



Модуль 3 :

Глобальне потепління та розведення, біотехнології в аквакультурі



Розминка

Обговорення:

- Як глобальне потепління впливає на водні екосистеми та розмноження риби?
- Які біотехнологічні рішення можуть допомогти пом'якшити вплив зміни клімату на аквакультуру?
- Як генна інженерія, така як CRISPR/Cas9, може покращити розведення риби та стійкість до змін навколишнього середовища?
- Які етичні проблеми можуть виникнути внаслідок використання біотехнології в аквакультурі?
- Як, на вашу думку, селекційне розведення та геномна селекція сприяють стійкій аквакультурі?



Розминка - факти

- Понад 50% світових морепродуктів виробляється з аквакультури, що робить її надзвичайно важливою галуззю для продовольчої безпеки.
- Підвищення температури океану призвело до зміни сезонів нересту риби, що вплинуло на стабільність популяції.
- Селективне розведення десятиліттями використовується в аквакультурі для покращення темпів росту та стійкості до хвороб.
- Технологія CRISPR/Cas9 забезпечує точні генетичні модифікації риби, потенційно покращуючи такі риси, як стійкість до хвороб і ефективність росту.
- У деяких видів можлива генетична адаптація до зміни клімату, але швидкість змін може перевищувати їхню здатність до природної адаптації.



Вступ - Ключові визначення

- **Глобальне потепління:** тривале підвищення середньої температури поверхні Землі внаслідок діяльності людини, насамперед через викиди парникових газів.
- **Аквакультура:** розведення, вирощування та збір риби, молюсків і водних рослин для харчових продуктів та інших продуктів.
- **Селективне розведення:** процес, у якому особини з бажаними рисами вибираються для розмноження з метою покращення генетичних характеристик протягом поколінь.
- **Геномний відбір:** використання генетичних маркерів для ідентифікації та розмноження особин із сприятливими ознаками, прискорюючи покращення селекції.
- **CRISPR/Cas9:** інструмент для редагування генів, який дозволяє точно модифікувати ДНК для покращення таких ознак, як стійкість до хвороб, ріст і адаптивність до навколишнього середовища у видів аквакультури.



Вступ



- Глобальне потепління порушує водні екосистеми, впливаючи на розмноження риби, метаболізм і популяції. Підвищення температури, підкислення та втрата кисню загрожують диким і вирощуваним видам, що вимагає інновацій в аквакультурі.
- Біотехнології, включаючи селективне розведення, геномну селекцію та CRISPR, підвищують стійкість і сталість риби, зменшуючи залежність від диких запасів.
- Зміна клімату випереджає природну адаптацію, що вимагає екологічних досліджень і біотехнологій. Розуміння генетичної стійкості допомагає у розробці термостійких штамів аквакультури, стійких до хвороб.
- Оскільки попит на морепродукти зростає, поєднання передового розведення зі стійкими методами забезпечує продовольчу безпеку та біорізноманіття.



Частина 1 . Вплив глобального потепління з розведення водних видів



Зміни в циклах розмноження

- Глобальне потепління, викликане зміною клімату, спричиненою діяльністю людини, має глибокий вплив на екосистеми в усьому світі, включаючи водне середовище. Однією з найбільш важливих сфер впливу підвищення температури є розмноження водних видів





Генетична адаптація

- Генетична адаптація до мінливих умов
- Приклади адаптації до підвищення температури
- Обмеження генетичної адаптації
- Зменшення репродуктивного успіху та зменшення популяції
- Багатогранний вплив глобального потепління на розведення водних видів
- Необхідність подальших досліджень



Частина 2 . Біотехнологічні досягнення в розведенні аквакультури



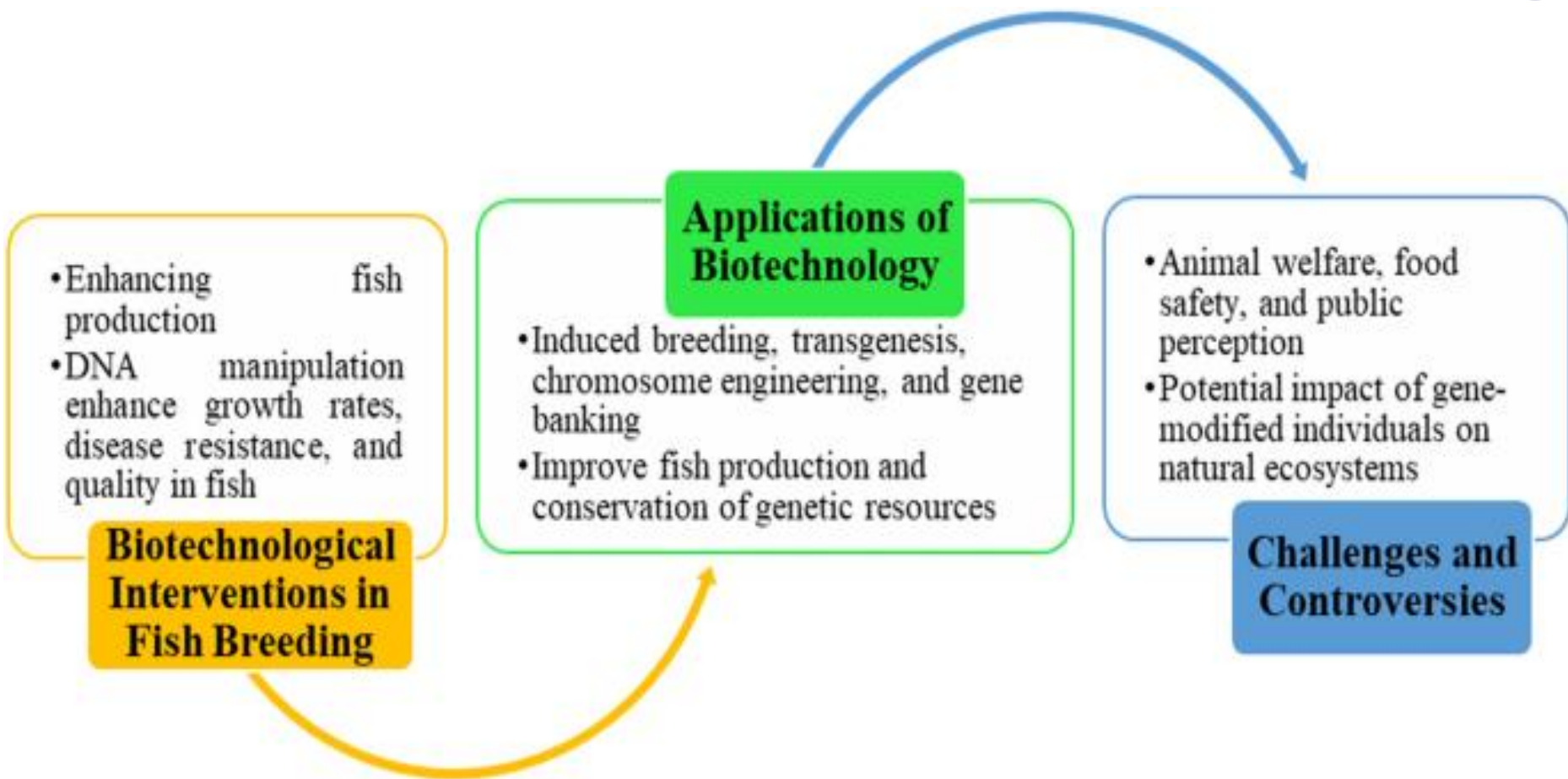
Селекційне розведення

- Роль селекційного розведення в аквакультурі
- Виклики зміни клімату для аквакультури
- Підвищення термостійкості за допомогою селекційного розведення
- Риси поведінки та стійкість до клімату
- Забезпечення довгострокової стійкості



Геномний відбір

- Аквакультура бореться зі зміною клімату, стикаючись із тепловим стресом, хворобами та екологічними загрозами.
- Геномна селекція прискорює розмноження шляхом виявлення таких ознак, як термостійкість і стійкість до хвороб.
- Біотехнологія покращує якість риби, прискорює виробництво та забезпечує стійкість із суворими правилами, що гарантують безпеку.



Роль біотехнології у збільшенні виробництва риби (Yang et al., 2021).



Біотехнологія покращує виробництво риби за рахунок :

- Генетична модифікація
- Удосконалена техніка розведення
- Екологічна стійкість

Інтегрована з іншими технологіями виробництва харчових продуктів, вона допомагає задовольнити потреби міського населення Потрібна потужна дослідницька база в генетиці, фізіології та патології



Геномний відбір – стрибок вперед

- Використовує геномні інструменти, щоб зв'язати генетичні маркери з бажаними ознаками
- Забезпечує більш ефективний відбір і розведення
- Прискорює програми розведення для екологічної стійкості
- Допомогає ідентифікувати рибу з найкращим генетичним потенціалом



Інтеграція селективного розведення та геномного відбору

- Селективне розведення покращує швидкість росту та стійкість до хвороб
- Геномний відбір підвищує точність і прискорює вдосконалення
- Застосовується для атлантичного лосося для підвищення стійкості до температур і хвороб

(Gjølén та ін., 2018)



Частина 3 . Генна інженерія і CRISPR



Генна інженерія в аквакультурі

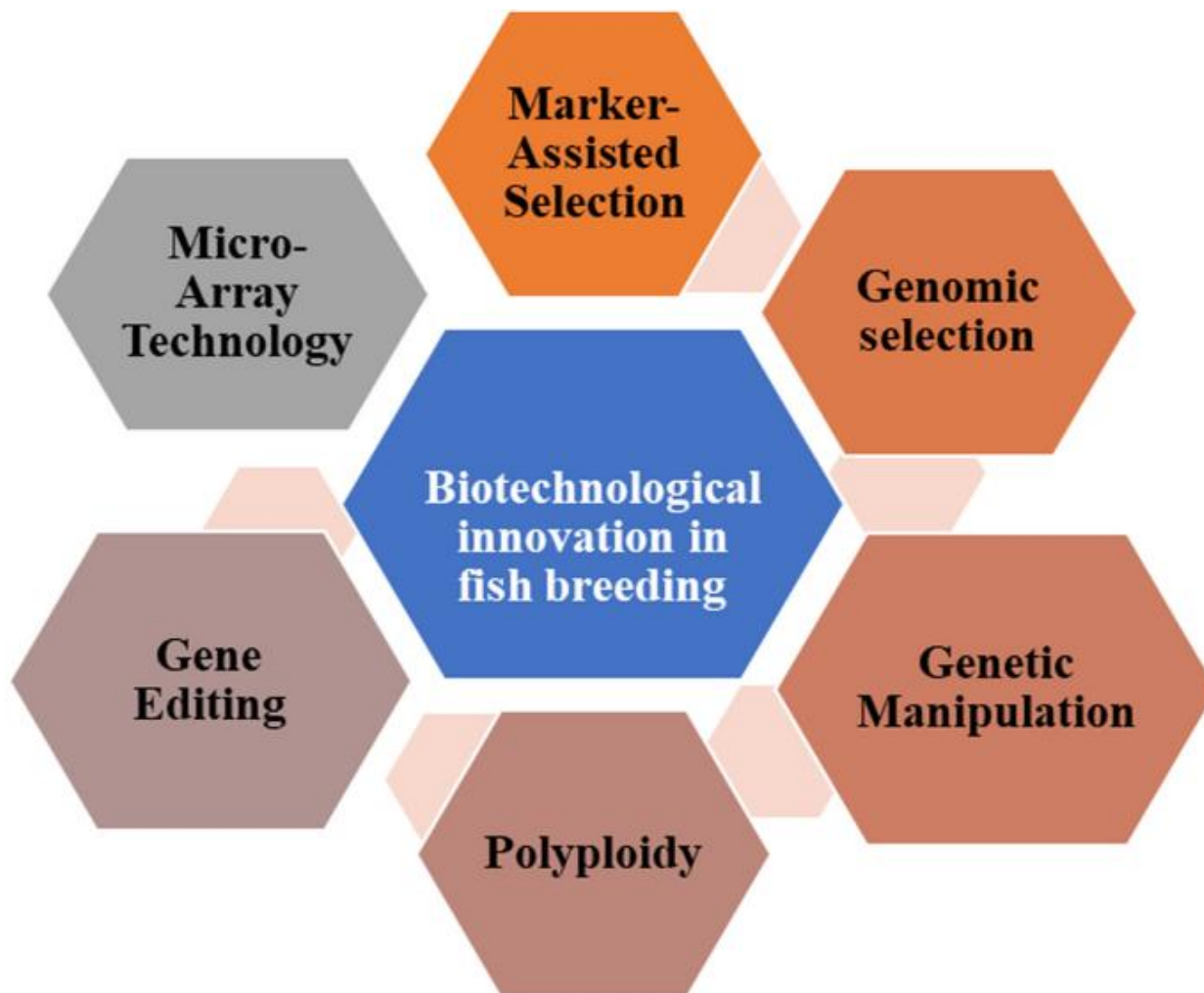
- Біотехнології вдосконалюють аквакультуру, покращуючи здоров'я організму, підвищуючи продуктивність і захищаючи екосистеми.
- Основні методи включають вакцини, пробіотики, фаготерапію, генну терапію та РНК-інтерференцію.
- Генетичний прогрес збільшує врожайність, скорочує витрати та зменшує вплив на навколишнє середовище.



Методи генної інженерії в аквакультурі

Методи редагування геномів риб включають:

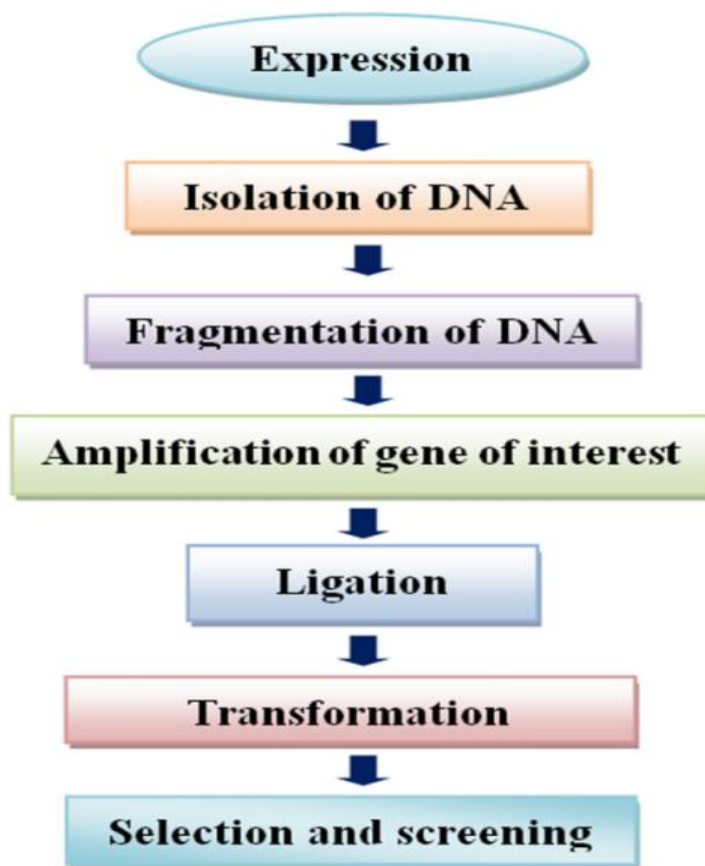
- **CRISPR-Cas9** - Забезпечує точне редагування генів для покращення рис
- Нуклеази, подібні до транскрипційних активаторів (**TALENs**) – Модифікація гена для цільового розведення
- Цинк-пальцеві нуклеази (**ZFN**) – зміна послідовностей ДНК



Біотехнологічні інновації в розведенні риби (Sankaran & Mandal, 2024).



Геном організму можна модифікувати шляхом введення синтетичної ДНК з різних джерел. Процес включає:



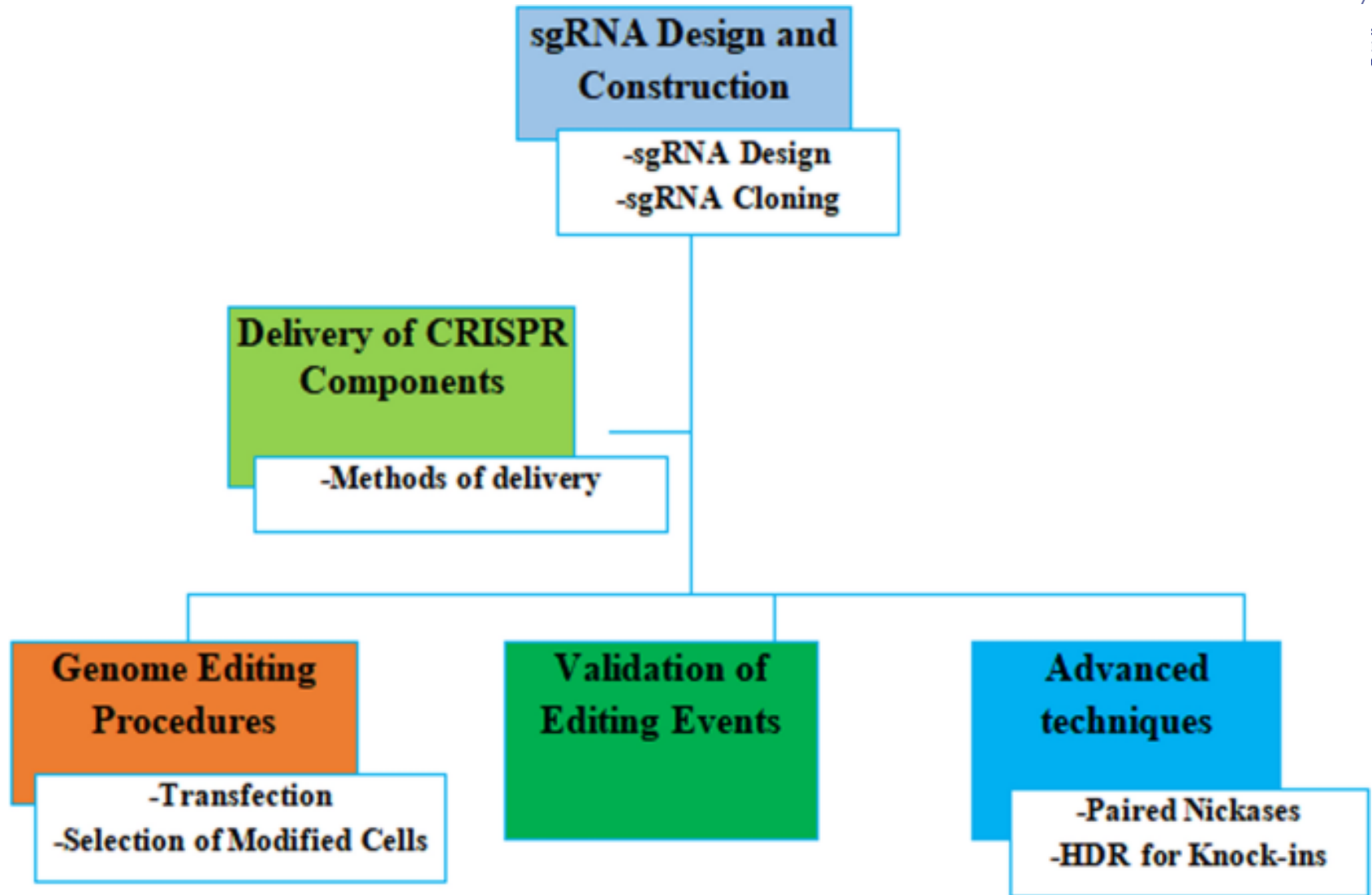
*Основні кроки, пов'язані з технологією рекомбінантної ДНК
(Sankaran & Mandal, 2024)*



CRISPR в аквакультурі

Як революційний інструмент для генетичного покращення у рибництві:

- CRISPR/Cas9 — передовий інструмент для редагування генів, що дозволяє точно модифікувати ДНК.
- Здійснює революцію в аквакультурі, покращуючи ріст, якість м'язів, стійкість до хвороб і визначення статі.
- Більш ефективні, економічно вигідні та точні, ніж традиційні методи розведення.
- Дозволяє цілеспрямовано змінювати гени, зводячи до мінімуму небажані мутації.



Редагування генів CRISPR/Cas9 (Sankaran & Mandal, 2024)



Наслідки використання CRISPR/Cas9 у редагуванні генів про різні види риб

- CRISPR/Cas9 допомагає вирішувати проблеми аквакультури:
 - Спалахи захворювань, повільне зростання та вплив навколишнього середовища.
- Застосування в аквакультурі:
 - Боротьба з інвазійними видами.
 - Інженерні мікроорганізми для поліпшення якості води.
 - Генетично модифікована риба для сталого розвитку.
- Трансгенна риба з покращеною ефективністю перетворення корму зменшує використання ресурсів.
- Підтримує екологічно чисті практики аквакультури .



Вплив CRISPR/Cas9 на біологічні та екологічні аспекти



Застосовні області		Впливи
Стійкість до хвороб	до	Використовується для зменшення зараження вірусом вірусу геморагічної септицемії (VHSV) клітин природного ембріона оливкової камбали хіраме (HINAE).
		Дозволяє редагувати гени таких видів риб, як лосось, тіляпія та креветки, щоб підвищити їх стійкість до хвороб.
		Сприяє видаленню гена JAM-A в клітинах білого амура, що значно підвищує стійкість до реовірусної інфекції білого амура (GCRV).
		Сприяє вдосконаленню клітинних ліній риб для вивчення імунної відповіді організму та генетичної стійкості до інфекційних захворювань, використовуючи атлантичного лосося та райдужну форель як модельні системи в аквакультурі
Екологічна адаптація		Допомагає редагувати гени у видів риб, таких як вирощений лосось, щоб адаптуватися до змін середовища
Покращення темпів росту і м'язів	і	Прискорює ріст м'язів шляхом руйнування генів рецепторів меланокортину (mc4r). Його експериментально випробували на канал'яному сомі та медаці.
		Покращив швидкість росту та збільшив м'язову масу канал'яного сома шляхом модифікації гена міостатину в ембріонах канал'яного сома.
		Це сприяє збільшенню м'язової маси у білого товстолобика завдяки порушенню роботи гена mstna



Застосування CRISPR/Cas9 у різних видах риб та їхньому впливі

Види риб	Технологічні впливи
Нільська тилапія	Використовується для створення стерильних популяцій нільської тилапії, що знижує ризик шкоди навколишньому середовищу через втечу риби.
Атлантичний лосось	Допомагає в редагуванні генів для створення видів, які мають високу стійкість до вірусних інфекцій, напр. лосось
Рибка даніо	Дозволяє вченим вивчати мутації та генетичні варіанти рибок даніо. Можна використовувати для успішної інтеграції складених міток в ембріони рибок даніо, що дозволяє точно позначати та візуалізувати клітинні структури або білки. Це відкриває потенціал для вивчення динаміки білків, експресії генів та інших біологічних процесів у цьому модельному організмі.
Райдужна форель	Було показано, що він знижує експресію гена <i>igfbp-2b</i> у райдужної форелі, впливаючи на ріст і розвиток, але його вплив на загальну продуктивність і ендокринну систему залишається неясним.
Атлантичний лосось і райдужна форель	Використовували для націлювання на унікальні гени, пов'язані з ростом та імунітетом клітин атлантичного лосося, райдужної форелі та кижуча.
Японська медака	Має потенціал для збільшення росту м'язів і маси тіла таких видів риб, як медака. Однак необхідні подальші дослідження, щоб визначити його вплив на продуктивність продукції та здоров'я риби.
Оливкова камбала	Можна використовувати для порушення гена міостатину в оливковій камбалі, потенційно збільшуючи вагу тіла та м'язову тканину, але необхідні подальші дослідження, щоб зрозуміти його вплив на ефективність виробництва та здоров'я риби.
Канальний сом	Використовувався для модифікації гена міостатину у канальського сома для покращення росту та якості м'язів, але необхідні подальші дослідження, щоб повністю зрозуміти його вплив.



Частина 4 . Кріоконсервація та допоміжні репродуктивні технології



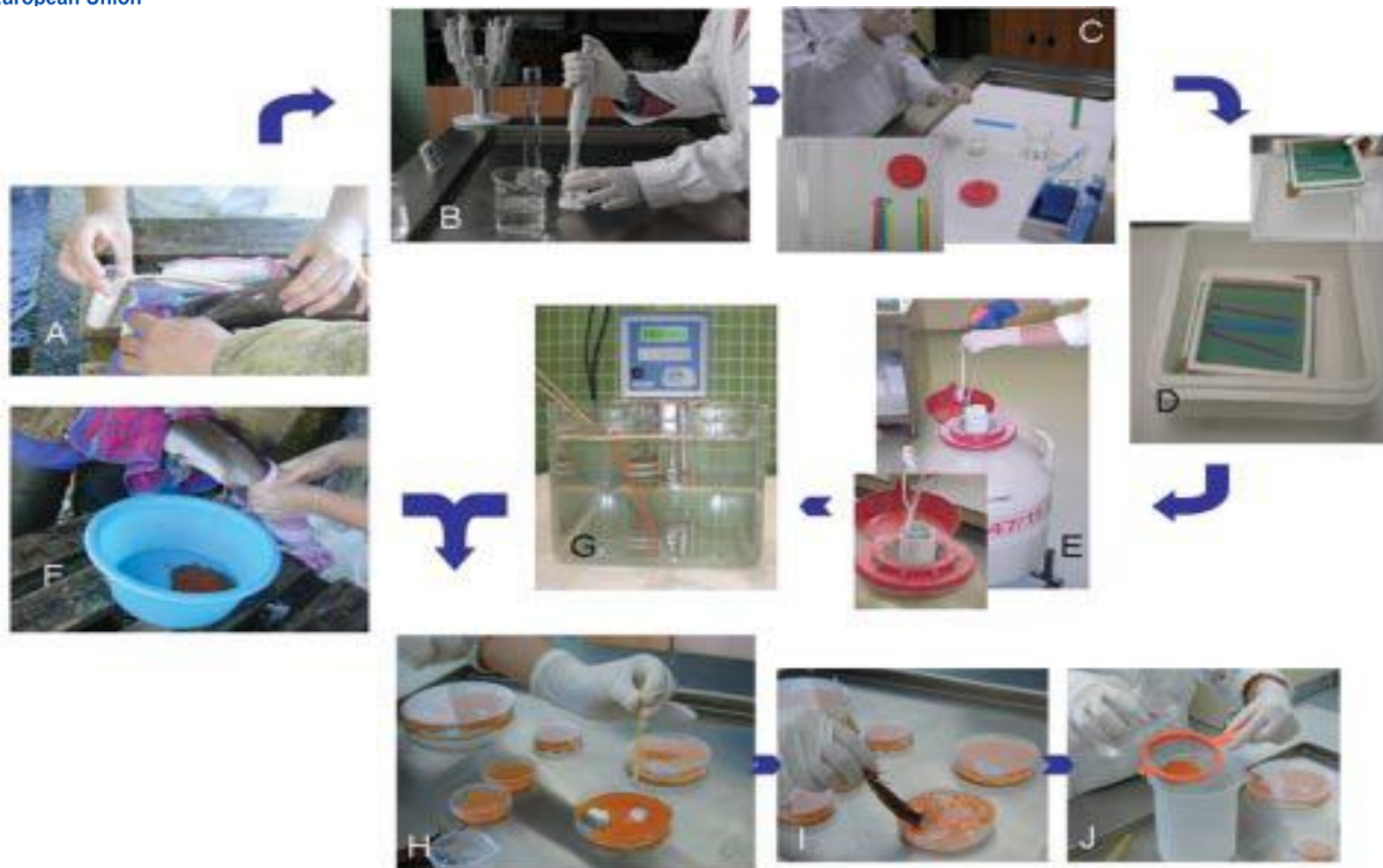
Аквакультура та кріоконсервація

- Аквакультура відіграє вирішальну роль у глобальній продовольчій безпеці та збереженні біорізноманіття.
- Репродуктивна ефективність життєво важлива для підтримки популяції риби та покращення результатів розведення.
- Кріоконсервація пропонує технологічне рішення для збереження та збільшення генетичних ресурсів риби .



Основні принципи кріоконсервації

- Кріоконсервація передбачає зберігання біологічних зразків при наднизьких температурах (-130°C або нижче).
- Основні переваги включають зупинку метаболічної активності та запобігання генетичній деградації.
- Широко використовується в репродуктивній біології та програмах збереження.
- При низькій температурі зупиняє біохімічні реакції та запобігає пошкодженню клітин.
- Утворення льоду є серйозною проблемою, що вимагає протоколів контрольованого охолодження.
- Кріопротектори допомагають запобігти осмотичному стресу та утворенню внутрішньоклітинного льоду.



Процес заморожування сперми: (A) екстракція сперми форелі канюляцією , (B) розведення в розширювачі кріопротектора , (C) заповнення французьких соломок об'ємом 0,5 мл (додаються різні типи соломок, кріовіали та порошок ПВА для герметизації соломок), (D) заморожування над плаваючим пристроєм у коробці з пінополістиролу , що містить рідкий азот (N_2I), (E) зберігання в контейнері з рідким азотом, (F) видушування ікри у самки, (G) розморожування сперми у водяній бані та (H–J) запліднення



Переваги кріоконсервації

Технологія кріоконсервації була розроблена для багатьох видів риб і пропонує численні переваги:

- **Збереження сперми** забезпечує цілорічну доступність і позасезонне розмноження.
- **Обмін гаметами** запобігає близькоспорідненому схрещуванню та спрощує керування маточним поголів'ям.
- **Кріобанкінг** підтримує генетичний відбір, збереження та гібридизацію.
- **Генетичне збереження** дозволяє контролювати схрещування та прогрес у дослідженнях.



Частина 5. Етичні, екологічні та нормативні аспекти в біотехнології аквакультури



Етичні проблеми в біотехнології аквакультури



- **Добробут тварин:** редагування генів і трансгенез може підвищити ріст і опірність хворобам, але може спричинити стрес, деформації, пригнічення імунітету або метаболічні проблеми. Сільське господарство з високою щільністю поселення погіршує ці ефекти, вимагаючи спеціальної оцінки добробуту.
- **Екологічний вплив:** генетично модифікована риба може порушити екосистеми, випереджаючи місцеві види, змінюючи харчові мережі та загрожуючи біорізноманіттю. Етичні проблеми також виникають щодо впливу людини на природну еволюцію.



Нормативна база

Глобальні стандарти та рекомендації

- Такі організації, як FAO та CBD, дотримуються принципу обережності, вимагаючи оцінки ризиків, екологічних досліджень і моніторингу перед схваленням ГМО. Узгоджені правила мають вирішальне значення через транскордонний характер водних екосистем .

Національні регуляторні підходи

- Регуляторні підходи відрізняються; такі країни, як США та Канада, мають суворі процеси оцінки, тоді як інші не мають контролю. Схвалення передбачає лабораторні дослідження, польові випробування та екологічну оцінку, приділяючи дедалі більшу увагу прозорості та залученню громадськості.



Вплив на навколишнє середовище біотехнології аквакультури

Динаміка екосистем і генетичне забруднення

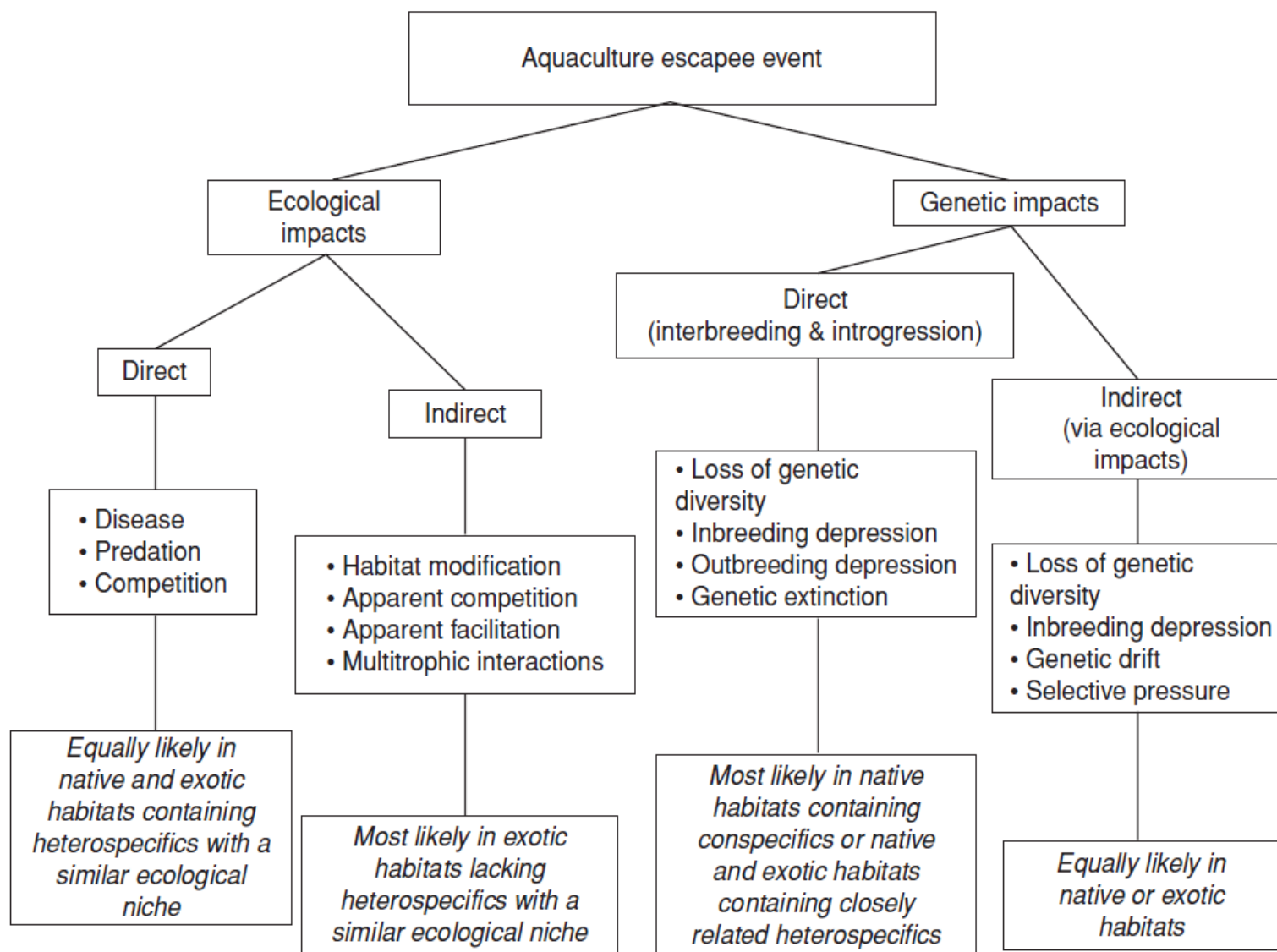
- Гібридизація з дикою рибою може знизити адаптивність, тоді як вирощені втікачі можуть випередити місцеві види та поширювати хворобу.

Взаємодія з дикими популяціями

- Трансгенні риби з розширеними ознаками можуть порушити екосистеми, змінивши конкуренцію та динаміку хижаків і жертв.

Довгострокова стійкість

- Зведіть до мінімуму руйнування середовища існування, підвищте ефективність використання ресурсів, захистіть дикі тварини та створіть екологічно чисті корми та управління відходами.



Можливий вплив аквакультури на навколишнє середовище



Баланс між прогресом і відповідальністю

- Біотехнологія підтримує продовольчу безпеку та біорізноманіття, але етичні, нормативні та екологічні гарантії є важливими.
- Співпраця між науковцями, політиками, промисловістю та громадянськістю забезпечує відповідальний розвиток.
- Правила слід розглядати як сприяння сталим інноваціям, а не як перешкоди.



ДИСКУСІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ:

ТЕМА : *БІОТЕХНОЛОГІЯ В АКВАКУЛЬТУРІ: РІШЕННЯ ЧИ РИЗИК ?*

Підказки для обговорення:

- Чи слід широко використовувати біотехнологію для зміни видів риб на кліматичну стійкість?
- Які основні етичні проблеми при використанні CRISPR/Cas9 в аквакультурі?
- Чи може генетично модифікована риба становити загрозу для диких екосистем?
- Як нормативно-правова база впливає на впровадження біотехнологій в аквакультурі?

Інструкції :

Поділіть клас на дві групи. Одна група виступатиме за біотехнології як рішення проблем, пов'язаних із кліматом в аквакультурі, а інша обговорюватиме потенційні ризики (етичні, екологічні, економічні). Кожна група має представити свої аргументи, після чого розпочнеться відкрита дискусія, у якій студенти можуть оскаржити точки зору один одного.



КЕЙС-СТАДІ ДІЯЛЬНІСТЬ

ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД: *ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИЙ ЛОСОСЬ – УСПІХ ЧИ ЗАГРОЗА?*

У невеликих групах студенти узагальнять ключові моменти та запропонують політичні рекомендації щодо того, чи слід широко використовувати ГМ-рибу.

Розкажіть студентам приклад генетично модифікованого атлантичного лосося

AquaBounty, який росте швидше, ніж його дикі аналоги. Студенти мають проаналізувати :

- Переваги ГМ лосося для продовольчої безпеки.
- Екологічні ризики та можливий вплив на популяції диких риб.
- Громадське сприйняття та регуляторні проблеми.
- Альтернативні стратегії підвищення стійкості аквакультури.



АКТИВНІСТЬ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ

СЦЕНАРІЙ : *ПЕРСПЕКТИВНА АКВАКУЛЬТУРА ПРОТИ ЗМІНИ КЛІМАТУ*

Кожен студент або група повинні зважити плюси і мінуси кожного варіанту, враховуючи екологічні, етичні та економічні фактори. Потім вони представлять стратегічний план, щоб зробити рибну ферму більш стійкою до клімату.

Подайте учням сценарій, коли рибна ферма відчуває труднощі через підвищення температури води, спалахи захворювань і зменшення рибних запасів. Вони повинні оцінити різні рішення:

- Селекційне розведення
- Геномна селекція
- Модифікації на основі CRISPR
- Удосконалені методи управління фермою



РОЛЬОВА ГРА/ ДОСЛІДНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

ДІЯЛЬНІСТЬ: НАРАДА З ПОЛІТИКИ АКВАКУЛЬТУРИ

Студенти розмірковують про те, як різні зацікавлені сторони впливають на прийняття рішень у біотехнології та аквакультурі:

- Кожен студент досліджує перспективу своєї ролі.
- Вони готують заяви, підкріплені науковими та етичними аргументами.
- Обговорення модерується, що веде до остаточного політичного рішення .

Студенти беруть на себе ролі (державний чиновник, генеральний директор аквакультурної компанії, екологічний активіст, науковець, захисник прав споживачів) і беруть участь у симульованій політичній зустрічі. Їх мета - вирішити, чи повинна країна дозволити масштабну генетичну модифікацію в аквакультурі.



Ідеї діяльності



- **Дебати щодо біотехнології в аквакультурі** – студенти беруть участь у структурованій дискусії про те, чи слід широко впроваджувати генетичні модифікації в розведення риби для боротьби зі зміною клімату.
- **Аналіз прикладу: генетично модифікований лосось** – групи аналізують справу з ГМ-лососем AquaBounty, оцінюючи переваги, ризики та регуляторні проблеми.
- **Стратегічне планування стійкої до клімату аквакультури** – студенти оцінюють різні біотехнологічні рішення (селективне розведення, геномний відбір, CRISPR) і розробляють стратегію адаптації для рибної ферми.
- **Рольові ігри на політичній нараді щодо генетичної інженерії в аквакультурі** – Учасники представляють зацікавлені сторони (науковці, урядовці, екологи, лідери галузі) у моделюваному обговоренні прийняття рішень.
- **Етичні дилеми в біотехнології** – групи аналізують реальні етичні проблеми, пов'язані з CRISPR/Cas9 і селекційним розведенням, обговорюючи можливі рішення.
- **Дослідження та презентація біотехнологічних інновацій** – студенти досліджують останні досягнення (наприклад, редагування генів, стійкі до хвороб штами) і представляють їх потенційне застосування в аквакультурі.
- **Порівняльний аналіз традиційного та біотехнологічного розведення** – групи оцінюють переваги та обмеження селекційного розведення та геномного відбору видів аквакультури.
- **Обговорення регуляторних рамок для генетично модифікованої риби** – студенти вивчають глобальні правила та пропонують політику сталого та відповідального використання біотехнологій в аквакультурі.
- **Симуляція: Управління рибною фермою, що страждає від клімату**. Студенти діють як керівники аквакультури та повинні впроваджувати стратегії пом'якшення наслідків зміни клімату за допомогою біотехнологій.
- **Інтерактивне читання та обговорення майбутніх тенденцій аквакультури** – студенти аналізують наукові статті про інновації в розведенні риби та обговорюють їх довгострокові наслідки для галузі.

Як вміст цього модуля може сприяти:





Список літератури

- **Yang, Z., et al. (2021).** "Genome Editing and Its Applications in Genetic Improvement in Aquaculture." *Reviews in Aquaculture*.
DOI: [10.1111/raq.12591](https://doi.org/10.1111/raq.12591)
- **Sankaran, G. B., & Mandal, A. (2024).** "Genetic Improvements in Aquaculture." *The Trout Journal of Atatürk University*.
DOI: [10.62425/tjau.1570599](https://doi.org/10.62425/tjau.1570599)
- **Zhu, M., et al. (2024).** "CRISPR/Cas9 Technology for Enhancing Desirable Traits of Fish Species in Aquaculture." *International Journal of Molecular Sciences*.
DOI: [10.3390/ijms25179299](https://doi.org/10.3390/ijms25179299)
- **Betsy, C. J., et al. (2022).** "Cryopreservation and Its Application in Aquaculture." *IntechOpen*.
DOI: [10.5772/intechopen.99629](https://doi.org/10.5772/intechopen.99629)