються для державного регулювання. Змішаним варіантом є державне регулювання, яке базується на бізнесових стандартах. У сучасному світі переважає тенденція до заміни правових норм щодо органічної продукції стандартами, оскільки останні – простіші у застосуванні та легше піддаються міжнародній гармонізації, а також через політику регулювання, яка здійснюється в багатьох країнах.

Провідну роль у формуванні стандартів та міжнародній акредитації установ, які займаються сертифікацією органічної продукції на відповідність цим стандартам, відіграє Міжнародна федерація органічного сільського господарства (IFOAM) – міжнародна неурядова організація. Ще в 1980 р. Федерація сформулювала перші «Базові стандарти IFOAM щодо органічного виробництва та переробки», а згодом почала здійснювати оцінку сертифікаційних установ на врахування ними зазначених базових стандартів, використовуючи для цього розроблений нею «Акредитаційний критерій IFOAM».

Сьогодні ці базові стандарти та акредитаційні критерії, які були вдосконалені в результаті тривалих та інтенсивних консультацій, широко визнані в світі, зокрема зареєстровані як «міжнародні стандарти 180». Базові стандарти IFOAM фактично виконують функцію «стандартів для стандартів», дозволяючи різні варіації, і тому покладені в основу як багатьох стандартів у приватному секторі, так і державного регулювання в різних країнах, зокрема Директиви ЄС 2092/91 «Про екологічне землеробство».

Європейський стандарт включає в себе: вимоги до рослин і ділянок землі, які використовуються для вирощування продукції, кормів або в якості пасовищ; вимоги до тварин, їх походженню, кормам, профілактиці захворювань, методам утримання худоби, транспортуванню, приміщенням для утримання худоби,

максимальне навантаження кількості тварин на ріллю і мінімальні площі для утримання тварин; вимоги до кормів, кормовим добавкам для тварин, речовинам і матеріалам, що використовуються в якості добрив, засобам захисту рослин і боротьби зі шкідниками, для очистки та дезінфекції тваринницьких приміщень та ін.; вимоги до інспекційних органів і до процесу інспектування сільськогосподарського підприємства, порядок і періодичність інспекційних перевірок; вимоги до упаковки та маркуванню готової продукції.

Іншими аналогічними національними стандартами є американська національна органічна програма (USDA), японські екологічні стандарти JAS, екологічні регламенти в Швейцарії, Ізраїлі, Аргентині, Чехії, Болгарії і Австралії, а також приватні стандарти екологічного виробництва, такі як Demeter, Naturland, Bioland, Geae, Ekowin та ін.

Використання розробок IFOAM як основи для державного регулювання органічної продукції в певній країні дозволяє вирішити проблему⁷ міжнародної узгодженості, суттєво спрощує національне законодавство, заощаджує ресурси і кошти та дозволяє уникнути багатьох перешкод для виробників. Можливими варіантами цього є включення до законодавства посилань на базові стандарти та акредитаційний критерій IFOAM, визнання акредитації IFOAM для роботи сертифікаційних установ в країні

IFOAM має програму добровільної міжнародної акредитації сертифікаційних установ - як членів IFOAM, так і установ, які не входять до числа її членів. Усі органи сертифікації мають бути акредитованими згідно із відповідними стандартами. Це гарантує, що орган є незалежним, прозорим та надійним. Існують три види акредитації: національна акредитація від Національного інституту акредитації; акредитація IFOAM; державний інститут акредитації.

Акредитація, побудована на базових стандартах й акредитаційному критерії IFOAM, проводиться незалежною компанією IOAS, заснованою Федерацією. На сьогодні в IOAS вже акредитовано або знаходяться в процесі акредитації понад 30 сертифікаційних установ із США, Європи, Японії,

Австралії, Китаю, країн Латинської Америки і т. д., на які припадає близько 50-60% світового обсягу сертифікаційних послуг. Між акредитованими IOAS установами діє багатостороння угода, а також двосторонні угоди, які забезпечують взаємне визнання їхніх сертифікацій.

В Європейському Союзі державне регулювання в сфері органічної продукції здійснювалося до 31 грудня 2008 р. нормами Директиви ЄС 2092/91. Ця Постанова здійснила наступне: визначила загальні рамки і принципи органічного сільського господарства, вимоги до процесу виробництва сільськогосподарської продукції, її переробки та виготовлення харчових продуктів, ознаки і маркування органічної продукції; скасувала національне регулювання і створила єдиний ринок органічної продукції; започаткувала систему інспекції/контролю органічної продукції, в тому числі при її імпорті в країни ЄС; відкрила ринок органічної продукції в ЄС для імпорту з «третіх країн».

З 01 січня 2009 р. вступили в дію нові Стандарти ЄС, затверджені Постановою Ради (ЄС) № 834/2007 від 28.06.2007р. щодо органічного виробництва та маркування органічних продуктів і скасування Постанови (ЄС) № 2092/91. Ці регулювання Європейського Союзу можна назвати законом про органічні стандарти в рамках ЄС. Для того, щоб органічна продукція могла продаватися в країнах ЄС, відповідні організації, які проводять сертифікацію мають керуватися згаданими стандартами. Вищезгадані нормативні документи були підготовлені та видані українською мовою Федерацією органічного руху України в серії «Нормативне регулювання» під назвою «Довідник стандартів ЄС щодо регулювання органічного виробництва та маркування органічних продуктів».

Система сертифікації є формальною та документальною процедурою, під час якої третя сторона гарантує, що у створенні продукту було дотримано стандартів органічного виробництва. Система сертифікації сприяє довірі споживачів до органічної продукції. Також полегшує вихід продукції на ринок.

Систему сертифікації представляє третя, незалежна, сторона. Вона

здійснює сертифікацію та контроль окремо від операторів (фермерів, торговців, тих, хто займається переробкою продукції, імпортерів), залучених до обігу органічної продукції. Система сертифікації, залежно від права власності на органи контролю може бути державною чи приватною. Окрім цього, в деяких країнах можуть співіснувати обидві системи (напівдержавна, напівприватна). Державна система контролю характерна для таких країн, як Данія, Фінляндія. Естонія Приватна система сертифікації є у Франції, Німеччині, Чехії, Італії, Нідерландах, Швеції, Латвії та інших країнах.

Державні органи контролю також мають дотримуватись вимог згідно із стандартами ЄН 45011 та не повинні отримувати дозвіл від відповідних органів державної влади. Але їх відповідальність за контроль процесу органічного агровиробництва визначається відповідними нормативно-правовими актами. Уповноваженим органом у сфері органічного агровиробництва є Міністерство сільського господарства.

Міністерство має право делегувати повноваження іншим установам, що йому підпорядковуються.

Приватні органи контролю, згідно із стандартами органічного агровиробництва (IFOAM, ЄС) мають отримати дозвіл відповідних державних органів та мають дотримуватися вимог згідно із стандартами ЄН 45011 «Основні вимоги до органів сертифікації».

Сертифікація проводиться не менше одного разу, а в більшості випадків двічі на рік і сертифікат є дійсним на протязі 1 року. Наступного року вже слід проводити повторну сертифікацію. Адже, якщо господарство пропрацювало один рік без використання хімічних засобів, то це не є гарантією того, що в наступному році воно не використає не дозволені препарати.

Сертифікуються всі ланки діяльності господарства – поля, луки, тваринницькі ферми, склади, господарство в цілому, елеватори – для уникнення змішування з іншими видами зерна чи з конвенційним зерном. Також обов'язково сертифікується організація, що безпосередньо займається експортно-імпортними операціями.

Перший крок на шляху сертифікації – це укладання контракту між підприємством і акредитованою сертифікованою установою. Далі проводиться інспекція господарства, яка є, перш за все, сходом контролю за дотриманням усіх процедур, визначених стандартами. Відбираються проби ґрунту для проведення аналізів на наявність шкідливих залишків. Інспектором проводиться попередній огляд господарства та здійснюється його опис: визначаються план господарських будівель та земель (наприклад, для контролю за дотриманням вимог щодо мінімальної площі утримання для тварин на тваринницьких фермах); фіксується інформація щодо загальної площі земель, сортів рослин, що використовуються; про насіння, джерела його надходження та насінневий фонд; про власні та покупні добрива, що використовуються в господарстві; пишеться звіт про технології вирощування кожної культури; перевіряється книга ведення історії полів з вирощуваними на них культурами; вибірково перевіряються бухгалтерські документи.

В інспектованому господарстві серед обов'язкової документації мають бути; щорічний план вирощування рослин, сівозміни, сорти, використання в господарстві дозволених добрив та засобів захисту рослин; звіт щодо руху тварин, інформація про падіж, використовувані корми та раціони, заходи щодо профілактики хвороб, інформація про терапевтичне лікування; звіт про походження, тип, склад та використання закупленої продукції; звіт відносно походження, типу, складу та використання проданих продуктів господарства; звіт про реалізацію продукції на місцевому ринку.

Аналіз готової продукції проводиться вибірково чи при наявності обґрунтованих підозр. Про суттєві зміни у господарському процесі підприємству потрібно повідомляти установі, яка сертифікує. Рішення про сертифікацію приймається після проведення інспекції та аналізу отриманих даних. Якщо рішення про сертифікацію прийнято, господарство має право продавати продукцію як гаку, що вироблена за органічними стандартами. Підтвердження сертифікату повинно відбуватися щорічно.

Що стосується України, то власної сертифікаційної системи в нас немає.

Але робота по створенню та розвитку організації під назвою «Сертеко» вже ведеться. В Україні під егідою Мінагрополітики вже здійснюється робота щодо розробки державних стандартів для органічного сектора. За підтримки Проекту BISTRO- 2003, програми TACIS ЄС «Розвиток органічного агровиробництва в Україні» у 2006 р. розроблено проект правил для виробництва органічної рослинницької та тваринницької продукції, процедури здійснення сертифікації та державного нагляду і контролю за органічним виробництвом та органами сертифікації.

Проект державних нормативів (правил) органічного виробництва рослинницької продукції надає опис вимог щодо виробництва, перевезення, зберігання органічної продукції. У правилах передбачені відповідні вимоги щодо охорони довкілля та дотримання відповідних рівнів забруднення:

- при веденні органічного виробництва потрібно з увагою ставитися до охорони довкілля та забезпечувати відповідну якість врожаю;

- органічні господарства не можуть функціонувати в зонах із забрудненим довкіллям, також не дозволяється спричиняти таке забруднення при веденні органічного виробництва. Тому, органи сертифікації мають оцінювати умови, в яких перебуває довкілля та рівень забруднення. В разі, якщо існує загроза забруднення, орган сертифікації має провести відповідний аналіз ґрунтів, води та продуктів;

- в разі, якщо господарства – виробники, знаходяться недалеко від джерела забруднення, орган сертифікації повинен оцінити рівень забруднення та підготувати певні заходи щодо зменшення його рівня;

- в разі, якщо господарства-виробники знаходяться поблизу територій, де використовуються хімічні речовини чи добрива, необхідно обговорити можливі заходи щодо захисту від забруднення всіх сертифікованих територій та культур, що там знаходяться. Поля з органічним виробництвом повинні бути відокремлені від забруднених територій природними бар'єрами шляхом створення дренажу чи водного джерела, або залишенням незасіяних розмежованих буферних смуг тощо;

- не дозволяється будь-який прямий чи непрямий контакт органічної сільськогосподарської продукції із матеріалами та речовинами, використання яких заборонено в органічному виробництві та харчовій промисловості. У разі, якщо існують сумніви стосовно осаду чи небезпечних речовин, орган сертифікації повинен провести відповідний аналіз;

- у господарствах, що виробляють органічну продукцію, необхідно уникати знищення органічних речовин шляхом спалювання (наприклад, соломи);

- у господарствах, що займаються виробництвом органічної продукції, вміст важких металів у засобах, що використовуються для поліпшення ґрунтів та добривах не може перевищувати рівень, дозволений вимогами законодавства України;

- орган сертифікації може анулювати сертифікат виробника органічної продукції у випадку, якщо у водах чи ґрунтах господарства виявлена частка залишкових чи небезпечних речовин більша за ту, яка є дозволеною згідно із законодавством України.

Зараз на допомогу виробникам приходять організації, які зацікавлені в експорті органічної продукції і власними ресурсами можуть забезпечити сертифікацію господарств. Позитивним прикладом є компанія «Украгрофін», яка з 1999 р. експортує вітчизняну органічну продукцію, пропагуючи її на світових ринках і до того ж є членом Міжнародної Федерації органічного сільського господарства. Серед інших напрацювань, разом з німецькою компанією «Ecoland Grains & Legumes GmbH» нею впроваджується в життя в Україні спільний проект з вирощування органічних соєвих бобів. Компанії «Агрот», «Махаріші», «Рівнехолод» останнім часом мали подібний досвід експорту органічної продукції.

Існуючі органічні господарства, що займаються експортом інспектуються переважно іноземними сертифікаційними органами, що є активними в Україні (як, наприклад, Контрол Юніон Україна, що є представництвом Голландської сертифікаційної компанії Skal International, Instituto Kht., Угорщина, Maharashi

Vedic Organic Institute США та ін.). Контролюючий союз України (CUU) є ринковим лідером у сфері сертифікації земель під потреби органічного землеробства (66% земель сертифіковано саме цією агенцією).

Невеликі господарства, конвертовані на органічне виробництво в рамках програми надання технічної допомоги Швейцарським Урядом, інспектуються і сертифікуються швейцарським сертифікаційним органом Bio-Inspecta відповідно до стандартів Bio-Suisse. Проте, для більшості невеликих ферм органічного землеробства послуги сертифікаційних агенцій міжнародного рівня в основному іще залишаються недосяжними.

Стандарти, згідно яких здійснюється сертифікація в Україні:

Біолан-Україна. Українські стандарти органічного сільськогосподарського виробництва та маркування сільськогосподарської продукції і продуктів харчування.

EU: Regulation (EEC) № 2092/91. Постанова ЄС №2092/91 від 24 червня 1991р. про органічне виробництво і відповідні правила маркування с/г і харчових продуктів.

JAS: Japanese Organic System. Закон Японії ЯАС; (Закон щодо Стандартизації і Правильного Маркування Сільськогосподарських і Лісових Продуктів, Закон №175): з відповідними вказівками щодо органічного виробництва.

NOP: US National Organic Program. Американські Стандарти НОП США (Мін.с/г США, с/г Марк, Служба 7 CFR частина 205, Національна Органічна Програма) і пов'язані вказівки з органічного виробництва.

Biosuisse. Стандарти Біо Свісс – Асоціації Швейцарських організацій виробників органічної продукції

В рамках нового швейцарсько-українського проекту з розвитку ринку органічної продукції та створення українського органу сертифікації, вже почав діяльність новий орган сертифікації – ТОВ «Органік стандарт», який у перспективі має перетворитися на уповноважений український сертифікаційний орган, що буде здійснювати сертифікацію за українськими державними

стандартами та приватними стандартами міжнародної Асоціації учасників органічного виробництва «Біолан-Україна», розробленими на основі існуючих міжнародних стандартів Швейцарії, ЄС, США, Японії.

3. Маркування органічної продукції

Виробники харчових продуктів мають добровільне бажання вдосконалювати виробництво продовольчої сировини та харчових продуктів, що в основному стосується покращення їх якості та безпечності. Так, наприклад, виробники виготовляють продукти під маркою вищої якості. Це стосується маркування органічної продукції та екологічного маркування ЄС. Основним способом інформування споживачів про категорію продукту є маркування. Маркування повинно бути чесним та правдивим і виробники харчових продуктів, які наносять певне маркування, повинні дотримуватись харчового законодавства. Зелена книга ЄС передбачає для виробників харчових продуктів зобов'язання захисту маркування, яке повинне бути відповідним чином зареєстрованим. Зареєстроване екологічне чи органічне маркування забезпечує захист інтелектуальної власності та дає змогу ідентифікувати виробників продукції особливої технології виробництва, вирощування, чи продажу оригінального продукту.

На сучасному ринку харчових продуктів існує два види маркування, що дуже подібні за своїм значенням для розуміння споживачів, проте ці види маркування не завжди ними тотожно розрізняються. Але все ж таки, ці два види маркування мають суттєві відмінності, і це необхідно роз'яснювати споживачам, а також тим виробникам, які започатковують органічне або екологічне виробництво. Слід також зазначити, що вітчизняні виробники харчових продуктів та споживачі не мають чіткого розуміння сутності екологічного та органічного маркування. В класичному варіанті як екологічне, так і органічне маркування є інструментом маркетингу та засобом для інформування споживачів про екологічні або органічні особливості

виробництва продукції. Ці види маркування мають важливе значення для просування продукції на міжнародні ринки. Споживачі в розвинених країнах бажають бачити маркування продукції під загальною торговою маркою, такою як, наприклад, органічна продукція.

За останні десять років, згідно статистичної звітності, спостерігається стійке збільшення чисельності споживачів, які бажають купувати ті харчові продукти, що відносяться до органічних. На деякі органічні продукти попит навіть перевищує пропозицію. Для гарантування відповідності органічних харчових продуктів в чинному в європейському харчовому законодавстві створена система відповідності стандартів на органічну продукцію.

Екологічне маркування стає все більш дієвим засобом для отримання «зеленого коридору» для продукції, що маркована екологічним знаком ЄС і яка має статус «зеленої продукції». «Зелена продукція» відрізняється незначним впливом на оточуюче середовище в усіх ланках її життєвого циклу. Слід зазначити, що як органічне, так і екологічне виробництво є добровільним. Але не дивлячись на те, що на полицях магазинів з'явилася як органічна, так і екологічна продукція, більшість споживачів не може відрізнити її між собою. Проведення аналізу існуючих даних щодо вимог до маркування екологічної та органічної продукції на даний час є актуальним для отримання об'єктивних даних щодо ідентифікування цих двох видів маркувань. Тому метою даної роботи є встановлення основних ідентифікаційних ознак, що характеризують продукцію з органічним та екологічним маркуванням.

Маркування органічної продукції. Органічний продукт – це продукт харчування, вироблений в результаті ведення сертифікованого органічного виробництва з використанням речовин та процесів природного походження, що поєднує в собі найкращі практики з огляду на збереження природного навколишнього середовища, рівень біологічного розмаїття, збереження природних ресурсів, належного утримання тварин, відновлення родючості ґрунтів тощо. Щоб не втратити довіру споживачів та виправдати високу вартість органічної продукції, фермери-виробники органічної сировини та

виробники органічних харчових продуктів повинні дотримуватись всіх вимог до органічного виробництва. Відповідність органічного маркування суворо контролюється з боку держави. Зареєстрована власна марка не може бути використана в аналогічних продуктах, навіть за умови супроводження її іншими словами чи позначеннями, а також не можливо використовувати зареєстровану торгову марку в перекладі на іншу мову, щоб використовувати зареєстровану власну торгову марку. В Україні існує сертифікаційний орган «Органік Стандарт», створений в 2007 році. Щоб називатися органічними, не менше ніж 95% сільськогосподарських інгредієнтів, що входять до складу продукту, повинні мати органічне походження. Лише ті складники, що перелічені в додатку IX до Постанови 889/2008 можуть використовуватись в необмеженій кількості. Для пакування органічної продукції можуть використовуватися пакувальні матеріали, що дозволені до використання для харчових продуктів. Перевагу необхідно надавати найбільш екологічним пакувальним матеріалам та тим, що придатні для повторної переробки. При зберіганні продуктів необхідно дотримуватись вимог ідентифікації партій і запобігати будь-якому змішуванню з продуктами і/або речовинами, які не відповідають правилам органічного виробництва.

Екологічне маркування. Мета екологічного маркування полягає в тому, щоб виробляти продукти з найменшим негативним впливом на оточуюче середовище та надавати споживачу точне інформування про це виробництво. Екологічне маркування – це комплекс даних екологічного характеру про продукцію, процес або послугу у вигляді тексту, окремих графічних кольорових символів (умовних позначень) і їх комбінацій. Він наноситься залежно від конкретних умов безпосередньо на виріб, упаковку (тару), табличку, ярлик (бирку), етикетку або в супровідну документацію та інформує споживача про екологічні властивості продукції. Деякі знаки прийняті на міжнародному і загальнонаціональному рівнях, але зустрічаються і власні знаки конкретних фірм.

Вимоги до екологічного маркування визначені рядом стандартів серії ISO

14000. Ці стандарти спрямовані на те, щоб знизити невизначеність у відношеннях між виробником й споживачем та підвищити рівень довіри до маркування екологічним знаком ЄС. Також зазначені стандарти мають на меті покращити екологічні показники та знизити навантаження на довкілля на стадіях життєвого циклу, включаючи виробництво, використання, утилізацію продукції та пакування. Основні принципи екологічного маркування визначені в ISO 14020:1998. В цьому стандарті зазначається, що екологічне маркування повинне бути правдивим та не вводити споживачів в оману. Крім того, екологічне маркування має базуватися на об'єктивних критеріях та методах оцінки. В той же час, еко- маркування ЄС не допускає таких формулювань як: «екологічно чистий», «не наносить шкоди оточуючому середовищу», тощо.

Існуючі види екологічного маркування за інформацією, яку вони представляють, можна поділити на 2 основні групи: містять інформацію про екологічність продукції в цілому, на основі врахування всього життєвого циклу її виробництва; містять інформацію про екологічність окремих властивостей продукції (наприклад, можливість утилізації пакування з найменшим негативним впливом на оточуюче середовище).

Екологічне маркування надає споживачам приймати усвідомлені рішення стосовно вибору продукції, що вироблена із застосуванням способів мінімального шкідливого впливу на довкілля. Залежність стану довкілля від рівня стабільності аграрного виробництва, а також виробництва харчових продуктів є важливими завданнями для вирішення в країнах Європи.

Таким чином, наразі більшість споживачів харчових продуктів в Україні ще не мають чіткого розуміння різниці між маркуванням продукції екологічним та органічним знаком. Передові виробники продовольчої сировини та харчових продуктів виробляють як органічну, так і екологічну продукцію, яка має особливі характеристики, що надають їй переваги перед продукцією, виготовленою за звичайною технологією. На даний час в усіх країнах світу найкращою за показниками якості та безпечності вважається органічна продукція. Екологічна продукція має переваги за показниками якості та

безпеки перед продукцією, що виготовлена за звичайними технологіями, але вона виробляється з найменшим негативним впливом на довкілля.

Вимоги щодо маркування органічних продуктів. Продукти можуть містити позначку із вказівкою щодо їх сертифікації як вироблених згідно із органічними стандартами, якщо вони вироблені згідно до вимог, зазначених у цих Правилах та сертифіковані згідно до державної системи сертифікації органічного виробництва. Логотип органічних продуктів повинен вказувати на назву та номер органу сертифікації.

На органічному продукті має бути вказано метод органічного виробництва та наступні посилання: позначення «органічно вироблений продукт», яке використовується для маркування органічних продуктів (Логотип «Органічний продукт»); позначення «продукт виготовлений при перехідному періоді до органічного виробництва» використовується для маркування продуктів рослинництва перехідного періоду, за винятком продуктів, вироблених впродовж першого року перехідного періоду (логотип «продукт перехідного періоду до органічного виробництва»).

4. Правила поводження з органічними продуктами

Поводження з продуктами виробленими органічним шляхом визначене Правилами та нормативними актами України. Компанії з гуртової та роздрібною торгівлі, що продають нерозфасовані органічні продукти, мають бути сертифікованими відповідним уповноваженим органом сертифікації. Компанії, які здійснюють продаж нерозфасованих органічних та звичайних продуктів, мають переконатися, що ці продукти не можуть змішатися. Це, наприклад, може бути здійснено шляхом створення окремих приміщень для зберігання, використання маркування одиниць товару тощо).

Сертифіковані підприємства мають право продавати нерозфасовані продукти та/чи виробляти, пакувати та здійснювати маркування самостійно. Несертифіковані компанії мають право продавати лише розфасовані продукти.

Виробник органічної продукції може постачати продукцію до несертифікованої компанії лише у розфасованому вигляді, у закритих упаковках, що містять маркування згідно до вимог даних Правил.

Працівники сертифікованих компаній повинні поширювати інформацію серед споживачів стосовно органічної продукції та її маркування.

Транспортні засоби та контейнери, що використовуються для перевезення органічної продукції мають бути чистими, правильно облаштованими та мати відповідну конструкцію, з метою запобігання забруднення продуктів харчування. Транспортні засоби мають бути відповідно почищеними та продезінфікованими.

Перед перевезенням органічної продукції, транспортні засоби та контейнери мають бути вичищені, особливо в тих випадках, коли той самий транспортний засіб (контейнер) використовується для перевезення звичайних продуктів. Органічні та звичайні продукти не можуть перевозитися разом, за винятком випадків, коли органічні продукти є запакованими та містять етикетку.

Рекомендується зберігати органічну продукцію у окремих приміщеннях. Якщо органічні продукти зберігають в одному приміщенні із звичайною продукцією, місце зберігання органічної продукції повинно бути відокремлено та визначено. Інші матеріали не можуть зберігатися в одному приміщенні із органічними продуктами, за винятком тих, що є дозволеними в органічному виробництві.

Приміщення для зберігання, контейнери та засоби для пакування звичайних продуктів мають бути очищеними відповідно до гігієнічних вимог.

Органічні продукти можна зберігати при кімнатній температурі чи особливих умовах (якщо це передбачено технологією). Продукти можуть: бути охолодженими чи замороженими; зберігатися у льоді, виробленому з замороженої води, що відповідає вимогам гігієнічних норм України; зберігатися у відповідних умовах довкілля (CO_2 , O_2 , N_2). Для прискорення дозрівання плодів та овочів дозволяється використовувати газ етилен.

Лекція 5

Теоретичні основи генно-модифікованих продуктів

1. Основи генетичної інженерії
2. Ген як елементарна одиниця
3. Генетичний код
4. Структура організації генома
5. Клонування генів

1. Основи генетичної інженерії

Генетична інженерія – це нова галузь молекулярної біології, яка розробляє методи перенесення генетичного матеріалу від одного живого організму до іншого з метою одержання нової генетичної інформації та управління спадковістю. Розвиток генетичної інженерії пов'язаний з досягненнями сучасної генетики, мікробіології, біохімії та інших наук. Початок генетичної інженерії покладений П. Бергом в 1972 р., який здержав перші гібридні (рекомбінантні) ДНК.

Спори про роль генетики почалися задовго до сучасного розквіту генної інженерії. Ще в 1970-х роках не тільки вчені, але і широка публіка почали обговорювати питання, пов'язані з суперечливими перспективами нових біологічних технологій. У чому ж полягало основне питання? Основною темою суперечок була рекомбінантна ДНК, яку називали також химерною ДНК. У лабораторних умовах стало можливим створювати штучну ДНК, комбінуючи між собою гени різних видів і отримуючи такі поєднання, які б ніколи не зустрілися в природі. Більшість штучної ДНК синтезуються в наукових цілях. Це контрольовані експерименти, на основі яких учені прагнуть отримати нові відомості про біологічні системи. Проте в деяких випадках дослідникам просто цікаво «подивитися, що вийде». Часто виходять очікувані результати, але інколи відбувається щось несподіване. І це цілком з'ясовно з наукової точки

зору: адже ніколи не можливо заздалегідь все знати і все передбачити. Тому учені ніколи не можуть обіцяти, що отримані ними клітини з рекомбінантними ДНК будуть абсолютно безпечними. Саме така невпевненість і послужила початком для дискусій з приводу небезпек сучасної генетики.

З такою проблемою зіткнулися молекулярні біологи, що вивчали в 1970-х роках гени вірусів, що викликають виникнення раку, і введення їх в бактерії *E. coli*. При цьому вони керувалися благими намірами: вивчити функції ракових генів на прикладі простих біологічних систем. Але за допомогою даної технології можна було б створити і шкідливі канцерогенні бактерії, що заражають людей. У міру розвитку технології учені все більш приходили до думки про небезпечний напрям своєї роботи і замислювалися про її глобальні наслідки.

Врешті-решт, 11 відомих молекулярних біологів опублікували відкритий лист в престижних журналах «Nature» і «Science», призвавши своїх колег накласти мораторій на певні види експериментів і з більшою обережністю відноситися до решти дослідів. Зокрема, вони пропонували ввести заборону на експерименти з генами стійкості до антибіотиків, генами токсинів і генами канцерогенних вірусів; закликали організувати дискусію на цю тему; просили Національний інститут здоров'я США розробити правила і принципи проведення подібних експериментів.

Для науковців це був крок величезної важливості: перед лицем невідомої і не цілком визначеної небезпеки учені усвідомлено утримувалися від проведення експериментів. Ті, що підписалися під цим листом, видно, не чекали, який резонанс викличе їх заява у всьому світі.

Як тільки про лист стало відомо засобам масової інформації, широка публіка сприйняла потенційну небезпеку, як цілком реальну. До часу проведення дискусій багато хто з них вже прагнув не стільки обговорити можливі етичні проблеми, скільки переконати публіку в безпеці своїх робіт. Те, що починалося як відповідальний вчинок, перетворилося на небажання допускати в свої плани необізнаних.

З 24 по 27 лютого 1975 року ряд відомих у всьому світі молекулярних біологів зібралися поблизу міста Монтерей в штаті Каліфорнія. Деякі з присутніх заявили, що етичні побоювання перебільшені і зажадали продовження важливих досліджень. Інші були стурбовані можливими законодавчими ухвалами або судовими переслідуваннями, якщо буде доведено, що дослідження представляють небезпеку для здоров'я. Багато хто ж просто вважав, що вони даремно витрачають час. На конференції було прийнято ухвалу продовжувати дослідження і замінити мараторій на ряд принципів, яких слід дотримуватися при проведенні експериментів з різним ступенем ризику. Були висловлені наступні пропозиції:

1) збільшити число рівнів безпеки для експериментів, що представляють високий ступінь потенційного ризику;

2) використовувати ослаблені різновиди генетично змінених мікроорганізмів в спеціальних лабораторних умовах.

Головна трудність тоді (втім, як і зараз) полягала в тому, щоб оцінити ступінь ризику таких обставин, про які ще мало що відоме.

Національний інститут здоров'я, що фінансує велику частку біологічних проектів, узяв ініціативу в свої руки і розробив ряд положень, запропонувавши їх для відкритого обговорення. Для визначення правил проведення досліджень був утворений Комітет з рекомбінантної ДНК, що складався з експертів різних областей біології, а також з представників приватних компаній, що використовують нові технології. Подальші дискусії також розгорталися в основному навколо можливих небезпек. І хоча від представників промислових компаній варто було чекати того, що вони ратуватимуть за практично вільне експериментування, багато хто з них проявив відповідальність і висловився за регулювання досліджень. Вони теж побоювалися можливих негативних наслідків і судових позовів у разі нанесення збитку з їх боку, а тому також запропонували розробити основні принципи. Інші ж учені стверджували, що їм не дають працювати, хоча дослідження в області рекомбінантної ДНК допомогли б вирішити такі глобальні проблеми, як голод і інфекційні хвороби.

23 червня 1976 року Дональд Фредеріксон, директор Національного інституту здоров'я, утвердив ряд формальних правил досліджень в області рекомбінантної ДНК, дотримуватися яких повинні були всі, хто отримує гранди від цього інституту. У них були визначені чотири рівні фізичної безпеки досліджень згідно оціненого ступеня їх ризику. Перший рівень – нешкідливі експерименти з використанням стандартних біологічних технологій. З кожним подальшим рівнем кількість обмежень і застережень зростала настільки, що для експериментів четвертого рівня відповідних лабораторій не існувало аж до 1978 року. Крім того, три штами *E. coli* були розподілені по трьом рівням біологічної безпеки. Стандартні лабораторні штами позначили як Ек₁. Штами Ек₂ були визначені як що характеризуються навмисно викликанною мутацією, здатні вижити поза лабораторією з вірогідністю 1×10^{-8} . ЕКЗ – ті ж штами, тільки абсолютно не здатні вижити в організмах тварин і рослин або поза лабораторією. Для того, щоб виростити ослаблений штам *E. coli*, в який можна було б упровадити рекомбінантну ДНК, Рой Кертис, член комітету при Національному інституті здоров'я, розробив штам хі-1776, що містить 15 окремих блоків для нормального розмноження. Роль, яку освічена публіка може зіграти при вирішенні питань, пов'язаних з регулюванням потенційно небезпечних наукових досліджень, проявилася в ході одного з обговорень в Кембріджі.

У нас використовують два терміни — генетична інженерія та генна інженерія. Слід зазначити, що назву «генетична інженерія» використовують в більш широкому понятті, тобто зона включає і генну інженерію. При цьому до генної інженерії не відносять перебудову генома звичайними генетичними методами, тобто мутаціями, рекомбінаціями.

Раніш для переносу генів використовували в основному метод статевої гібридизації. Генетична інженерія дозволяє, на відміну від статевої гібридизації, вводити в геном організму тільки конкретний ген будь-якого походження поза зв'язку зі статевою сумісністю донора та реципієнта, виключає необхідність довгострокових беккросів та відборів для видалення

непотрібних ознак та, в кінцевому рахунку, розширює можливості, прискорює та значно полегшує проблему покращення сортів та порід.

За останні роки генетична інженерія досягла істотного прогресу. Центр досліджень перейшов з прокаріотичних на еукаріотичні системи. Інтенсивно досліджуються структура та функція генів, які визначають економічно важливі ознаки сільськогосподарських рослин та тварин.

Зараз вже виділено та детально охарактеризовано біля сотні різних структурних генів. Досліджуються оптимальні шляхи перенесення в організм чужорідної генетичної інформації, її експресія в новому генетичному середовищі, а також засоби виявлення та відбору трансформованих генотипів.

Перенесення генів здійснюється у багатьох видів рослин шляхом використання як технології рекомбінантної ДНК, так і соматичної гібридизації.

Сформувалися два альтернативних напрямки у використанні технології рекомбінантної ДНК: введення генів шляхом векторних систем та пряме введення ДНК до рослинних клітин. Ці технології знаходяться на стадії модельних експериментів, однак ряд розробок вже мають практичне використання в селекції. Найбільш тріумфальні успіхи генетичної інженерії пов'язані з мікробіологічним синтезом просто організованих білків тваринного (людського) походження (гормони, ферменти, інтерферон та ін.).

З точки зору операційної технології рекомбінантні ДНК можна поділити на декілька головних компонентів: індивідуальні гени, регуляторні елементи, векторні та селекційні системи.

Перенесення та експресія індивідуальних добре охарактеризованих генів, власне, і складає кінцеву мету будь яких генно-модифікованих маніпуляцій. Регуляторні елементи у представників різних родів, не кажучи вже про більш значні таксономічні одиниці, можуть значно розрізнятися. Тому перед перенесенням гену (наприклад, бактеріального) в чужорідне генетичне оточення (наприклад, в рослинну клітину) в гені необхідно замінити бактеріальні регуляторні елементи на рослинні, так як в іншому випадку перенесений ген не буде експресуватися. Подібній модифікації необхідно в ряді

випадків піддавати також і структурну частину гену, оскільки у рослин та тварин вона в типовому випадку складається з так званих інтронів та екзонів, при цьому тільки останні ділянки гена кодують поліпептидний ланцюг білку, а перші – вирізаються (видаляються) в процесі дозрівання ДНК. Імовірно, що ген з невидаленими інтронами, що належить до еукаріотичної клітини, не може кодувати синтез відповідного білку в клітині бактерії. Третім істотним елементом генно-модифікованих маніпуляцій є спеціальні векторні системи, які забезпечують високоефективне перенесення чужорідного гену в реципієнтну клітину та має стабільне закріплення або шляхом інтеграції з клітинною ДНК, або шляхом набуття статусу автономного ядерного або цитоплазматичного елементу. Та, нарешті, четвертим важливим фактором технології рекомбінантної ДНК є система селекції або детекції тих химерних клітин або організмів, в які включився та функціонує чужорідний ген.

Для вирішення головних завдань біотехнології необхідно сконцентрувати увагу на питанні використання індивідуальних генів, молекулярних механізмів формування основних селекційно-вагомих показників та регуляторних елементів, так як вони визначають експресію генів в онтогенезі еукаріот.

Особливу увагу слід приділити розробці складових технології рекомбінантної ДНК, в першу чергу різноманітних векторних систем та систем селекції, при цьому не допустити розриву між фундаментальними та прикладними розробками; для цього необхідно забезпечити пріоритетність науковим працям в галузі мікробіології та вірусології. Тоді можна очікувати, що генетична інженерія стане лідируючою наукою, яка буде використовуватися в технологічних процесах отримання нових біологічно активних речовин, сироваток, різноманітних ліків.

При обговоренні переваг методів клітинної та генетичної інженерії для створення на їх базі сучасних напрямків біотехнології неодноразово висловлювалась думка, що клітинна інженерія по ряду причин забезпечує більш швидке отримання практично вагомих результатів. Це висловлювання, яке є правильним у загальній формі, потребує істотних доробок. Дійсно, строки

реалізації ряду вагомих біотехнологічних розробок на базі методів клітинної інженерії знаходяться в межах початку та кінця 90-х років, а деякі з них впроваджуються в практику вже зараз. Так, наприклад, безвірусне насінництво ряду сільськогосподарських культур або трансплантація ембріонів сільськогосподарських тварин. Технологія рекомбінантної ДНК, в протилежність напівемпіричним підходам клітинної інженерії, спроможна реалізовувати свій вагомий науковий потенціал тільки при детальній молекулярно-біологічній та генетичній вивченості об'єктів та господарсько-вагомих ознак, які є предметом генно-інженерного експерименту.

Однак, існує можливість (і вона частково використовується) для значного прискорення результатів генетичної інженерії. Джерелом цього прискорення можуть стати інтенсивні дослідження мікроорганізмів та вірусів, які мають практичне значення, а також стабільний пошук простих моногенних ознак рослин та тварин, за якими просто вести селекцію. У цьому випадку мова не йде про мікробіологічний синтез фізіологічно активних речовин на основі технології рекомбінантної ДНК типу гормонів, антибіотиків та ферментів, які використовуються у виробництві. У загальній формі віруси та мікроби відіграють дуже важливу роль у життєдіяльності тварин та рослин, виступаючи в ролі симбіонтів або паразитів. Тому, маніпулюючи з просто організованим генетичним матеріалом вірусів та мікробів, можливо в значних масштабах впливати на життєдіяльність та продуктивність цих об'єктів, обходячи обмеження, які віддаляють строки реалізації розробок генетичної інженерії при безпосередніх маніпуляціях з генетичним матеріалом рослин та тварин.

На порозі польових випробувань знаходиться проект, націлений, на створення «біологічних пестицидів» – рекомбінантних клітин *Pseudomonas fluorescens*, які входять до асоційованої сапрофітної мікрофлори ряду культурних рослин, куди вбудований ген ентомопатогенного токсину *Bacillus thuringiensis*. Можна вказати також на успішні спроби боротьби з ранніми заморозками шляхом генетичної модифікації клітин *Pseudomonas syringae*, які являють собою сапрофітну мікрофлору багатьох рослин, яка відповідає за

уражуючий ефект ранніх заморозків. Особливий білок, що секретується цими бактеріями, служить центрами кристалізації льоду, в результаті чого вода на поверхні рослини замерзає, як звичайно, не при -4°C , а при температурі 0°C . Рекомбінантні клітини *Ps. syringae*, які загубили здатність секретувати білок-кристалізатор льоду, будуть першими химерними організмами, які вийдуть з лабораторії у довкілля.

Значну практичну вагу для інтенсивних біотехнологій має стійкість культурних рослин до гербіцидів, яка може досягатися двома шляхами: або за рахунок значного руйнування гербіциду в клітині, або за рахунок непроникненості клітин для конкретного гербіциду. Зараз гербіцидостійкість може бути досягнена шляхом перенесення в культурні рослини або бактеріального гену, або мутантного рослинного гену, що руйнують такі розповсюджені гербіциди, як гліфосат та сульфоніл-сечовина. У процесі розробок знаходяться і рекомбінантні плазмідні, які спроможні попереджувати утворення корончатих галів у рослин. Строки реалізації інших генно-модифікованих проектів, так чи інакше пов'язаних з мікроорганізмами, відносяться до початку третього тисячоліття.

Що стосується генів вищих еукаріот, то відносно швидко можуть бути реалізовані інтерферонової та гормональної проекти, як у формі продуктів мікробного синтезу, так і у формі генів, що переносяться до організму. У випадку інтерферону продукт мікробного синтезу в ряді експериментів підвищував стійкість рослинних клітин до фітовірусних інфекцій, і можна розраховувати, що подібний ефект забезпечить безпосереднє введення інтерферонового гену до рослин. Препарати типу гормону росту при введенні тваринам стимулюють їх ріст. Отримання гігантських форм може бути досягнуто, як це продемонстровано в експериментах на лабораторних тваринах, також при введенні гена гормону росту, який забезпечує посилений синтез цього регулятора в організмі.

2. Ген як елементарна одиниця спадковості

Раніше вважалося, що гени являють собою частину хромосом і є неподільною одиницею з такими ознаками: здатністю визначати ознаки організму, здатністю до рекомбінації, тобто до переміщення з однієї гомологічної хромосоми в іншу при кросинговері, та здатністю до мутації з утворенням нових алельних генів. Надалі виявилось, що ген – це складна система, в якій зазначені особливості неподільні.

Ген складається з окремих ніби сходинок, що блискуче підтвердилось новими дослідженнями. Ген являє собою частину молекули ДНК і складається з сотень пар нуклеотидів. Ген як функціональну одиницю американський генетик С. Бензер запропонував назвати цистроном. Саме цистрон визначає послідовність амінокислот у коленому специфічному білку.

Цистрон у свою чергу підрозділяється на гранично малі в лінійному вимірі одиниці – рекони, які здатні до рекомбінації при кросинговері. Виділяють, крім того, поняття мутон – це найменша частина гена, здатна до мінливості (мутації). Розміри рекону та мутону можуть становити одну або кілька пар нуклеотидів, цистрону – сотні і тисячі пар нуклеотидів.

Виявляється, що різні функції гена пов'язані з відрізками ланцюга ДНК різного розміру. Ген має складну структуру, в середині якої можуть відбуватися процеси мутації та рекомбінації. Виявлені також гени, які не контролюють синтез визначених білків, але регулюють цей процес. Таким чином, виникла необхідність роз'єднати гени на дві категорії: структурні та функціональні.

Структурні гени визначають послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі (тобто, колінеарність). У тих бактерій, де вони вивчені, структурні гени, як правило, розміщені в хромосомі в послідовності відповідно до кодованих реакцій.

Функціональні гени, мабуть, не утворюють специфічних продуктів, які можна виявити в цитоплазмі. Ці гени контролюють функцію інших генів. Один з функціональних генів одержав назву гена-оператора.

За уявленнями, введеними в науку Ф.Жакобом та Ж.Моно, ген-оператор і ряд структурних генів, розміщених поряд у лінійній послідовності, складають оперон. Оперон – це одиниця зчитування генетичної інформації, тобто з кожного оперона знімається своя молекула ІРНК. Функція гена-оператора, в свою чергу, регулюється геном-регулятором. Він кодує синтез білка-репресора. Наявність чи відсутність цього білка, який приєднується до гена-оператора, визначає початок або припинення зчитування інформації.

Колінеарність – властивість, зумовлена відповідністю між послідовностями кодонів нуклеїнових кислот та амінокислот поліпептидних ланцюгів. Тобто колінеарність – це властивість, яка створює таку саму послідовність амінокислот у білку, в якій відповідні кодони розміщуються в гені. Це значить, що положення кожної амінокислоти у поліпептидному ланцюзі залежить від особливої ділянки гена. Генетичний код вважається колінеарним, якщо кодони нуклеїнових кислот та відповідні їм амінокислоти в білку розміщені в однаковому лінійному порядку.

Явище колінеарності доведено експериментально. Так, встановлено, що серповидноклітинна анемія, при якій пошкоджується будова молекули гемоглобіну, зумовлюється зміною розміщення нуклеотидів у гені, який відповідає за синтез гемоглобіну.

Завдяки концепції колінеарності можна визначити приблизний порядок нуклеотидів всередині гена та в ІРНК, якщо відомий склад поліпептидів. Навпаки, визначивши склад нуклеотидів ДНК, можна прогнозувати амінокислотний склад білка. Виходячи з цього, зміна порядку нуклеотидів у гені (його мутація) веде до зміни амінокислотного складу білків.

Під впливом різних фізичних та хімічних агентів, а також при нормальному біосинтезі білка в клітині можуть виникати пошкодження. Виявилося, що клітини мають механізми виправлення пошкоджень у нитках ДНК. Така їх здатність одержала назву репарації.

Вперше здатність до репарації була виявлена у бактерій, на які впливали ультрафіолетовими променями. Внаслідок опромінювання цілісність молекул

ДНК порушується, оскільки в ній виникають димери, тобто з'єднані між собою сусідні піримідинові основи. Ці димери виникають між: двома тимінами, тиміном та цитозином, двома цитозинами, тиміном та урацилом, цитозином та урацилом, двома урацилами. Проте опромінені клітини на світлі виживають набагато краще, ніж у темряві. Після ретельного аналізу причин цього встановили, що в опромінених клітинах на світлі відбувається репарація (явище світлової репарації). Вона здійснюється спеціальним ферментом, який активується квантами видимого світла. Фермент з'єднується з пошкодженою ДНК, роз'єднує зв'язки, що виникли у димерах, та відновлює цілісність ДНК.

Пізніше була виявлена темнова репарація, тобто властивість клітин ліквідувати пошкодження ДНК без участі видимого світла. Темнова репарація здійснюється комплексом із п'яти ферментів: який «впізнає» хімічні зміни на ділянці в ланцюзі ДНК; здійснює «вирізування» пошкодженої ділянки; видаляє цю ділянку; синтезує нову за принципом комплементарності та з'єднує кінці старого ланцюга і відновленої ділянки.

Під час світлової репарації виправляються тільки ті пошкодження, які виникають під впливом ультрафіолетових променів, при темповій – такі, що виникають під дією іонізуючої радіації, хімічних речовин та інших факторів. Темнова репарація виявлена як у прокаріотів, так і в клітинах еукаріотів (тварин та людей), у яких вона вивчається в культурах тканин. Питання про те, чому одні пошкодження репаруються, а інші ні, залишається відкритим. Якщо репарація не відбувається, то клітина гине або виникає мутація.

3. Генетичний код

З моделі структури ДНК, запропонованої Уотсоном і Кріком, відомо, що генетична інформація передається за допомогою якоїсь специфічної послідовності нуклеотидів її молекули. Вперше питання про код було поставлене Гамовим у 1953 р.

Початок прямого генетико-біохімічного аналізу кодонів було покладено в

1961 р. Ніренбергом та Маттеї, які створили найпростіші синтетичні полімери й замінили ними нативні молекули іРНК в системі компонентів клітин бактерій та суміші амінокислот. У суміші кожного типу одна з амінокислот була помічена радіоактивним вуглецем C_{14} , інші дев'ятнадцять не мали позначення. Було встановлено, що синтетичний полірибонуклеотид, складений тільки з урацилу, визначає синтез білка, в якому кожна амінокислота була фенілаланіном.

У наступних подібних експериментах було визначено, що поліаденінова кислота містить код для лізину, а поліцитидинова – для проліну. Наступні досліди, де як штучні іРНК виступали полінуклеотиди змішаного складу, виявили зв'язок між рядом інших поєднань нуклеотидів та конкретними амінокислотами.

Синтетичні полінуклеотиди створюють з використанням ферменту полінуклеотидфосфорилази, який зв'язує нуклеотиди у випадковому порядку. Для перших експериментів цього було достатньо, оскільки в них використовували синтетичні полінуклеотиди, складені з одного типу нуклеотидів. Потім були знайдені шляхи складніших синтезів молекул з різних нуклеотидів із різними положеннями.

Нову методику широко використав Очоа із співробітниками, що дало їм можливість визначити триплети для всіх 20 амінокислот. При цьому було зазначено, що код має вироджений характер, який означає здатність для однієї й тієї ж кислоти бути кодованою кількома різними триплетами. Наприклад, є амінокислоти, які мають по шість кодонів; п'ять амінокислот, кожна з яких кодується чотирма різними кодонами. Так, аланін кодується триплетами ГЦУ, ГЦЦ, ГЦА, ГЦГ, куди в усіх випадках входять нуклеотиди цитозину та гуаніну. Поряд з тим є амінокислоти, що кодуються трьома, двома і тільки дві - одним триплетом азотистих основ.

Крім того, триплети УАА, УАГ, УГА не кодують амінокислоти, а є своєрідними «крапками» в процесі зчитування інформації. Якщо процес синтезу наближається до такої «крапки» в молекулі ДНК, синтез даного

поліпептидного ланцюга припиняється. Після «крапки» починає синтезуватися нова молекула білка. Процес зчитування інформації відбувається в одному і тому ж напрямі. Так, якщо в молекулах азотисті основи розміщені в такому порядку: ААА, ЦЦЦ, УГУ, УЦУ, то це значить, що закодовані такі послідовно розміщені амінокислоти: лізин (ААА), пролін (ЦЦЦ), цистин (УГУ), серін (УЦУ). Саме в цій послідовності вони повинні розміщуватися в поліпептидному ланцюзі при синтезі білка. Якщо в першому триплеті іРНК буде втрачено один аденін, то порядок основ набуває вигляду ААЦЦЦУГУУЦУ. Внаслідок цього склад всіх триплетів змінюється. Так, перший стане не ААА, а ААЦ. Подібний триплет кодує амінокислоту аспарагін, а не лізин, як було раніше. Другий стане вже не ЦЦЦ, а ЦЦГ і так далі. У деяких умовах *in vitro* код може бути двозначним, тобто один триплет може кодувати кілька амінокислот. Кодон УУУ в звичайних умовах кодує амінокислоту фенілаланін. Проте якщо рибосоми обробити стрептоміцином, то цей кодон починає також кодувати ізолейцин і серин. Знижена температура та висока концентрація іонів Mg^{++} також зумовлюють двозначність у дії кодонів.

Генетичний код характеризується неперекритістю. Цей принцип був доведений дослідженням мутацій, які порушують синтез білків. У випадку перекриття коду зміна в одній парі нуклеотидів неминуче повинна спричинити порушення в трансляції трьох амінокислот, бо у коді, що перехрещується, кожний з нуклеотидів входить до трьох кодонів. Насправді експериментами доведено, що мутації змінюють трансліювання тільки однієї амінокислоти, що чітко вказує на неперекритість коду. Для поняття принципів генетичного коду значний інтерес являють дані по заміщенню амінокислот внаслідок зміни всередині триплетів.

У *E. coli* (кишкової палички, яка є в кишечнику всіх організмів) були одержані шість мутантів, що мали різні дефекти у триптофансинтетазі, причиною яких стали заміщення гліцину в специфічній точці поліпептидного ланцюга. Ці мутації відрізняються від попереднього стану зміною одного нуклеотиду. Якщо ця гіпотеза правильна, то вона може бути перевірена в

дослідах по рекомбінації, оскільки кросинговер всередині триплетів повинен змінювати його код. Наприклад, схрещування між мутацією В, кодуючою аргінін, та мутацією С, кодуючою валін, повинні дати рекомбінантні триплети, які будуть кодувати серин та гліцин: мутант В - УГЦ - аргінін; мутант С - УУГ - гліцин.

У випадку кросинговеру на іншій ділянці (ГЦ і УГ) повинні з'явитися рекомбінанти – перший блок кросинговеру: ЦГГ – дикий тип – гліцин; другий – додатковий кросинговер: УУЦ – мутант – серин. У наступних дослідах ці рекомбінанти були виявлені і повністю відповідали передбаченням.

У випадках серповидноклітинності гемоглобіну у людини серед 300 амінокислот, які входять до складу гемоглобіну, тільки одна замінена мутацією. У гемоглобіні С в цьому місці з'являється інша амінокислота – лізин.

Численними дослідженнями встановлена дивовижна універсальність генетичного коду. Він однаково проявляє себе в системах, одержаних з вірусів, бактерій, водоростей та ссавців. Очевидно, він єдиний для всього органічного світу, що є одним з найпереконливіших доказів загального походження всієї живої природи.

4. Структурна організація генома

Під геномом розуміють сукупність носіїв спадкової інформації, що міститься в клітині. ДНК прокаріот оточена слабо зв'язаним з нею основним білком і ніяк структурно не організована. Характерна морфологія еукаріотичних хромосом свідчить, що вони організовані значно складніше, ніж: геноми прокаріотичних клітин. У еукаріотів більша частина ДНК знаходиться у міцному комплексі з білками та утворює нуклеопротейні волокна, які називаються хроматином. У переважній більшості клітин хроматинові білки представлені гістонами. Гістони – це невеликі за розміром (50-200 амінокислотних залишків) основні білки з позитивним зарядом (зумовлений наявністю трьох амінокислот: аргініну, лізину, гістидину). Утворення

комплексу з ДНК (що має негативний заряд) відбувається за рахунок іонних зв'язків між фосфатною групою полінуклеотидного ланцюга та аміногрупою поліпептиду. Гістони розділяють на п'ять типів: H1, H2A, H2B, H3, H4, які відрізняються один від одного кількістю амінокислот та відношенням лізін : аргінін. Цікаво, що структура гістонів H3 та H4 з проростків гороху і з тімусу телят, як довели Сміт та Де Ланж, дуже подібні, тобто послідовність амінокислот збереглася протягом приблизно $3-6 \cdot 10^8$ років з часу розділення всього живого на рослини та тварини. Ця консервативність свідчить, що зазначені гістони виконують дуже важливу функцію, яка виникла на початку еволюції еукаріот і збереглася до нашого часу. Білкам властива здатність до зміни заряду, форми молекул, до утворення водневих зв'язків, що може мати важливе значення у регуляції доступності ДНК до реплікації та транскрипції.

Слід зазначити, що, на відміну від ядерної ДНК, ДНК мітохондрій та хлоропластів не зв'язана з гістонами (як ДНК прокаріот), що підтверджує гіпотезу симбіотичного походження цих органодів.

Виходячи з даних, одержаних різними методами, Корнберг висловив припущення, що хроматин складається з повторюваних субодиниць, кожна з яких містить 200 пар нуклеотидів та по дві молекули гістонів H2A, H2B, H3, H4. Повторювані одиниці називають нуклеосомами. Більша частина ДНК намотана на гістонову серцевину, решта, так звана міжнуклеосомна ДНК, з'єднує сусідні нуклеосоми та забезпечує гнучкість гістонів нитки. Таким чином, хроматинова нитка являє собою гнучкий ланцюг гістонів, що нагадує намистини на нитці. В 60-х роках цього століття почались інтенсивні дослідження по локалізації конкретних генів на хромосомах для побудови хромосомних карт. Як встановлено, в геномі людини нараховується близько 500 тис. різних структурних генів, тобто генів, в яких закодована інформація про амінокислотну послідовність білків; кількість ДНК в ядрі клітини така, що відповідає числу генів, яка в 50-100 раз більша.

Значна кількість ДНК приходить на повторювані послідовності нуклеотидів, які можуть грати в хромосомі регуляторну, структурну або

функціональну роль.

Реєструючи порушення, які викликаються мутаціями генів, вдалося виявити більше 900 генних локусів із загального числа 500 тис. структурних генів (геном людини), до якого входять гени, які кодують всі ферменти внутрішнього метаболізму, всі структурні білки та всі білки, яким властиві спеціальні функції, такі як гемоглобіни та імуноглобуліни, а також ферменти, які беруть участь в утворенні фібрил колагену (її роколагенпептидаза, глюкозилтрансфераза, лізинлоксидаза) та в утворенні нуклеїнових кислот (ДНК- та РНК- полімераза).

Істотна частина постульованої кількості генів приходить на регуляторні гени. Положення генних локусів на хромосомах людини визначали на основі аналізу гетерозигот та вивчення родин (варіації в межах виду), а пізніше – за допомогою гібридних клітин, які утворюються в результаті злиття соматичних клітин. Зручним інструментом досліджень був також метод гібридизації нуклеїнових кислот.

Клонування нуклеїнових кислот та наступна гібридизація їх з фрагментами хромосом також можуть бути корисними для точної локалізації генів та побудови докладної карти геному.

Результати подібних досліджень будуть досить важливими для прогресу медицини, який буде залежати від повного розуміння функціонування геному. Дійсно, ряд хвороб пов'язані з наявністю дефектів певних генів. Лікування або попередження генетичних порушень потребує загальних знань структури, функціонування та регуляції роботи генів.

5. Клонування генів

Основою проведення генно-модифікованих досліджень є молекула ДНК. При цьому роботи виконують в певній послідовності: спочатку виділяють гени з окремих клітин або синтезують їх поза організмом, потім включають нові гени у вектор, поєднують ДНК гена і вектора і одержують рекомбінантну ДНК;

далі переносять визначені гени в геном клітини-хазяїна, проводять копіювання і розмноження виділених або синтезованих генів у складі вектора (клонування генів) і одержують генний продукт шляхом експериментальної експресії чужорідного гена в реципієнтній клітині. Відомо два шляхи виділення генів та створення рекомбінантної ДНК.

Перший – за допомогою хімічного синтезу, а другий, більш поширений, ґрунтується на використанні особливих ферментів (рестриктаз), які мають властивість розпізнавати чужорідну ДНК, що проникла в організм, і розщеплювати її у відповідних ділянках. В результаті утворюються фрагменти різноманітних розмірів, які різняться між собою за довжиною. Відомо близько 500 ферментів рестриктаз і кожний розщеплює ДНК специфічно. Хоча багато з них за специфічністю подібні, проте кількість сайтів (ділянок) розщеплення становить близько 120. Зазначені ферменти позбавлені видової специфічності. Завдяки цьому можна поєднувати в одне ціле фрагменти ДНК будь-якого походження і подолати природний видовий бар'єр.

Частини й розриви ниток ДНК склеюють за допомогою ферменту лігази. Особливістю виділених ділянок нуклеотидів (генів) є так звані липкі кінці, через що їх можна приєднати до ділянок ДНК плазмід (для рослин і бактерій) або фагів (тварин). Таким чином створюється вектор для перенесення виділених генів у клітину-реципієнт.

Відомо інший шлях одержання фрагментів ДНК з липкими кінцями. Для цього виділені або штучно синтезовані ділянки ДНК обробляють ендонуклеазою, яка укорочує її з обох боків. Потім за допомогою ферменту полінуклеотидтрансферази добудовують до цих кінців ділянки аденінових і тимідинових нуклеотидів. Одержану молекулу рекомбінантної ДНК використовують для перенесення чужорідного гена в бактеріальну клітину. Така схема була використана для генів інсуліну, інтерферону, імуноглобуліну.

Молекули ДНК, які мають власний апарат реплікації і здатні доставляти в клітину потрібні гени, реплікувати їх, були названі векторами. Найбільш поширені вектори – це різноманітні плазміди, які часто спостерігаються у

бактерій. Вектори для клітин ссавців будуються на основі вірусів, адено- та ретровірусів.

Потрібно враховувати, що наявність навіть введення гена у хромосому організма-хазяїна ще не дає можливості одержувати продукти його синтезу.

Для того, щоб ген міг функціонувати, він повинен поряд з частиною, де закодована інформація, мати ще регуляторну ділянку. Це, так звані промотор та термінатор. З промотора починається зчитування інформації (транскрипція), а в термінаторі закодовано закінчення транскрипції з даного гена. Нині створено цілий «арсенал» клонованих промоторів, які дають можливість забезпечити проявлення генів у різних типах клітині.

Слід враховувати також, що не всі молекули плазмідної ДНК можуть мати вставки чужої ДНК і відповідно не будуть рекомбінантними. Більшість плазмід відновлює вихідну кільцеву структуру. Тому, перш за все необхідно відібрати бактерії, що містять рекомбінантні плазмід.

Для відбору рекомбінантних ДНК найбільш поширеною є система, при якій чужорідну ДНК вбудовують в частину плазмідного гена, що кодує стійкість проти певного антибіотика, наприклад, ампіциліну. У випадку вбудовування чужорідної ДНК цей ген перестає нормально функціонувати, що свідчить про наявність рекомбінантної ДНК.

Молекули рекомбінантної плазмід розмножуються в клітині. В процесі ділення бактеріальної клітини вони розподіляються між дочірніми клітинами і в кожній з них знову відновлюють свою кількість. В результаті створюються колонії бактерій, кожна з яких містить багато копій рекомбінантної ДНК. У кожному такому клоні міститься лише один відрізок ДНК тварини або рослини, який випадково потрапив у вихідну бактерію.

При цьому такий клон містить 1-2 гени, а якщо врахувати, що клонів значна кількість, то вони теоретично представляють всі гени, що є в геномі тварини.

Отже, для створення банку генів кроля, що характеризує всю молекулу ДНК або весь геном, необхідно 920000 клонів, для банку класичного об'єкта

генетичної інженерії – кишкової палички – 1300. Для генома ссавців потрібен банк генів з фрагментами ДНК 0,8-1 млн. клонів).

Перший банк генів було створено для *E. coli* у 1976 р; потім – для інших видів, в тому числі і для великої рогатої худоби. Також було створено бібліотеки клонів ДНК гіпофіза і гормону росту.

Лекція 6

Розвиток сучасної біотехнології

1. Основи біотехнології
2. Історія виникнення і розвиток біотехнології
3. Принципи біотехнології
4. Сучасні методи біотехнології

1. Основи біотехнології

Основи біотехнології були закладені людиною в давнину і пов'язані з використанням мікроорганізмів у хлібопекарстві, виноробстві, пивоварінні, приготуванні кисломолочних продуктів, солінні і копченні продуктів, виробленні шкір і таке інше.

Тисячоліттями людство прагнуло поліпшити сорти рослин і породи домашніх тварин за допомогою селективного схрещування. Лише в другій половині 20 століття виник новий напрямок у науці – біотехнологія. Вона дозволяє створювати та перебудовувати екологічні системи, створювати їх з певних елементів, що визначають потрібні людині властивості.

Біотехнологія базується як на традиційних наукових дисциплінах (фізіологія, біохімія, мікробіологія, медицина, агробіологія), так і на народжених минулим століттям молекулярній біології і генетиці, клітинній та генетичній інженерії, кібернетиці та інформатиці. Біотехнологія – галузь знання, що дозволяє отримувати шляхом керованого культивування організмів і (або) їх фрагментів (тканин, клітин) корисні для людини продукти – їжу, корми, медичні препарати, різноманітну сировину, доступні рослинам форми азоту, засоби захисту рослин і тварин, а також утилізувати (конверсувати) різні органічні відходи (промислові, сільськогосподарські та комунальні).

Біотехнологія – це нова, яка порівняно недавно отримала широкий розвиток наука про практичне використання різних біологічних (генів, клітин,

тканин, мікроорганізмів, рослин і тварин) з метою отримання антибіотиків, ферментів, кормових білків, біодобрих, безвірусних рослин, нових сортів рослин і тварин, переробки сировини, промислових і сільськогосподарських відходів, очищення стічних вод і газоповітряних викидів і так далі. Успіхи, досягнуті в галузі біотехнології, стали можливими завдяки бурхливому розвитку таких наук, як біохімія, генетика, цитологія, мікробіологія, молекулярна біологія та інші.

2. Історія виникнення біотехнології

Історія виникнення і розвитку біотехнології включає три етапи.

I етап – зародження біотехнології з давніх часів до кінця XVIII ст. Археологічні розкопки показують, що ряд біотехнологічних процесів зародилися в давнину. На території найдавніших вогнищ в Месопотамії, Єгипті збереглися залишки пекарень, пивоварних заводів, споруджених 4-6 тисячоліть тому. У 3 тисячолітті до н. е. шумери виготовляли до двох десятків сортів пива. У Стародавній Греції і Римі широке розповсюдження отримали виноробство та виготовлення сиру. В основі пивоваріння і виноробства лежить діяльність дріжджових грибків, сироваріння – молочнокислих бактерій, сичужного ферменту. Отримання льняного волокна відбувається з руйнуванням пектинових речовин мікроскопічними грибами і бактеріями. Іншими словами, зародження біотехнології тісно пов'язане з сільським господарством, переробкою рослинницької і тваринницької продукції.

II етап (XIX ст. – перша половина XX ст.). Становлення біотехнології як науки. Цей етап пов'язаний з початком бурхливого розвитку біологічних наук: генетики, мікробіології, вірусології, цитології, фізіології, ембріології. На рубежі XIX і XX ст. в ряді країн створюються перші біогазові установки, в яких відходи тваринництва та рослинництва під дією мікроорганізмів перетворювалися на біогаз (метан) і добриво. В кінці 40-х років XX століття з організацією великомасштабного виробництва антибіотиків стала розвиватися

мікробіологічна промисловість. Антибіотики знайшли широке застосування не тільки в медицині, а й у сільському господарстві для лікування тварин і рослин, в якості біодобавок до корму. Були створені високоефективні форми за допомогою мутацій. Виникли підприємства, на яких за допомогою мікроорганізмів виготовлялися амінокислоти, вітаміни, органічні кислоти, ферменти. В кінці 60-х років отримала розвиток технологія іммобілізованих ферментів.

III етап (з середини 70-х років XX століття) – ознаменувався розвитком біотехнології в різних напрямках за допомогою методів генної та клітинної інженерії. Формальною датою народження сучасної біотехнології вважається 1972 р., коли була створена перша рекомбінативна (гібридна) ДНК, шляхом вбудовування в неї чужорідних генів. До цього моменту використовувалися, головним чином, фізичні і хімічні мутагени з метою створення форм мікроорганізмів, які синтезують цінні для людини речовини в 5-10 разів інтенсивніше, порівняно з вихідними штамми.

Науковий фундамент біотехнології був закладений у працях засновника сучасної мікробіології, французького вченого Луї Пастера, який у 1857 році не тільки визначив, що всі процеси бродіння є результатом життєдіяльності мікроорганізмів, а і вперше запропонував у 1861 році промислові методи запобігання псуванню вина (пастеризацію), використання бактерій вражаючих комах для боротьби з філоксерою і передбачив можливість промислового отримання та використання антибіотиків як лікарських засобів.

У 1865 році Грегор Мендель оприлюднив результати досліджень щодо спадковості ознак при схрещуванні бобових рослин. Він відкрив гени, які передають ознаки від покоління до покоління та сформулював основні правила спадковості, що пізніше отримали назву законів Менделя. Протягом 1870-1890 років були отримані перші гібриди кукурудзи і бавовника з новими властивостями та розроблені перші зразки добрив з бактеріями, які фіксували азот для підвищення врожайності.

На початку XX ст. роботи Г. Менделя знову привернули увагу у зв'язку з

дослідженнями Еріха фон Чермака і Гуго Де Фріза з питань гібридизації рослин, у яких були підтверджені основні висновки про незалежне успадкування ознак і про чисельні співвідношення при «розщепленні» ознак у потомстві.

У 1930 році в США був прийнятий закон про патентування продуктів селекції рослин, а вже у 1933 році – отримані перші гібриди кукурудзи, призначені для комерційного використання.

У 20-30 роки минулого ст. великого значення набуває мікробіологічний метод боротьби з сільськогосподарськими шкідниками і в науковий обіг уводиться термін «біотехнологія». У цей час почалося широке виробництво препаратів на основі спороутворювальних бактерій (*Bacillus thuringiensis* і *Bacillus popilliana*). Препарати, отримані з цих видів бактерій, ефективно використовувалися для боротьби з сараною, сибірським шовкопрядом, шкідниками кукурудзи, бавовника та винограду.

У Конвенції про охорону біологічного різноманіття, прийнятій на Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро 5 червня 1992 року, біотехнологія визначена як «будь-який вид технології, пов'язаний із використанням біологічних систем, живих організмів або їхніх похідних для виготовлення або зміни продуктів або процесів з метою їх конкретного вживання».

У 1943 році відбулася епохальна подія – у США мікробіологи О. Ейвері, К. Маклеод та М. Маккарті визначили хімічну природу гена та довели, що не білки, а дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК) є речовиною, з якої складаються гени. Ученими було доведено, що ДНК, яка присутня в ядрі кожної клітини, є субстанцією, що відповідає за передачу спадкової інформації.

У цьому ж році австрійський учений Е. Шредінгер сформулював основоположні принципи ДНК-технології. Він висунув ідею молекулярного підходу до вивчення генів. Е. Шредінгер, за 20 років до відкриття генетичного коду, розглядав ген та хромосоми як молекулярні носії інформації про живий організм. Зазирнувши всередину клітини та навчившись розшифровувати

генетичні коди, вчені з'ясували, що основа будови і функції молекул усього живого на Землі – єдині. Усі організми і навіть віруси, містять одні й ті ж хімічні речовини, які утворюють головну молекулу генетичної пам'яті організму – ДНК. Вона складається з генів, що формують геном, як «книгу життя», написану за допомогою чотирьох «букв» – хімічних сполук аденіну (А), тиміну (Т), гуаніну (G) та цитозину (С).

Таким чином, бурхливий розвиток фундаментальних наукових досліджень, тісна інтеграція природничих та інженерних наук у другій половині ХХ та на початку ХХІ ст. спричинили «генну революцію».

1953 рік – вчені Дж. Уотсон (США) і Ф. Крік (Англія) запропонували модель будови молекули ДНК у вигляді подвійної спіралі, що дозволило дати хімічне пояснення її біологічних властивостей як носія генетичної інформації, за що отримали Нобелівську премію з фізіології та медицини в 1962 році.

1958 рік – молекула ДНК уперше була синтезована в лабораторних умовах.

1970 рік – Г. Корана (США) вперше синтезував молекулу ДНК, яка включає послідовність із 77 нуклеотидів, і довів, що вона може служити матрицею для побудови аланінової транспортної РНК. Г. Сміт (США) виділив із клітин ферменти-рестриктази, здатні вибірково розрізати молекули ДНК і РНК на окремі фрагменти.

1972 рік – у лабораторії П. Берга (США) була отримана перша рекомбінантна молекула ДНК.

1973 рік – у лабораторії Г. Бойера і С. Коена (США) була отримана перша функціонально активна молекула рекомбінантної ДНК та відпрацьована методика розрізання та склеювання ДНК, що створило можливості для зміни живих організмів шляхом вживлення в них інших генів. Таким чином, в лабораторних умовах були розроблені основні методи генної інженерії.

1980 рік – П. Бергу, У. Гілберту та Ф. Сенгеру було присуджено Нобелівську премію з хімії за синтез першої рекомбінантної молекули ДНК.

1981 рік – у лабораторії університету Огайо створено перші трансгенні

тварини шляхом вбудовування мишам генів інших тварин.

1982 рік – зареєстровано перші ліки, отримані методами біотехнології – людський інсулін, синтезований бактеріями.

1983 рік – в інституті рослинництва в Кельні (Німеччина) отримано першу рослину з використанням методів біотехнології – генетично модифікований тютюн.

1984 рік – розроблено метод генетичних «відбитків пальців»; повністю розшифровано геном ВІЛу.

1986 рік – Методами генної інженерії отримана перша вакцина від гепатиту В та інтерферон – перші ліки проти раку.

1987 рік – Дж. Сенфордом (США) було розроблено метод «генної гармати», початок розвитку біобалістики. У США було видано перший дозвіл на польові випробування ГМ рослин.

1990 рік – розпочато міжнародний науковий проєкт «Геном людини».

1992 рік – у США видано перший дозвіл на харчовий продукт, отриманий з використанням біотехнологій. Управління з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів та медикаментів США (FDA) робить заяву, згідно з якою трансгенні харчові продукти не небезпечні і для їх вживання не потрібна спеціальна регламентація.

1994 рік – Томат FLAVRSAVR – перший генетично модифікований харчовий продукт, схвалений Управлінням з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів та медикаментів США.

1995 рік – уперше отримана повна генетична карта геному бактерії *Neisseria meningitidis*. Ученими компанії Monsanto (США) виведено перший сорт генетично модифікованої сої.

1996 рік – уперше складено повну генетичну карту ДНК дріжджової клітини *Saccharomyces cerevisiae* (6 тис. генів).

1997 рік – У Шотландії вперше клонована тварина – вівця Доллі. Урядом США схвалено 18 сортів генетично модифікованих зернових культур. Початок поширення ГМ культур у світі: кукурудза, соя, бавовник (Австралія,

Аргентина, Канада, Китай, Мексика, США), ними засіяно біля 2 млн га.

1998 рік – вперше складено карту ДНК багатоклітинного організму – плоского черв'яка *Caenorhabditis elegans* (19 099 генів).

1999 рік – виведений «золотий» рис, збагачений каротином, для профілактики сліпоти у дітей країн, що розвиваються; ведуться дослідження зі створення повної карти геному рису.

2000 рік – 15 травня на пресконференції у Білому домі керівник компанії «Celera Genomics» Крейг Вентер заявив про розшифровку геному людини.

2001 рік – отримана перша повна карта геному рису.

2003 рік – оголошено про повну розшифровку ДНК людини, окрім першої хромосоми. Для цього знадобилося понад 10 років машинних обрахунків, 2,3 млрд дол. США та спільна праця декількох тисяч учених із понад 20 країн світу. На ринку Північної Америки з'являється перша трансгенна декоративна тварина – акваріумна рибка GloFish, що світиться червоним в ультрафіолетовому світлі, завдяки вбудованому гену білка коралу. Уперше було клоновано представника вимираючого виду бантенг, а також мулів, коней та оленів.

2006 рік – 17 травня дослідники Wellcome Trust Sanger Institute разом з американськими та англійськими колегами оголосили про закінчення останнього етапу роботи з розшифровки повного генома людини – секвенування найбільшої, першої хромосоми.

2008 рік – Початок робіт зі створення автоматизованих систем розшифровки геному. Компанія IBM, використовуючи свій досвід у напівпровідниковій сфері та при створенні обчислювальних систем, почала розробку «наносеквенсера ДНК», або чіпа, пристосованого для роботи з ДНК-даними. Метою даного проекту є створення процесора, здатного зчитувати з молекули ДНК генетичну інформацію, перетворювати її в двійникові коди та аналізувати.

Інформаційно закриті системи, якими були культурні та дикі види рослин, сьогодні відкриті для прямого обміну генетичною інформацією

практично з усіма живими організмами, що не мало ще історичного прецеденту. Сучасні інформаційні технології значно полегшують дослідження та створюють безмежні можливості для накопичення, обробки, узагальнення та аналізу інформації з середини клітини, що є емпіричним фундаментом для відкриття нових наукових досліджень.

У багатьох країнах світу біотехнології надається першорядне значення. Це пов'язано з тим, що біотехнологія має ряд істотних переваг перед іншими видами технологій, наприклад, хімічною.

Перш за все, низька енергоємність. Біотехнологічні процеси відбуваються при нормальному тиску і температурах 20-40°C.

Біотехнологічне виробництво частіше базується на використанні стандартного однотипового устаткування. Однотипові ферменти застосовуються для виробництва амінокислот, вітамінів, ферментів, антибіотиків.

Біотехнологічні процеси нескладно зробити безвідходними. Мікроорганізми засвоюють найрізноманітніші субстрати, тому відходи одного якогось виробництва можна перетворювати в цінні продукти за допомогою мікроорганізмів в ході іншого виробництва.

Безвідходність біотехнологічних виробництв робить їх екологічно найбільш чистими. Екологічна доцільність біотехнологічних виробництв визначається також можливістю ліквідації з їх допомогою біологічних відходів – побічних продуктів харчової, деревообробної, целюлозно-паперової промисловості, в сільському і міському господарствах.

Дослідження в області біотехнології не вимагають великих капітальних вкладень, для їх проведення не потрібна дорога апаратура.

До першочергових завдань сучасної біотехнології належать створення і широке освоєння: нових біологічно активних речовин і лікарських препаратів для медицини (інтерферонів, інсуліну, гормонів росту, антитіл); мікробіологічних засобів захисту рослин від хвороб і шкідників, бактеріальних добрив і регуляторів росту рослин, нових високопродуктивних і стійких до

несприятливих факторів зовнішнього середовища гібридів сільськогосподарських рослин, отриманих методами генетичної і клітинної інженерії; цінних кормових добавок та біологічно активних речовин (кормового білка, амінокислот, ферментів, вітамінів, кормових антибіотиків) для підвищення продуктивності тваринництва; нових технологій отримання господарсько-цінних продуктів для використання в харчовій, хімічній, мікробіологічній та інших галузях промисловості; технологій глибокої і ефективної переробки сільськогосподарських, промислових і побутових відходів, використання стічних вод і газоповітряних викидів для отримання біогазу і високоякісних добрив.

3. Принципи біотехнології

Принципи біотехнології:

1. Принцип економічної обґрунтованості. Біотехнологія впроваджується тільки в ті виробничі процеси, які не можна ефективно і з тими ж витратами реалізувати засобами традиційної технології. Амінокислоту лізин можна легко синтезувати хімічним шляхом, але це дуже трудомістка процедура, тому лізин отримують шляхом мікробіологічного синтезу.

2. Принцип доцільного рівня технологічних розробок. Масштаб виробництва продукту, ступінь його очищення, рівень автоматизації виробництва — все це повинно прямо визначатися міркуваннями економічної вигоди, сировинними й енергетичними ресурсами, рівнем попиту готового продукту. Для отримання препаратів медичного призначення, які потрібні в кількості декількох сотень грамів на рік, доцільно використовувати невеликі біореактори, великомасштабне виробництво тут себе не виправдовує. У більшості сучасних мікробіологічних виробництв прагнуть до використання чистих культур мікроорганізмів і до повної стерильності обладнання, середовищ, повітря, але в деяких випадках, продукт, що задовольняє споживача (наприклад, біогаз), може бути отриманий і без чистих культур, що ростуть в не

стерильних умовах.

3. Принцип наукової обґрунтованості біотехнологічного процесу. Наукові знання дозволяють заздалегідь провести розрахунок параметрів середовища, конструкції біореактора і режиму його робіт.

4. Принцип здешевлення виробництва (максимальне зниження витрат). Як приклад – використання в біотехнологічних процесах енергії Сонця, природних біореакторів – природних водойм замість рукотворних апаратів, зокрема, для отримання біомаси одноклітинних водоростей.

Викладені принципи говорять про двоєдине завдання біотехнології: створення оптимальних умов для синтезу цільового продукту клітинами біооб'єкту і в той же час проведення виробництва в максимально економічному режимі, при мінімальних виробничих витратах.

У Картахенському протоколі про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття сучасну біотехнологію визначено як таку, що використовує методи та технології генної інженерії, що дозволяють ідентифікувати, виділяти і переносити окремі гени та їхні комплекси з клітин організму-донора в клітини організму-реципієнта, з метою створення генетично модифікованих організмів (ГМО) з певними бажаними ознаками, зокрема:

1. методів клітинної інженерії (*in vitro*) з культивування, регенерації, розмноження та гібридизації клітин і тканин у штучних умовах з використанням нуклеїнових кислот, включаючи рекомбіновану ДНК і пряму ін'єкцію нуклеїнових кислот в клітини або органели;

2. методів соматичної гібридизації, заснованих на злитті клітин організмів з різним таксономічним статусом, які дозволяють подолати природні фізіологічні репродуктивні або рекомбінаційні бар'єри.

4. Сучасні методи біотехнології

Методи генної інженерії принципово відрізняються від відомих законів природної еволюції. Загальновідомо, що в процесі еволюції можуть відбуватися

зміни на генетичному рівні, що призводять до появи нових ознак лише в межах одного виду. Однією з головних характеристик біологічного виду є репродуктивна ізоляція – можливість схрещування лише в його межах. Генна інженерія дозволяє подолати цей бар'єр, що є прямим втручанням людини в процес еволюції. Метод рекомбінації ДНК є найпоширенішим у сучасній біотехнології. Він дозволяє вбудовувати чужорідні молекули ДНК в геноми рослин, тварин і мікроорганізмів, наділяючи їх властивостями та ознаками, отримання яких неможливе за допомогою традиційних методів селекції.

Підтвердженням цього є те, що сьогодні у світі мільйони гектарів засіяні генетично модифікованими сортами сої, кукурудзи та інших сільськогосподарських культур, уже існують трансгенні «рослини-фармафабрики» із вбудованими вакцинами і вітамінами та рослини, що можуть виробляти цінні фармацевтичні матеріали, а також у лабораторіях створено понад 20 видів генетично модифікованої риби та декілька порід ГМ-тварин.

Слід зауважити, що досягнення фундаментальної науки сягнули настільки далеко, що сьогодні людина стає одним із головних об'єктів генетичних досліджень та генетичних маніпуляцій. Сьогодні експериментальна наука стоїть за крок до створення людини в лабораторних умовах.

Безперечно, сьогодні досягнути всі перспективи, які відкриває «генна революція», неможливо, але з впевненістю можна стверджувати, що подібно до винаходу парового двигуна та відкриття електричної енергії, які свого часу змінили спосіб життя багатьох людей, вона відкрила нову еру. Під її впливом формуються нові ринки товарів та послуг, змінюється їхня вартість та способи виробництва, виникають нові та можуть зникнути деякі традиційні види діяльності, міняється структура та напрямки інвестиційних потоків.

Наступним етапом, на думку вчених, буде поєднання генної революції з агропромисловою. У результаті науково-технічного прогресу та широкого використання новітніх розробок у галузі генної інженерії з'являться нові сектори економіки, які сформують «агроцевтичну систему», де промисловим способом будуть вироблятися ГМ-рослини, ГМ-тварини, продукти харчування,

лікарські препарати і таке інше.

Широке використання методів сучасної біотехнології уже спричинило значні зміни в сільському господарстві. Значно прискорився процес отримання нових сортів рослин з бажаними властивостями та нових порід тварин. Міжнародні агропромислові корпорації активно використовують здобутки сучасної біотехнології для вирішення проблеми продовольства у світі.

Окрім сільського господарства, сучасні біотехнології уже широко використовуються в медицині, ветеринарії, енергетиці, хімічній промисловості та в інших сферах.

Використання методів сучасної біотехнології у медицині робить її більш персоналізованою, дозволяє забезпечити діагностику та лікування на якісно новому рівні, а виробництво ліків у майбутньому буде безпосередньо пов'язане із генетичною діагностикою хворих. Лідери світової фармацевтичної індустрії уже ефективно використовують методи сучасної біотехнології для пошуку нових ліків, що припиняють дію небезпечних генів ще до розвитку хвороби. Наступає нова ера, коли ліки будуть проектувати за допомогою генно-інформаційних технологій, а не винаходити емпірично, як це було раніше. Експерти маркетингової фірми Frost&Sullivan вважають, що незабаром оборот індустрії генного тестування перевищить 1 млрд. дол. США.

Технології промислового біосинтезу широко використовуються для виробництва органічних розчинників, амінокислот, кормових білків, ферментів, антибіотиків, вакцин та інших препаратів, які застосовуються в промисловості, виробництві кормів, сільському господарстві, медицині та ветеринарії.

Сучасні біотехнології широко використовуються для вирішення екологічних проблем, зокрема для боротьби із забрудненням навколишнього середовища, наприклад, у технологіях очищення стічних вод та обеззаражуванні промислових відходів.

При поступовому скороченні запасів природних вуглеводнів та постійному погіршенні екологічної ситуації у світі особливе місце зайняла біоенергетика, що базується на технологіях виробництва біопалива, зокрема

етанолу, методом мікробіологічної ферментації різноманітної сільськогосподарської сировини. Цей напрямок біотехнології в умовах постійного зростання потреби в енергоресурсах має надзвичайно важливе значення вже сьогодні. За прогнозами Міністерства енергетики США до 2030 року Сполучені Штати будуть виробляти до 90 млрд. галонів етанолу на рік, що дозволить зменшити споживання автомобільного пального з нафти з 180 до 120 млрд. галонів за рік. У 2006 році застосування етанолу в США дозволило скоротити на 8 млн. тон викиди парникових газів (у CO₂ еквіваленті), що приблизно дорівнює річним викидам 1,21 млн. автомобілів. Новою ідеєю біотехнологів є вирощування ГМ-лісів як сировини для біопалива. Експеримент із вирощування ГМ-тополь як джерела біопалива проходить у провінції Квебек (Канада), що викликало масові протести екологів та світової громадськості.

Щоб зрозуміти значення біотехнології для майбутнього людства, потрібен час. Але вже зараз зрозуміло, що в майбутньому її роль зростатиме, а сфера застосування здобутків «генної революції» буде лавиноподібно розширюватися, і цей процес, як і хід наукової думки, зупинити вже неможливо. На жаль, сьогодні здатність людства перетворити отримані знання про гени на розуміння генів мізерна. Тому дослідження генів необхідно продовжувати, щоб, окрім перспектив та переваг, які відкриває для людства генна революція, чітко усвідомлювати можливі її ризики та загрози для людини та екосистеми Землі.

Лекція 7

Генно-модифіковані організми

1. Історія виникнення генно-модифікованих організмів
2. Мета і види генно-модифікованих організмів
3. Отримання трансгенних тварин
4. Способи отримання генно-модифікованих мікроорганізмів
5. Отримання трансгенних рослин

1. Історія виникнення генно-модифікованих організмів

Під час «холодної війни» США і СРСР покладали великі надії на біологічну зброю нового зразку. Вона мала бути набагато ефективнішою, ніж термоядерна – не знищувала би території та індустрію, а впливала б тільки на населення. До цієї зброї відносились і ГМО – організми, що містили б гени штучно створені, або запозичені в інших організмів. Це відкривало грандіозні перспективи, а саме створення вірусів і рослин, котрі би знижували імунітет людей, несли нові хвороби, від яких не було би ні природного захисту, ні ліків.

Після закінчення «холодної війни» постала проблема з фінансуванням даних програм. Тому групи вчених з обох сторін звернулися до урядів щодо використання цих технологій у мирних цілях. У СРСР ці програми не отримали фінансової допомоги, а у США цю ідею підхопили корпорації, що спеціалізувались на агротехнологіях. Незабаром на світовому ринку з'явилися ГМ сільськогосподарські культури, що були синтезовані шляхом біотехнологічних операцій.

Потім з'явилася інформація про те, що змінені рослини викликають мутацію живих організмів, та харчуються ними. Такі сенсаційні висновки зробив відомий німецький зоолог Ханс-Хайнрих Каац. Проведені ним дослідження, та звіти, які оприлюднені в Лондоні, свідчать про наявність величезної потенційної загрози генної інженерії для всього живого на планеті.

Вчений встановив, що змінений ген олійного турнепсу проникає в бактерії, які живуть у шлунку бджоли, і призводить до їхньої мутації. Тим самим знайдено перший науковий доказ впливу генетично змінених рослин на живі організми. Експерт не виключає, що бактерії в організмі людини також можуть змінюватися під впливом продуктів, що містять модифіковані гени.

Що значить «генетично модифікований», або «трансгенний»? Генетично модифіковані організми (ГМО) можна визначити як організми, у яких генетичний матеріал (ДНК) змінений таким чином, яким це не відбувається в природних умовах. Цю технологію часто називають «сучасною біотехнологією» або «генною технологією». Вона дозволяє переносити відібрані індивідуальні гени з одного організму в інший, а також між не пов'язаними між собою різновидами. Такі методи використовуються для створення генетично модифікованих рослин, які потім використовуються для вирощування генетично модифікованих харчових культур. Виробляти цю процедуру в широкому масштабі можливо тільки в лабораторіях великих корпорацій.

У результаті такі трансгенні організми здобувають нові «корисні» властивості – наприклад, стають токсичними для комах, однак найчастіше метою генетичної модифікації є одержання суперстійкості сільськогосподарських рослин до величезних кількостей пестицидів виробництва тих самих корпорацій. Численні дослідження цієї проблеми свідчать, що генетично модифікована їжа може становити серйозну небезпеку для здоров'я людини й для навколишнього середовища. У квітні 1998 року вчений Арпад Пуштаї з науково-дослідного інституту Роуэтт (Великобританія), необачно заявив, що експерименти виявили незворотні зміни в організмі пацюків, які харчувалися генетично модифікованою картоплею. Він стверджував, що ніколи не буде їсти подібну їжу й, що дуже несправедливо використовувати громадян як піддослідних кроликів. На Пуштаї почалися гоніння. Він був звільнений з роботи.

Однак через якийсь час Британська Медична Асоціація призвала до

міжнародної заборони на використання методів генної інженерії в харчовій промисловості й сільському господарстві. Вчені вважають, що ефект впливу компонентів, які, містяться в генетично модифікованих продуктах, неможливо пророчити й перевірити. Російські медики також наполягають на ретельних дослідженнях і забороні використання таких компонентів хоча б у виробництві дитячого харчування. Небезпека для навколишнього середовища, що містить у собі генетично модифіковані організми, обговорюється біологами багатьох країн.

ГМО (англ. Genetically modified organisms) – організми, генетичний матеріал яких був змінений шляхом, що не відбувається в природних умовах, на відміну від схрещування або природної рекомбінації.

ГМО – це генетично модифікований організм, що утворюється в результаті застосування технологій генної інженерії, які дозволяють вбудовувати гени одного організму в інший. Завдяки внесенню нових генів організм (рослина, мікроорганізм, тварина або навіть людина) отримує нові бажані ознаки, які раніше в нього були відсутні. Цікаво, що, наприклад, генетично модифікована соя не відрізняється від звичайної ні за смаком, ні за зовнішніми ознаками. Якщо не має спеціального обладнання для перевірки ДНК, то про наявність зміненої генетичної інформації у сировині можна лише здогадуватися. Ще складніше визначити наявність генетично модифікованого інгредієнта у продукті, що складається із декількох компонентів, зокрема у суміші дитячого харчування, ковбасі із додаванням соєвого фаршу, кукурудзяних чіпсах та ін. Відповідне маркування передбачене тільки в декількох країнах світу, серед яких члени Євросоюзу, Росія, Японія. Більшість країн СНД тільки починають впроваджувати законодавство стосовно біобезпеки ГМО. Поняття «біобезпеки» відносно ГМО зовсім не випадкове: ці організми живі, а значить здатні до розмноження, передачі «набутого» зміненого матеріалу потомкам. Із самого початку комерційного використання генетично модифікованих рослин у сільському господарстві між вченими у всьому світі тривають дискусії про те, чи достатньо вони розуміють основи

життя закладені еволюцією, щоб маніпулювати генами і починати масове використання у сільському господарстві та виробництві продуктів харчування. За даними на 2002 рік генетично модифіковані рослини вирощуються для комерційного використання у 16 країнах світу, в основному США, Канаді, Аргентині та Китаї. Одночасно із академічними баталіями занепокоєння почали проявляти люди найрізноманітніших професій. Це переросло у глобальний суспільний рух різних організацій. Вони вимагали обмеження поширення ГМО.

Генетично модифіковані організми отримують методом трансформації за допомогою одного з способів: агробактеріальний переніс, балістична трансформація, електропорація або вірусна трансформація. Переважна кількість комерціалізованих трансгенних рослин отримані за допомогою агробактеріального переносу або балістичною трансформацією. Як правило, для переносу використовують плазмиду, що містить ген, робота якого надає організму задані якості, промотор, що регулює включення цього гену, термінатор транскрипції та також касету, що містить селективний ген стійкості до антибіотику канаміцину або гербіциду. Отримання трансгенних сортів нового покоління не передбачає використання селективного гену, побічні якості якого можуть розглядатись як небажані. Натомість генетична конструкція може нести декілька генів, що необхідні для комплексної роботи генетичної конструкції.

ГМО об'єднують три групи організмів – генетично модифіковані мікроорганізми (ГММ), тварини (ГМТ) та рослини (ГМР).

Витоки розвитку генної інженерії рослин лежать в 1977 році, коли і сталося відкриття, що дозволило використовувати ґрунтовий мікроорганізм *Agrobacterium tumefaciens* як знаряддя введення чужих генів в інші рослини.

У 1987 році були вироблені перші польові випробування генетично модифікованих сільськогосподарських рослин. Як підсумок – помідор, стійкий до вірусних інфекцій У 1992 р. в Китаї почали вирощувати тютюн, який «не боявся» шкідливих комах.

Але початок масового виробництва модифікованих продуктів поклали в

1994 р., коли в США з'явилися помідори сорту FlavrSavr, які не псувалися під час перевезення. Це помідори з відкладеним дозріванням, які зберігаються до півроку при температурі 14-16 градусів. Дозрівання відбувається при переміщенні його в кімнатну температуру.

1994-й вважається офіційним роком народження ГМ-продуктів. В 1994 комерціалізовано генетично-модифікований томат (FlavrSavr), продукції компанії Calgene з підвищеною лежкістю. Генетична трансформація в цьому випадку не призводила до вбудовування якогось гену, а стосувалась виключення гену полігалактуронази за допомогою антисенс-технології. В нормі продукт цього гену сприяє руйнуванню клітинної стінки плоду в процесі зберігання. FlavrSavr недовго проіснував на ринку, оскільки існують дешевші конвенційні сорти з такими ж якостями. Переважна кількість сучасних генномодифікованих продуктів рослинного походження.

В результаті, зараз існує картопля, яка містить гени земляної бактерії, що вбиває колорадського жука, стійка до посух пшениця, в яку вживили ген скорпіона, помідори з генами морської камбали.

У 1995 році американська компанія-гігант Monsanto запустила на ринок ГМ-сою RoundupReady. У ДНК рослини був впроваджений чужорідний ген для підвищення здатності культури протистояти бур'янам.

Список рослин, які вирощують із застосуванням методів генної інженерії дуже великий. У нього входять: яблуна, слива, виноград, капуста, баклажани, огірок, пшениця, соя, рис, жито і безліч інших сільськогосподарських рослин.

Трансгенні рослини дають більш високу врожайність, можуть мати нові властивості, підвищену декоративну і харчову цінність. ГМ-сорти стійкі до гербіцидів, несприятливого клімату, псування при зберіганні, стресів, хвороб і шкідників. Крім того, звичні продукти можна наділити якимись новими властивостями. Наприклад, створені кави без кофеїну, полуниця з меншим вмістом цукру, рис з підвищеним вмістом заліза. Сьогодні у світі існує декілька десятків ліній ГМ-культур: сої, картоплі, кукурудзи, цукрового буряка, рису, томатів, рапсу, пшениці, дині, цикорію, папайї, кабачків, бавовни, льону і

люцерни.

Найчастіше культурним рослинам надають стійкість до гербіцидів, комах або вірусів. Стійкість до гербіцидів забезпечує несприйнятливість рослини до смертельної дози хімікатів. Завдяки цьому поле звільняється від бур'янів, а культурні рослини, стійкі до гербіциду, виживають. Компанії, які продають подібні рослини, пропонують і відповідні гербіциди. Стійка до комах флора дійсно стає безсмертною: наприклад, непереможний колорадський жук, з'їдаючи листки картоплі, гине. Майже всі такі рослини містять вбудований ген природного токсину – земляної бактерії *Bacillus thuringiensis*. Такою є генетично модифікована картопля «Новий лист» (стійка до колорадського жука). Стійкість до вірусу рослини набувають завдяки вбудованому гену, який взятий із цього самого вірусу.

Станом на 2009 рік, комерціалізовано і допущено до вирощування як мінімум в одній з країн світу 33 види трансгенних рослин: соя – 1, кукурудза – 9, рапс – 4, бавовник – 12, цукровий буряк – 1, папайя – 2, гарбуз – 1, паприка – 1, томат – 1, рис – 1. На різних стадіях розгляду запитів на допуск знаходиться ще близько 90 різних видів трансгенних рослин, в тому числі картопля, слива, люцерна, квасоля, пшениця, земляний горіх, гірчиця, цвітна капуста, перець чілі та інші.

2. Мета і види генно-модифікованих організмів

Мета отримання генетично змінених організмів - поліпшення корисних характеристик вихідного організму-донора і зниження собівартості продуктів.

Генетична модифікація може надавати рослині і харчовому продукту, що виробляється з неї, цілий ряд певних ознак. Переважна кількість генно-модифікованих організмів, що культивуються, несуть стійкості до збудників хвороб (вірусів та грибів), комах-шкідників або до гербіцидів. Це значно полегшує культивування, а також зменшує витрати на обробку ядохімікатами.

Стійкість до гербіцидів. Більшість гербіцидів діють вибірково проти

небажаних видів рослин. Крім цього існують гербіциди широкого спектру дії, які впливають на обмін речовин майже всіх видів рослин, як наприклад гліфосат, глюфозінат амонію або імідазолін.

В 2008 році вирощування трансгенних рослин зі стійкістю до гербіцидів займало перше місце в загальній кількості вирощуваних трансгенних рослин загалом і складало 63% або 79 млн. з 125 млн. гектарів, засіяних трансгенними рослинами у світі. Підраховано, що тільки вирощування трансгенної сої зі стійкістю до гербіцидів з 1996 по 2007 роки призвело до кумулятивного зменшення використання загальної кількості гербіцидів на 73 тисячі тон (4,6%). В 2009 році стійкі до гербіцидів рослин потіснили сорти, стійкі до комах-шкідників та ті, які несуть одразу дві або три вбудовані ознаки.

Стійкість до комах. Бактеріальний Vt-токсин здавна застосовувався в сільському господарстві як ефективний інсектицид. В органічному землеробстві поширене застосування бактеріальної суспензії *Bacillus thuringiensis* для боротьби з комахами-шкідниками. Перенесений в геном рослини бактеріальний ген *cry* Vt-токсину надає рослині стійкості проти ряду комах-шкідників. Напоширеніші рослини, в які вбудовують ген Vt-токсину – кукурудза та бавовник, який розроблений і впроваджений Монсанто в 1996 році. Була спроба перенести ген Vt-токсину в картоплю з метою боротьби проти колорадського жука, але захід виявився неефективним, оскільки трансгенна картопля виявилась вразлива до тлі *Aphidius nigripes*. Переваги трансгенних рослин в тому, що цільове впровадження інсектициду в рослину захищає нешкідливі і корисні комахи від тотального винищення внаслідок обробки полів. Недоліки полягають в тому, що інсектицид присутній в рослині перманентно, що унеможливає його дозування. Крім того, в трансгенних сортах першого покоління ген експресується під конститутивним промотором, У 2009 році трансгенні Vt-рослини були найпоширенішими за кількістю культивованих трансгенних рослин.

Стійкість до вірусів. Віруси викликають цілий ряд захворювань рослин і їхнє розповсюдження важко контролювати, засобів хімічної боротьби також не

існує. Найефективнішими засобами боротьби вважається сівозміна та селекція стійких сортів. Генетична інженерія розглядається як перспективна технологія в розробці стійких видів рослин. Найпоширеніша стратегія – косупресія, тобто переніс в рослину гену вірусу, що кодує білок його оболонки. Рослина продукує вірусний білок до того, як вірус в неї проникне і це сповіщає її сигнал про вірусну інвазію, включаються захисні механізми, які блокують розмноження вірусу, якщо він проникає в рослину.

Вперше цю стратегію застосували для порятунку папайної індустрії на Гаваях від вірусу кільцевої папайної плямистості. Вперше вірус було ідентифіковано в 1940 році, а в 1994 він швидко розповсюдився, в результаті чого індустрія опинилась перед загрозою повного знищення. У 1990 році почались інтенсивні роботи з трансформації папайї, які в 1991 році увінчалися успіхом. Перші плоди комерціалізованого сорту папайї «Rainbow» були зібрані в 1999 році.

Стійкість до грибів. Гриб *Phytophthora infestans* належить до класу рослинних паразитів, що спричиняє фітофтороз, який завдає значних збитків при культивуванні картоплі або томатів. Найефективніший метод боротьби з фітофторою – застосування фунгіцидів (за сезон може бути потреба до 16-ти обробок, що серйозно забруднює ґрунти) та виведення сортів, стійких до захворювання. Методами класичної селекції вдалось частково перенести гени стійкості до фітофтори в культурні сорти, але разом з тим переносяться також ряд генів, що кодують небажані ознаки.

Компанія BASF розробила генно-модифікований сорт картоплі «Fortuna», в яку перенесли два гени *Rpi-blb1* та *Rpi-blb2* стійкості до фітофторозу з південноамериканського дикого виду картоплі *Solanum bulbocastanum*. В 2006 році сорт пройшов успішне польове випробування в Швеції, Нідерландах, Великобританії, Німеччині та Ірландії. В 2014 році очікується поява цього сорту на ринку.

Стійкість до посухи. Недостатнє постачання води завдяки зміні клімату або окремих посушливих періодів призводить до відчутних втрат врожаїв,

особливо в регіонах з несприятливими умовами вирощування. Біотехнологія шукає можливості для штучного захисту рослин від засухи. Наприклад, ген *cspB* з особливих штамів бактерії *Bacillus subtilis*, що стійкі до замерзання, також надає рослинному організму якість стійкості до посухи. Компанія BASF та Monsanto розробила сорти кукурудзи, які в польових дослідженнях при несприятливих посушливих умовах давали врожайність від 6,7% до 13,4% більшу, ніж конвенційні сорти. Заявка на допуск подана в відповідні установи країн Північної Америки, Колумбії та Європейського Союзу. Також ці сорти планується залучити до програми Water Efficient Maize for Africa з 2015 до 2017 року.

Стійкість до солей та алюмінію. Засолення ґрунтів – одна з важливих проблем сільськогосподарського рослинництва. В світі близько 60 млн гектарів полів мають таку ваду, що унеможливорює їхнє ефективне використання. Засобом генної модифікації вдалось отримати рапс, що несе ген іонного транспортера *AtNHX1* з Арабідопсису, що робить його стійким до засолення хлоридом натрію. Інших фенотипових змін в рослині не спостерігається.

В кислих ґрунтах створюються сприятливі умови для вивільнення з алюмінієвих сілікатів тривалентних іонів алюмінію, які для рослин є токсичним. Кислі ґрунти складають до 40 % родючих земель, що робить їх малопридатними для культивування. Стійкість до алюмінію спробували сконструювати штучно, шляхом переносу в рослини рапсу гену мітохондріальної цитрат синтази з Арабідопсису.

Модифікація стійкості до солей та алюмінію знаходиться в стадії наукових розробок.

Генетично модифіковані організми використовуються в прикладній медицині з 1982 р., коли був зареєстрований як ліки людський інсулін, що отримується за допомогою генетично модифікованих бактерій. В даний час генетично модифіковані організми широко використовуються у фундаментальних та прикладних наукових дослідженнях. За допомогою ГМО досліджуються закономірності розвитку деяких захворювань (хвороба

Альцгеймера, рак), процеси старіння і регенерації, вивчається функціонування нервової системи, вирішується ряд інших актуальних проблем біології та медицини. Але найбільшого поширення набули генетично модифіковані рослини. Саме вони на сьогодні викликають найбільше суперечок, які пов'язані з ГМО.

Розрізняють три основних види ГМО:

1. *Рослини ГМО*. Рослини є найбільш поширеним видом ГМО, що використовуються в наш час, і їх модифікацій для різних цілей. Прихильники ГМО стверджують, що рослини, які були змінені, щоб протистояти комахам-шкідникам, безпечні для навколишнього середовища, оскільки вони вимагають менше пестицидів. Деякі рослини були змінені, щоб чинити опір хворобам, які можуть серйозно вплинути на сільськогосподарське виробництво, і фермери що користуються технологіями ГМО, одразу вказали на те, що це допомагає запобігати браку продовольства і недоїдання в перенаселених країнах світу. Харчова цінність деяких культур була покращена шляхом генетичних модифікацій. «Золотий рис», наприклад, був спроектований, щоб містити бета-каротин, джерело вітаміну А.

Опозиційні групи, такі як інститут науки і суспільства (ISIS) та інші зацікавлені сторони які проти застосування сільськогосподарських культур ГМО стверджують, що переваги, які вони пропонують не виправдовують ризики, пов'язані з їх використанням. Вони вказують на поширення генетично модифікованого насіння та конкуренцію з звичайними рослинами. Вони припускають, що споживання ГМО несе ризик для здоров'я людини, але поки, дослідження цього не довели.

2. *Тварини ГМО*. Тварина ГМО зустрічаються рідше, але вони також існують. Миші це практично чисті ГМО, вони використовуються в різних галузях досліджень. За даними Центру генетики і суспільства, сучасна промисловість створила спеціально адаптованих під дослідження мишей, в яких відсутні певні набори генів.

Досить велика кількість тварин, у тому числі корів, свиней, овець і курей,

були генетично змінені для отримання людських білків в медичних цілях. Крім того, був вирощений генетично модифікований лосось, що набирає масу в кілька разів швидше за звичайного.

3. *Мікроби ГМО*. У грудні 2005 року журнал National Geographic опублікував статтю про бактерії, були генетично змінені студентами Університету Техасу. Бактерії E.coli були змінені, щоб реагувати на світло таким чином, щоб отримати фотографію. Експеримент був розроблений для генетичного конкурсу інженерної підтримки МІТ (Массачусетський технологічний інститут), і результат був покликаний продемонструвати здатність генетично маніпулювати бактеріями. Інші мікробні ГМО були розроблені для різних цілей – від боротьби з захворюваннями ротової порожнини зубної порожнини до запобігання ВІЛ-інфекції.

3. Отримання трансгенних тварин

Трансгенні тварини – експериментально отримані тварини, що містять у всіх клітинах свого організму додаткову інтегровану з хромосомами і експресується чужорідну ДНК (трансгени), яка передається у спадок за законами Менделя.

Отримання трансгенних тварин здійснюється за допомогою перенесення клонованих генів (ДНК) в ядра запліднених яйцеклітин (зигот) або ембріональних стовбурових клітин.

Потім у репродуктивні органи самки-реципієнта пересаджують модифіковані зиготи або яйцеклітини, у яких власне ядро замінено на модифіковане ядро ембріональних стовбурових клітин, або бластоцисти (ембріони), що містять чужорідну ДНК ембріональних стовбурових клітин. Є окремі повідомлення про використання спермій для створення трансгенних тварин, проте цей прийом поки не отримав широкого розповсюдження.

В даний час для створення трансгенних тварин, крім мікроін'єкцій, використовуються інші експериментальні прийоми: інфікування клітин

рекомбінантними вірусами, електропорація, «обстріл» клітин металевими частинками з нанесеними на їх поверхні рекомбінантними ДНК.

Усі наявні методи перенесення генів поки ще не дуже ефективні. Для отримання однієї трансгенної тварини в середньому необхідні мікроін'єкції ДНК в 40 зигот мишей, 90 зигот кози, 100 зигот свині, 110 зигот вівці і в 1600 зигот корови.

Механізми інтеграції екзогенної ДНК або формування автономних репліконів (одиниць реплікації, відмінних від хромосом) при трансгенезу не відомі.

Вбудовування трансгенів у кожного знову одержуваного трансгенного тварини відбувається у випадкові ділянки хромосом, причому може відбуватися вбудовування як одиничної копії трансгени, так і безлічі копій, розташованих тандемно в одиничному локусі однієї з хромосом.

Гомологія між сайтом (місцем) інтеграції трансгена і самим трансгеном відсутня. При використанні для трансгенезу ембріональних стовбурових клітин можлива попередня селекція, що дозволяє отримувати трансгенних тварин з трансгенними, інтегрованим в результаті гомологічною рекомбінації з певною ділянкою генома хазяйського організму.

За допомогою цього підходу здійснюють, зокрема, цілеспрямоване припинення експресії певного гена (це називають «нокаут гена»).

4. Способи отримання генно-модифікованих мікроорганізмів

Науково-технічний розвиток харчової промисловості зумовлений рівнем технологій усіх його галузей, зокрема пиво безалкогольне. За масовістю виробництва та об'ємами споживання напої займають значне місце в раціоні харчування. Згідно з численними дослідженнями в галузі фізіології харчування найбільш раціональна форма таких продуктів – безалкогольні напої, від біохімічного та мікробіологічного складу яких значною мірою залежить стан здоров'я населення. Тому, проблема створення й виробництва безалкогольних

напоїв загальнооздоровчого призначення має виняткове значення в розвитку харчової промисловості. З точки зору біохімічного та мікробіологічного складу найбільш повноцінними можна вважати ферментовані напої – продукти культивування моно- або асоційованих культур мікроорганізмів. Це зумовлено здатністю їх продукувати необхідні для нормального функціонування організму людини біологічно активні речовини. Основна їх відмінність і перевага над звичайними напоями купажування полягає в тому, що ці речовини не вносять штучно, вони утворюються в процесі бродіння. Крім того, широкий спектр їх якісного складу дає змогу поповнити організм людини дефіцитними біологічно активними речовинами.

Однак до цього часу відповідної уваги розвитку даної галузі не приділяли, тож технологічний і технічний рівень їх виробництва досить низький.

Недостатній також асортимент таких напоїв представлений лише хлібним квасом на житній основі. Водночас завдяки розробці і впровадженню новітніх технологій, цілеспрямованому підбору та виділенню чистих культур мікроорганізмів, використанню нетрадиційної рослинної сировини можна значно інтенсифікувати розвиток безалкогольної галузі, одержати повноцінні, збалансовані за біохімічним і мікробіологічним складом відповідно до потреб організму людини напої.

Питання підбору, виділення й дослідження штамів мікроорганізмів для виробництва ферментованих напоїв – основні в створенні нових біотехнологій. Здебільшого як закваску на підприємствах використовують пресовані хлібопекарські дріжджі, не адаптовані до технології квасоваріння, або комбіновану закваску з дріжджів і молочнокислих бактерій. Їх штами були виділені й вивчені Л. Чеканом ще в 20-х роках минулого століття, тож за такий тривалий термін культивування вони втратили свої технологічні властивості: бродильну активність, синтез незамінних амінокислот та інших біологічно активних речовин, швидкість розмноження тощо.

У процесі досліджень у лабораторних, дослідно-промислових і

виробничих умовах використовували як загальноприйняті методи, так і ті, що раніше при дослідженнях ферментованих напоїв не застосовували і були модифіковані в процесі роботи. При виділенні, підборі й дослідженні культур мікроорганізмів керувались прийнятими в мікробіології нормами й правилами. При цьому вивчали здатність культур мікроорганізмів ефективно розвиватись у субстратах з різної вуглеводовмісної сировини. Встановлено доцільність її використання та попередньо відібрано штами дріжджів виду *Scerevisae* і молочнокислих бактерій видів *E. faecium*.

Для розробки технологій нових ферментованих напоїв використано нові дріжджі *Saccharomyces cerevisae*, штами Р-87, К-87 і КМ-94 та молочнокислі бактерії *Streptococcus diacetilactis*, *Enterococcus faecium* К-77 та *Lactobacillus plantarum* АН 11/16.

При дослідженні технологічних властивостей виділених штамів дріжджів виявлено їх значні переваги над виробничими культурами, зокрема, генеративної здатності, бродильної активності, здатності надавати напоям відмінних органолептичних показників тощо.

Запропоновано використовувати принципово нові для ферментованих напоїв культури молочнокислих бактерій, зокрема гетероферментативні ароматоутворюючі *Streptococcus diacetilactis* та гомоферментативні *Enterococcus faecium* К-77 та *Lactobacillus plantarum* АН 11/16.

Доцільність використання ароматоутворюючих молочнокислих бактерій підтверджується їх здатністю активно розвиватись в умовах, характерних для технологій ферментованих напоїв і надавати їм відмінних смакоароматичних властивостей.

Використання гомоферментативних молочнокислих бактерій зумовлено їх високою біологічною та антагоністичною активністю до сторонньої мікрофлори, що дає змогу надати напоям принципово нової якості й забезпечити їх лікувально-профілактичні властивості.

У результаті проведених досліджень визначено технологічну придатність нових штамів мікроорганізмів до використання в технології ферментованих

напоїв та оптимальні умови їх культивування. Встановлено значні переваги нових асоціацій дріжджів і молочнокислих бактерій перед традиційними: скорочення терміну приготування виробничих культур мікроорганізмів у 1,3-1,8 рази; зменшення тривалості зброджування суслу в 1,5-1,6 рази, завдяки чому без додаткових капітальних витрат можна збільшити випуск готової продукції на 25-30%; досягти економії витрат цукру на культивування мікроорганізмів на 25-30%; збільшити мінімальний термін використання асоціацій з 14 діб до 5-6 місяців; поліпшити мікробіологічну чистоту виробництва та бактеріологічні і органолептичні показники готових напоїв тощо.

Здатність організмів синтезувати ті чи інші біомолекули, в першу чергу білки, закодована в їх геномі. Тому, досить «додати» потрібний ген, узятий з іншого організму, в бактерію, яка здатна рости в простих умовах і надзвичайно швидко розмножуватися. Але спроби провести перенесення в бактерії безпосередньо геномної ДНК привели до суперечливих результатів.

Тільки в 70-і роки були отримані відтворювані результати із застосуванням так званої векторної трансформації. В основі цього підходу лежить використання векторних молекул – ДНК, здатних переносити гени в клітку, де ці молекули реплікуються автономно або після інтеграції з геномом. Вирішальну роль в цих експериментах зіграли також методи отримання індивідуальних генів, напрацювання їх у необхідній кількості шляхом клонування, тобто практично необмеженого розмноження в бактеріальних клітинах.

В основі всіх досягнень генетичної інженерії лежить одна з особливостей будови геному бактерій – наявність у них невеликих, відмінних від хромосоми, кільцевих молекул ДНК, що називаються плазмідами.

Плазміди широко поширені в природі і зустрічаються у переважній кількості прокаріотів, а також у нижчих еукаріот-дріжджів. Важливою властивістю плазмід є їх здатність реплікуватися (розмножуватися) разом з ДНК клітини хазяїна, і тому останнім часом їх вважають

внутрішньоклітинними паразитами або симбіонтом. Клітини господаря не потребують плазмід для виживання в звичайних умовах, але часто плазмід надають їм ряд особливих властивостей. Плазмід надають бактеріям здатність до статевого розмноження (F-фактор), стійкість до антибіотиків і дезінфікуючих засобів (R-фактор), можливості засвоєння деяких складних органічних речовин, наприклад, вуглеводів.

Основна маса досліджень, які привели до розвитку генної інженерії, проводилась на класичному об'єкті мікробіологів – кишкової палички *Escherichia coli*. За допомогою спеціальних ферментів – ендонуклеаз рестрикції, або рестриктаз, плазмід, що несе якийсь маркерний ген, наприклад, ген стійкості до певного антибіотика, розрізається в строго визначеному місці з утворенням з кожного боку декількох (від одного до п'яти) неспарених основ – «липких кінців». За допомогою таких же рестриктаз виходить фрагмент геному організму-донора, що несе потрібний ген, наприклад, ген людського інсуліну. Останнім часом донорно ДНК частіше отримують шляхом «пришивання» «липких кінців» до молекули ДНК, отриманої шляхом зворотної транскрипції з матричної РНК потрібного гена (кДНК). Головну роль тут відіграє фермент зворотна транскриптаза, або ревертаза, вперше відкрита у ретровірусів (таких як ВІЛ і деякі збудники злоякісних новоутворень – онковірусів). Далі за рахунок компліментарної взаємодії неспарених основ «липких кінців» відбувається включення потрібного гена в плазмід, при цьому утворюється нова рекомбінантна (гібридна) ДНК. Завершує процес фермент ДНК-лігаза, яка ковалентно зашиває розриви в ланцюгах ДНК.

Наступний етап – перенесення рекомбінантної плазмід в бактерію. Такий процес – включення чужорідної ДНК в бактеріальну клітину носить назву трансформації, а молекула ДНК-вектор. Це явище іноді зустрічається в природі, що говорить про те, що трансформація – це природний біологічний процес. У природних умовах трансформація зустрічається у таких бактерій, як збудник пневмонії.

Інший спосіб побудови векторних молекул використовує бактеріофаги –

особливу групу вірусів, що заражають виключно бактерії. Найбільш широке застосування отримав бактеріофаг. Середня частина генома цього вірусу не несе в собі важливих функцій і може бути замінена на чужорідний фрагмент ДНК. В даний час існує дуже багато векторів, сконструйованих на основі різних плазмід і бактеріофагів.

Значно складніше піддати генетичній модифікації еукаріотичні мікроорганізми, до яких відносяться гриби, найпростіші, рослини і тварини. Як і у бактерій, у них є плазмиди, але використання їх в якості векторів часто виявляється не дуже ефективно. Тому для того, щоб виник стабільний трансформант, необхідні дві послідовних подій: проникнення рекомбінантної ДНК у клітину і її інтеграція в хромосомну ДНК. Такий метод називається інтегративною трансформацією. Надалі генно-інженерне конструювання у дріжджів пішло по шляху створення кільцевих плазмід з центромерами, особливими ділянками ДНК, що забезпечують зв'язок з білками веретена поділу і, отже, рівномірний розподіл таких плазмід між двома клітинами під час мітозу. Розвиток цього підходу призвело до створення цілих штучних міні-хромосом, що містять, крім центромерного ділянки, теломери на кінцях, загнуті у вигляді шпильки, і реплікатори – ділянки початку реплікації ДНК. Подібні мініхромосоми можуть включати відразу кілька корисних генів, що забезпечує виробництво потрібної біотехнологічної продукції.

5. Отримання трансгенних рослин

Ідея використання генетично змінених рослин у сільському господарстві, а виробів із них – у харчовій промисловості спочатку була фантастично привабливою: за допомогою генетичних маніпуляцій змінити культури так, щоб вони здатні були самі захистити себе від шкідників та хвороб. Це дало б змогу не застосовувати у процесі виробництва сільськогосподарської продукції шкідливих для довкілля і людини засобів захисту рослин, підвищити їх врожайність, посилити бажані якості – такі, наприклад, як стійкість під час

зберігання та смак.

Лише в Німеччині вчені провели вже понад 130 польових дослідів, щоб перевірити, чи справді нові форми рослин, створені у генетичних лабораторіях, мають бажані якості, і чи можуть вони давати задовільні врожаї. Найчастіше експериментували при цьому з генетично зміненим ріпаком. Та переважна більшість дослідників дійшла висновку, що впровадження генетично змінених рослин помилково і навіть небезпечно. Вони застерігають від неконтрольованого поширення трансгенних рослин для вирощування їх у польових умовах.

На думку науковців, від впровадження генетично змінених рослин існує небезпека, по-перше, появи речовин отруйних або алергенних для так званих нецільових організмів, тобто не тих, проти яких вони були спрямовані. Наприклад, в одного із генетично змінених сортів сої виявлено так званий парагоріховий ген, здатний спричиняти алергічні захворювання у багатьох людей.

По-друге, можуть виникнути шкідники та збудники хвороб, що стануть резистентними до трансгенних рослин. Генетично змінені культури спроможні передати свої біохімічні захисні властивості стосовно пестицидів, вірусів або паразитів спорідненим дикорослим рослинам. У результаті може, наприклад, з'явитися супербур'ян, який поширюватиметься катастрофічними темпами й буде стійким до всіх винайдених людьми засобів знищення.

Єдиного міжнародного протоколу біологічної безпеки ще не існує, а вірогідність того, що його буде прийнято найближчим часом, практично відсутня. Насамперед США, Канада й Австралія зірвали конференцію ООН, присвячену біологічній безпеці генетично змінених продуктів. Ці держави уникають перешкод для бізнесу з боку країн, що розвиваються, які прагнуть захистити видову різноманітність свого рослинного світу від чужого втручання, в тому числі «генетичного піратства». Агрохімічні концерни промислово розвинених країн дуже зацікавлені в експорті генетично зміненого посівного матеріалу в країни «третього світу». Поки що в конфлікті між довгостроковими

екологічними та короткочасними економічними цілями перемагають економічні чинники і укладення відповідної угоди блокується.

До трьох уже названих держав приєдналися Аргентина, Чилі та Уругвай, які сподіваються, що використання генетично зміненого посівного матеріалу дасть новий поштовх до розвитку їхнього сільського господарства.

Харчові продукти, виготовлені з генетично модифікованої сировини, також можуть становити небезпеку для здоров'я. Принаймні саме про це свідчать результати нещодавніх експериментів англійських учених. Пацюки, яких годували генетично зміненою картоплею, частіше хворіли й повільніше росли. Особливі побоювання викликає вплив такої їжі на імунну систему.

Незалежно від думки споживачів, генно-інженерна промисловість виробництва харчових продуктів інтенсивно розвивається. У майбутньому планують виробляти за допомогою генної інженерії вітаміни та різні добавки, які майже непомітно надходитимуть на споживчий ринок. На думку фахівців концерну Nestle, через деякий час у всьому світі не можна буде знайти жодного виду рослинної сировини, одержаного без застосування біотехнології.

Майже всі продукти, які ми споживаємо, вже певною мірою генетично змінені. На полицях магазинів найчастіше можна побачити модифіковану кукурудзу, ріпак, картоплю, помідори та сою і вироби з них.

У Канаді та деяких інших країнах у значних обсягах вирощують генетично змінений ріпак та стійку до комах шкідників «ВТ-кукурудзу», що містить ген резистентності до антибіотиків. Продаж цих рослин і виготовлених із них продуктів дозволений і в Німеччині. Їх переробляють на олії, крупи, крохмаль та глюкозний сироп. До харчових продуктів, виготовлених із застосуванням гентехніки, що вже набули значного поширення на європейському ринку, належать насамперед соєві боби. Премікси з них містять понад 20 тисяч найменувань харчових виробів у тому числі, хлібобулочні, дієтичні, швидкозаморожені готові страви, чіпси, соуси, майонези, маргарини, готові салати, шоколад. У кондитерській промисловості соєвий лецитин (E322) широко застосовують як природний емульгатор. А продукти з крохмалем або

підсолоджувачами, виготовленими з кукурудзи, – це порошки для пудингів, порошкові супи, різні види борошна, напої, мармелади, ласощі. З добавками або допоміжними речовинами на основі генетично змінених мікроорганізмів виготовляють, наприклад, хімозин для сирів, амілази для хлібопекарського виробництва, ферменти для фруктових соків і червоного вина. Крім кукурудзи, ріпака та сої, найближчим часом на європейському ринку з'являться також генетично змінені рис, цукрові буряки, різні овочі та фрукти й продукти з них. Водночас споживач має право вирішувати, чи готовий він до цих новацій. А щоб він міг зробити належний вибір, необхідне чітке й недвозначне маркування генетично змінених харчових продуктів.

Європейська Комісія прийняла постанову Європейського Парламенту і Ради Європи 258/97 «Про нові види харчових продуктів та нові інгредієнти харчових продуктів» від 27 січня 1997 року, яку називають також «Постановою Novel Food». Цей документ вимагає обов'язкового маркування генетично змінених продуктів для всіх країн – членів Європейського Союзу. Продукти повинні мати відповідні позначки, коли вони самі генетично змінені, або містять генетично змінені організми (наприклад, йогурт з генетично зміненими молочнокислими бактеріями). Та з цього правила є цілий ряд винятків. Наприклад, продукти харчування, виготовлені з генетично змінених складових, не підлягають обов'язковому маркуванню, якщо вони ідентичні відповідним звичайним продуктам. Зокрема, не маркують олії з генетично зміненої сої, які не містять генетично модифікованого вихідного продукту. Не обов'язково позначати харчові добавки, наприклад, ароматичні речовини.

Спосіб виявлення генетично змінених продуктів – аналіз ДНК або протеїнів. Проблема полягає в тому, що в багатьох випадках сліди біотехнічних маніпуляцій повністю зникають у процесі переробки і приготування. Коли явлення такого втручання вже неможливе, спеціальне маркування також не потрібно.

Досі немає єдиних вимог щодо форми, місцезнаходження і точного змісту етикеток для модифікованих продуктів або якогось особливого символу для їх

позначення. Лише для складових з кукурудзи та сої існують певні приписи. Вони повинні мати вказівку «з генетично зміненої кукурудзи» або «з генетично змінених соєвих бобів». Цей текст може бути вміщений як примітка під переліком інгредієнтів і має бути надрукований шрифтом такої самої величини, а відповідні компоненти переліку позначають зірочкою.

Оскільки дискусія навколо нових європейських нормативних документів щодо надання дозволу для впровадження генетично змінених організмів ще не закінчилась, де-факто існує мораторій на надходження на ринок нових продуктів. Біотехнічна промисловість країн Європи вимагає створення єдиної центральної європейської установи, що зайнялася б видачею дозволів на виробництво та реалізацію генетично змінених харчових продуктів – на зразок американського Управління харчових продуктів та лікувальних засобів, науковій компетентності якого однаково довіряють споживачі та промисловість.

Для того, щоб гарантувати безпеку генетично змінених продуктів для здоров'я людей, країни ЄС законодавчо впровадили і впроваджують цілий ряд регулюючих заходів. Уряд Великобританії заявив, що усі генетично змінені харчові продукти піддаватимуть прискіпливим дослідженням перед тим, як відповідні органи дадуть дозвіл на їхній продаж. У Німеччині за оцінку та урахування ризиків у сфері генетично змінених продуктів відповідає Державний інститут охорони здоров'я споживачів і ветеринарної медицини. З 1 серпня 1998 року у країні набув чинності нормативний документ про обов'язкове маркування генетично змінених продуктів. Відповідні продукти не можуть містити як самі генетично змінені організми, так і складові, виготовлені з генетично зміненої сировини – добавки, ферменти, розчинники або ароматичні речовини. Однак з певним, не таким уже й неістотним обмеженням: не беруться до уваги залишки рослинних засобів, ветеринарних препаратів та забруднювачів навколишнього середовища, створених із застосуванням генетичних технологій.

Втім, зараз широко обговорюють, приміром, у Німеччині, що саме має

право виробник написати на етикетці: «без гентехніки» чи «вільний від гентехніки»? Адже досить однієї насінини, занесеної вітром чи комахою з сусіднього поля на те, де вирощують рослини із не зміненим геном, – і всю продукцію з цього поля вже не можна буде назвати «вільною від гентехніки». І чому віддають перевагу споживачі – вимагатимуть вони обов'язкового етикетування харчових продуктів у Європі як «вільної від гентехніки» або задовольнятися позначкою «без гентехніки», яка ні до чого не зобов'язує? А якщо одні й ті самі бджоли відвідуватимуть плодові насадження, утримувані за екологічною технологією, та поля генетично зміненого ріпаку, маркування одержаного від них меду етикеткою «без гентехніки» лише вводитиме в оману покупців.

Цілковиту впевненість у генетичній чистоті кожного конкретного продукту забезпечує лише повний аналіз, щоб виявити найменше забруднення чужорідним матеріалом. Тому, поки, що фахівці зійшлися на компромісному формулюванні на етикетці «без гентехніки». Така позначка лише закликає виробників відмовитися від використання модифікованих компонентів, але не гарантує повної їх відсутності у готових харчових продуктах.

Вся робота з трансгенними рослинами спрямована на докорінну зміну методів традиційної селекції – бажані ознаки виходять завдяки введенню потрібних генів безпосередньо в рослину замість тривалої роботи зі схрещування різних ліній. Складність такого підходу полягає в тому, що на відміну від бактерій і дріжджів, рослини, як і тварини, є багатоклітинними організмами. Для отримання продукту потрібний ген повинен знаходитися в кожній клітині організму, що досить складно здійснити. У цьому плані рослини мають одну важливу перевагу перед тваринами: можлива їх повна регенерація *in vitro* з недиференційованих соматичних тканин з отриманням нормальних, здатних давати насіння, рослин. Це властивість дає унікальну можливість отримати з одиничних клітин, генотип яких можна змінити аналогічно мікроорганізмам, ціле рослина з новими ознаками. Завдання залишилася за пошуком відповідного вектора для перенесення потрібного гена у виділені

камбіальні клітини.

Дослідникам допомогла сама природа. В уражених рослинах клітини корончата галлів набувають здатність необмежено розмножуватися, залишаючись недиференційованими. Такі клітини за своїми властивостями дуже схожі на ракові клітини тварин. Але тільки в XX столітті вченим вдалося встановити і вивчити причину виникнення такого явища. Винуватицею виявилася одна з ґрунтових бактерій – *Agrobacterium tumefaciens*. Така бактерія, як і багато інших, містить плазмід. Одна з них, названа Ті-плазмід (від англійського скорочення «пухлина індукують»), і виявилася опухолеродним агентом для клітин зараженого рослини.

Ті-плазмід складається з декількох функціонально різних ділянок ДНК. Найбільш важливу роль відіграє ділянка Т-ДНК, який переноситься в клітину зараженого рослини і вбудовується в її хромосому. Там знаходяться гени синтезу фітогормонів. Фітогормони ауксин і цитокінін пригнічують диференціювання пухлинних рослинних клітин і переводять їх у стан поділу. Іншими ділянками ДНК в Ті-плазміді є *tra*-область, де локалізовані гени, які контролюють кон'югація бактерій, і *ori*-область, продукти якої забезпечують розмноження плазмід в бактеріальній клітці. Ще один важливий локус ДНК називається *vir*-область. Там містяться гени, відповідальні за перенесення Т-ДНК у рослинну клітину і вбудовування її в хромосому.

При зараженні якогось дводольних рослин агробактерій відбуваються наступні процеси: агробактерії, удосталь знаходяться в ґрунті, вступають в контакт зі стеблом рослини, найчастіше в прикореневій області.

Вірогідність зараження та пухлинної трансформації значно зростає, якщо у рослини є ранки або пошкодження зовнішнього шару клітин. Бактерії проростають в тканини рослини, живуть і розмножуються в міжклітинному просторі, не проникаючи в клітини. Далі відбувається процес трансформації, який можна розділити на кілька етапів: прикріплення бактерії до стінки рослинної клітини, проникнення Т-ДНК усередину клітини, інтеграція Т-ДНК в геном рослини і експресія плазмідних генів. Перенесення Т-ДНК не

відбувається, якщо рослина-господар виявляється хворим або нежиттєздатним. Якщо ж господар виявиться здоровим організмом, перенесення Т-ДНК відбувається приблизно за 30 хв. Після вбудовування в хромосому Т-ДНК стає частиною геному рослини, і її гени активно транскрибуються. Клітка набуває властивостей ракової, і відбувається ріст пухлини – корончатого галла.

Таким чином, агробактерії навчилися генно-інженерним методам задовго до людини. Ті-плазмідна виявилася ідеальним природним вектором для введення чужорідних генів у клітини рослини. Необхідно також відзначити наступні переваги використання методів на основі застосування Ті-плазмід. По-перше, коло рослин – господарів агробактерій надзвичайно широкий, включаючи практично всі дводольні рослини. Останнім часом вчені змогли домогтися зараження і багатьох однодольних, головним чином злаків. По-друге, вбудована в геном рослини Т-ДНК успадковується як проста домінантна ознака за законами Менделя, а чужорідні гени мають власні регуляторні області. Для промислового застосування Ті-плазмід необхідно лише «трохи» вдосконалити. В цілому векторна система на основі Ті-плазмід повинна містити наступні ділянки:

- комплекс генів *vir*-області, необхідної для перенесення та інтеграції рекомбінантної ДНК в хромосому рослини;
- систему для пізнавання чужорідних генів полімерази рослини такий промотор є в Т-ДНК;
- маркер, необхідний для селекції трансформованих клітин;
- унікальні сайти рестрикції, необхідні для введення в конструкцію потрібних генів.

Також необхідною умовою є відсутність генів, що призводять до утворення пухлини.

Найчастіше для створення такої генно-інженерної конструкції використовують наступний підхід. Сегмент Т-ДНК вирізують з Ті-плазмід за допомогою рестриктаз і вбудовують в стандартну плазмід-вектор бактерії *Escherichia coli*. Рекомбінантна плазмід розмножується, і в ділянку Т-ДНК

вставляють потрібний ген так само, як і в звичайну плазмиду, з використанням рестриктаз. Такий молекулярний гібрид вводять в *Agrobacterium tumefaciens*, що містить незмінену Ti-плазмиду. Завдяки процесу рекомбінації відбувається обмін гомологічними ділянками ДНК рекомбінантної і Ti-плазмид. В результаті вийде рекомбінантна Ti-плазміда, що несе потрібний ген. Останнім етапом буде зараження одиничних рослинних клітин такий агробактерій та вирощування цілого рослини, усі клітини якого будуть експресувати потрібний ген.

Іноді виявляється простіше використовувати відразу дві рекомбінантні плазмиди. Одна з них містить тільки *vir*-область і є плазмидою-помічницею. Друга плазміда повинна містити T-ДНК з вбудованим потрібним геном. Плазміда-помічниця здатна переносити в рослинну хромосому не тільки свою T-ДНК, якої у неї і немає, але й сусідню. Для полегшення відбору отриманих ГМ-рослин, рекомбінантна Ti-плазміда несе спеціальний маркерний ген. На відміну від мікроорганізмів, де в якості маркера використовується стійкість до антибіотиків, у рослинах використовують особливі білки, що володіють здатністю світитися в ультрафіолетовому світлі. Найбільш часто використовують гени люциферази світлячків і ген GFP медузи (по-англійськи, «зелений світний білок»).

Крім технології, заснованої на використанні Ti-плазмиди, останнім часом застосовуються і інші способи перенесення рекомбінантної ДНК в рослини. Сучасний арсенал методів трансформації дуже великий і включає такі підходи, як електропорація клітин (пропускання електричного розряду через суміш дослідних клітин і рекомбінантних плазмид, при цьому в мембранах клітин виникають проломи, і ДНК проникає в клітину і вбудовується в геном), струшування суміші клітин, ДНК і мікроголки (які проколюють мембрани аналогічно електричному струму), опосередкована вірусами інфекція, мікроін'єкції ДНК в клітини. Промислове застосування знайшла наступна технологія: за допомогою спеціального приладу «Shotgun» здійснюється обстріл рослинних тканин дрібними кульками із золота або вольфраму, одягненими в молекули ДНК.

В окремих випадках виявляється необхідно не ввести який-небудь новий ген у рослину, а навпаки, заблокувати або послабити дію природного гена. Як приклад можуть служити плоди томата, які під час дозрівання містять значну кількість спеціального білка PG, що додає плодам рихлість. Для усунення цього білка в плоди вводять вектор, що містить перевернуту копію його гена. У результаті транскрипції виходить антисмислова (перевернута) мРНК, яка компліментарно зв'язується з нормальною мРНК. Утворюється молекула двухцепочечної РНК, яка вже не може служити матрицею для синтезу білка. В результаті виходять томати з новими властивостями плодів, які твердіше, довше зберігаються і більш стійкі до грибкових захворювань.

Не менш перспективним є напрям з генної інженерії не ядерного геному, а геному пластид і мітохондрій. У трансгенному матеріалі значно збільшується вміст продукту за рахунок більш активних метаболічних процесів. Ще безліч різних підходів, включаючи регуляцію активності генів, знаходяться на стадії розробки.

Лекція 8

Генно-модифіковані організми в харчовому виробництві

1. Основні завдання генної інженерії в галузі харчових виробництв
2. Генно-інженерні підходи до створення інтенсивних технологій в харчовій галузі
3. Генно-модифіковані продукти харчування

1. Основні завдання генної інженерії в галузі харчових виробництв

Для підвищення кількості та якості їжі традиційних заходів нині недостатньо. Саме через це виробництво харчових продуктів стало найважливішим напрямом генної інженерії. Завдання цього напрямку – підвищення на принципово новій основі врожайності сільськогосподарських рослин, передусім злакових культур як джерела хліба, а також підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин як джерела м'яса та м'ясопродуктів. Тому, враховуючи важкий економічний стан багатьох країн світу, якщо нині на одну шальку терезів покласти голод і всі проблеми людства, пов'язані з ним, а на другу – використання трансгенних продуктів, ймовірно, більшість віддасть перевагу останньому, не знаючи всіх віддалених небезпечних наслідків широкого використання ГМО.

Ще одне важливе завдання – удосконалення якісних характеристик харчової продукції. Генна інженерія дає змогу реалізувати його через: зменшення накопичення у продуктах шкідливих речовин; збільшення накопичення корисних речовин; поліпшення технологічних властивостей продовольчої сировини; корінної зміни характеристик продукції для поліпшення її дієтичних, смакових і харчових властивостей.

Прикладом досліджень щодо зменшення накопичення токсичних речовин можуть слугувати спроби створення батата, який не накопичує ціаногенних глікозидів у корінні та листках. Ця культура є важливим харчовим продуктом

для 400 млн. осіб, головним чином у країнах, що розвиваються.

Дослідження щодо створення рису, здатного у збільшеній кількості накопичувати ферум, провели японські вчені. Вони ізолювали ген феритину (білка, одна молекула якого накопичує 4500 атомів феруму) з підвищеною активністю із проростків сої. Цей ген було інтродуковано у геном рису. Дослідження ліній трансформованих рослин виявили, що накопичення феритину в їхньому зерні втричі більше, ніж у зерні вихідних ліній. Анемія, зумовлена дефіцитом феруму, – один з найпоширеніших і тяжких наслідків порушення харчування.

Виводячи сорт рису, що має назву «Золотий рис», фахівці дбали про те, щоб він мав вищий рівень бета-каротину. Через недостатність вітаміну А у світі щороку вмирає мільйон дітей. А ще 230 млн. дітей, живуть під загрозою клінічної чи субклінічної недостатності вітаміну А – стану, якому здебільшого можна запобігти. Збагачення їжі вітаміном А, за даними ЮНІСЕФ, на 23% знижує дитячу смертність. Створення «Золотого рису» вважають найідеальнішим досягненням науковців за останній час.

Для отримання продукції з бажаними технологічними властивостями вже наприкінці 80-х років у різних галузях харчової промисловості почали конструювати і використовувати рекомбінантні ферменти і харчові добавки, які давали б змогу інтенсифікувати певні технологічні процеси, отримувати продукти поліпшеної якості (табл. 1).

Таблиця 1

Використання рекомбінантних ферментів у харчовій промисловості

Галузь виробництва	Рекомбінантні ферменти
Переробка крохмалю	б-амілаза, в-амілаза, глюкоамілаза, глюкоізомераза, пуланаза
Молочна промисловість	Ренін, лактаза, ліпаза
Пивоваріння	Амілаза, протеази
Виноробство. Переробка фруктів, овочів	Пектинази

Особливу увагу приділяють модифікації молока. Беручи до уваги ту обставину, що після питного молока найпоширенішим молочним продуктом є сир, і в країнах ЄС щороку його виготовляють понад 6 тис. т., генно-інженерні роботи спрямовано в основному на поліпшення такої технологічної властивості молока, як сиропридатність (табл. 2).

Таблиця 2

Напрями модифікації молока

Зміни	Очікуваний ефект
Збільшення вмісту б- і в-казеїнів	Підвищення щільності згустка, термостійкості молока, вмісту кальцію
Збільшення сайтів фосфорилювання в казеїнах	Збільшення вмісту кальцію
Внесення протеолітичних сайтів у казеїни	Поліпшення процесу дозрівання сиру
Збільшення концентрації к-казеїну	Підвищення стабільності казеїнових комплексів, зменшення розмірів міцел казеїну
Зменшення вмісту а-лактальбуміну	Зменшення вмісту лактози, зниження ступеня кристалоутворення під час заморожування

Зі зростанням розуміння важливості здорового способу життя збільшився попит на харчові продукти, які не містять шкідливих речовин. Приклади конструювання продуктів «здорового способу життя» (healthy food products) – створення голландськими біотехнологами цукрового буряка, який продукує фруктан – низькокалорійний замінник цукрози, та створення групою вчених на Гаваях безкофеїнової кави. У першому випадку в геном буряка інтродукували ген єрусалимського артишоку, який кодує фермент, що перетворює сахарозу у фруктан. У такий спосіб 90% накопиченої цукрози в трансгенних рослинах перетворюється на фруктан. У другому випадку було ізольовано ген фермента, який каталізує критичний перший крок синтезу кофеїну в листках і зернах кави. Через використання агробактеріум-опосередкованої трансформації була влаштовано антисмислову версію цього гена у клітини культури тканин кави Арабіки. Аналіз трансформованих клітин виявив, що рівень кофеїну в них

становить усього 2% нормального.

2. Генно-інженерні підходи до створення інтенсивних технологій в харчовій галузі

Сформована у світі ситуація з м'ясною сировиною приводить до дефіциту тваринного білка в раціоні харчування населення. Тому в технології виробництва харчових продуктів досить актуальне комбінування білків тваринного й рослинного походження, які економічно сполучать у собі високу харчову цінність і забезпечують виробництво готової продукції відповідно до вимог споживача до її якості.

Створення комбінованих варених ковбасних виробів з використанням функціональних рослинних білків не суперечить рекомендаціям Комісії «Кодекс Аліментариус» ФАО/ВООЗ, у яких, зокрема, декларується їхня кількість, як замінників м'яса, не більше 50%. По технологічних, органолептичних і фізико-хімічних показниках такі вироби повинні бути адекватні групі традиційних варених ковбасних виробів.

Останнім часом в усім світі зросло споживання генетично модифікованих джерел рослинної сировини. В 2005 р. загальна площа посівних площ під трансгенними культурами у світі перевищила 90 млн. га.

Домінуючими трансгенними культурами, використовуваними як продовольча сировина, є соя, рапс і кукурудза. Лідируюче положення в цьому ряді займають білки сої завдяки їхнім функціональним властивостям, харчовій цінності й низкою собівартості.

Серед продуктів переробки ГМ сої, найбільше часто використовуваних у виробництві м'ясних виробів, лідирують соєві білкові концентрати. Активне застосування в технологіях виробництва м'ясних продуктів ГМ соєвих білкових концентратів (ГМСК) обумовлено, насамперед, їх технологічною й економічною доцільністю. Але при такому широкомасштабному поширенні ГМСК, особливо гостро коштує питання підвищення якості й забезпечення

безпеки продуктів з їхнім використанням.

Вивчення особливостей поведіння ГМСК у реальних багатокомпонентних харчових системах у сполученні із традиційними білковими компонентами тваринного походження, на наш погляд, є логічним продовженням проведених раніше досліджень і досить актуально у світлі стрімкого розвитку сучасної біотехнології.

Підвищення рівня внесення суспензії ГМСК приводить до перерозподілу у фарші масових часток основних макроживильних речовин: незначному збільшенню масових часток білка, вуглеводів, золи й зниженню змісту жиру у всіх зразках.

Абсолютні величини показника напруги стандартної пенетрації (НСП) для зразків, що містять 20 і 25% суспензії ГМСК, свідчать про те, що їхня структура ідентична структурі, властивому фаршу традиційних варених ковбас. Введення 30 і 35% суспензії ГМСК у рецептури негативно позначилося на структурі й, як наслідок, на зовнішньому вигляді досліджуваних зразків.

Одним з основних показників, що визначають біологічну цінність харчових продуктів, є ступінь переварювання білків у шлунково-кишковому тракті протеолітичними ферментами. Результати визначення перетравності білків травними ферментами *in vitro* дають можливість передбачати ступінь утилізації білків організмом.

У цей час в усім світі росте виробництво харчових продуктів з генетично модифікованих джерел.

Генетично модифіковані організми – це живі організми, яким шляхом впровадження чужорідних генів були додані нові фенотипічні ознаки.

Ці фенотипічні ознаки ГМП, невластиві вихідного виду, викликають побоювання в окремих фахівців, які затверджують, що такого роду втручання в природні природні процеси може згубно позначитися на споживачах генетично модифікованих продуктів. Неясний і екологічний збиток від такого виду діяльності.

Виробники ГМП й ряд учених-біологів, генетиків, навпаки, декларують

безпеку даного виду продукції для здоров'я й життя людини.

Найчастіше трансгенній модифікації піддають сою. Соєві білкові препарати (борошно, текстурати, ізоляти, концентрати) широко використовують у виробництві харчових продуктів. Переважна більшість м'ясних продуктів сьогодні містять у своєму складі соєві інгредієнти.

У цей час у промисловому масштабі випускається 9 ліній генетично модифікованої сої, стійкої до гербіцидів невиборчої дії – гліфосату (марка «Раунд Ап») і глюфосикату.

Відповідно до випробувань генетично модифіковані соєві продукти по своїх споживчих властивостях мало відрізняються від традиційної сировини. Однак, оскільки безпека трансгенних продуктів не встановлена, у споживача повинен бути вибір між звичайними продуктами й продуктами, отриманими за допомогою біотехнологічних методів.

Інформація про трансгенних компоненти в складі харчових продуктів повинна бути максимально відкритою для споживача. Тим часом дані моніторингу показують, що виробники не завжди маркують свою продукцію належним чином, часто не дають інформації для споживача про використання у виробництві продукту генетично модифікованих інгредієнтів.

Установлений порядок перевірки продукції на наявність ГМП на етапі обов'язкової сертифікації малоефективний. Він не забезпечує надійного заслону обороту харчових продуктів із трансгенними інгредієнтами без відповідного маркування.

Крім того, здійснення робіт з ідентифікації ГМП в атестованих іспитових центрах обмежують їх слабка матеріально-технічна база й висока вартість проведених аналізів.

Разом з тим для визначення наявності ГМП в цей час існує багато методів – близько 200, у тому числі 44 методу для визначення трансгенної сої. Найбільше поширення одержали імунологічні (ELISA, Western) і ДНК-методи (Southern і ПЦР).

Доступним, надійним і найбільш кращим методом визначення ГМП в

продуктах харчування є полімеразно-ланцюгова реакція (ПЦР), проведення якої вимагає невелику кількість досліджуваного зразка.

Регулювати реологічні характеристики й поліпшувати стійкість при зберіганні кисломолочних напоїв, запобігати розшарування продукту й спонтанне відділення сироватки дозволяє використання стабілізуючих речовин і їхніх комбінацій. Традиційно для стабілізації молочних продуктів використовуються камеді – ріжкового дерева, гуарова й ксантанова, карагінан, агар, желатин. Хоча перераховані стабілізуючі речовини дають бажаний технологічний ефект уже при відносно низьких концентраціях, їхнє використання відбивається на собівартості продукту у зв'язку з їхньою високою вартістю. Вигідніше в ціновому відношенні є крохмаль. Але крохмалі утворюють клейстери невисокої в'язкості, що спричиняється необхідність використання підвищених доз цієї речовини. З метою розширення технологічних властивостей крохмалі піддають модифікації. Різноманітні способи обробки крохмалів (фізичні, хімічні, біологічні) дозволяють істотно змінити їхню будову й властивості, до яких у першу чергу належать гідрофільність (у тому числі здатність розчинятися в холодній воді), здатність до клейстеризації й гелеутворенню, стійкість до нагрівання й впливу кислот.

По змінах, які відбуваються в крохমাлях, виділяють чотири основні модифікації: набрякання, деполімеризація, стабілізація (утворення похідних без поперечного зшивання молекул), утворення поперечно зшитих полімерних ланцюгів. На відміну від нативних рослинних крохмалів, які вважаються харчовими продуктами, модифіковані крохмалі ставляться до харчових добавок.

3. Генно-модифіковані продукти харчування

На сьогоднішній день генетично модифіковані продукти харчування не рідкість, і спектр застосування ГМО в продуктах достатньо широкий.

Генетично модифікована соя – найпоширеніший продукт, імпортований

із-за кордону. Також у нас широко поширені ГМ- картопля, кукурудза, рис, рапс, які ми вживаємо у чистому вигляді або у вигляді добавок.

Якщо у складі продукту є рослинний білок, то, найвірогідніше, це генетично модифікована соя. Аспартам, що міститься в багатьох жуйках, соусах, слабо- і сильногазованих напоях, може вироблятися з використанням ГМ-бактерій.

За останніми даними Організації з економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) у світі зареєстровано наступні трансгенні господарські культури: 11 ліній сої, 24 лінії картоплі, 32 лінії кукурудзи, 3 лінії цукрового буряка, 5 ліній рису, 8 ліній томатів, 32 лінії ріпаку, 3 лінії пшениці, 2 лінії дині, 1 лінія цикорію, 2 лінії папайї, 2 лінії кабачків, 1 лінія льону, 9 ліній бавовни

Масове застосування знайшли генетично-модифікована соя, кукурудза, рапс і бавовна. 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 або маїс може міститися в їжі швидкого приготування і напівфабрикатах, супах, соусах та ін.

Генетично модифікований крохмаль використовується в багатьох продуктах, включаючи навіть дитяче харчування(йогурти, пудинги тощо).

Загалом, генетично модифіковані продукти можна розділити на наступні категорії:

1. Продукти без ГМО, але які одночасно містять ГМ-інгредієнти (найчастіше це соя і кукурудза). Ці добавки в харчових продуктах є структуруючими, забарвлюючими, а також слугують для підвищення рівня білка.

2. Генетично модифіковані продукти, що з'явилися завдяки переробці трансгенної сировини (наприклад: соєвий сир, соєве молоко, чіпси, кукурудзяні пластівці, томатна паста).

3. Генетично модифіковані овочі та фрукти.

Часто в продуктах харчування, які містять ГМО, під індексами «Е» можуть ховатися трансгени. Нижче представлений список всіх основних індексів «Е», які можуть міститися у різноманітних продуктах харчування: E101 і E101 (B2, рибофлавін) – додається в каші, безалкогольні напої, дитяче харчування, продукти для схуднення; E150 (карамель); E153 (карбонат); E160a (бета-каротин, провітамін А, ретинол); E160b (аннатто); E160d (лікопін); E234 (низин); E235 (натаміцин); E270 (молочна кислота); E300 (вітамін С – аскорбінова кислота); з E301 по E304 (аскорбати); з E306 по E309 (токоферол/вітамін Е); E322 (лецитин); з E325 по E327 (лактати); E330 (лимонна кислота); E415 (ксантин); E459 (бета-циклодекстрин); з E460 по E469 (целюлоза); E470 и E570 (солі та жирні кислоти); ефіри жирних кислот (E471, E473, E475, E476, E479b); з E620 по E633 (глютамінова кислота і глютомати); з E626 по E629 (гуанілова кислота і гуанілат); з E630 по E633 (інозинова кислота та інозінат); E951 (аспартам); E953 (ізомальт); E957 (тауматин); E965 (мальтинол).

Лекція 9

Негативні фактори генно-модифікованих організмів

1. Можливі негативні аспекти гмо
2. Харчові, агротехнічні та екологічні ризики
3. Ризики неконтрольованого поширення генно-модифікованих рослин
4. Екологічні проблеми, пов'язані з використанням трансгенних рослин
5. Можливі несприятливі ефекти генно-модифікованих організмів на здоров'я людини, методи їх оцінки та способи попередження

1. Можливі негативні аспекти гмо

Сьогодні, перебуваючи в певній ейфорії від здобутків «генної революції», людство, на жаль, не усвідомлює всі можливі її загрози та виклики. Повною мірою їх оцінити сьогодні, мабуть, і неможливо, оскільки в процесі вбудовування певного гена, модифікований організм набуває або може набутися цілої низки властивостей, появу та особливості яких передбачити неможливо через недостатню вивченість механізмів функціонування геному рослин. Унаслідок цього при виробництві ГМО, їх комерційному використанні, поширенні та споживанні виникає цілий ряд небажаних явищ та ризиків, які необхідно досліджувати, щоб попередити можливі негативні впливи та прояви ГМО в майбутньому.

Вторгнення в ДНК для науковців є інструментом, що дозволяє змінювати життя, робити його гнучким до вимог технічного середовища. Генетична інженерія дозволяє поводитися із життям як із технікою.

Генну інженерію можна назвати завершальним етапом адаптації до світу машин. Водночас однієї думки про генну інженерію та генетично модифіковані продукти в науковому світі немає. Деякі вчені вважають, що потрібно вводити мораторії на комерційне застосування ГМО, щоб здобути більше знань про всі можливі ризики. Також існує «інформаційна прірва» між країнами Заходу та

Сходу. Цим користуються для експорту на Схід цієї небезпечної технології та небажаної продукції.

Проблема поглиблюється і тим, що люди мало проінформовані на рахунок ГМ-продуктів. А саме поняття «ГМ-продукти» знайоме не кожному.

Генно модифіковані продукти – це продукти, які отримані за рахунок змін генетичного апарату живих організмів. Всі продукти, які використовуються в сільському господарстві, отримані за рахунок технологій, які змінюють генетичний апарат. Це є традиційна селекція, а зараз це є методи генетичної інженерії, які цю селекцію значно пришвидшують. Традиційно селекція дає, наприклад, сорт рослин за 10-15 років, а генна інженерія за рік за два.

Чимало людей сьогодні з острахом дивляться на генетично модифіковане майбутнє, на глобалізаційні процеси. Здається, що наш екологічний годинник вже натякає на фініш.

До списку відомих в СНД фірм, продукція яких може містити генетично модифіковані продукти можна віднести продукцію Coca Cola, Danone, Heinz, Hipp, MacDonalds, Nestle, Stimorol, Wrigleys.

В світі це такі корпорації, чи генетичні гіганти, як ASTRA ZENECA (масштабна компанія посівних культур), DuPont (фармацевтична та агрохімічна компанія), MONSANTO, на долю якої припадає 88% всіх ГМ-культур, вирощених в США в 1998 році.

2. Харчові, агротехнічні та екологічні ризики

Харчові ризики. Організми, які ми використовуємо в їжу, є сумішшю органічних компонентів, одні з яких корисні, а інші небезпечні для здоров'я. Дослідження в області дієтології і фізіології харчування регулярно виявляють нові корисні властивості поживних речовин. Таніни в червоному вині і каротини в помідорах позитивним чином впливають на серцево-судинну систему і запобігають розвитку раку. В той же час багато поживних речовин володіють і негативною дією. Деякі з них навіть є канцерогенами, наприклад

деякі речовини, що містяться в чорному перці і на поверхні смажених продуктів. Багато людей страждають алергією на ті або інші види їжі. У будь-якому випадку страх перед генетично модифікованими продуктами полягає в тому, що вони можуть містити речовини, вплив яких на організм людини ще не вивчений, зокрема, чужорідні білки можуть стати причиною нового вигляду алергії. У 2001 році незалежна наукова комісія зробила доповідь про «середню ймовірність» того, що білок Сгу9с в генетично модифікованій кукурудзі «Старлінк» став алергеном для людини. Багато американських установ, такі як Департамент сільського господарства, намагаються вилучити кукурудзу «Старлінк» з продуктів, призначених для харчування людей, але при цьому припускають, що мокрий помел кукурудзи видаляє всі білки цієї кукурудзи з перероблених продуктів харчування.

Деякі види зернових, такі, як кукурудза, були генетично модифіковані з впровадженням гена бактерій *Bacillus thuringensis* (Bt), які виробляють токсин, що вбиває комах-шкідників цих рослин. Можливий вплив на їжу, що містить білок Bt, поки не вивчено, але ці продукти вже з'явилися на ринку. У доповіді, представленій відомими ученими з американської Національної академії наук, мовиться, що поки не було отримано доказів шкідливої дії генетично модифікованих продуктів на організм людини, хоча достатнього часу, щоб вивчити їх дію.

1. Токсична та алергенна дія трансгенних білків ГМО. При потраплянні трансгенних білків в організм людини можливе виникнення різноманітних алергічних реакцій, метаболічних розладів тощо. Це викликано тим, що внаслідок процесу трансформації генетично модифіковані організми здатні синтезувати токсичні для людини метаболіти, появу яких контролювати практично неможливо. Неможливо також заздалегідь передбачити не тільки їхню хімічну природу, але і сам факт їх акумуляції. Загалом, близько 25% усіх білків, що активно використовуються для отримання ГМ рослин, мають алергічні властивості. Трансгенні білки, що забезпечують стійкість рослин до різних видів комах-шкідників, грибкових і бактеріальних захворювань, можуть

мати алергенну та токсичну дію, в залежності від їх концентрації в продукті.

Порівняльний аналіз частоти захворювань, пов'язаних з якістю продуктів харчування, який був проведений в США і Скандинавських країнах, показав, що населення цих країн має достатньо високий рівень життя, приблизно однаковий споживчий кошик та рівень медичних послуг. Але виявилось, що за декілька останніх років частота харчових захворювань у США в 3-5 разів була вищою, ніж у країнах Скандинавії. Єдиною істотною відмінністю в харчуванні є активне споживання ГМ продуктів населенням США та їх практична відсутність у раціоні населення скандинавських країн.

Для оцінки харчових ризиків необхідно визначити допустиму норму концентрації трансгенних білків у ГМ рослинах. Але зважаючи на той факт, що алергічний потенціал білка в чужорідному оточенні визначається безліччю чинників, використання навіть усіх наявних сьогодні методів тестування алергенності, очевидно, не дозволить дати повної гарантії того, що ГМ продукт не виявиться новим алергеном. Термін вияву дії токсичного білка може займати близько 30 років. Його перетворення з корисного на хвороботворний може бути спричинене навіть найменшими змінами амінокислотного складу.

2. Накопичення гербіцидів у стійких до них сортах ГМ рослин. Стійкість ГМ рослин до дії гербіцидів дає значний економічний ефект, оскільки ручна або машинна обробка рослин замінюється швидкою і порівняно дешевою обробкою хімічними препаратами. ГМ рослини не ушкоджуються високими дозами хімічних отрут, тоді як решта рослин гине. Але необхідно зазначити, що ГМ рослини стійкі до дії гербіцидів, але не до накопичення гербіцидів та їх метаболітів. Практично всі гербіциди є токсичними для людини. Після проникнення в рослини гербіциди, наприклад, гліфосат, практично не розкладаються, а тільки розчиняються в тканинах рослин та певний час зберігаються в них. 70% всіх ГМ рослин – це рослини, стійкі до гербіциду гліфосату, який випускається компанією «Monsanto» (США) та позиціонується як «низькотоксичний і дружній до навколишнього середовища». Проте науковцями було доведено, що гліфосат є канцерогеном та викликає лімфому.

При обробці гліфосатом стійких до нього сортів цукрового буряка, буряк накопичує його токсичні метаболіти.

Тому, для оцінки безпеки ГМ культур для здоров'я людини необхідно визначити їх здатність до накопичення отруйних інсектицидів та інших шкідливих речовин або алергенів під дією плейотропного впливу трансгенних конструкцій.

3. Негативна дія на здоров'я людини генів стійкості до антибіотиків. При виробництві ГМО, окрім цільових генів, як маркери використовуються гени стійкості до антибіотиків, які можуть перейти в мікрофлору шлунку людини. Унаслідок цього багато медичних препаратів стають неефективними, а також можуть з'явитися нові стійкі до антибіотиків штами хвороботворних бактерій. Тому при оцінці безпечності ГМ культур та продуктів з вмістом ГМО обов'язково необхідно проводити дослідження на вміст у них генів стійкості до антибіотиків.

Агентство ООН із харчових стандартів не рекомендує використовувати в комерційних цілях ті сорти ГМ рослин, у яких з технологічних причин присутні гени стійкості до антибіотиків або вірусні промотори.

4. Віддалений канцерогенний та мутагенний ефекти. За даними досліджень британських учених у рамках державного проекту «Оцінка ризику, пов'язаного з використанням ГМО в продуктах харчування для людини», оприлюднених у 2002 році, генно-інженерні конструкції можуть затримуватися в організмі людини і в результаті неконтрольованого горизонтального перенесення генів вбудовуватися в генетичний апарат мікроорганізмів шлунку людини. Раніше подібна можливість заперечувалася. Ситуація значно ускладнюється тим, що використання принципів, розроблених для оцінки безпеки хімічних речовин і фармацевтичних препаратів, недостатньо для дослідження тривалої дії ГМ продуктів на людину. Традиційне тестування ГМ матеріалу обмежується лише аналізом білків, жирів, вуглеводів та деяких вторинних сполук, що робить його вкрай неефективним із погляду оцінки біобезпеки. Оцінка віддалених мутагенних і канцерогенних наслідків при

постійному вживанні ГМО продуктів вимагає багаторічних спостережень із застосуванням детальних генетичних і токсикологічних обстежень тестованого організму на різних стадіях його розвитку.

5. Можливий непередбачений вплив ГМО на здоров'я людини.

Непередбачений вплив ГМО на здоров'я людини може бути обумовлений розташуванням вбудованого гена в геномі або пов'язаний із взаємодією продуктів експресії вбудованого гена та ендогенних білків та метаболітів. Це може бути викликано тим, що введення трансгена в геном організму-реципієнта не є точно контрольованим процесом і може приводити до різних результатів щодо інтеграції, експресії і стабільності трансгена в геномі.

Сьогодні вчені обговорюють можливість того, що вбудовування генів в геном, яке відбувається випадковим чином, може призводити до виникнення генетичних і фенотипових нестабільностей. На рівень експресії трансгена сильно впливають умови довкілля. Наприклад, засуха або висока температура, можуть знижувати або навпаки, підвищувати експресію деяких генів. Тому необхідно проводити оцінку потенційних синергічних ефектів при проведенні оцінки ризиків ГМО. При цьому нагальною є потреба у створенні міжнародних стандартів щодо методів проведення такої оцінки.

Агротехнічні ризики.

1. Зниження сортової різноманітності сільськогосподарських культур при масовому застосуванні ГМО, отриманих з обмеженого набору батьківських сортів, унаслідок чого відбувається звуження генетичної бази насінництва, а виробництво та ринок насіння монополізуються декількома транснаціональними компаніями. Так наприклад, компанія «Монсанто» володіє сьогодні 94 % генофонду усіх ГМ рослин, що вирощуються у світі і разом з декількома іншими транснаціональними компаніями контролює 80 % ринку пестицидів, у тому числі, 90 % виробництва та продажу гербіциду раундап. Ці компанії мають намір започаткувати промислове вирощування ГМ пшениці та рису. Таким чином, генофонд культур, які визначають продовольчий потенціал усього населення Землі, може бути зосереджено в руках декількох компаній.

2. Можливість використання виробниками термінаторних технологій

для обмеження тривалості життєздатності насіння для монополізації виробництва насіннєвого матеріалу та фізичного захисту авторських прав для виробників ГМ рослин. Термінаторні технології представляють особливу небезпеку для покупців, оскільки насіння, що продається біотехнологічною фірмою, дає лише один урожай. Спроба використовувати частину урожаю для посіву наступного року призводить до того, що насіння або не проростає, або гине відразу після проростання. Все це робить будь-якого покупця насіння (фермера, підприємство або державу) абсолютно залежним від компаній, що виробляють насіння ГМ рослин, гербіциди та інсектициди.

3. Ризики відтермінованої зміни властивостей через декілька поколінь, пов'язані з адаптацією нового гену до геному та появою як нових плейотропних властивостей, так і зміною уже існуючих. Наприклад, зниження стійкості до патогенів при зберіганні та стійкості до критичних температур при вегетації у сортів, стійких до комах-шкідників. Спроби захистити картоплю від колорадського жука методами генної інженерії, призводять до зниження їх стійкості до деяких фітопатогенів та значної втрати урожаю в процесі його зберігання. Несподівані прояви виявляються не тільки в експериментальних видах культур, але і в рослин, що вже отримали комерційний статус. Так було виявлено, що у стійкого до гербіцидів виду сої в жарких кліматичних умовах стручки мимоволі розкриваються, що призводить до втрати 40% урожаю. Відомі також випадки, коли плоди ГМ рослин істотно втрачали свої смакові якості.

Екологічні ризики.

1. Негативний вплив на біорізноманітність через ураження токсичними трансгенними білками нецільових комах і ґрунтової мікрофлори підвищеними дозами пестицидів та порушення трофічних ланцюгів. ГМ рослини з генами Bt-токсинів здатні не лише впливати на життєздатність і поведінку багатьох видів комах і кліщів, що харчуються рослинним соком і пилом, але й порушувати біоценотичні стосунки, що склалися шляхом передачі своїх токсинів у цілий

ряд інших організмів по трофічному ланцюгу. Незважаючи на те, що вплив трансгенних рослин на функціонування екосистем є найбільш імовірним, всебічно дослідити його дуже важко. Оскільки вичленити вплив певного фактору, навіть такого сильного, як використання трансгенних культур на все різноманіття взаємозв'язків (як прямих так і опосередкованих) абіотичних і біотичних факторів в агроекосистемі, є експериментальним завданням надзвичайної складності.

2. *Неконтрольоване горизонтальне перенесення конструкцій*, що визначають різні типи стійкості до пестицидів, шкідників і хвороб рослин, унаслідок переzapилення із дикими спорідненими видами, що призводить до зниження біорізноманітності диких форм культурних рослин, порушення рівноваги біоценозів і появи бур'янів з підвищеною стійкістю до гербіцидів. Це може призвести також до порушення системи біологічного природного контролю над комахами-шкідниками через негативну дію інсектицидних білків на хижих і паразитичних комах, перш за все Bt-токсинів, що виробляються трансгенними рослинами.

3. *Швидка поява стійкості* до трансгенних токсинів у комах, бактерій, грибів та інших шкідників. У США та Китаї застосування Bt-токсину для отримання стійких до комах рослин призвело до появи несприйнятливих до токсину популяцій шкідників (приклад – метелик *Plitela xylyostella*).

4. *Поява нових, більш патогенних штамів фітовірусів* у результаті їх взаємодії з трансгенними конструкціями, що проявляють локальну нестабільність у геномі рослини, і тим самим є найбільш вірогідною мішенню для рекомбінації з вірусною ДНК.

Сільськогосподарські рослини вирощуються на полях, де генетично модифіковані організми мають багато можливостей вступити в контакт з іншими організмами і де такі вектори, як віруси, можуть перенести свої гени іншим рослинам. Проте поряд з цим величезні площі орних земель в світі засаджені спеціально виведеними видами, чужими для місцевої екосистеми, так що вже є всі підстави для такого роду розповсюдження генів. Так звані види-

колоністи послужили причиною значних екологічних криз.

Рослини, що містять гени токсинів проти комах, таких як гени Bt, будуть, поза сумнівом, діяти як засіб відбору, що вбиває величезну кількість комах на великих полях, тому незабаром з'являться комахи, стійкі до таких токсинів. Це приведе до непередбачених екологічних наслідків. У одному дослідженні наголошувалося, що пилок, що містить токсин Bt, вбиває метеликів-монархів, але подальші дослідження показали, що в диких умовах це не представляє загрози. Будь-яка загроза токсинів зникає перед тією дією, яку надає знищення природного місця існування багатьох видів. Всі приведені міркування зовсім не означають, що необхідно брати до уваги можливу екологічну втрату від генетично модифікованих організмів. Навпаки, бажано постаратися усунути всі погрози, що витікають від людської діяльності. Загроза виведення стійких комах не обмежена рослинами з геном Bt. Будь-які поля, що обприскуються інсектицидами, – це ідеальне середовище для виведення стійких різновидів.

3. Ризики неконтрольованого поширення генно-модифікованих рослин

Особливе занепокоєння викликають ризики, пов'язані з біофармінгом. Учені та незалежні експерти вважають, що неконтрольоване поширення ГМ рослин третього покоління є дуже небезпечними, оскільки існує реальна загроза забруднення нецільових рослин та продуктів харчування біологічно активними речовинами, вживання яких може зашкодити здоров'ю людей. Унаслідок активного обговорення в пресі цих питань у 2003 році виник термін «фармагеддон», що характеризує ризики, пов'язані з синтезуванням фармацевтичних препаратів та біологічно активних речовин ГМ рослинами, що вирощуються та мають харчові аналоги.

Розглядають такі ризики неконтрольованого використання та поширення ГМ рослин, що несуть у собі біологічно активні речовини: загроза переапилення ГМ сортами харчових сортів; загроза неконтрольованого

розповсюдження ГМ сортів; ризик неконтрольованого експонування харчових вакцин вагітним; розповсюдження вакцин і біоактивних речовин, що виділяються в природних умовах з рослинних залишків через ґрунтові і поверхневі води.

Підставою для занепокоєння вчених та громадськості є велике число сортів рису, кукурудзи та сої, що несуть біологічно активні речовини та вирощуються на відкритих ґрунтах. Уже сьогодні в США серед харчових сортів рису проводяться відкриті польові випробування цієї культури, що містять людські білки лактоферин та лізозим, які використовуються у фармакології при ензимотерапії. Американська компанія «Епіцит» повідомила про створення сорту кукурудзи, що виробляє людські антитіла до білків сперми, з метою отримання протизаплідних препаратів.

Неконтрольоване перезапилення такого ГМ сорту з харчовими сортами може призвести до серйозних демографічних наслідків на територіях, де вони вирощуються. Неконтрольоване розповсюдження вакцин у складі харчових продуктів несе велику загрозу. Так наприклад, у ході ембріогенезу імунна система плоду, що формується, «вчиться» розпізнавати «свої» білки, не плутаючи їх в подальшому з «чужими». Білки, що експонуються клітинам імунної системи під час ембріогенезу, запам'ятовуються як «свої». Якщо білок вакцини в цей час потрапить в кровотік ембріона, то дитина, що народиться, не зможе виробити імунітет до даного захворювання, завжди розпізнаватиме дану бактерію або вірус як «свій».

Розглянуті вище ризики стосуються переважно ГМ рослин. Вони свідчать про існування реальних або потенційних загроз при вирощуванні й комерційному використанні ГМ культур та отриманих з них продуктів харчування. Ці ризики є наслідком недосконалості існуючих генних технологій та недостатньо глибокого знання структури, а також механізмів регуляції і функціонування генома рослин. Тому існує гостра необхідність у розвитку сучасних методів дослідження ризиків, пов'язаних з ГМО, які б дозволили попередити їх можливий негативний вплив.

Узагалі, ефекти такого складного явища, як цілеспрямована зміна спадкового матеріалу і пов'язаних із цим змін ознак і властивостей культур, які використовують як продукти харчування та корм для тварин, складно передбачити та проконтролювати. Ще складніше передбачити вплив таких змінених ознак на організм людей або тварин. Тому зараз іще немає точних експериментальних даних, які б чітко ілюстрували певні аспекти небезпеки трансгенних культур. Також не існує експериментальних даних, які б однозначно підтверджували безпечність ГМО продуктів для людини та тварин, особливо віддалені аспекти їх використання. Всі ризики, пов'язані зі шкідливим впливом ГМО на здоров'я людини, є більш або менш обґрунтованими гіпотезами, які потребують додаткових експериментальних підтверджень.

Біолог Роберт Манн, старший викладач університету Окленда, вважає, що спроби аналізу ризиків генної інженерії, очевидно, є такими, що ще більше дезорієнтують. Система живої клітини, навіть якщо не має вірусів і домішок чужорідних плазмид, незрівнянно складніша, ніж ядерний реактор, а загроза генних модифікацій переважає навіть загрозу ядерної війни. На його думку, «біологія значно складніша за технологію, тому неможливо уявити всі жахливі сценарії, оскільки деякі штучні маніпуляції з генами створюють можливість поломки біосфери на такий тривалий час, що цього не зможе пережити жодна цивілізація», тому питання щодо розробки нових методів якомога повного дослідження та оцінки ризиків від поширення ГМО є надзвичайно гострою.

4. Екологічні проблеми, пов'язані з використанням трансгенних рослин

В уявленні людини генетично модифіковані організми асоціюються насамперед з небезпекою, що загрожує здоров'ю населення. На думку ж фахівців, набагато більш істотними є ризики для навколишнього середовища. Адже першу групу ризиків (для здоров'я людини) можна оцінити досить точно, щоб їх попередити і практично повністю виключити. У випадку ж з ризиками

для довкілля ситуація набагато складніше. Необхідно враховувати складну взаємодію організму і середовища, багато з яких практично не піддаються точній оцінці або навіть непередбачувані. Особливо складно буває спрогнозувати віддалені наслідки, різні каскадні ефекти: адже в дикій природі все взаємопов'язане. Та й усунути можливі несприятливі наслідки буває дуже складно: якщо ГМО потрапили в навколишнє середовище, розмножилися і, що найнеприємніше, передали свою генетичну інформацію іншим видам, то практично неможливо повернути все в початковий стан у випадку виявлення яких-небудь несприятливих ефектів.

Можливі такі несприятливі ефекти ГМО на навколишнє середовище:

- руйнівний вплив на біологічні системи і втрата цінних біологічних ресурсів в результаті засмічення місцевих видів генами, перенесеними від генетично модифікованих організмів;
- створення нових паразитів, перш за все бур'янів, і посилення шкоди вже існуючих на основі самих ГМО або в результаті перенесення трансгенів іншим видам;
- вироблення речовин – продуктів трансгенів, які можуть бути токсичними для організмів, що живуть або харчуються на генетично модифікованих організмах і не є мішенями трансгенних ознак;
- несприятливий вплив на екосистеми токсичних речовин, похідних неповного руйнування небезпечних хімікатів, наприклад гербіцидів.

Як відомо, в природі немає нічого зайвого: існує певний баланс між окремими видами в межах будь-якого біологічної системи. Живі організми перебувають між собою в тісному контакті та взаємозалежності. Імовірність зміни біологічного різноманіття без втручання людини незначна. Збільшення чисельності популяції будь-якого виду в окремі проміжки часу, наприклад через коливання кліматичних факторів, негайно включає механізм, що обмежує це зростання, і баланс між видами відновлюється. Тому, говорячи про першу групу ризику мають на увазі наступне. При перенесенні окремих трансгенних ознак, перш за все мають адаптивне значення в навколишньому середовищі

(стійкість до холоду, спеки, посухи, засолення), від культурних сортів до їх диких родичів можлива ситуація, при якій останні можуть придбати додаткові переваги в боротьбі за існування. А це загрожує зміною того самого балансу між видами, що існує в природі. Наслідки можуть бути сумні: збільшення чисельності одних видів може супроводжуватися зниженням чисельності інших і навіть їх втратою.

Проблема появи супербур'янів і супершкідників також фігурує серед основних, коли розглядають екологічні ризики, пов'язані з ГМО. Бур'яни – це група рослин з певним набором адаптивних ознак, які допомагають їм існувати в навколишньому середовищі, в тому числі серед посівів культурних рослин, незважаючи на жорстку конкуренцію з боку інших організмів, а також постійний вплив з боку людини, яка всіма можливими засобами намагається їх знищувати, правда, без особливого успіху.

Генетично модифіковані організми розглядають в контексті досліджуваної проблеми, маючи на увазі потенційну можливість посилення агресивності існуючих бур'янів за рахунок придбання ними будь-якого додаткової ознаки, яка кодується привнесеним геном (трансгеном). Йдеться насамперед про адаптивні гени стійкості до різних стресових факторів. З одного боку, завдяки таким трансгенам небезпечними бур'янами можуть стати деякі культурні рослини, які за своєю природою не сильно відрізняються від диких видів (пасовищні трави, ріпак, люцерна та ін.) З іншого боку, існує ймовірність перенесення трансгенів від культурних видів до їх диких родичів, які можуть бути бур'янами. Тому не випадково при оцінці ризику несприятливих екологічних ефектів ГМО обов'язково аналізується сама трансгенна ознака на предмет її адаптивності, а також імовірність її перенесення диким родичам.

Застосування трансгенних сортів з інсектицидними властивостями (завдяки Bt-гену) відразу ж породило запитання: а чи не вплинуть негативно ці сорти на біологічне різноманіття, впливаючи на комах, які не є «мішенню» трансгенної ознаки? Маються на увазі перш за все такі корисні комахи, як бджоли. Але Bt-протеїни відрізняються високою вибірковістю своєї дії. Проте

можливі негативні ефекти, пов'язані з нецільовим впливом ГМО на інші організми, обов'язково ретельно зважуються при проведенні оцінки їх біобезпеки.

У зв'язку з тим що перші ГМО володіли в основному ознаками толерантності до гербіцидів, виникло побоювання, що їх використання може призвести до несприятливого впливу на екосистеми токсичних речовин, похідних неповного руйнування небезпечних хімікатів, наприклад гербіцидів. Проте практика використання гербіцидостійких генетично модифікованих сортів показала протилежну тенденцію. Оскільки ефективність контролю над бур'янами за допомогою комбінації ГМО та відповідного гербіциду вище, ніж у звичайній практиці застосування хімікатів, то загальний обсяг гербіцидів, внесених на поля з генетично модифікованими сортами, виявляється нижче звичайного.

Для визначення ризику можливих несприятливих ефектів, пов'язаних з вивільненням ГМО у навколишнє середовище, розроблена спеціальна методика, що дозволяє проводити комплексну всебічну оцінку їх безпеки. Ця методика застосовується у всіх країнах, де вирощують ГМО, основні її положення закріплені в ряді міжнародних угод, що робить її застосування обов'язковою процедурою для країн, щодо них приєдналися. Методика добре зарекомендувала себе на практиці. По суті не відомо жодного випадку негативного впливу генетично модифікованих організмів на навколишнє середовище багато в чому завдяки ретельній оцінці безпеки всіх ГМО, які вивільняють в навколишнє середовище.

При оцінці ризику можливих несприятливих екологічних наслідків вивільнення ГМО у навколишнє середовище в першу чергу беруть до уваги інформацію, що стосується біологічних особливостей реципієнтного і донорського організмів:

Систематичне положення, спосіб розмноження і розсіювання, виживання в навколишньому середовищі: географічне поширення, опис місць природного зростання; потенційно значущу взаємодію з організмами, відмінними від

рослин (токсичність).

Особливу увагу приділяється інформації, що відноситься до характеру генно-інженерної модифікації: опису вбудованого в геном реципієнтного організму фрагмента ДНК (розмір і джерело, передбачувана функція кожного складового елементу чи району вбудованої ДНК, включаючи регуляторні та інші елементи, що впливають на функціонування трансгенів); даними про структуру і функціональній відповідності вбудованого фрагмента ДНК, присутності в ньому відомих потенційно небезпечних послідовностей, локалізації вставки і стабільності інкорпорації, кількості копій трансгенів.

Всебічному розгляду піддається інформація, що стосується біологічних особливостей ГМО і характеру взаємодії його з навколишнім середовищем, а саме: дані про нові ознаки і характеристики, які стали виявлятися або перестали виявлятися у генетично модифікованого організму порівняно з реципієнтним організмом, особливо ті, які можуть впливати на виживання, розмноження та розповсюдження в потенційному приймаючому середовищі; відомості про генетичну стабільність ГМО, ступеня і рівні експресії трансгена; здатність до перенесення генетичної інформації (наявність в потенційному приймаючому середовищі диких або культурних споріднених видів, здатних до гібридизації з ГМО, вірогідність перенесення трансгенів від ГМО до таких організмів); ймовірність конкурентної переваги генетично модифікованого організму порівняно з інтактним реципієнтним організмом, різкого збільшення чисельності популяції ГМО в потенційному приймаючому середовищі; відомості про організми-мішені і організми-немішені, передбачуваний механізм та результат взаємодії ГМО з ними.

Остаточний висновок про безпеку ГМО для навколишнього середовища робиться з урахуванням перерахованої вище інформації і характеристики потенційного приймаючого середовища: географічного положення ділянки, де буде здійснюватися вивільнення, близькості його до заповідників, заказників та інших природоохоронних об'єктів і територій; його розміру і обробленої, кліматичної, геологічної та ґрунтознавчої характеристики, флори і фауни.

Сьогодні в число трансгенних (генетично модифікованих) рослин (ГМО) вже входять дві сотні польових, пасовищних, овочевих, деревних, декоративних і лікарських культур. Для генної інженерії не існує перешкод, які обмежують перенесення генів при традиційній селекції, заснованій на статевій гібридизації: джерелом нових генів можуть бути будь-які організми – тварини, рослини або мікроби. Більш того, генні інженери можуть так змінити будову цих генів, пристосувавши їх до організму нового господаря, щоб змусити працювати продуктивніше або в строго певний період розвитку рослини.

Сьогодні генна інженерія сільськогосподарських рослин розвивається, головним чином, в руслі класичної селекції. Основні зусилля вчених зосереджені на захисті рослин від несприятливих (біотичних та абіотичних) факторів, зниженні втрат при зберіганні і поліпшенні якості продукції рослинництва. Зокрема, це підвищення стійкості до хвороб і шкідників, заморозків або засолення ґрунту, видалення небажаних компонентів із рослинної олії, зміна властивостей білку і крохмалю в пшеничному борошні, покращення лежкості і смаку плодів томата та ін.

Селекціонерів приваблює можливість цілеспрямованого генетичного перетворення сільськогосподарських рослин. Так, сорт, який добре зарекомендував себе за більшістю господарських характеристик, можна доповнити однією відсутньою ознакою, наприклад, стійкості до конкретної хвороби.

Крім того, завдяки генетичній модифікації рослини можуть виконувати раніше невласливу їм роль. Вони стають «фабрикою» лікарських речовин і харчових добавок або інструментом для «м'якого» введення ліків, вакцин і необхідних харчових добавок. Це, наприклад, коренеплоди цукрових буряків, які накопичують замість сахарози низькомолекулярні фруктани, або банани, які використовують як їстівні вакцини. Завдяки введенню генів бактерій вищі рослини набувають здатність брати участь в руйнуванні чужорідних органічних сполук (ксенобіотиків), що забруднюють навколишнє середовище.

Противники генетично модифікованих рослин не без підстав нагадують,

що створення, випробування і насадження трансгенних сортів монополізовано кількома транснаціональними корпораціями, які в змозі обмежувати доступ інформації про несприятливі екологічні наслідки широкого застосування продуктів з ГМО. Очевидно, буде потрібно кілька років для їх екологічної експертизи та пристосування до консервативних смаків споживачів. Останні вправі очікувати, що закон захистить їх право вибору між традиційними та генетично модифікованими продуктами харчування.

Гарантією проти можливих небажаних наслідків генетичної модифікації рослин є законодавче регулювання поширення ГМР та розробка пов'язаних із цим методів оцінки екологічного ризику. У багатьох країнах вже прийняті закони, що запобігають несанкціонованому поширенню трансгенного насіннєвого матеріалу і забезпечують моніторинг трансгенів в посівах, а також маркування харчових товарів, виготовлених з продуктів ГМО або з їх додаванням.

Спеціальні дослідження показали, що обмежене надходження трансгенів і білкових компонентів їх експресії в організм людини з продуктами харчування не може мати тих серйозних наслідків, які дали б підставу для заборони продуктів харчування з ГМР. У той же час ГМР можуть істотно оздоровити навколишнє середовище. Обробіток ГМР, стійких до широкого спектру хвороб та комах-шкідників, зможе істотно знизити, а в подальшому і звести до мінімуму пестицидне навантаження на навколишнє середовище. Рослини, ослаблені несприятливими погодними умовами, легше уражуються хворобами та шкідниками. Тому трансгенні сорти, стійкі до заморозків, засолення і посухи, меншою мірою потребують хімічного захисту, і вирощування таких ГМО, що також забезпечить зниження пестицидного навантаження і на середовище проживання.

Хвороби рослин не тільки знижують урожай, але і погіршують якість продукції. При цьому деякі мікроорганізми забруднюють зерно та іншу продукцію рослинництва високотоксичними метаболітами, наприклад, мікотоксинами. Ось чому вирощування ГМО, стійких до несприятливих

факторів навколишнього середовища, дозволить підвищити екологічну безпеку і якість життя населення.

ГМО, які більш ефективно використовують мінеральні добрива, зможуть значно зменшити забруднення навколишнього середовища нітратами та фосфатами.

Важче оцінити екологічні наслідки широкого застосування трансгенних сортів, стійких до сучасних гербіцидів суцільної дії (гліфосат). Ці гербіциди застосовуються в помірних дозах, вони малотоксичні для людини і тварин і нестійкі в ґрунті, тому посіви ГМО вдається практично повністю звільнити від бур'янів. Однак розширене застосування цих гербіцидів може мати несприятливі наслідки для дикорослих рослин і навколишньої природи в цілому.

Найбільш серйозні заперечення проти ГМО пов'язані з припущенням, що їх поширення призведе до появи і швидкого розмноження стійких форм бур'янів. Потенційна загроза горизонтального перенесення модифікованих генів стійкості заслуговує серйозної уваги.

Настільки ж реально поява комах-шкідників, які придбали стійкість до В1-токсинів, синтезованих ГМО. Щоб уникнути розповсюдження серед комах-шкідників набутої стійкості до токсинів трансгенної природи, необхідно дотримуватися кількох правил. Комахи, що живляться ГМР, повинні отримувати високу дозу токсину, що забезпечує знищення більшості шкідників і зменшення кількості особин, потенційно стійких до токсину. Необхідно чергувати посіви трансгенних сортів так, щоб популяції комах послідовно стикалися з токсинами різного механізму дії. Нарешті, по сусідству з ГМР повинні створюватися «заповідники» звичайних (нетрансгенних) рослин того ж виду. При цьому гени небагатьох уцілілих (стійких до токсину) шкідників будуть «поглинатися» при схрещуванні генами сприйнятливих до токсину комах.

Іншим несприятливим наслідком поширення ГМР може стати скорочення генетичного різноманіття дикорослих і особливо культурних рослин на нашій

планеті.

Зменшення чисельності фітофагів або придушення фітопатогенів може привести до розмноження контрольованих ними видів рослин і зниження чисельності ентомофагів, що змінить структуру агро-табіоценозів. ГМР можуть поступатися традиційним сортам в продуктивності або якості продукції.

Щорічна шкода від хвороб, шкідників, бур'янів і псування продукції рослинництва при зберіганні така велика, що втраченої при цьому у всьому світі їжі вистачило б для того, щоб прогодувати населення такого континенту, як Південна Америка. Ось чому в умовах триваючого зростання народонаселення навряд чи вдасться зупинити швидке поширення конкурентоспроможних трансгенних рослин. Впровадження в сільськогосподарську практику стійких до фітопатогенів і шкідників трансгенних сортів і гібридів неминуче призведе компанії, що працюють на пестицидному ринку, до великих фінансових втрат, оскільки відпаде необхідність у тотальному застосуванні гербіцидів і інсектицидів. Зараз у всьому світі на хімічний захист рослин від шкідників, збудників хвороб і бур'янів щорічно витрачається близько 32 млрд. доларів. У зв'язку з цим робляться спроби усіма можливими шляхами, в тому числі через засоби масової інформації перешкоджати просуванню трансгенних культур на перспективні сільськогосподарські світові ринки.

Зазвичай трансгенні рослини мають вузькоспецифічну стійкість до фітопатогенів (особливо до фітовірусів): в деяких випадках включення окремого фрагмента вірусу, виділеного з певного штаму, індукує стійкість рослини до цього вірусного штаму, але не до іншого штаму того ж вірусу. Це знижує практичну цінність трансгенних рослин. Тому, здійснюється пошук білків, здатних індукувати неспецифічну стійкість рослин до фітопатогенів. Кілька років тому виділені білки, які здатні індукувати неспецифічну стійкість різних рослин до грибної та вірусної інфекцій, ідентифіковані та клоновані гени цих білків, створені генно-інженерні конструкції. Розпочато роботи з перенесення цих генно-модифікованих конструкцій у геном клітин тютюну та

картоплі. Отримано результати, які підтверджують експресію цільових генів і індукцію ознаки стійкості у трансгенних рослин одночасно до кількох вірусів.

В даний час американськими вченими виведені сорти картоплі, стійкі до колорадського жука, і сорти сої, стійкі до гліфосату. Колорадський жук є проблемою для основних районів картоплярства і виробництва інших пасльонових культур в США, Канаді та інших країнах. Виробники змушені проводити від 4 до 8 обробок дорогими хімічними інсектицидами для захисту посадок від цього шкідника. Хімічні інсектициди до того ж є різною мірою токсичними для теплокровних тварин і людини. Крім того, при використанні сполук одного хімічного класу (наприклад, піретроїдів) у шкідників до них порівняно швидко виникає резистентність.

Фахівці компанії Монсанто перенесли в геном ряду сортів картоплі ген, виділений з бактерії *Bacillus thuringiensis*, різновид *tenebrioides* (Bt. f) Цей ген кодує синтез білка-ендотоксин, який володіє специфічною токсичністю по відношенню до певних груп комах, включаючи колорадського жука. Токсична дія білка Bt.f обумовлена тим, що він паралізує травну систему жука. Вміст білка-ендотоксина Bt. f в листках картоплі коливається від 5,4 до 28,3 мкг/г сирої маси, а в бульбах – від 0,4 до 2,0 мкг/г (менше 0,01% загального вмісту білка в бульбі).

Токсикологічні дослідження показали, що білок Bt.f безпечний для людини і нецільових організмів. Безпека обумовлена специфічністю його впливу лише на чутливі рецепторні мішені, наявні тільки у певних груп комах. У ґрунті цей білок порівняно швидко деградує. В результаті Державна комісія з продовольства і ліків США виключила білок Bt.f з офіційного списку потенційно токсичних речовин.

Бадиля трансгенної картоплі, що несе ген Bt.f, активно поїдається 28-точковим сонечком (Епіляхною) без будь-яких негативних наслідків для шкідника, що підтверджує високу видоспецифічність дії ендотоксину.

Протягом останніх 30 років в сільськогосподарському виробництві різних країн широко і успішно застосовуються біоінсектициди, створені на основі

Bacilusthuringiensis (лепідодид, Дінел, Інсектин, Ентеробактерин, Новодор та ін.). Один з основних діючих компонентів цих препаратів - білок Bt.f. Всесвітня Організація охорони здоров'я (ВООЗ), а також державні регулюючі органи в багатьох країнах санкціонували використання зазначених інсектицидів в якості безпечного для людини і навколишнього середовища мікробіологічного засобу захисту рослин. Трансгенні сорти картоплі компанії Монсанто, які представлені на випробування їх безпеки, дозволені до використання в якості харчових продуктів в США, Канаді, Японії та в ряді інших країн.

Завдання, які були вирішені при оцінці біобезпеки, представлених компанією Монсанто, сортів трансгенної картоплі, полягали в наступному: перевірити відповідність генно-модифікованих конструкцій, внесених в геном трансгенних сортів, заявленим; визначити рівень накопичення ендотоксину в тканинах рослин і стабільність збереження цього рівня в наступних генераціях; вивчити можливий вплив трансгенних рослин на видовий склад різосферних і епіфітних мікроорганізмів; провести порівняльну характеристику стійкості представлених трансгенних сортів до найбільш поширених збудників грибних, бактеріальних і вірусних хвороб до шкідників сільськогосподарських культур; оцінити реакцію трансгенних сортів картоплі на обробку пестицидами згідно з прийнятими технологічними регламентами; провести порівняльну оцінку збереження бульб; вивчити можливість виникнення резистентності колорадського жука до ендотоксину Bt; оцінити відповідність господарсько корисних ознак, обумовлених введенням чужорідних генів в рослину-реципієнт, заявленим.

В даний час різні методичні прийоми генетичної інженерії стали складовою частиною сучасної молекулярної і клітинної біології. До основних завдань генно-інженерної біотехнології рослин належать їх генетична трансформація, експресія чужорідних генів і її регулювання в клітинах трансгенних культур.

Три видатних досягнення фізіології рослин створили основу для інтеграції технології рекомбінантних ДНК в генно-інженерну біотехнологію

рослин. По-перше, відкриття фітогормонів, які регулюють ріст і розвиток рослин. По-друге, розробка методів культивування клітин і тканин рослин на середовищах, що містять макро- та мікроелементи, цукри, вітаміни і фітогормони (ці методи дозволяють вирощувати клітини, тканини і цілі рослини в стерильних умовах та проводити їх селекцію на специфічних середовищах).

Найближчим часом потенціал генно-інженерної біотехнології рослин значно зросте завдяки розробці методів генетичної трансформації клітинних органел. Подальші успіхи генно-інженерної біотехнології рослин будуть залежати від розуміння особливостей трансгенної експресії. Тут слід зазначити явище «замовкання» генів, яке іноді спостерігається, і роль метилювання ДНК в цьому процесі. В даний час можна говорити про зародження ядерної інженерії, спрямованої на модифікацію ядер за допомогою чужорідних і рекомбінантних ядерних білків (наприклад, ДНК-метиляз) і специфічну структурну модифікацію чужорідних генів. Показано, що трансгенну експресію можна підвищити на кілька порядків шляхом приєднання до чужорідних генів нуклеотидних послідовностей, міцно пов'язаних з ядерним матриксом.

5. Можливі несприятливі ефекти генно-модифікованих організмів на здоров'я людини, методи їх оцінки та способи попередження

Перші генно-інженерні сорти сільськогосподарських рослин з'явилися у виробництві в 1992 році. За минулий період вони показали свою високу ефективність, перевагу перед сортами, створеними за допомогою традиційної селекції. Площі під ними стрімко розширюються. Досі ж існує думка про нібито велику небезпеку генетично модифікованих організмів для здоров'я людини і навколишнього середовища, небезпеку, яку ототожнюють, наприклад, з наслідками чорнобильської катастрофи.

До теперішнього часу розроблена ефективна система оцінки безпеки ГМО для здоров'я людини і навколишнього середовища. Вона містить цілий

ряд підходів і методів, що застосовуються, починаючи з етапу планування передбачуваної генетичної модифікації і закінчуючи державною реєстрацією ГМО, що дає привід використовувати його у господарській діяльності.

Експертиза безпеки ГМО здійснюється науково-обґрунтованим чином. При її проведенні може враховуватися інформація, опублікована в науково-технічній літературі й міститься в спеціалізованих базах даних, результати випробувань і відомості з попереднього використання ГМО, висновки експертів, методичні рекомендації, розроблені національними та міжнародними організаціями.

Оцінка ризиків повинна здійснюватися на індивідуальній основі. Інформація, необхідна для прийняття висновку про безпеку ГМО, може варіювати по характеру і рівню деталізації в кожному конкретному випадку залежно від відповідного ГМО, характеру його передбачуваного використання і потенційного приймаючого середовища.

Потенційно небезпечними для здоров'я людини і навколишнього середовища можуть бути сорти, породи, штами організмів, виведені за допомогою традиційної селекції. Для того щоб вичленувати ефект саме генетичної модифікації, необхідно порівнювати генетично модифікований організм з вихідним, звичайним сортом.

Загальна методика оцінки ризику можливих несприятливих ефектів ГМО включає наступні етапи:

- виявлення будь-яких нових генотипових і фенотипових характеристик, пов'язаних з присутністю трансгенів, які можуть викликати несприятливу дію ГМО на здоров'я людини і навколишнє середовище;
- оцінка ймовірності виникнення несприятливих наслідків виходячи з інтенсивності, тривалості і характеру впливу генетично модифікованого організму на людину або на потенційно приймаюче середовище;
- оцінка наслідків у тому випадку, якщо такий несприятливий вплив дійсно матиме місце;
- оцінка сукупного ризику, що викликається ГМО, на основі оцінки

ймовірності виникнення та наслідків виявлених негативних ефектів;

- винесення рекомендації щодо того, чи є ризики прийнятними або регульованими, включаючи, якщо це необхідно, визначення стратегій для управління такими ризиками.

Будь-який трансгенний сорт рослини відрізняється від вихідного тільки тим, що в його генетичному матеріалі до 25-30 тисяч існуючих генів доданий відносно невеликий фрагмент ДНК, в якому записана інформація про один-два нових гени та їх регуляторні елементи. Активність цих доданих генів в організмі виражається в біосинтезі одного-двох нових для організму протеїнів (ферментів або структурних білків). Оскільки генетична інженерія може оперувати будь-якими генами, існуючими в природі, а не тільки генами від організмів, які перебувають в еволюційному спорідненості з окремими видами культурних рослин, як це робиться в традиційній селекції, то продукти привнесених генів (ферменти, протеїни) можуть виглядати в генетично модифікованому організмі як незвичайні, невласиві, чужорідні для даного виду, які в природі у нього не зустрічаються. Відповідно саме продукти трансгенів являються найбільш суттєвими, відчутними факторами ризиків, пов'язаних з генно-інженерними організмами.

З упевненістю можна стверджувати, що це не відноситься до доданого фрагменту ДНК, так як будова спадкового матеріалу у всіх організмів на планеті універсальна. І у людини, і у тварин, рослин, грибів, бактерій і вірусів він влаштований однаково: мова йде про полімер, що складається з двох зв'язаних ланцюжків, які чергуються в різному поєднанні чотирьох нуклеотидів. Сама по собі ДНК в чистому вигляді є абсолютно безпечним для людини продуктом. Протягом всього життя людина щодня споживає його без якого-небудь збитку для свого здоров'я.

Що стосується рекомбінантних протеїнів, то не у всіх ГМО вони є абсолютно чужорідними, невласивими для визначеного виду сполуками. По-перше, існує досить велика група трансгенних сортів рослин, які отримані внаслідок генетичних маніпуляцій з їх власними генами (томати з подовженим

періодом зберігання, соя, рапс з поліпшеним складом олії, картопля з поліпшеною якістю крохмалю, кава без кофеїну, тютюн без нікотину та інші).

По-друге, багаточисельні віддалені в еволюційному плані організми мають велику кількість ідентичних шляхів метаболізму, і відповідно склад і будову ферментів, які забезпечують їх реалізацію, також ідентичні. Фермент 5-енолпіру-вілшікімат-3-фосфат синтаза (EPSPS) є ключовим у біосинтезі ароматичних амінокислот у всіх рослин, грибів, бактерій. Бактеріальний EPSPS, що утворюється у трансгенній сої, толерантний до гербіциду Раундап, цілком успішно виконує відповідні функції в рослинному організмі після обробки рослин гербіцидом, коли свій, рослинний EPSPS сої дезактивований. Однак при оцінці безпеки таких близьких за функціональної активності генів слід звертати увагу не стільки на сам білок – продукт трансгену, скільки на можливу зміну окремих шляхів метаболізму трансгенної рослини через підвищення концентрації одного з їхніх компонентів. У випадку з тим же EPSPS при оцінці безпеки генетично модифікованої сої приймалося до уваги, що цей фермент каталізує реакцію, що не лімітує кінцеву швидкість синтезу ароматичних амінокислот, тому, як і очікувалося, показники їх синтезу у ГМО не відрізнялися від таких у вихідних рослин.

По-третє, наукові дані, отримані в результаті вивчення будови генетичного матеріалу людини, деяких тварин і рослин, істотно розширили уявлення про подібність і відмінність генів різних систематичних груп і ймовірності їх перенесення від однієї віддаленої систематичної групи до іншої (горизонтальний перенос генів). Виявилося, що в геномі рослини *арабідопсис* присутні близько сотні генів людини, в тому числі таких, як ген раку молочної залози. Ґрунтова бактерія *Agrobacterium tumefaciens* регулярно переносить частину своїх генів в рослини, викликаючи у них утворення пухлини – корончатий галл. Це абсолютно природний процес, який з успіхом використовують і генні інженери.

Таким чином, те, що роблять генетики, ні в якій мірі не перечить законам природи. Обмін генетичною інформацією між віддаленими видами в ній

відбувається постійно. В окремих випадках для цього потрібні мільйони років, а в деяких (агробактеріальна трансформація) це може відбуватися щодня і щогодини. Проте будь-який науковець, плануючи додати рослині, мікробу чи тварині який-небудь новий ген, повинен ретельно вивчити сам цей ген, а також продукт його активності і переконатися в їх безпеці.

Друга основна група ризиків пов'язана із самим фактом вставки трансгенів в генетичний матеріал організму. Є підстави подумати, що вбудовування трансгенів відбувається випадковим чином, тобто вони можуть вбудуватися практично в будь-яку область молекул ДНК, що містяться в трансформованій клітині: в будь-яку хромосому, будь-яку частину хромосоми, якщо мова йде про вищі організми. Але це може мати певну загрозу. Перш за все привнесений ген може торкнутися області ДНК, яка кодує структуру або регуляторні елементи будь-якого гена організму, що модифікується. Ймовірність цієї події в цілому не так велика, як може здаватися на перший погляд. Справа в тому, що генетичний матеріал вищих організмів влаштований таким чином, що власне генами та їх регуляторними елементами зайнято менше 10% довжини молекули ДНК, а це підвищує стабільність, стійкість молекули ДНК до зовнішніх впливів. Це означає, що гени на молекулі ДНК розташовані не щільно один за іншим, як кадри на кіноплівці, а через великі проміжки, зайняті некодуючими послідовностями нуклеотидів. Більш того, навіть в межах кодуючих послідовностей генів є ділянки, які також не несуть ніякої генетичної інформації. Вони вирізаються в ході «дозрівання» молекули інформаційної РНК, що утворюється при транскрипції гена.

Проте ймовірність того, що трансген може вбудуватися в ділянку ДНК, вже зайняту іншим геном, все ж існує. Якщо при цьому буде порушена частина, що кодує структуру пошкодженого гена, то в результаті продукт даного гена утворюватися не буде. Цей ген як би розпадається на дві неповноцінні частини: одна, передня, має елементи, необхідні для початку транскрипції (утворення інформаційної РНК), але не має термінальної послідовності, інша, ззаду, має тільки термінальні елементи. До того ж обидві частини області, що кодується є

неповними. Очевидно, що аналогічний результат буде мати місце і в разі пошкодження промотора або термінальних послідовностей. Якщо порушений ген виконує якусь важливу функцію в організмі, то відсутність його продукту може мати сумні для нього наслідки, аж до втрати життєздатності. Зрозуміло, що до рівня комерційного сорту генотипи з пошкодженими генами дійти не можуть в принципі.

Якщо в процесі вбудовування будуть порушені інші регуляторні елементи – енхансери («підсилювачі» активності генів) або сайленсери («сповільнювачі»), то це може привести до зміни активності затронутих вставкою генів. Сорти рослин, що утворюють будь-які токсичні сполуки (наприклад, соланін картоплі) в концентраціях, нешкідливих для здоров'я людини, в результаті генетичної модифікації здатні посилити їх синтез до рівня, що перевищує гранично допустимі значення. Такі генотипи вже стають небезпечними для здоров'я.

Третя основна група ризиків, пов'язаних з генно-модифікованих організмами, заснована на несприятливих ефектах, викликаних перенесенням трансгенів іншим організмам: вертикальним перенесенням генів від ГМО диким родичам культурного виду або горизонтальним переносом генів, наприклад селективних генів стійкості до антибіотиків від генетично модифікованої рослини мікроорганізмам шлунково-кишкового тракту. Тут все зрозуміло: гени та їх продукти, нешкідливі у ГМО, можуть виявитися досить небезпечними в іншому генетичному та екологічному середовищі.

Так, набуття хвороботворними бактеріями травного тракту стійкості до антибіотиків може істотно ускладнити лікування хвороб, які вони здатні викликати.

Серед потенційних ризиків для здоров'я людини, пов'язаних з використанням генно-модифікованих організмів, розглядаються наступні:

- синтез нових для реципієнтного організму білків-продуктів трансгенів, які можуть бути токсичними або алергенними;
- зміна активності окремих генів живих організмів під впливом вставки

чужорідної ДНК, в результаті якого може відбутися погіршення споживчих властивостей продуктів харчування, які одержані з цих організмів. Наприклад, в генетично модифікованих продуктах може бути підвищений в порівнянні з реципієнтними організмами рівень будь-яких токсичних, алергенних речовин, що перевищує встановлені межі безпеки;

- горизонтальна передача трансгенів іншим організмам, зокрема маркерних генів стійкості до антибіотиків від ГМО мікроорганізмам травного тракту.

Зрозуміло, що коли говорять про ризики для здоров'я людини, пов'язаних з ГМО, мають на увазі насамперед ризики при споживанні продуктів, отриманих з них або вироблених ними (наприклад, молока від генетично модифікованих корів).

Згідно з цим принципом, оцінюється не рівень безпеки нових продуктів харчування як такої, а його зміна в порівнянні з традиційними харчовими аналогами, які мають тривалу історію безпечного використання.

Для ідентифікації в нових продуктах і вихідній сировині відмінних від аналогів ознак, що впливають на рівень безпеки і поживну цінність харчових продуктів, ретельному аналізу піддається інформація, що стосується характеристик вихідного організму, від якого взято ген, призначений для трансгеноза, а також характеру генетичної модифікації. Далі проводять порівняльний аналіз генетично модифікованого організму і вихідного (немодифікованого) організму.

Новий продукт (сорт рослин) може бути: еквівалентним за істотними ознаками обраному аналогу; еквівалентним аналогу, за винятком однієї (кількох) суттєвої, добре визначеної ознаки; не еквівалентним аналогу по істотних ознаках.

У 2-му і 3-му випадках проводиться ретельна оцінка безпеки відмінних від вихідного аналога ознак ГМО за такими показниками, як потенційна токсичність, потенційна алергенність, можливість переносу генів стійкості до антибіотиків мікроорганізмам травного тракту, ймовірність потенційного

погіршення харчової цінності і засвоєння поживних речовин.

Стратегія оцінки потенційної токсичності нових продуктів харчування полягає в наступному. Якщо досліджувана відмінна від аналога речовина є відомим компонентом рослинної їжі, яка має тривалу історію безпечного використання, дослідження токсичності нових продуктів не є обов'язковими. В інших випадках здійснюються: визначення концентрації потенційних токсинів у їстівних частинах рослин; встановлення питомої ваги даного продукту в харчовому раціоні певних груп населення; оцінка стабільності нових речовин до термічної обробки; визначення швидкості руйнування потенційних токсинів в шлунково-кишковому тракті; аналіз рівня токсичності нових речовин в модельних системах; аналіз токсичності в експериментах з примусового згодовування лабораторним або домашнім тваринам їжі, що містить продукти, отримані з досліджуваного генетично модифікованого організму, або її нових компонентів протягом тривалого часу або протягом короткого часу, але з використанням високих концентрацій досліджуваних продуктів.

Будь трансгенний сорт, перш ніж буде офіційно допущений до використання в господарській діяльності, повинен проходити ретельну всебічну, багаторічну перевірку на безпеку, особливо в тих випадках, коли його урожай передбачається споживати в якості продовольчої сировини.

З усього різноманіття трансгенних сортів можна вибрати фактично тільки одиниці, у яких в результаті генетичної модифікації утворюються дійсно нові, не характерні для звичайних сортів даного виду з'єднання. Це ферменти фосфінотрицінацетілтрансфераза і неоміцинофосфоттрансфераза, які забезпечують дезактивацію відповідно гербіциду глюфозіната амонію та антибіотиків – аміноглікозидів канаміцину, неоміцину, генетіцину. Тим не менш і речовини, що мають тривалу історію безпечного використання, теж проходять ретельну перевірку.

Більшість білків-продуктів трансгенів відносяться до нестійких з'єднань: вони легко денатурують навіть при відносно невисоких температурах і кислотності середовища. Всі вони швидко перетравлюються в

шлунковому соці. Вміст їх в рослинних тканинах дуже низький. Це означає малу імовірність того, що перераховані протеїни можуть викликати алергічні реакції. Адже для алергенів характерні такі ознаки: стійкість до перетравлювання, до переробки, вміст у їжі більш ніж 1%. Для того щоб розвинулася алергічна реакція, білок повинен надходити в тонкий кишківник в практично незмінному стані (там відбувається його всмоктування в кров з подальшим утворенням антитіл).

На практиці зазвичай одержують велику кількість трансгенних форм, з яких в ході подальшої традиційної селекції відбирають зразки без видимих мутацій. Потім ретельно вивчають безпеку відібраних форм для здоров'я людини і навколишнього середовища. Зокрема, аналізують вміст в рослинній сировині як поживних, так і потенційно небезпечних для здоров'я речовин. Щоб трансгенний сорт був допущений до господарського використання, він не повинен суттєво відрізнятися від вихідного сорту, окрім як за привнесеною в результаті трансгенеза ознакою або за ознакою, яка була метою генетичної модифікації. Результати дослідів, по вивченню сої, стійкої до Раундапу, підтвердили повну ідентичність трансгенного і вихідного сортів сої як за поживними, так і антипоживними властивостями. В якості перших фігурували: вміст білка, жиру, волокон, зольних елементів, вуглеводів, калорійність, вологість зерна, «поживні» властивості переробленого зерна – сухого борошна, знежиреного борошна, білкового ізоляту, концентрату, лецитину, очищеного масла, дезодорованої олії і т. п. Не виявлено відмінностей за специфічними жирними кислотами, амінокислотами, зокрема ароматичним амінокислотам. Особливу увагу було приділено «антипоживним» компонентам зі соєвого зерна: інгібітору трипсину, фітоестрогенам. За змістом цих речовин генетично модифікований організм і вихідна лінія також не розрізнялися. Аналіз «суттєвої еквівалентності» ГМО і вихідної лінії найбільш актуальний для видів рослин, які в принципі можуть бути небезпечними для здоров'я людини: картопля, томати (через токсичні глікоалкалоїди), бавовна (через токсичність госсиполу) і деякі інші.

Наступним фактором, який розглядається в якості потенційного несприятливого ефекту генетично модифікованих організмів на здоров'я людини, є горизонтальний перенос трансгенів (насамперед генів стійкості до антибіотиків) від ГМО мікрофлорі травного тракту людини і тварин. До складу будь-якої трансгенної конструкції, як правило, входить крім власне трансгенів і його регуляторних елементів і так званий селективний (або маркерний) ген, необхідний для відбору трансформованих клітин. В якості селективних генів зазвичай використовують гени стійкості до антибіотиків (канаміцину, ампіциліну, стрептоміцину), які вже втратили своє значення як антимікробні препарати через стійкість мікроорганізмів до цих антибіотиків.

Крім того, вірогідність перенесення селективних генів з ДНК продуктів харчування, отриманих з генетично модифікованих організмів, до мікроорганізмів травного тракту вкрай низька. Для цього необхідно кілька вкрай малоїмовірних подій: ділянка ДНК, яка має селективний ген, не повинна бути пошкодженою в процесі травлення, необхідна гомологія селективного гена або прилягаючих до нього районів ДНК з ДНК хромосоми або плазміди хвороботворної бактерії травного тракту, а для того, щоб селективний ген експресувався в неї після перенесення, він повинен вбудуватися під відповідним прокаріотичним промотором.

Хоча наявність в трансгенних конструкціях селективних генів антибіотикостійкості не є небезпечним для здоров'я людини і навколишнього середовища, але, враховуючи стурбованість, а часто і неприйняття громадськістю цього факту, вчені докладають зусиль по розробці альтернативних селективних систем. Так, все частіше як селективні гени використовують гени стійкості до гербіцидів, нетоксичним цукрам, гени індукованої експресії фітогормонів та інші.

Лекція 10

Позитивні аспекти генно-модифікованих організмів

1. Аргументи прихильників генно-модифікованих організмів
2. Медицина і генно-модифіковані організми
3. Використання генетично модифікованих організмів в сільському господарстві
4. Генетична інженерія тварин

1. Аргументи прихильників генно-модифікованих організмів

У доповіді ФАО, підготовленій до форуму «Як прогодувати світ у 2050 році» вказано, що збільшення виробництва продовольства потребуватиме різкого зростання інвестицій у розвиток сільського господарства, які повинні бути направлені на дослідження, розробку та впровадження нових технологій, а також методів ведення фермерського господарства та отримання нових сортів сільськогосподарських культур. Експерти ФАО підкреслили, що найбільших урожаїв можна досягнути шляхом підвищення врожайності посівів та інтенсивності обробки орної землі, що вже використовується, а не за рахунок збільшення посівних площ. Згідно з прогнозом на підвищення врожайності та інтенсивності сільського господарства припаде 90% зростання виробництва і лише 1% – на розширення площ орних земель. Для країн, що розвиваються, ФАО оцінює це співвідношення як 80:20. Але в країнах з обмеженою кількістю землі практично все зростання виробництва має бути досягнуто за рахунок підвищення врожайності. Попит на продовольство, згідно з прогнозом ФАО, зростатиме й надалі внаслідок збільшення чисельності населення та зростання його доходів.

У залежності від цін на енергоносії, за оцінками ФАО, виробництво біопалива також може сприяти збільшенню попиту на сільськогосподарську продукцію. Незважаючи на те, що 90% зростання врожайності очікується

переважно за рахунок інтенсивнішої обробки земель, площа орної землі повинна збільшитися на 120 млн. га у країнах, що розвиваються, здебільшого в Африці, на південь від Сахари та Латинській Америці. Площа орної землі в розвинених країнах зменшиться на 50 млн. га, хоча цей показник може змінюватися під впливом попиту на біопаливо. Експерти ФАО вважають, що у світі є достатня кількість земельних ресурсів, щоб прогодувати майбутнє населення світу.

Прихильники широкого використання ГМО заявляють, що всі можливості збільшити продовольчий потенціал у світі фактично вичерпані, тому постає необхідність шукати принципово нові підходи та широко використовувати сучасні біотехнології для поповнення запасів продовольства.

Окрім цього в літературі наводять інші аргументи на користь ГМО: сучасна біотехнологія дозволяє використовувати потрібні гени живих організмів, а також конструювати нові гени, клонувати їх та вводити різними методами в організм рослини-реципієнта. Таким чином можна створювати нові трансгенні рослини із заданими корисними властивостями в багато разів швидше, ніж це відбувається за традиційної селекції; шляхом генетичних маніпуляцій можна забезпечити стійкість сільськогосподарських рослин до хвороб, шкідників, пестицидів, складних кліматичних умов, їх краще зберігання, поліпшити їхні агротехнічні властивості, збільшити врожайність, а також уповільнити старіння та підвищити харчову цінність культур; сучасна біотехнологія дозволяє при створенні нових рослин діяти більш цілеспрямовано, ніж при традиційній гібридизації. Якщо перше покоління генетично модифікованих рослин включало лише додаткові гени стійкості, то вже наступне покоління набуває нових властивостей, які раніше певним рослинам не були властиві.

Американські вчені Б. Глік і Дж. Пастернак виділяють три основні аргументи на користь поширення ГМ рослин: введення гена (генів) сприяє підвищенню сільськогосподарської цінності та декоративних якостей культурних рослин; ГМ рослини можуть служити живими біореакторами при

маловитратному виробництві важливих білків; генетична трансформація рослин дозволяє вивчати дію генів у ході розвитку рослини та інших біологічних процесів.

На сучасному етапі розвитку генної інженерії ставиться завдання: «навчити» рослину виробляти абсолютно нові речовини, необхідні як для медицини, так і для інших сфер, – особливі кислоти, білки з високим вмістом амінокислот, модифіковані полісахариди, вакцини, антитіла, інтерферони, нові полімери, що не засмічують навколишнє середовище і таке інше. За допомогою генної інженерії можна змінювати структуру жирних кислот рослинних олій. Так, наприклад, у США було створено та перевірено в польових умовах безліч трансгенних сортів каноли, які синтезували масла зі зміненими жирними кислотами. Кожен трансгенний сорт містив один додатковий ген. Успіхи, досягнуті в отриманні трансгенних сортів каноли, дозволяють сподіватися, що в майбутньому цей підхід знайде широке застосування і дозволить створити нові сорти. На думку вчених, переважно представників компаній, що займаються дослідженнями в галузі біотехнологій, біотехнології відкрили перспективи подальшого прогресу сільського господарства та забезпечення населення Землі необхідною кількістю продовольства.

Серед переваг ГМ культур для сільськогосподарських виробників виділяють: значне зменшення використання пестицидів для обробки рослин, що зменшує їх шкідливий вплив на навколишнє середовище та здоров'я фермерів. З 1996 року у світі використання пестицидів на площах, де вирощуються ГМ культури, зменшилося на 0,286 млн. т., що за підрахунками вчених знизило їх негативний вплив на навколишнє середовище на 15%; зменшення кількості необхідної для обробки землі техніки.

У 2002-2005 роках Всесвітня організація охорони здоров'я разом з експертами Продовольчої і сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй, Програми ООН з питань навколишнього середовища (UNEP), Організації економічного співробітництва і розвитку (OECD) та інших авторитетних міжнародних організацій провела дослідження безпечності ГМ

харчових продуктів, за результатами якого був опублікований звіт «Сучасна харчова біотехнологія, людське здоров'я і розвиток: доказове дослідження».

У звіті ВООЗ зробила висновок, що генетично модифіковані харчові продукти можуть сприяти поліпшенню здоров'я людей та розвитку людства, а вигоди ГМО очевидні – зростання врожайності, покращення якості та різноманітності харчових продуктів, що сприяє підвищенню життєвого рівня.

Але при цьому наголошується на необхідність довгострокових досліджень, так як деякі гени, що використовувались при створенні ГМО, раніше були відсутні в сільськогосподарських рослинах, і слід оцінювати їх потенційний вплив на здоров'я людини, що дозволяє своєчасно виявити будь-які можливі негативні прояви в майбутньому.

Ці зауваження є дуже слушними. Ген – це не автономна одиниця. Властивості та інформаційну складову гена визначає його оточення в геномі та середовище, в якому він перебуває. При якихось змінах змінюється і активність гена. Не можна поняття «організм» зводити до поняття «набір генів», оскільки гени не є стійкими одиницями інформації, які можуть бути перенесені для генної експресії без прив'язки до контексту. Доведено, що молекула ДНК може бути стабільною в пробірці в лабораторних умовах, але виявитися дуже нестабільною в живих організмах, взаємодіючи із своїм оточенням нелінійно. У цьому причина повної непередбачуваності наслідків перенесення гена від одного виду до іншого і саме в цьому найбільша небезпека.

Прихильники трансгенних досліджень стверджують, що трансгенна ДНК – всього лише ДНК, і генетики давно багато що про неї знають, тому, здавалося б, і немає приводу для неспокою. Проте, як поводить ДНК, відомо на підставі спостережень і експериментів, що проводяться усередині одного і того ж виду. В ході трансгенних досліджень ДНК одного виду переносять в клітки іншого виду, і було б небезпечно міркувати, що вона поводитиметься точно так, як і усередині одного виду. Ген ніколи не проявляє своєї дії окремо, незалежно від інших генів. Він, швидше, функціонує як елемент всього генома. Досліди по традиційній селекції рослин і тварин показали, що зміни всього лише декількох

генів здатні надати незвичайно сильну дію на розвиток цілого організму. Більшість мутацій, з якими мають справу в традиційній селекції, плейотропні, тобто зачіпають декілька ознак і мають множинний ефект. Вони можуть привести до різких змін в зовнішніх ознаках, хоча і не створюють «монстрів». Наприклад, білоголова, цвітна, брюссельська капуста, брокколи і кольрабі дуже сильно розрізняються на вигляд, але всі вони є мутаціями одного і того ж виду дикої рослини, *Brassica oleracea*. Так само і всі породи собак з'явилися за допомогою мутації одного і того ж виду дикої собаки; при цих мутаціях було зачеплено всього декілька генів з багатьох тисяч. І хоча в результаті окремих мутацій часто з'являються організми, що відрізняються один від одного, в цілому такі мутації рідко приводять до появи потворності або «монстрів».

Проте відрізок чужої ДНК, поміщений в нову клітину, перебуває в абсолютно новому для себе оточенні. Не можна до кінця представити, які функції він виконуватиме, хоча, звичайно ж, про це можна судити на підставі знань в області біології клітини. Проблема трансгенних досліджень полягає в тому, що потенційну вигоду від маніпуляцій з ДНК можна передбачити на основі сучасних знань про гени, але всі потенційні негативні наслідки передбачити набагато важче, якщо взагалі можливо.

За роки розвитку генної інженерії в різні геноми було перенесено досить багато чужих генів, і при цьому не було створено особливих «монстрів». Першою трансгенною твариною стала миша з щурячим геном гормону росту. Як і очікувалося, вона виросла значно більше своїх братів і сестер (і виглядала при цьому швидше як щур), але проблем із здоров'ям у неї не спостерігалось. Сьогодні генетики вже звикли використовувати в своїх експериментах трансгенних тварин. Гени світляка були перенесені рослинам, які світилися в темряві; так само гени медузи можна перенести мишам, щоб вони також світилися в темряві. Гени бактерій пересаджували плодовим мушкам і рослинам, після чого в місцях експресії трансгенна тканина набувала блакитного кольору. Такі генотипи були отримані в результаті навмисних і контрольованих експериментів. Часто необхідні гени довго обробляють, щоб

пристосувати їх до генома нового господаря. Селекціонери рослин також виростили багато гібридів, які ніколи б не зустрілися в природі. Наприклад, тритикале є створеним людиною гібридом пшениці і жита, які належать до різних біологічних родів. Здавалося б, при схрещуванні таких далеких біологічних систем були всі можливості для прояву самих негативних наслідків, але тритикале показало себе досить цінною харчовою культурою. При цьому мутант не зруйнував природну екосистему. Накопичений досвід дозволяє приступити до подальших експериментів, і при подальших дослідженнях завжди корисно враховуватиме контекст попередніх випробувань.

2. Медицина і генно-модифіковані організми

Починаючи з двадцятих років минулого століття для інсулінової терапії використовували інсулін, виділений з підшлункових залоз свиней і телят. Тваринний інсулін в основному аналогічний людському, проте між ними є й певні відмінності. Так, в молекулі інсуліну свині на відміну від людського в одній з ланцюгів амінокислота треонін заміщена аланіном. Вважається, що ці незначні на перший погляд відмінності можуть викликати у окремих пацієнтів серйозні ускладнення (порушення роботи нирок, розлад зору, алергію). Крім того, незважаючи на високий ступінь очищення, не виключена ймовірність перенесення вірусів від тварин людям. І нарешті, число хворих діабетом зростає так швидко, що забезпечити всіх потребуючих тваринним інсуліном вже не виявляється можливим.

Розробка технології виробництва штучного інсуліну являється досягненням генетики. Спочатку за допомогою спеціальних методів визначили будову молекули цього гормону, зіставивши і послідовність амінокислот у ній. У 1963 році молекулу інсуліну синтезували за допомогою біохімічних методів. Однак, здійснити в промисловому масштабі настільки дорогий і складний синтез, що включає 170 хімічних реакцій, виявилось складно.

Тому, в подальших дослідженнях упор був зроблений на розроблення технології біологічного синтезу гормону в клітинах мікроорганізмів, для чого використовували весь арсенал методів генетичної інженерії. Знаючи послідовність амінокислот в молекулі інсуліну, вчені розрахували, якою має бути послідовність нуклеотидів в гені, що кодує цей білок, щоб отримати потрібну послідовність амінокислот. «Зібрали» молекулу ДНК з окремих нуклеотидів відповідно до визначених послідовностей «додали» до неї регуляторні елементи, необхідні для експресії гена в прокаріотичному організмі *E.coli*, і вбудували цю конструкцію в генетичний матеріал мікроба. В результаті бактерія змогла виробляти два ланцюги молекули інсуліну, які в подальшому можна було з'єднати за допомогою хімічної реакції і отримати повну молекулу інсуліну.

Нарешті, вченим вдалося здійснити в клітинах *E.coli* біосинтез молекули проінсуліна, а не тільки її окремих ланцюгів. Молекула проінсуліна після біосинтезу здатна відповідним чином перетворюватися на молекулу інсуліну. Ця технологія має серйозні переваги, оскільки різні етапи екстракції та виділення гормону зведені до мінімуму. При розробці такої технології була виділена інформаційна РНК проінсуліна. Використовуючи її в якості матриці, за допомогою ферменту зворотної транскриптази синтезували комплементарну їй молекулу ДНК, яка представляла собою практично точну копію натурального гена інсуліну. Після пришивання до гену необхідних регуляторних елементів і перенесення конструкції в генетичний матеріал *E.coli* стало можливим виробляти інсулін на мікробіологічній фабриці в необмежених кількостях. Він набагато дешевше препаратів тваринного інсуліну, не викликає ускладнень.

Інша, не менш трагічна проблема здоров'я людини зв'язана з порушенням роботи залоз внутрішньої секреції, що призводить до вираженого уповільнення росту дітей і появи так званих карликів. Це захворювання викликане недостатньою секрецією гормону росту – соматотропіну, який виробляється гіпофізом (залозою, розташованою в нижній частині мозку). До

середини 1980-х років цю хворобу намагалися лікувати шляхом введення в кров пацієнтів препаратів гормону росту, виділених з гіпофіза померлих людей. Немає сенсу пояснювати, наскільки складно отримати необхідну для терапії кількість такого гормону. Крім чисто технічних (в гіпофізі міститься дуже невелика кількість гормону), фінансових (препарат немислимо дорогий), етичних та інших проблем є ризик перенесення пацієнтам небезпечних захворювань. Для досягнення позитивного результату лікування соматотропін вводять внутрішньом'язово тричі на тиждень в дозах порядку 6-10 мг на кілограм ваги пацієнта з віку 4-5 років до статевої зрілості і навіть довше. З гіпофіза одного померлого можна отримати лише 4-6 мг препарату. Тому навіть розроблені на державному рівні спеціальні програми з виробництва соматотропіну в таких країнах, як США, Великобританія, Франція, не могли повністю задовольнити попит на цей препарат. Так, у США в 70-80-ті роки минулого століття щороку виділяли гіпофіз у 60000 трупів. Отриманого соматотропіна вистачало для адекватного лікування лише 1500 дітей на рік.

Ген, що кодує утворення гормону росту людини, був синтезований штучно і вбудований в генетичний матеріал *E.coli* аналогічно тому, як це зробили з геном інсуліну. В даний час проблема виробництва високоякісного, безпечного для здоров'я пацієнтів соматотропіну в необхідних кількостях і при мінімальних витратах повністю вирішена. Більш того, за допомогою технології рекомбінантних ДНК отримані штами мікроорганізмів, здатні синтезувати і інші фактори росту людського організму. Для цілей сільського господарства велике значення мала організація виробництва гормону росту великої рогатої худоби (вперше – американською фірмою Монсанто). Його застосування дозволяє значно (до 15% і більше) підвищити удій корів. Сам ген, що кодує утворення соматотропіну, намагаються використовувати в генетичній інженерії тварин для виведення порід з високою енергією росту. Отримані обнадійливі результати на рибах. Лососі з вбудованим геном гормону росту здатні досягати споживчих розмірів за один рік замість двох на відміну від звичайних риб.

Для виробництва «трансгенних» медичних препаратів нині

використовують не тільки спеціальним чином модифіковані мікроорганізми, а й культури тварин клітин. Наприклад, біосинтез рекомбінантного фактора VIII людської крові дозволяє ефективно вирішувати проблему лікування хворих гемофілією (зі зниженим згортанням крові). До цього фактор VIII виділяли з крові донорів, що пов'язано з ризиком зараження пацієнтів вірусними інфекціями типу гепатиту. Виробництво трансгенного еритропоєтину (гормону, що стимулює утворення червоних кров'яних клітин людини) допомагає боротися з різними анеміями. До недавнього часу найбільш ефективним методом лікування анемії вважалося неодноразове переливання донорської крові, обходиться дуже дорого і також пов'язане з ризиками.

В теперішній час технологія рекомбінантних ДНК дозволяє отримувати більш дешеві і безпечні вакцини для лікування найнебезпечніших інфекційних захворювань (гепатиту, поліомієліту та ін.) У багатьох випадках отримання подібних вакцин традиційними методами за просту неможливо. На основі генно-модифікованих біотехнологій створені більш досконалі методи діагностики і лікування хвороб людини. Саме з генетичною інженерією людство пов'язує свої надії на вирішення проблеми лікування практично невиліковних поки хвороб: раку, СНІДу, шизофренії, хвороби Альцгеймера, спадкових хвороб.

3. Використання генетично модифікованих організмів в сільському господарстві

Незважаючи на вражаючі досягнення генетичної інженерії в галузі медицини, найбільший резонанс у суспільстві викликає застосування генетично модифікованих організмів для виробництва сільськогосподарської продукції. Проблеми медицини стосуються в основному невеликої частини населення, яка страждає серйозними захворюваннями. Сформована в світі система апробації нових лікарських препаратів, що припускає, серед іншого, численні випробування на безпеку, в цілому себе виправдала і користується довірою

споживачів, навіть незважаючи на окремі, дуже рідкісні трагічні інциденти, пов'язані з використанням нових ліків.

Інша ситуація з сільськогосподарською продукцією. Її проблеми зачіпають кожного з нас. Будь-який новий, незнайомий продукт харчування сприймається з підозрою, зростаючи у випадках, коли поширюються плітки про небезпеку його для здоров'я. Спрацьовує принцип прийняття запобіжних заходів: якщо продукту не знаєш, краще утриматися від його споживання.

Проте люди мають право знати, які переваги порівняно з традиційною селекцією рослин має генетична інженерія, якими новими властивостями володіють продукти харчування, отримані з трансгенних сортів, які ризики для здоров'я людини і навколишнього середовища з ними пов'язані. Це необхідно для того, щоб зробити усвідомлений вибір: їсти чи не їсти. А в основі вибору завжди лежить оцінка співвідношення між користю та шкодою, перевагами і недоліками технології, продукту. Адже абсолютно не шкідливих продуктів харчування в природі не існує.

Однією з основних проблем сільськогосподарського виробництва є боротьба з бур'янами. В індустріально розвинених країнах поряд з агротехнічними заходами (обробка ґрунту) для цих цілей широко застосовуються гербіциди, тобто хімічні препарати, здатні тотально або вибірково пригнічувати ріст рослин. Розроблено два способи використання гербіцидів. Їх застосовують перед посадкою або сівбою рослин, вносячи в ґрунт або обприскуючи бур'яни, які тронулися в ріст. Однак цей спосіб не може повною мірою вирішити проблему, оскільки бур'яни з'являються і після сходів основної культури, і в ході всього періоду вегетації. Крім того, внесені в ґрунт гербіциди, як правило, тривалий час розкладаються, забруднюючи навколишнє середовище. Інший спосіб – обробітку гербіцидами вегетативних рослин. Він більш ефективний, оскільки дозволяє захищати посіви протягом усього сезону. Але при використанні гербіцидів тотальної дії виникають серйозні проблеми захисту культурних рослин, не стійких до цих гербіцидів. Для цього створені спеціальні пристосування, які дозволяють змочувати гербіцидом вищі сміттєві

рослини, не зачіпаючи культурні. Ця процедура значно спрощується, якщо в розпорядженні є сорти рослин, стійкі до використовуваного гербіциду. За допомогою традиційної селекції вивести такі сорти досить складно. Зокрема, не існує сортів сільськогосподарських рослин, толерантних до тотальної дії гербіцидів, які використовуються.

Генетична інженерія цю проблему вирішує досить просто. Досить перенести в генетичний матеріал рослини потрібний ген від стійких до гербіцидів мікроорганізмів. Вчені, вивчаючи механізм дії гербіцидів, з'ясували, що найчастіше вони впливають на один який-небудь важливий для метаболізму рослин фермент, зв'язуючись з ним і таким чином ослаблюючи його активність. Це призводить до серйозних порушень росту і розвитку оброблених гербіцидом рослин, і вони гинуть. Серед бактерій легко можна виявити стійкі генотипи, висіваючи їх на поживне середовище, в яке додають гербіцид.

Значна частина населення світу «взяла» генетично модифіковані організми в якості важливого джерела поліпшення свого добробуту.

Було показано, що толерантність до гербіцидів обумовлена, як правило, мутацією одного певного гена. Відомо два основних механізми стійкості. Перший з них, що отримав назву «мутація мішені» (мішень-фермент, на який діє гербіцид), пов'язаний зі зміною послідовності амінокислот в тій області молекули ферменту, в якій відбувається його зв'язування з гербіцидом. В результаті гербіцид «не впізнає» свою мішень, фермент зберігає активність, а організм стає толерантним до дії гербіциду. Описаний механізм характерний для стійкості до таких гербіцидів, як гліфосат, сульфонілсечовина, імідозолінон та інші. Другий механізм зв'язаний з виробленням у стійких організмів ферментів, здатних дезактивувати гербіцид, наприклад, шляхом приєднання до нього будь-якого хімічної радикала. Цей механізм діє в організмів, стійких до гербіциду глюфозінат амонію.

Серед всіх трансгенних культур гербіцидостійкі форми займають переважну більшість. Так, в 2003 році в світі під ними було зайнято 73% площі, засіяної генно-інженерними отриманням, або 49,7 млн гектарів. Ще 8%

загальної площі займали трансгенні сорти, що володіють стійкістю до гербіцидів у поєднанні зі стійкістю до комах-шкідників. Ця ситуація пояснюється наступними факторами.

По-перше, стійкість до гербіцидів – дуже важлива для сільськогосподарської культури ознака, дозволяє істотно знизити витрати виробництва за рахунок більш ефективного контролю над бур'янами.

По-друге, завдяки простого характеру генетичного контролю цієї ознаки, хорошої вивченості відповідних генів отримувати гербіцидостійкі ГМО набагато простіше, ніж стійкі до посухи або засолення.

Безумовним лідером серед всіх трансгенних культур є соя, стійка до гербіциду гліфосату. Поява генетично модифікованих сортів зробило справжню революцію в технології обробітку сої. Справа в тому, що культурна соя розвивається на ранніх етапах вегетації дуже повільно. Та й конкурентоспроможність дорослих рослин теж невисока. Це означає, що без застосування гербіцидів отримати необхідний урожай такої найважливішої сільськогосподарської культури, як соя, практично неможливо.

Гербіцид гліфосат відноситься до гербіцидів тотальної дії. Його «мішенню» в рослині є фермент EPSPS, який грає важливу роль у синтезі ароматичних амінокислот (тирозину, фенілаланіну і триптофану). Під дією гербіциду у нестійких до нього рослин спостерігаються симптоми азотного голодування (через нестачу названих амінокислот – «будівельного матеріалу» для синтезу білків), і вони гинуть протягом двох тижнів. Гліфосат відноситься до гербіцидів нового покоління, для яких характерна відносна безпека для здоров'я людини і навколишнього середовища. Адже його «мішень» є тільки у рослин, грибів і бактерій і відсутня у тварин. Тому його токсичність для людини навіть нижче, ніж у кухонної солі. Крім того, гліфосат відповідно швидко (приблизно протягом тижня) руйнується після попадання на рослини або ґрунт.

У деяких бактерій виявлені гени, що кодують EPSPS, які несуть точкових мутацій. Результатом мутації є заміна однієї амінокислоти в області ферменту,

в якій відбувається його зв'язування з гербіцидом гліфосатом. Тому гербіцид втрачає здатність дезактивувати такий мутантний фермент, і бактерія набуває стійкість до його дії.

В вирощуваних у всьому світі трансгенних комерційних сортах сої вбудований саме останній з названих мутантних генів (тобто ген *cp4* від ґрунтової бактерії *Agrobacterium tumefaciens CP4*). Генетична конструкція, створена за допомогою технології рекомбінантних ДНК для перенесення цього гена в рослини, містить також промотор *CaMV35S* від вірусу мозаїки цвітної капусти. Для перенесення цієї конструкції в генетичний матеріал сої використаний метод «бомбардування» клітин за допомогою «генної гармати». В отриманій трансгенній сої відсутні селективні гени стійкості до антибіотиків, оскільки сам ген стійкості до гліфосату можна використовувати як селективний. Близько тисячі різних сортів стійкої до гліфосату сої, вирощеної на різних континентах, отримані за допомогою традиційної селекції, в якій використано як джерело мутантного гена EPSPS одна-єдина генно-інженерне рослина з генно-інженерною модифікацією.

Таким чином, генетично модифіковані сорти сої відрізняються від звичайних лише тим, що у них утворюється два типи одного і того ж ферменту EPSPS. Перший – свій власний, який може зв'язуватися гербіцидом, і другий – привнесений від бактерії, який не пов'язується з гербіцидом. Саме наявність другого типу зазначеного ферменту робить ці сорти стійкими до дії гліфосата і зберігає їм життя після обробки посівів гербіцидом. Уже той факт, що бактеріальний EPSPS здатний виконувати функції рослинного аналога, говорить про їх значному схожості, в тому числі і в сенсі безпеки для здоров'я людини. Другим новим елементом є хлоропластний транзитний пептид, який доставляє трансгенний EPSPS до хлоропластів і який представляє собою короткий ланцюжок амінокислот, який швидко руйнується в процесі перетравлювання їжі.

Другою ключовою проблемою рослинництва є підвищення ефективності контролю чисельності комах-шкідників сільськогосподарських культур. Для

цих цілей найчастіше використовують пестициди – або хімічні, або біологічні (препарати, отримані на основі мікроорганізмів, що виробляють токсичні для комах речовини). Використання останніх переважно з точки зору безпеки для здоров'я людини і навколишнього середовища. Проте ефективність хімічних засобів захисту рослин залишається набагато вищою, ніж біологічних.

Серед біопестицидів широко використовується так званий Vt-токсин, який отримують на мікробіологічних підприємствах шляхом культивування ґрунтових бактерій – *Bacillus thuringiensis*. Дані бацили були описані на початку минулого століття, у тридцяті роки було встановлено, що вони здатні виробляти токсичні для комах продукти, що мають, що дуже важливо, високу вибірккову дію. Це означає, що Vt-протеїн, виділений від одного певного штаму бацили, здатний вбивати певний вид комах, наприклад жуків, і не діє на інших комах, наприклад метеликів, бджіл і т. д. Вибірковість обумовлена специфічним механізмом токсичності Vt-протеїну.

Потрапляючи в травний тракт чутливої до нього комахи, Vt-протеїн зазнає змін: під дією певного протеолітичного ферменту в лужному середовищі (рН 7,5-8,0) від вихідної молекули протеїну відокремлюється невелика частина (приблизно рівна одній третині молекули), що представляє собою активну форму цього білка. Тільки вона здатна прикріплюватися до специфічних рецепторів в середній частині травного тракту комахи і викликати лізис (розчинення) клітин, що призводить до утворення пор. Комаха перестає харчуватися, відбувається зневоднення організму, і в кінці кінців настає смерть. У нечутливих до конкретних препаратів Vt-протеїну комах описані процеси не відбуваються, і Vt-протеїн у них просто перетравлюється.

Vt-протеїн не представляє загрози для теплокровних тварин і людини, оскільки травний тракт у них влаштований інакше, ніж у комах, і у них інші протеолітичні ферменти. Більш того, Vt-протеїн – вельми нестійкий білок, який легко денатурує при нагріванні, у кислому середовищі шлунку, швидко перетравлюється шлунковим соком.

Починаючи з 1960-х років біопрепарати на основі Vt-протеїну досить

широко використовуються в сільському і лісовому господарстві для боротьби з комахами-шкідниками. До безперечних переваг цих препаратів слід віднести перш за все повну безпеку для здоров'я людини (не токсичні, не викликають алергії), а також для навколишнього середовища (висока вибірковість дії, вони легко змиваються з листя, швидко руйнуються під дією ультрафіолетових променів, не здатні накопичуватися в рослині та ґрунті). У той же час позитивна якість препарату, що забезпечують безпеку навколишнього середовища, є його істотним недоліком з точки зору ефективності: препарат здатний захистити рослину тільки на дуже короткий час.

Вирішення цієї проблеми стало можливим завдяки використанню генетичної інженерії. Бактеріальний ген, відповідальний за вироблення Bt-протеїну, був виділений з ДНК бактерій, клонований, в деяких випадках істотно модифікований аж до штучного синтезу окремих його активних фрагментів, з'єднаний з необхідними регуляторними елементами і вбудований в різні види сільськогосподарських рослин.

Особливо висока ефективність трансгенного Bt-протеїну відзначена на кукурудзі та бавовні. Справа в тому, що шкідники цих культур знаходяться на поверхні рослини протягом дуже короткого часу. Потім вони впроваджуються в тканини рослини і прогризають там ходи, завдаючи, таким чином, істотної шкоди здоров'ю рослин і врожаю. Оскільки у трансгенних сортів Bt-протеїн утворюється у всіх зелених тканинах рослини і присутній там постійно, то це дозволяє рослині захищати себе від шкідників протягом усього періоду вегетації. При цьому трансгенний Bt-протеїн високоефективний у винятково низьких концентраціях.

Говорячи про генетично модифіковані сорти, стійких до комах-шкідників, слід зазначити одну важливу деталь. Всі вони є більш досконалими продуктами генетичної інженерії в порівнянні з першими гербіцидостійкими формами. При їх створенні, зокрема, використані більш точні механізми регулювання активності трансгенів за рахунок застосування не вірусних промоторів, а рослинних. Так, в Bt-кукурудзі використаний промотор гена

фосфоенолпируваткарбоксилази самої кукурудзи, який забезпечує активність Vt-генів виключно в зелених тканинах рослини (листя, стебла). Саме завдяки цьому немає Vt-протеїну в зрілому зерні та силосі. Для створення Vt-картоплі використаний інший промотор. Vt-ген, регульований фоточутливим промотором, експресується на світлі в 100 разів сильніше, ніж у темряві. Відповідно в бульбах Vt-протеїну утворюється в 100 разів менше, ніж в листі.

Це свідчить, що ні трансгенна картопля, ні трансгенна кукурудза не містять в своєму врожаї продукту привнесеного їм бактеріального гена. Тобто вони повністю ідентичні за своїми споживчими властивостями сортам, отриманими методами традиційної селекції.

Вірусні хвороби є причиною досить значних втрат врожаю для цілого ряду культур, в першу чергу тих, які розмножуються вегетативно (бульбами, живцями, цибулинами, щепленням), а також гарбузових, томатів та деяких інших. У зв'язку з цим розробка принципово нових підходів у боротьбі з вірусними хворобами представляє великий практичний інтерес. Сучасні генно-інженерні технології створення стійких до вірусів сортів рослин базуються на використанні відомого методу, який отримав назву перехресного захисту. Він заснований на явищі підвищеної стійкості рослин до агресивних форм-якого вірусу за умови, що вони були раніше заражені менш шкідливою формою того ж самого виду вірусів. Механізм цього явища точно не з'ясований, однак його досить широко використовують в Японії для захисту томатів від ураження вірусами томатної і огіркової мозаїки, в Бразилії для захисту цитрусових, папайї, кабачків цукіні.

У 1986 році вперше отримано стійкі до мозаїчного тобамовірусу рослини тютюну шляхом перенесення в їх генетичний матеріал гена цього вірусу, що кодує утворення білка оболонки (*coat protein* - *CP*). З тих пір цей підхід був успішно апробований на багатьох рослинах. Пізніше виявилось, що аналогічний, а іноді навіть кращий результат досягається при використанні не *CP*-трансгенів, а генів, що кодують інші протеїни вірусів – ферментів реплікази, РНКаз.

Для генетичної інженерії вірусостійких форм з метою безпеки використовують *СР*-гени, які попередньо модифікують таким чином, щоб вони не могли переноситися від рослини до рослини, або виділяють *СР*-гени з природних штамів. Також оперують генами від штамів, не здатних інфікувати рослини в природних умовах, або маніпулюють укороченими *СР*-генами, які кодують утворення дефектних, нефункціонуючих *СР*-протеїнів. Виявилося, що можна забезпечити захист від вірусів навіть в тих випадках, коли вбудований настільки дефектний *СР*-ген, що інформаційна РНК, яка утворилася при його зчитуванні не здатна до трансляції, тобто до синтезу відповідного *СР*-протеїну.

З усього розмаїття отриманих вірусостійких форм для комерційного використання допущено порівняно небагато: папайя, стійка до вірусу плямистості, дві форми цукіні, стійкі до декількох вірусів, і сорти картоплі з комплексною стійкістю до колорадського жука (*Vt*-ген) і до вірусу скручування листя.

Така генно-інженерна технологія захисту рослин від вірусів дозволяє отримувати сорти, значною мірою ідентичні за своїми споживчими якостями сортам традиційної селекції. Ми маємо вже тривалу історію безпечного споживання продуктів трансгенів *СР*-протеїнів, оскільки названі вірусні протеїни постійно присутні в їжі з картоплі, кабачків та інших рослин. Більш того, в звичайних сортах концентрація цих білків може бути в десятки, а то й сотні разів вища, ніж у трансгенних форм: адже вони не стійкі до вірусів і тому накопичують їх у своїх тканинах.

Трансгенні сорти сільськогосподарських рослин з поліпшеними якісними характеристиками – це група винятково цінних для споживача форм, при отриманні яких не використовуються чужорідні гени. Додаючи в генетичний матеріал рослини додаткові копії певних генів, виділених з власної ДНК рослини, можна добитися істотного послаблення активності цих генів. У свою чергу це може призвести до зміни якісних характеристик того продукту, в генетичному контролі біосинтезу якого задіяні дані гени.

Так, для якості рослинної олії виключно важливе значення має

співвідношення в ній різних жирних кислот. В асортименті допущених до використання трансгенних сортів є ряд форм олійних культур з поліпшеним складом олії. Серед них слід назвати, наприклад, таку культуру, як соя, якої додали додаткову копію гена ферменту десатурази, в результаті чого її власний ген десатурази. Це призвело до зниження в соєвій олії рівня поліненасичених жирних кислот лінолевої і ліноленової і компенсаційному збільшенню рівня мононенасиченої жирної кислоти олеїнової до 80%, що навіть більше, ніж в оливковій олії; в немодифікованій сої її рівень був всього 23%. Отримане масло помітно перевершує за споживчими властивостями масло сої традиційних сортів, зокрема, воно більш стабільно при нагріванні, завжди зберігає привабливий для споживача рідкий вид.

Другий цікавий приклад використання явища «замовкання генів» – створення сортів трансгенної картоплі з поліпшеною якістю крохмалю. Крохмаль, виділений зі звичайних сортів картоплі, містить дві основні форми цього полісахариду: гіллястий – амілопектин і негіллястий – амілозу. Чим більше амілопектину і менше амілози, тим вища якість крохмалю. Генномодифікований сорт картоплі з підвищеною якістю крохмалю створений шляхом добавки додаткової копії гена амілози. В результаті рівень менш цінної амілози в крохмалі трансгенного сорту був знижений практично до нуля.

Аналогічна генетична конструкція використана й при створенні трансгенного сорту томатів FLAVRSavr з подовженим періодом зберігання плодів. Зазвичай в процесі дозрівання плоди томатів незабаром після почервоніння поступово втрачають пружність, стають м'якими і загнивають. Причиною цього є утворення ферменту полігалактуронази, який деградує пектин, що знаходиться в міжклітинному просторі плоду. В результаті у отриманого сорта полігалактуроназа утворюється в зниженій кількості, завдяки чому стиглі помідори протягом тривалого часу зберігають товарний вигляд. При створенні трансгенного рапсу з поліпшеним складом олії використаний більш традиційний для генетичної інженерії підхід горизонтального переносу генів від неспоріднених видів. У генетичний матеріал ріпаку був

«підсаджений» ген тіоестерази від каліфорнійського лаврового дерева. Внаслідок цього трансгенний сорт отримав здатність утворювати олію, в якій з'явилися не властиві для ріпаку лаврова і міристинова жирні кислоти. Така олія за якістю наблизилися до найбільш цінних рослинних олій: пальмової і кокосової.

Гетерозисні гібриди, отримані в результаті схрещування спеціально підібраних батьківських форм, міцно увійшли в наше життя. Такі гібриди перевершують батьків по врожайності, стійкості до хвороб і несприятливих факторів середовища, вирівнювання сходів.

Для отримання гібридного насіння необхідно повністю виключити потрапляння пилку материнських форм на маточку власної квітки. Інакше вийде не гібридне, а самозапилення насіння, яке може дати в два і більше разів менше продуктивне потомство. Щоб спростити процедуру отримання гібридного насіння, застосовують спеціальні генетичні підходи для селекції чоловічих стерильних ліній, які можна спокійно використовувати в схрещуваннях в якості материнських форм, не турбуючись, що відбудеться самозапилення. З середини 30-х років минулого століття для цих цілей стали використовувати цитоплазматичну чоловічу стерильність (ЦМС), виникнення якої обумовлено специфічною взаємодією генів ядра і чужорідної цитоплазми клітини. Однак не для всіх культур вдалося створити адекватні системи ЦМС, та й сама система розмноження таких ліній залишалася досить складною і не завжди ефективною.

Генетична інженерія внесла вагомий вклад у вирішення цієї проблеми. Для створення чоловічих стерильних трансгенних ліній рослин було запропоновано використовувати ген *barnase* від бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*, який кодує утворення ферменту РНКаз, що бере участь у розщепленні молекул РНК. Завдяки тканеспецифічному промотору РТА29 від тютюну цей фермент утворюється у трансгенній рослині тільки в одному місці (в пильовику) і тільки в один час (у період цвітіння). Результат передбачити нескладно: деградація РНК в тканинах пильовика означає відсутність синтезу

білка і в кінцевому підсумку – отримання нежиттєздатною пилку.

Для полегшення процедури розмноження таких ліній ген *barnase* був скооперований в одній генетичній конструкції з геном стійкості до гербіциду глюфозінату, який до того ж виступав в якості селективного гена при здійсненні генетичної трансформації.

Якщо запилювати рослини такої чоловічо-стерильної лінії пилком спеціально підібраної лінії традиційної селекції, що дає при схрещуванні гетерозисне потомство, то дійсно можна без проблем отримати гібридне насіння, оскільки самозапилення материнських форм виключено. Однак саме гетерозисне потомство вийде чоловіче стерильне, що зовсім небажано. Тому в якості запилювачів використовують таку ж лінію, але яка несе трансген *barstar* від тієї ж бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*. Цей ген кодує утворення ферменту-інгібітора РНКаз, завдяки чому у гібридів відновлюється фертильність пилку. Саме використовуючи систему трансгенних ліній з цими двома бактеріальними генами, вдалося створити цілий ряд комерційних сортів ріпаку, які представляють собою гетерозисні гібриди F1.

Особливо вражає найвища точність регулювання активності роботи трансгенів: строго в певному місці і в певний час. В результаті в рослині після цвітіння зовсім не залишається продуктів трансгенів. Отже, отримана продукція (рапсове насіння, рапсова олія, зелена маса) повністю ідентична за споживчими властивостями продукції, отриманої від аналогічних сортів традиційної селекції.

Наукові дослідження в області сортів, які отримали офіційний дозвіл на використання в господарській діяльності ведуться по цілому ряду перспективних напрямків. В найближчому майбутньому слід очікувати появи нових, небачених сортів з новими можливостями. Перш за все велика увага приділяється підвищенню ефективності боротьби з хворобами рослин. Наголос робиться на створенні стійких до хвороб сортів сільськогосподарських рослин. При цьому використовуються два підходи. По-перше, виділені, клоновані і перенесені в генетичний матеріал рослин численні гени, пов'язані із

стимуляцією неспецифічного (тобто не спрямованого проти певного патогена) імунітету рослини. Для цього застосовують гени ферментів амілаз, хітинази, поліфенолоксидази, пероксидаз, а також фітоалексинів і лізозимів, лектинів. Другий підхід заснований на виділенні і клонуванні потужних генів стійкості до хвороб від диких видів. Так, нещодавно американським вченим вдалося перенести ген стійкості до небезпечного захворювання картоплі – фітофторозу від дикого виду картоплі *Solanum bulbocastanum* до виду, який широко використовується, але не стійкого до цього патогену сорту Катадин. Завдяки цій технології з'явилася можливість істотно підвищити фітофторостійкість багатьох перевірених сортів картоплі. В принципі цінні гени від диких видів можна використовувати і за допомогою методів традиційної селекції. Але лише генетична інженерія дозволяє цілеспрямовано поліпшувати сорт, додаючи окремі гени і не змінюючи інших характеристик сорту. Це особливо актуально для таких високогетерозиготних культур, як картопля, для яких будь-яке схрещування в ході традиційної селекції супроводжується повною зміною вихідного генотипу.

Наступний важливий напрямок генетичної інженерії – селекція сортів, стійких до стресових факторів середовища: посухи, спеки, холоду, підвищеної засоленості ґрунту. Оскільки всі ці стреси відносяться до розряду осмотичних, то і підходи по всіх цих напрямків загальні. Йде робота над виділенням, клонуванням і перенесенням в рослини трансгенів, що кодують утворення різних осмопротекторів (іонів, протеїнів, амінокислот, цукрів, поліамінів), що регулюють вміст ненасичених жирних кислот в мембранах клітин і т. д.

За допомогою генетичної інженерії можна підвищувати і врожайність сільськогосподарських рослин, незважаючи на те що ця ознака є полігенною, тобто вона визначається активністю дуже великої кількості генів. Проте можна знайти і застосовувати окремі гени, продукти яких дозволяють істотно посилити процеси росту і в підсумку підвищити продуктивність рослини. Так, вбудовування в геном картоплі гена фітохрому В від арабідопсісу призводило до підвищення інтенсивності фотосинтезу і збільшення врожаю бульб.

Перенесення в геном картоплі гена, що кодує утворення ферменту УДФГ трансферази достигаючого зерна кукурудзи, супроводжувався посиленням біосинтезу ростових фітогормонів, що дозволяло підвищити урожай бульб в два рази, рівень сухих речовин в бульбах до 27% (у звичайних менше 20%), аскорбінової кислоти до 9%. Розрізані бульби не темніли на повітрі. Сходи від таких бульб з'являлися на 7-10 днів раніше, ніж у звичайних сортів. Застосування цього ж гена для генетичної модифікації томатів дозволило досягти врожаю плодів у теплиці до 32 кілограмів, а в поєднанні з іншими генами – навіть до 46 до кілограмів з квадратного метра (у немодифікованих рослин урожай склав 20,7 кілограма з квадратного метра).

Інтенсивно використовуючи традиційні генно-інженерні підходи, можна домогтися підвищення якісних і споживчих властивостей сільськогосподарської продукції. Ведуться роботи і отримані обнадійливі результати по створенню тютюну без нікотину, арахісу, що не містить характерних для нього алергенів.

Ідея використання трансгенних рослин в якості «біореакторів» для виробництва різних цінних фармацевтичних сполук, так званих рекомбінантних протеїнів, постійно привертає увагу вчених. Японським дослідникам вдалося отримати рослини картоплі і тютюну з вбудованим геном людського інтерферону альфа, який застосовують для лікування людини від гепатиту С і деяких форм раку. Створено рослини тютюну з людським інтерлейкіном 10 (стимулятор імунітету), рослини арабідопсіса, що синтезують вітамін Е. Переваги таких «біофабрик» очевидні. Можна виробляти речовини, що були раніше дуже рідкісними і дорогими, практично в необмежених кількостях. При цьому не стоїть проблема їх ретельного очищення, як у випадку з генетично модифікованими мікроорганізмами. Та й можливості рослин в порівнянні з мікроорганізмами для біосинтезу специфічних для вищих організмів речовин істотно ширші, оскільки рослини набагато ближче до них в еволюційному плані. Відсутні ризики перенесення прихованих інфекцій, характерні для традиційних методів виробництва деяких препаратів шляхом виділення з

трупного матеріалу, органів тварин або донорської крові.

Великий інтерес представляє використання трансгенних рослин в цілях отримання їстівних вакцин для підвищення стійкості організму людини до небезпечних захворювань. Для цього пропонується досить проста схема. У генетичний матеріал рослини переносять невеликий фрагмент ДНК якого-небудь патогена (найчастіше вірусу). В результаті в плодах такої трансгенної рослини утворюється певний протеїн, характерний для патогена. При поїданні цей протеїн може досягати тонкого кишківника, де відбувається його всмоктування в кров. Тут він виступає як чужорідний агент – антиген, до якого організм виробляє завдяки природному механізму імунітету відповідні антитіла. Тепер у разі потрапляння в організм активних вірусних частинок їх чекає вже створена система оборони, яка здатна їх знешкоджувати. Використовуючи описану стратегію, вдалося отримати рослини бананів, поїдання плодів яких індукує утворення антитіл до вірусів папіломи, які можуть викликати у людей деякі форми раку.

Напрямки використання трансгенних рослин можуть бути зовсім несподіваними. Так, пропонується застосовувати їх для очищення ґрунту від забруднень нафтою і важкими металами. Для цього в них вбудовують відповідні гени від мікроорганізмів, здатних утилізувати і деградувати ці речовини. У царстві мікробів такі форми – не рідкість. Рослини тютюну з подібними властивостями вже отримані. На черзі створення генетично модифікованих рослин, які можна використовувати безпосередньо в практичній діяльності, наприклад різних деревних порід. Рослини – зручна система для виробництва їстівних вакцин. Виявилось, що аналогічний підхід можна використовувати для отримання вакцин, що володіють контрацептивною дією. Для цього в їх геном досить вбудувати гени, що кодують антигени статевих клітин (сперматозоїдів) або статевих гормонів. Поле застосування таких оральних контрацептивів дуже широке. Наприклад, пропонується використовувати їх для відносно дешевого і гуманного регулювання чисельності популяцій деяких диких тварин.

4. Генетична інженерія тварин

Незважаючи на те що перші трансгенні тварини були отримані більш 20 років тому, до цих пір на ринку немає жодної генетично модифікованої тварини для використання у господарській діяльності. Це пов'язано з певними технічними (складності отримання і розмноження), фінансовими, а іноді й етичними проблемами. Проте успіхи в генетичній інженерії тварин очевидні. Розроблено різні методи перенесення генів у генетичний матеріал тварин і отримані трансгенні особини у ссавців, нижчих хребетних і у безхребетних тварин. Створені ефективні технології клонування, засновані на заміні ядер у запліднених яйцеклітин. Вчені навчилися не тільки переносити в генетичний матеріал тварин окремі гени, але і «вимикати» або замінювати деякі конкретні гени.

Безумовно, основним напрямком досліджень в галузі генетичної інженерії тварин є виведення порід з підвищеною продуктивністю, стійкістю до хвороб, з яких можна отримувати продукцію з новими, привабливими для споживача якісними характеристиками. У цьому напрямку вже створені трансгенні форми різних видів риб, в геном яких доданий ген, що кодує біосинтез гормону росту. Завдяки цьому риби швидше ростуть, ефективніше, використовують корми. Трансгенні свині з доданим геном гормону росту більш м'язисті і менш жирні. Тобто з туші трансгенної свині можна отримати більше м'яса, ніж із звичайного, і менше сала.

Свині з доданим геном фітази (один з ферментів перетравлення їжі) ефективніше засвоюють корм за рахунок кращої засвоюваності фосфору, що виражається в посиленні їх росту. До того ж це дає можливість в меншій мірі забруднювати навколишнє середовище фосфатами. Трансгенні свиноматки з доданим їм геном β -лактальбуміну більш ефективно вигодовують своїх поросят.

Ряд проектів має на меті поліпшення споживчих властивостей продуктів, що виробляються тваринами або з тварин. Мова йде про поліпшення якості

вовни овець, про виведення за допомогою генетичної інженерії порід великої рогатої худоби, в молоці якої знижена концентрація β -лактоглобуліну, основного його алергену, або змінено співвідношення окремих його білків (казеїнів і сивороточних протеїнів). Інший підхід полягає в модифікації окремих генів для поліпшення фізико-хімічних властивостей відповідних протеїнів молока з метою підвищення вмісту в ньому кальцію, зміни співвідношення окремих амінокислот, отримання молока, сир з якого дозріває в більш короткі терміни. Все це повинно істотно поліпшити споживчі та технологічні властивості коров'ячого молока. Виграють від цього і самі тварини, оскільки покращене молоко – важливий фактор здоров'я телят, які вигодовуються ним. Багато з цих підходів вже реалізовані на модельних об'єктах (лабораторних мишах).

Поліпшення здоров'я домашніх тварин, підвищення їх стійкості до хвороб за допомогою методів генетичної інженерії має велике практичне і соціальне значення. Це не тільки дозволить підвищити їх продуктивність, зменшити витрати на лікування тварин (на що йде до 10-20% від загальної суми витрат), але і знизить рівень вживання антибіотиків для їх лікування, ймовірність перенесення інфекцій від тварин до людини. Для вирішення даної проблеми використовуються три основні генно-модифікованих підходи: добавка генів, що підвищують стійкість до хвороб, «видалення» генів сприйнятливості до хвороб (knockout), заміна окремих генів тварини на аналогічні гени, які з більшою мірою сприяють активному протистоянню хвороби (knockin).

В цілому дослідження по цим трьом основним напрямам зі змінним успіхом проводяться на лабораторних тваринах. До обнадійливих результатів на сільськогосподарських тварин справа поки не дійшла.

У той же час конкретного практичного виходу слід очікувати вже найближчим часом в такому важливому напрямі генетичної інженерії, як використання тварин як «біореакторів» для виробництва фармацевтичних препаратів. Незважаючи на те що і рослини, і тварини на відміну від

мікроорганізмів відносяться до царства еукаріотів, проте біологія рослинної і тваринної клітин таки істотно розрізняється. Тому для виробництва деяких тваринних рекомбінантних протеїнів більш доцільно все-таки використовувати тваринні організми, ніж рослинні. В даний час переконливо доведено, що за допомогою молочних залоз трансгенні тварини здатні виробляти всілякі протеїни, такі, як різні фактори крові, ферменти, моноклональні антитіла, колаген, фібриноген, шовк павуків і т. д. Розробляються й інші системи виробництва рекомбінантних білків, зокрема, великі перспективи пов'язують з системою яєчного білка курей.

Лекція 11

Якість та безпека продовольчої сировини і харчових продуктів

1. Характеристика сировини при виробництві харчових продуктів
2. Забруднювачі харчових продуктів
3. Забруднення продуктів харчування пестицидами
4. Використання харчових добавок
5. Штучні харчові барвники та ароматизатори, опромінення харчових продуктів

1. Характеристика сировини при виробництві харчових продуктів

Вітчизняний споживач, наситившись новомодними харчами і проблемами зі здоров'ям, що виникають від постійного вживання низькосортних та синтетичних складників, втратив довіру до продуктів з яскравими етикетками. Адже ковбаса соєва, у морозиві немає молока, замість масла – спреди, фрукти з ГМО. Частка натуральних харчових продуктів на українському ринку значно зменшилася. Замість кисломолочної продукції, м'ясної, кондитерської, виготовленої із традиційної сировини за класичними технологіями, на прилавках під звичними назвами розташувалися нові види продуктів. Деякі з них стали містити додаткові компоненти: різноманітні смакові добавки, барвники, ароматизатори, підсилювачі смаку – усілякі «ешки». У інших головний компонент частково або цілком замінено на рослинний чи навіть синтетичний аналог. Так, м'ясо підміняють соєю, мукою, крохмалем; масло – рапсовою, кокосовою, пальмовою олією; цукор – аспартамом, ксилітом; фрукти – желейними шматочками.

А, як відомо, використання одних речовин призводить до необхідності застосування інших, таких як емульгатори, стабілізатори, консерванти тощо, адже продукту необхідно надати властивостей, звичних споживачеві.

От і виходить, що майже безвинний спосіб збільшити вихід продукту

додавши трохи води, тягне за собою «шлейф» різних добавок: спочатку треба створити потрібну консистенцію, потім смак, запах, після чого виявляється, що такі «поліпшувачі» можуть «працювати» лише у поєднанні з іншими, а ще вони псуються без консерванту.

Порушення традиційного способу виготовлення продукції призводить до появи нових технологій: спрощених, дешевших і, відповідно, вигідніших виробнику. Зовні це практично непомітно; смак, запах нібито звичний (принаймні не неприємний), та й від одноразового вживання такого продукту гострого отруєння ми не відчуваємо.

Неодноразово підіймалося питання використання у виробництві харчової продукції генетично-модифікованих організмів. Однозначних переконливих доказів безпечності чи шкідливості такої продукції на сьогодні немає. Доки вчені сперечаються чи безпечно вживати генетично модифіковані організми, в країнах Євросоюзу прийняли рішення, що споживач має знати, що він купує і свідомо робити вибір щодо вживання трансгенних продуктів.

Наявність на вітчизняному ринку великої кількості «штучної» їжі та навіть фальсифікатів виявилася вигідною дуже багатьом. А мала платоспроможність населення підсилює таку тенденцію, зробивши основним критерієм успіху продукту, як це не дивно, не якість, а низьку ціну.

Це не означає, що всі виробники та всі підприємства торгівлі наживаються на споживачах, навмисно «годуєчи» низькосортною продукцією. Проте споживачеві треба бути дуже уважним, особливо при покупці товарів, що можуть вплинути на здоров'я.

У організм людини з їжею і напоями надходить до 80% шкідливих речовин. До них належать сполуки, що утворилися в процесі технологічної та кулінарної обробки, харчові добавки, а також побічні забруднювачі. Останні діляться на дві основні групи : екзогенні та ендогенні. До екзогенних належать сполуки, які потрапили в харчові продукти із зовнішнього середовища. Наприклад, у рослинну продукцію – внаслідок застосування понаднормативних доз мінеральних добрив, пестицидів; у тваринницьку – стимуляторів росту

тварин, антибіотиків. До цієї ж групи належать екстракти тари, технологічного обладнання, рештки дезинфікуючих або мийних засобів, промислових відходів тощо.

До другої групи відносять ендogenous речовини, що утворюються у сировині й продукції під дією хімічних і фізичних факторів, а також внаслідок взаємодії складових частин та екзогенних речовин.

Промислові викиди хімічних та радіоактивних відходів у навколишнє середовище спричиняють забруднення харчових продуктів; неправильне застосування пестицидів та хімічних добрив; використання недосконалої технології та обладнання при виробництві харчових продуктів і, як наслідок, потрапляння шкідливих домішок у кінцевий продукт або утворення шкідливих речовин під час виробничого процесу.

Забруднення харчових продуктів промислового походження – це складні органічні й металоорганічні речовини, які являють собою побічні продукти промислових, хімічних та інших процесів. У інших випадках шкідливі речовини з'являються внаслідок комплексної діяльності людини.

Забруднення, що потрапляють із навколишнього середовища, мають різну хімічну структуру. За фізичними властивостями – це стабільні та стійкі у навколишньому середовищі сполуки, які мають здатність до біокумуляції.

У деяких промислових районах поширені такі канцерогенні речовини як багатоядерні ароматичні вуглеводні, антроцен, фенантрон, бензантрацен, пірен, бензопірен та інші сполуки з конденсованими циклами. Вони є в повітрі, воді, коптільному димі, вихлопних газах. Хоча ці речовини мають різну канцерогенну активність, проте необхідно повсякденно аналізувати продукцію на наявність у ній багатоядерних ароматичних вуглеводів.

При зберіганні сировини, технологічній її обробці утворюються багато шкідливих сполук. Під час виробництва харчових продуктів використовують різні консерванти, барвники, підсолоджувачі, що не завжди корисні для людини. А при приєднанні до них забруднювачів харчових продуктів – загроза для здоров'я людини збільшується.

2. Забруднювачі харчових продуктів

Ртуть належить до найпоширеніших у природі мікроелементів, вона легко утворює велику кількість органічних і неорганічних сполук, значна частина яких отруйна. Джерелами забруднення сільськогосподарських продуктів є пестициди, а морських та річкових – стоки целюлозної і паперової промисловості, а також хімічних підприємств. Якщо в деяких харчових продуктах вміст ртуті менший 60 мкг/кг, то у прісноводній рибі з незабруднених річок і водоймищ він становить від 100 до 200 мкг/кг маси тіла, а із забруднених – 500-700 мкг/кг. Випадки забруднення харчових продуктів ртуттю являються дуже рідкісними. Ртуть погано абсорбується на продуктах і легко видаляється з їх поверхні.

Свинець відноситься до найбільш відомих отрут. Тепер практично всі харчові продукти, вода та інші об'єкти навколишнього середовища забруднені свинцем. Основними джерелами забруднення є двигуни внутрішнього згорання. З відпрацьованих газів двигунів, свинець потрапляє на поверхню землі у вигляді пилу і забруднює навколишнє середовище. Середня кількість свинцю, який потрапляє в організм з харчовими продуктами, становить 250-300 мкг в день, з повітря надходить 90 мкг. При обробці продуктів основним шляхом потрапляння свинцю є жерстяна банка, в яку зазвичай упаковують харчові вироби. Свинець потрапляє у продукт із свинцевого припою у швах банки. Встановлено, що біля 20 % свинцю у щоденному раціоні людей поступає з консервованої продукції, в тому числі від 13% до 14% з припою, а 6-7% – з самого продукту. В останній час, з введенням нових методів пайки та закрутки банок, вміст свинцю у консервованій продукції зменшується.

Миш'як широко розповсюджений у навколишньому середовищі. Він зустрічається майже у всіх ґрунтах. Світове виробництво миш'яку складає приблизно 50 тис. т. в рік. Останнім часом виробництво миш'яку кожні 10 років зростає на 25%. В результаті широкого розповсюдження в навколишньому середовищі і використанні у сільському господарстві, миш'як присутній у

більшості продуктах харчування. Зазвичай його вміст у продуктах харчування малий – менш ніж 0,5 мг/кг, і рідко перевищує 1 мг/кг, за виключенням деяких морських організмів.

Мідь присутня майже у всіх продуктах харчування. Джерелами забруднення харчових продуктів можуть бути вироби з міді, які використовують у харчовій промисловості. У зв'язку з тим, що мідь каталізує окислення жирів і аскорбінової кислоти, наявність її може негативно впливати на харчову цінність і смак харчових продуктів і напоїв. Сліди міді у харчових продуктах з фруктів і овочів призводять до повного руйнування вітаміну С.

Цинк належить до малотоксичних мікроелементів. Хронічні отруєння та забруднення ним харчових продуктів через побутові речі практично не реєструються. Проте вміст цинку у ґрунті поблизу металургійних підприємств до 4200 мг/кг робить землі непридатними для використання під сільськогосподарські культури. Так, у стручковій квасолі, вирощеній за 10 км від забруднюючого підприємства, вміст цинку становить 6 мг/кг. У зеленій масі – до 56,4 мг/кг. У продуктах харчування основна частина цинку являє собою речовину природного походження, і становить 0-20 мг/кг. Для харчових продуктів рекомендовані такі допустимі величини вмісту цинку: м'яса – до 20 мг/кг, напоїв – до 5 мг/кг, фруктів та овочів – до 100 мг/кг, варення та мармеладу – до 5 мг/кг.

Радіоактивні матеріали увійшли до складу Землі із самого її виникнення. Навіть людина злегка радіоактивна, бо в будь-якій живій тканині присутні сліди радіоактивних речовин. Людина зазнає опромінення двома способами: радіоактивні речовини можуть знаходитись поза організмом і опромінювати його ззовні, у цьому випадку йдеться про зовнішнє опромінення. Або ж радіоактивні речовини можуть перебувати в повітрі, яким дихає людина, в їжі, чи у воді, і потрапити в організм. Перед тим як потрапити в організм людини, радіоактивні речовини проходять складний шлях у навколишньому середовищі. Виникнення у біосфері продуктів ділення та включення їх у харчові ланцюги, зумовило надходження радіонуклідів у живі організми і стало причиною

додаткового опромінення рослин, тварин та людини. Можна виділити наступні шляхи потрапляння радіонуклідів в організм людини через продукти харчування: рослина – людина; рослина – тварина – молоко – людина; рослина – тварина – м'ясо – людина; атмосфера – опади – водойми – риба – людина.

Розрізняють поверхнєве та структурне забруднення харчових продуктів радіонуклідами.

При поверхневому забрудненні радіоактивних речовин, які переносяться повітряним середовищем осідають на поверхні продуктів, частково проникаючи всередину рослинної тканини. Більш ефективно радіоактивні речовини утримуються на рослинах з ворсистим покривом, в складках листя суцвіть. При цьому затримуються не тільки розчинні форми радіоактивних з'єднань, а й нерозчинні. Однак поверхнєве забруднення легко видаляється навіть через декілька неділь.

Структурне забруднення обумовлене фізико-хімічними властивостями радіоактивних речовин, складом ґрунту, фізіологічними особливостями рослин. При надходженні радіонуклідів з ґрунту через кореневу систему рослин, внаслідок дії сорбційних сил ґрунтового поглинального комплексу, відбувається сепарація радіонуклідів. Одні з них перебувають у ґрунті у порівняно доступному для рослин стані і тому велика їх кількість надходить у наземні частини рослин, а та частина, що міцно фіксується твердою фазою ґрунту, мало доступна для рослин.

Одним із шляхів включення радіонуклідів у біологічні і харчові ланцюги може бути заковтування тваринами разом з кормом часток ґрунту, що містять радіонукліди при випасанні. Основними каналами виведення радіонуклідів з організму ссавців є шлунково-кишковий тракт і нирки, а у лактуючих тварин, крім того – молочні залози. Концентрація радіонуклідів у молоці завжди у 5-10 разів вища, ніж у плазмі крові. Найбільш високі концентрації радіонуклідів у молоці корів спостерігаються у зимові та весняні місяці, що пояснюється зменшенням потреби щитовидної залози в йоді і підвищенням поглинання його молочною залозою.

Зменшення поступлення радіонуклідів в організм з їжею можна досягти шляхом зменшення їх кількості в продуктах харчування за допомогою різних технологічних та кулінарних обробок харчової сировини. За рахунок обробки харчової сировини – ретельного миття, чистки продуктів, відділення малоцінних частин можливо видалити від 20% до 60 % радіонуклідів. Так, перед миттям деяких овочів необхідно видаляти верхні більш забруднені листя (капуста, цибуля ріпчаста та інші). Картоплю та коренеплоди обов'язково миють двічі: перед очисткою від шкурки та після.

Найбільш ефективним методом кулінарної обробки сировини в умовах підвищеного забруднення радіонуклідними речовинами є варіння, при якому значна частина радіонуклідів переходить у відвар. Використовувати такий відвар в їжу небажано. Для отримання відвару необхідно варити продукт у воді 10 хв. Потім воду злити і продовжувати варку у новій порції води.

М'ясо перед приготуванням потрібно порізати на шматочки, замочити на дві години в холодній воді, потім воду злити, залити другою водою і варити на вогні 10 хв., потім слід воду злити і варити у новій порції води до готовності. При смаженні м'яса та риби на поверхні з'являється коринка, котра перешкоджає виведенню радіонуклідів та інших шкідливих речовин. Тому при ймовірності забруднення харчових продуктів потрібно надавати перевагу відварним м'ясним та рибним стравам, а також стравам, приготованим на пару.

Зниження складу радіонуклідів у молочних продуктах можна досягти шляхом отримання із молока жирових та білкових концентратів. При переробці молока у вершки залишається не більше 9% цезію і 5% стронцію, в кисломолочному сирі – 21% цезію та 27% стронцію в сирах 10% цезію і 45% стронцію. У вершковому маслі біля 2 % цезію від його складу в молоці.

Миття і тушкування квасолі сприяє зменшенню кількості стронцію на 56%. При очищенні помідорів від шкірки після занурення у гарячу воду вміст того ж радіоізоотопу зменшується на 39%. Стерилізація стручкової квасолі в домашніх умовах зумовлює зниження стронцію на 50%. Миття зелених і салатів 2%-ним розчином лимонної кислоти зменшує кількість цезію на 57% і стронцію

на 19%. Особливий інтерес становить вплив технологічного режиму виробництва на плоді і овочеві консерви.

При нормальній технологічній переробці основних фруктів і овочів вміст стронцію у готовому продукті зменшується майже у 6 разів порівняно із сировиною. Вміст радіоізоотопу зменшується при консервуванні у такому порядку: молодого гороху – у 3-5 разів, моркви – у 1,3 рази, помідорів – у 1,5 рази і персиків у 2 рази.

Отже, щоб запобігти забрудненню продуктів харчування необхідний їх радіаційний контроль. Це процес досить складний, потребує певного мінімуму параметрів. Значимість проблеми підсилюється також небезпекою, яку створюють для здоров'я людини навіть мінімальні кількості радіонуклідів у їжі.

Нітрати – це солі азотної кислоти, які є природними сполуками і добре розчиняються у воді, а при нагріванні можуть переходити у нітрити з виділенням кисню. Вони входять в склад мінеральних добрив, а також являються натуральним компонентом харчових продуктів рослинного походження. У рослини нітрати надходять з ґрунту. Концентрація нітратів в продуктах харчування залежить в основному від неконтрольованого використання азотних добрив. Основним джерелом нітратів у сировині та продуктах харчуванні крім азотовмісних з'єднань являються нітратні харчові добавки, які вводять у м'ясні вироби для покращення їх харчових показників.

В Україні майже шоста частина сільськогосподарської плодоовочевої продукції містить нітрати у дозах, які перевищують максимально допустимий рівень. У першу чергу надмірний вміст нітратів у харчових продуктах сприяє розвитку онкологічних і алергічних захворювань. Надмір нітратів у плодоовочевій продукції не лише наслідок неправильного використання азотних добрив, а й результат сорбції окисів азоту безпосередньо з атмосфери, які утворюються при спалюванні різних видів палива. Основними причинами надміру нітратів у овочах із закритого ґрунту (парники, теплиці та ін.) є недостатнє освітлення, загущення посівів.

Вміст нітратів у рослинах залежить і від видових і сортових

особливостей, часу збирання та ін. За однакових умов невелику кількість їх нагромаджують баклажани, томати, цибуля; підвищену – салати, капуста, ревінь, петрушка, редька, редиска. При звичайному вирощуванні нітрати не нагромаджуються в яблуках, ягодах, вишні, сливі, смородині, агрусі. Менше нітратів містять дозрілі рослини. У харчових м'ясо-молочних продуктах наявність нітратів залежить від їх рівня в організмі тварин, а в кормових культурах – від видового складу, сорту, дози внесення азотних добрив, ґрунтово-кліматичних умов вирощування та інших агротехнічних факторів.

Велике значення для зниження нітратів має технологічна обробка сільськогосподарських продуктів. Так, при митті кропу, салату, петрушки й інших зелених культур кількість нітратів знижується на 20%, а після двогодинного вимочування у воді на 30-60%. Відварювання до готовності картоплі, буряків, моркви (після чистки і миття) дозволяє знизити концентрацію цих речовин відповідно на 65%, 35%, 25%, 70%.

Допустима доза нітратів для людини при надходженні в організм з продуктами харчування і водою за добу становить 5 мг/кг.

Через загрозу забруднення нітратами продуктів повністю забороняється застосування азотних мінеральних добрив при вирощуванні картоплі і овочево-баштанних культур на сильно кислих ґрунтах, на ґрунтах з високим вмістом мінерального азоту, на замерзлому або вкритому снігом ґрунті, при внесенні під овочеві культури і картоплю вапна, у заплавлених ґрунтах з низьким вмістом калію та на території зони санітарної охорони джерел господарсько-питного постачання. Забороняється також вносити під картоплю та овочі селітру і безводний аміак.

Одним з видів забруднювачів харчових продуктів є грибкові метаболіти. Пліснява вражає продукти як рослинного так і тваринного походження на будь-якому етапі їх отримання, транспортування та зберігання, в виробничих та домашніх умовах. Несвоєчасний збір врожаю або недостатня сушка його до зберігання, зберігання і транспортування продуктів при недостатньому захисті від вологості приводять до розмноження мікроміцетів утворенню в продуктах

харчування токсичних речовин. Мікотоксини можуть попадати в організм людини з харчовими продуктами – з м'ясом і молоком тварин, яких годували кормами забрудненими пліснявою.

Розмножуючись у продуктах харчування більшість плісняви не тільки забруднює їх токсинами, а й погіршують їх властивості, знижують їх харчову цінність, призводять до псування, роблять їх непридатними для технологічної обробки. Використання в тваринництві кормів, забруднених пліснявою веде до гибелі чи захворюванню скота та птиці.

Запобігання росту плісені на всіх стадіях заготівлі, переважно шляхом висушування або використання анти грибних препаратів (протонової кислоти) є найкращим засобом обмежити забруднення харчових продуктів афлатоксинами та мікотоксинами.

3. Забруднення продуктів харчування пестицидами

Пестициди – загальна назва різних хімічних засобів, призначених для боротьби із шкідливими організмами рослинного і тваринного походження. Але вони надають лише тимчасову допомогу, оскільки з часом сприяють виробленню стійкості до постійно застосовуваних засобів. Це викликає необхідність використання нових, ще сильніших речовин, які паралельно посилюють негативний вплив на ґрунт, воду, повітря, якість продукції, на корисну флору і фауну, тим самим прискорюючи процес порушення біологічної рівноваги в природному середовищі. Дослідження показують, що в посівах кукурудзи майже 30 видів бур'янів, раніше чутливих до гербіцидів, набули до них стійкості. Вживаючи навіть після посиленого обробітку посіву кукурудзи гербіцидами, вони спричиняють значні втрати врожаю. Зараз налічується понад 400 видів комах і 7 видів гризунів, включаючи щурів, нечутливих до пестицидів.

Розповсюдження пестицидів у навколишньому середовищі відбувається як фізичним, так і біологічним шляхом. Перший спосіб – розсіювання з

допомогою вітру в атмосфері та поширення через водотоки. Другий – перенесення живими організмами по шляху харчування. Із просуванням організмів до вищих ланок харчового ланцюга концентрації шкідливих речовин зростають, нагромаджуючись у внутрішніх органах, переважно в печінці та нирках.

Пестициди поділяють на: гербіциди – речовини, призначені для знищення бур'янів і альгівіциди – для знищення водоростей та іншої водяної рослинності; інсектициди – для знищення комах; фунгіциди – для знищення грибів (збудників хвороб); акарициди – для знищення кліщів; зооциди – для знищення гризунів; овіциди – для знищення яєць комах; родентициди – для знищення мишей, пацюків та інших гризунів; овіциди – для боротьби зі шкідливими птахами та інші.

До організму людини вони потрапляють через шкіру, дихальні шляхи чи шлунково-кишковий тракт; при безпосередній роботі з пестицидами або через їжу. Пестициди можуть міститися не лише в продуктах рослинного походження, а й у молочній та м'ясній продукції, тому що в організмах сільськогосподарських тварин залишаються пестициди, що були присутні у кормі. Разом з талими, дощовими та ґрунтовими водами ці речовини у великій кількості потрапляють до водойм. За даними минулорічного дослідження якості дніпровської води, пестициди присутні в усіх видах риб, причому рівень токсичних речовин в організмах річкових жителів значно вищий, ніж у самій воді.

Таким чином, в людському організмі опиняється незначна кількість шкідливих речовин, що мають властивість накопичуватись й викликати різноманітні хронічні захворювання шлунково-кишкового тракту чи нервової системи, а також дерматити та розлад дихання. Деякі пестициди здатні передаватися з молоком матері. Наприклад ДДТ, який хоч і заборонений зараз у багатьох країнах, міститься «всередині» кожного жителя планети, успадкований від попереднього покоління.

В світі щорічно проводять досліді приблизно 500 тис. різних хімічних

з'єднань на пестицидну активність, причому із цього величезного числа практичний вихід отримують приблизно 10-15 нових пестицидів. В економічно розвинених країнах витрати на науково-дослідницькі роботи складають приблизно 2 млрд. дол., що складає 10-15% від суми реалізації готової продукції.

Застосування великих доз добрив може погіршити якість продукції, ґрунтових вод, що зумовлює забруднення близьких річок і водойм. Використання мінеральних добрив дало змогу певною мірою підвищити врожайність культур, однак подальше збільшення їх доз уже не сприяло її зростанню, що пов'язано із зменшенням запасів гумусу в ґрунті. Зростання врожайності неможливе без удосконалення технології внесення добрив. Безконтрольне їх застосування призводить до забруднення навколишнього середовища, що загрожує здоров'ю людини. Особливо небезпечне неправильне або надмірне використання пестицидів. Причому деяка їх частина трансформується, тобто виникають нові токсичні речовини (вторинна токсикація). Дати оцінку всіх наслідків впливу пестицидів неможливо через недосконалість методів дослідження.

Доведено, що речовини з «брудної дюжини» (серед них пестициди ДДТ, алдрин, хлордан, ділдрин, ендрин, гептахлор, гексахлорбензол, мірекс, токсафен) здатні викликати рак та природжені дефекти у людей і тварин. Вони десятиріччями зберігаються в природі й накопичуються в жирових тканинах. Саме з впливом стійких забруднювачів вчені пов'язують низький рівень виживання яєць і скручені дзьоби у птахів, деформовані кінцівки у ссавців, порушення репродуктивної системи та розвитку. Деякі з них вважаються гормонально активними сполуками і вносять безлад в ендокринну та імунну системи, дію інших пов'язують із затримкою розумового розвитку.

У світі щорічно реєструється від 500 тис. до 2 млн. випадків отруєння людей пестицидами, більшість яких припадає на сільських жителів.

Підвищення токсичності суміші хімічних сполук у результаті посилення дії її компонентів на організм називають синергізмом фізіологічного типу, а в

результаті взаємодії компонентів між собою – синергізмом хімічного типу. Зниження токсичності суміші в результаті протилежної дії характеризує антагонізм фізіологічного типу, а в результаті взаємодії компонентів між собою – антагонізм хімічного типу. Особливо часто проявляється адитивна дія – просте підсумування токсичної дії компонентів, які входять до суміші і мають незалежний механізм біологічної активності. У ряді випадків цей факт спостерігають на рівні низьких концентрацій.

Різноманітність хімічного складу і характеру дії пестицидів потребує уніфікації токсико-гігієнічної термінології.

Залишкова кількість пестицидів у харчових продуктах, кормах, ґрунті, воді – активна частка пестицидного препарату, його похідні, а також неминучі хімічні домішки у пестицидному препараті, які мають біологічну активність і можуть шкідливо діяти на організм.

Біоконцентрація – нагромадження пестицидів або їх похідних у біосубстратах людини і тварин. Залишки пестицидів можуть бути наслідком безпосередньої обробки певного об'єкта (рослина, тварина, сховище, водоймище, ґрунт), міграції у природі або випадкового забруднення при внесенні пестицидів.

Фактична забрудненість пестицидами продуктів харчування, корму і об'єктів навколишнього середовища – це вміст залишків пестицидів у харчових продуктах рослинного та тваринного походження, рослинах, ґрунті, воді, повітрі, які зумовлені безпосереднім використанням пестицидів або транслокацією.

Частота проявлення залишків пестицидів у процентах до початкової кількості досліджених проб.

Допустима добова доза (ДДД) для людини – добова кількість, щоденне надходження якої протягом усього життя не повинно негативно діяти на організм. Визначається в міліграмах на 1 кг маси тіла людини за добу. ДДД використовується при розробці гігієнічних нормативів допустимого вмісту пестицидів у різних середовищах, а також при оцінці рівня надходження в

організм людини.

Підпорогова доза – максимальна кількість пестициду, яка не діє шкідливо на організм найчутливішого виду тварин при хронічному надходженні. Визначають за допомогою високочутливих тестів у мг/кг маси тіла тварини.

Тимчасово допустима добова доза встановлюється на суворо обмежений строк, потрібний для того, щоб можна було одержати додаткові дані, необхідні для визначення допустимої добової дози. Тимчасово допустиму дозу встановлюють з великим коефіцієнтом запасу, величину якого вибирають з урахуванням токсичної дії сполуки і ступеня її небезпеки. Коефіцієнт при цьому має бути вищим ніж при звичайному визначенні ДДД.

Умовно допустиму дозу встановлюють для пестицидів з метою тимчасового і обмеженого його використання в тих чи інших випадках, коли немає можливості замінити його безпечнішим препаратом.

Потенційно можлива допустима добова доза визначається розрахунком, виходячи з прийнятого рівня допустимого залишку пестициду з урахуванням добових норм споживання, які входять у добовий раціон.

Гранично допустима концентрація – гігієнічний норматив, який обмежує концентрацію пестицидних препаратів у об'єктах навколишнього середовища на безпечному для здоров'я людини рівні.

Фонові допустимі залишки – допустима залишкова кількість стійких пестицидів, які неминуче присутні у продуктах харчування внаслідок їх використання в минулому і зумовлені процесами міграції у природних умовах.

Фізико-хімічним властивостям сполук останнім часом приділяють багато уваги. Майже всі пестициди, за винятком поодиноких, добре розчиняються у жирі й тому легко вільно проходять через шкіру тварин. На ступінь токсичності впливає форма пестицидів: масляні розчини деяких речовин більш токсичні, ніж водні емульсії, дусти або гранульовані форми.

4. Використання харчових добавок і консервантів

Харчова добавка – речовина, яка не використовується в харчуванні в чистому вигляді і не є інгредієнтом харчових продуктів, а спеціально додається до їжі в технологічних цілях (щоб вони не псувалися, не змінили колір і консистенцію, для поліпшення властивостей продукту в процесі виробництва, обробки, упаковки, транспортування або зберігання харчових продуктів). Це емульгатори, ароматизатори, антиокислювачі, барвники і т. д. – всього 23 функціональні класи.

Широке використання харчових добавок, у сучасному розумінні почалось лише в кінці 19 ст., і швидко досягло максимального розповсюдження в наші дні у всіх країнах світу.

Не дивлячись на існуюче в багатьох переконання, харчові добавки по гостроті, частоті і тяжкості можливих захворювань треба віднести до розряду речовин мінімального ризику.

Термін «харчові добавки» в справжній час не має одного тлумачення. В більшості випадків під харчовими добавками розуміють групу речовин природного чи штучного походження, які використовуються для покращення технології отримання продуктів спеціалізованого призначення. До харчових добавок, як привило, не відносять з'єднання, які збільшують харчову цінність продуктів (вітаміни, мікроелементи і т. д.). Не являються харчовими добавками і речовини, котрі забруднюють продукти, потрапляючи з навколишнього середовища.

Харчові добавки можуть бути внесені в продукт на різних етапах його виробництва, зберігання і транспортування з ціллю покращення та полегшення виробничого процесу, збільшення стійкості продукту до різних видів псування, зберігання структури і зовнішнього виду продукту. Харчові добавки можуть залишатися в продуктах повністю чи лише частково в незмінному вигляді чи у вигляді, речовин, які отримуються в результаті хімічної взаємодії добавок з компонентами харчових продуктів.

Більшість харчових добавок, як правило, не мають харчового призначення і являються біологічно інертними для організму. Однак відомо, що будь-яке хімічне з'єднання чи речовина в окремих умовах може бути токсичним. Отже, харчова добавка тоді вважається безпечною, коли у ній відсутня гостра і хронічна токсичність, мутагенні, тератогенні і гонадотропні властивості. Тому до харчових добавок ставлять тверді потреби.

Буквені коди «Е» (перша буква в слові Europe) – це система кодифікації, розроблена в Європі для зручності сприйняття.

Оскільки весь час з'являються нові добавки, перелік цей систематично переглядається і поповнюється. На сьогоднішній день він включає декілька сотень речовин. З них приблизно половина – натуральні, решта – синтетичні. В різних країнах світу на сьогоднішній день використовують біля 500 харчових добавок.

До них відносяться барвники, консерванти, регулятори кислотності, антиоксиданти, стабілізатори, емульгатори та інші. В Україні існує перелік продуктів, що не підлягають забарвленню, а саме: всі види мінеральної води, борошно, крохмаль, хліб і вироби з хліба, макаронні вироби, томатна паста, томатний соус, консерви з томатів, риба, молюски, ракоподібні та інші.

В нас час існує велика кількість синтетичних продуктів, що виготовлені на основі синтезу органічних речовин. До них відносяться і харчові добавки які вносяться в продукти харчування для самих різноманітних цілей. Наприклад, щоб надати бажаний аромат, смак або колір, створити необхідну консистенцію продукту. Харчові добавки також використовують для повної або часткової заміни натуральної сировини. Без деяких добавок сучасна харчова промисловість не могла б існувати. Наприклад, без лимонної кислоти, яка є незамінна при виробництві безалкогольних напоїв. А нітриту калію і натрію використовують при виробництві сирокопчених та напівкопчених ковбас. По своїй дії харчові добавки діляться на структуроутворюючі, смакоароматичні і ті, що використовують при технологічній необхідності.

По походженню розрізняють природні добавки – такі, як цукор, сіль і

вітаміни; лабораторні аналоги природних речовин – наприклад, ванілін; синтетичні – сахарин, аспартам.

Що ж являють собою харчові добавки? В Законі України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» сказано, що харчова добавка – це «природна чи синтетична речовина, яка спеціально вводиться у харчовий продукт для надання йому бажаних властивостей».

В Україні існує перелік продуктів, що не підлягають забарвленню (підбарвленню), а саме: всі види мінеральної води, борошно, крохмаль, хліб і вироби з хліба, макаронні вироби, томатна паста, томатний соус, консерви з томатів, риба, молюски, ракоподібні та інші.

Всі існуючі добавки позначаються літерою «Е» і відповідним числом, які схвалені Європейською спільнотою, як безпечні харчові добавки. Їх індекси офіційно визнані в нашій країні. У відповідності з технологічним призначенням їх можна розділити на три групи:

- добавки, які забезпечують необхідний зовнішній вигляд і органолептичні властивості продукту. По-перше, це барвники (посилюють і відновлюють колір продукту). По-друге, добавки, які покращують консистенцію продукту. До них відносяться стабілізатори (сприяють загустінню і підвищенню в'язкості продукту);

- емульгатори (створюють однорідну суміш продуктів, що не змішуються – наприклад, води і масла);

- харчові добавки, які попереджують псування продуктів. Це антимікробні засоби – хімічні і біологічні, які підвищують терміни зберігання і захищають продукт від бактерій. А також антиоксиданти – перешкоджають хімічне псування продукту.

Крім цього, є цілий ряд харчових добавок, необхідних в технологічному процесі при виробництві продуктів харчування. Це прискорювачі технологічного процесу, розрихлювачі, піноутворювачі, підсолоджувачі і т. д.

Під консервантами розуміють речовини, що збільшують термін зберігання харчових продуктів і що захищають їх від псування, викликаного

мікроорганізмами.

Хімічні консерванти повинні забезпечувати тривале зберігання продуктів, не роблячи якого-небудь негативного впливу на його органолептичні властивості, харчову цінність і здоров'я споживача. Ефективність дії консерванту залежить від його концентрації, рН, якісного складу мікрофлори. Жоден з відомих консервантів не є універсальним для всіх продуктів харчування. Кожен консервант має свій спектр дії.

Аскорбінова кислота. Антимікробна дія консервантів посилюється у присутності аскорбінової кислоти. Консерванти можуть надавати бактерицидну (знищувати, вбивати мікроорганізми) або бактеріостатичну (зупиняти, уповільнювати зростання і розмноження мікроорганізмів) дію.

Однією з основних ознак гігієнічної регламентації хімічних консервантів є їх використання в концентраціях, мінімальних для досягнення технологічного ефекту.

Вживання антимікробних речовин в нижчих дозах може сприяти розмноженню мікроорганізмів. Це необхідно враховувати при розробці санітарних правил і норм для харчових добавок і їх практичному вживанні.

З'єднання сірки. До широко поширених консервантів відносяться такі з'єднання сірки, як сульфід натрію безводний або його форма гідрата, метабисульфат (тіосульфат) натрію кислий, або гідросульфід натрію. Вони добре розчинні у воді і виділяють сірчистий ангідрид, яким і обумовлена їх антимікробна дія. Сірчистий ангідрид і речовини, що виділяють його, пригнічують головним чином зростання плісневих грибів, дріжджів і аеробних бактерій. У кислому середовищі цей ефект посилюється. У меншій мірі з'єднання сірки роблять вплив на анаеробну мікрофлору. Сірчистий ангідрид володіє високою оновлюючою здатністю, оскільки він легко окислюється. Завдяки цим властивостям з'єднання сірки є сильними інгібіторами дегідрогенази, оберігаючи картоплю, овочі і фрукти від неферментативного потемніння. Сірчистий ангідрид відносно легко вирушає з продукту при нагріванні або тривалому контакті з повітрям. В той же час він здатний

руйнувати тіамін і біотваней і підсилювати окислювальний розпад Токоферолу (вітаміну Е). З'єднання сірки недоцільно використовувати для консервації продуктів харчування, що є джерелом цих вітамінів.

Потрапляючи в організм людини, сульфіти перетворюються на сульфати, які добре виводяться з сечею і фекаліями. В той же час велика концентрація з'єднань сірки, наприклад однократне пероральне введення 4 г сульфіту натрію, може викликати токсичні явища. Щоденний вжиток продуктів харчування, що сульфітуються, може привести до перевищення допустимої добової дози.

Вміст в харчових продуктах діоксиду сірки менше 10 міліграма на 1 кг (л) не вказується на упаковці (етикетці) продукту.

Сорбінова кислота. Вона володіє головним чином фунгіцидною дією завдяки здатності інгібувати дегідрогенази і не пригнічує зростання молочнокислої флори, тому використовується зазвичай в комплексі з іншими консервантами, в основному з сірчистим ангідридом, бензойною кислотою, нітритом натрію. Широко застосовуються солі сорбінової кислоти.

Антимікробні властивості сорбінової кислоти мало залежать від величини рН, тому вона широко використовується при консервації фруктових, овочевих, яєчних, борошняних виробів, м'ясних, рибних продуктів, маргарину, сирів, вина.

Сорбінова кислота – речовина малотоксична, в організмі людини вона легко метаболізується з оцетовою і В-оксимасляною кислот. Проте існує можливість утворення D-лактона сорбінової кислоти, що володіє канцерогенною активністю.

Бензойна кислота. Антимікробна дія бензойної кислоти і її солей – бензоатів засноване на здатності пригнічувати активність ферментів. Зокрема, при інгібуванні каталази і пероксидази накопичується пероксид водню, пригноблюючи діяльність мікробної клітини. Бензойна кислота здатна блокувати сукцинатдегідрогеназу і ліпазу – ферменти, що розщеплюють жири і крохмаль. Вона пригнічує розвиток дріжджів і бактерій маслянокислого бродіння, слабо діє на бактерії оцтовокислого бродіння і зовсім трохи – на

молочнокислої флори і цвіль.

Борна кислота. Борна кислота володіє здатністю накопичуватися в організмі людини, головним чином в мозку і нервових тканинах, проявляючи високу токсичність. Вони знижують вжиток тканинами кисню, синтез аміаку і окислення адреналіну. В зв'язку з цим в нашій країні ці речовини не застосовуються.

Мурашина кислота. По своїй органічній структурі мурашина кислота відноситься до жирних кислот і володіє сильною антимікробною дією. У невеликих кількостях мурашина кислота зустрічається в рослинних і тваринних організмах.

При великих концентраціях вона надає токсичну дію, в харчових продуктах володіє здатністю облягати пектини, тому в цілому вона обмежено використовується як консервант.

Пропіонова кислота. Так само як і мурашина, пропіонова кислота широко поширена в живій природі, будучи проміжною ланкою циклу Кребса, що забезпечує біологічне окислення білків, жирів і вуглеводів. У США пропіонова кислота застосовується як консервант при виробництві хлібобулочних і кондитерських виробів, попереджаючи

їх пліснявіння. У ряді європейських країн вона додається в борошно. Солі пропіонової кислоти, зокрема пропіонат натрію, малотоксичні. Добова доза останнього в кількості 6 г не викликає яких-небудь негативних явищ.

Саліцилова кислота. Речовина традиційно використовується при домашній консервації томатів і фруктових компотів. У Великобританії солі саліцилової кислоти застосовуються для консервації пива. Найбільш високі антимікробні властивості саліцилової кислоти виявляються в кислому середовищі.

Нафтохінони. Речовини застосовуються для стабілізації безалкогольних напоїв і забезпечують гальмування розвитку дріжджів. Найбільш широкого поширення набули юглон і плюмбагин. Консервуючий ефект юглон проявляє в концентрації 0,5 міліграм на 1 л, плюмбагин – 1 міліграм на 1 л. Вони

малотоксичні і володіють 100-кратним порогом безпеки.

Вибір консервантів і їх дозування залежать від міри бактерійної забрудненості і якісного складу мікрофлори; умов виробництва і зберігання; хімічного складу продукту і його фізико-хімічних властивостей; очікуваного терміну придатності.

Не допускається використання консервантів при виробництві продуктів масового вжитку: молока, вершкового масла, борошна, хліба (окрім фасованого і упакованого для тривалого зберігання), свіжого м'яса, продуктів дитячого і дієтичного харчування, а також що позначаються як «натуральні» або «свіжі».

5. Штучні харчові барвники та ароматизатори, опромінення харчових продуктів

Барвники – це забарвлені органічні сполуки, що синтезуються рослинами та живими організмами (природні барвники), або отримані методами органічного синтезу (синтетичні) та застосовуються для надання бажаного кольору різним виробам. Прийнято розрізняти два класи барвників – натуральні (природні) та синтетичні. Натуральні харчові барвники – це речовини, добуті фізичними методами з рослин та об'єктів тваринного походження; це суміш каротиноїдів, антоціанів, флавоноїдів, хлорофілу та інших натуральних компонентів рослин, наділених пігментами. Сировиною для натуральних барвників можуть бути ягоди, квіти, листя, коренеплоди тощо. Кількість їх у сировині дуже незначна. Завдяки новітнім досягненням, сучасні технології дозволяють отримувати барвники із заздалегідь визначеними властивостями та їх максимальною концентрацією.

Синтетичні харчові барвники – це органічні сполуки, що не зустрічаються в природі, тобто штучно створені. Такі барвники, на відміну від природних, термічно стійкі, дають яскраве забарвлення, біологічно неактивні, до їх складу не входять ні смакові речовини, ні вітаміни.

На превеликий жаль, штучні харчові барвники міцно посіли провідне

місце серед допоміжних інгредієнтів більшості продуктів харчування. Найбільше додається до їх солодкого. Це різнобарвні карамельки-смоктунці, чіпси, йогурти, жуйки, батончики, кондитерські вироби, солодка газована вода тощо.

Застосування синтетичних барвників у харчовій промисловості повинно суворо регламентуватися.

Натуральні ароматизатори витягуються фізичними способами (пресуванням, екстракцією, дистиляцією) з вихідних матеріалів рослинного або тваринного походження. З різних причин виробництво харчових продуктів з використанням натуральних ароматизаторів неможливо: по-перше, через високу вартість вихідної сировини, по-друге, через недостатню стабільність існуючих натуральних ароматів.

Ідентичні натуральному означає «такий же, як і природний». По складу основних ароматичних компонентів і їх хімічній структурі ідентичні натуральним ароматизатори повністю відповідають природнім. При цьому частина компонентів або навіть весь ароматизатор цілком отримують штучним шляхом. Для більшості ІН ароматизаторів характерні висока стабільність, інтенсивність і відносна дешевизна.

Штучні ароматизатори містять щонайменше одну штучну речовину, яка в природі не існує. Його отримують хімічним синтезом. Штучні ароматизатори відрізняються високою стабільністю, інтенсивністю і дешевизною.

Опромінення – це нова перспективна технологія боротьби з патогенними мікроорганізмами, вона стоїть в одному ряду з пастеризацією молока та консервуванням. Обробка сирого м'яса і свійської птиці опроміненням на м'ясопереробному заводі усуває такі патогенні бактерії як *E. coli*, *Salmonella* і *Campylobacter*. Опромінення м'яса хот-догів і м'ясних делікатесів усуває ризик *Listeria*. Опромінення може також усунути паразитів (*Cyclospora*) і деякі інші бактерії (сальмонела) зі свіжих продуктів. Технологія є потенційно вигідною для сухих харчових продуктів, які повинні довго зберігатися і транспортуватися на великі відстані, наприклад, для спецій і зерна.

Існують три різних технології опромінення, які використовують різні види променів: гама промені, електрони і рентген.

У першому випадку використовується радіація, що випускається радіоактивною речовиною – радіоактивної формою кобальту-60 або цезію-137. Ці речовини випромінюють фотони з високою енергією – гамма-промені, які можуть проникати в харчові продукти на глибину кількох десятків сантиметрів. Кобальт і цезій не випускають нейтрони, а значить, вони не роблять об'єкти навколо себе радіоактивними. Технологія використовувалася більше тридцяти років для стерилізації медичних та зубних виробів, для променевого лікування раку. Радіоактивні речовини випускають гамма промені безперервно. Коли радіоактивне джерело не використовується, його зберігають у водоймищі з водою, яка цілком поглинає випромінювання. Щоб опромінити продукти, джерело треба витягти з води і встановити в приміщенні з масивними бетонними стінами, екрануючими промені.

Електронні промені, або е-промені – це потік електронів з високою енергією, що випускаються електронною гарматою. Генератор електронного променя може бути включений або відключений. Ніякої радіоактивності при цьому не виникає. Електрони можуть проникнути вглиб продукту на відстань трьох сантиметрів, тому оброблюваний об'єкт повинен бути достатньо тонким. Медичні стерилізатори на основі е-променів використовувалися в медицині на протязі багатьох років.

Самою новою технологією є опромінення рентгенівськими променями (х-промені). Спочатку промінь електронів направляють на тонку пластину з золота або іншого металу, яка випускає потік х-променів з протилежного боку. Подібно гамма-променів кобальту, х-промені можуть пройти через товсті шари харчових продуктів і вимагають важких огорож для безпеки. Однак, подібно е-променів, механізм може бути включений і відключений, і при цьому не застосовують ніякі радіоактивні речовини. Комерційні установки на х-променях виробляються у світі з 1996 р.

Харчові продукти не втрачають цінності і не стають небезпечними в

результаті опромінення. Промінь високої енергії поглинається у міру проходження через товщу продукту і втрачає свою енергію. Продукт трохи нагрівається. За деякими оцінками харчові продукти набувають інший смак. Якщо в складі продукту є живі клітини (насіння, молюски, картопля), вони будуть пошкоджені або вбиті, як і мікроби. Цей ефект може бути корисним. Наприклад, він може використовуватися, щоб продовжити термін придатності картоплі, перешкоджаючи проростання. Енергія може викликати деякі інші зміни. Зменшується рівень вітаміну тіаміну. Це скорочення не таке велике, щоб можна було говорити про втрату вітаміну. Немає інших істотних змін у складі амінокислот, жирних кислот або вмісті вітамінів. Зміни, викликані опроміненням, настільки мінімальні, що нелегко визначити, чи дійсно продукти були опромінені. Оскільки опромінені продукти містять менше мікробів всіх видів, включаючи мікроорганізми псування, вони можуть мати більш тривалий термін придатності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воропай Ю. В., Рожков А. О., Чигрин О. В. Технології виробництва органічної продукції рослинництва: метод. вказівки для самостійного вивчення дисципліни для здобувачів освітнього ступеня магістра другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заоч. форм навч. спец. Н1 Агрономія; Держ. біотехнол. у-нт. Харків, 2025. 24 с.
2. Технології виробництва екологічно чистої та органічної продукції : навчальний посібник / О. Ю. Мельник [та ін.]. Одеса : Олді+, 2026. 304 с.
3. Основи органічного рослинництва: навч. посіб. / В. Пиндус [та ін.]. Київ.: Науково-методичний центр ВФПО, 2022. 326 с.
4. Інтегрований захист рослин: навч. посіб. / В. М. Писаренко [та ін.]. Полтава, 2020. 245 с.
5. Петрова О. І., Зюзько А. В., Шевчук Н. П. Технологія виробництва органічної продукції : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освітньої спеціальності 181 – «Харчові технології» денної форми здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2023. 212 с.
6. Жемела Г. П. Стандартизація та управління якістю продукції рослинництва. Полтава : ПДАА, 2006. 212 с.
7. Титаренко А. Д., Павлова В. А., Малигіна В. Д. Ідентифікація та фальсифікація продовольчих товарів. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 192 с.
8. Бегей С. В. Екологічне землеробство: підручник. Львів : ПП «Новий Світ-2000», 2010. 429с.

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ОРГАНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Конспект лекцій

Укладачі: **Петрова** Олена Іванівна
Зюзько Алла Валентинівна
Шевчук Наталя Петрівна

Відповідальний за випуск: Шевчук Н.П.

Технічний редактор: Шевчук Н.П.

Формат 60×84 1/16 Ум. друк. арк. 13,2 .
Тираж 20 прим. Зам. №____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490
від 20.02.2013 р.