

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
МЕТОДИЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР З АКВАКУЛЬТУРИ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ:
«СУЧАСНІ МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ В АКВАКУЛЬТУРІ»**



Київ 2024

Рецензенти:

Кононенко І. С. доцент кафедри аквакультури НУБіП України , кандидат сільськогосподарських наук.

Світельський М. М. завідувач кафедри біоресурсів, аквакультури та природничих наук, кандидат сільськогосподарських наук, доцент Поліського національного університету.

Укладачі: Матіїв І.Л., Нероденко О. С.

У методичних рекомендаціях розкрито основні аспекти інтенсифікації в аквакультурі, перспективи та проблематика цього напрямку. Розраховано на працівників рибного господарства, слухачів курсів підвищення кваліфікації, науково педагогічних працівників, аспірантів, магістрів, фахівців аграрного сектору України.

Передрукування заборонено©
ДУ «МТЦ з аквакультури», 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Методи інтенсифікації в аквакультурі.....	7
2. Кормовиробництво та годівля риб.....	8
2.1. Погляд на світові досягнення в галузі кормовиробництва у світі...	9
2.2. Ферменти та функціональні корми.....	10
2.3. Роль генетики у харчуванні риб.....	11
2.4. Сучасна альтернативна годівля риб.....	12
2.4.1. Використання рибних відходів для виготовлення корму.....	12
2.4.2. Використання генетично модифікованих культур у секторі кормів для гідробіонтів.....	13
2.4.3. Досвід компанії «Satavie» у новому підході до переробки соєвого шроту.....	14
2.4.4. Повторне використання побічних продуктів харчової системи в кормах для гідробіонтів.....	15
2.4.5. Борошно з чорної львинки як інгредієнт корму для гідробіонтів.....	16
3. Селекція в аквакультурі.....	19
3.1. Редагування геному, система CRISPR.....	20
3.1.1. Об'єкти аквакультури отримують найбільшу користь від редагування геномів.....	21
3.1.2. Основні бар'єри – етичні, нормативні та практичні – заважають більш широкому застосуванню CRISPR у комерційній аквакультурі.....	21
3.2. Забезпечення стійкості та опірності аквакультури за допомогою інструментів редагування геному риб.....	22
3.3. Подолання парадоксу стерильності.....	23
3.4. Роль селекції у боротьбі з хворобами.....	24
3.5. Роль селекції у годівлі.....	25

4. Розвиток рециркуляційних аквакультурних систем, як інструмент інтенсифікації виробництва.....	26
4.1. Використання біоцидів в рециркуляційних аквакультурних системах.....	29
4.2. Технологія нової генерації рециркуляційних аквакультурних систем.....	30
4.2.1. Переваги рішень AquaMaof для аквакультури у рециркуляційних аквакультурних системах.....	30
5. Світові інновації у аквакультурі.....	33
Висновки.....	37
Список використаної літератури.....	39

Вступ

Зараз аквакультура є одним з найбільш зростаючих напрямів виробництва продуктів харчування у світі. Значною мірою це є наслідком постійного зростання населення та прагнення людей до здорової їжі з високим вмістом природного білка.

За деякими прогнозами, до 2050 р., чисельність населення планети сягне 10 млрд. Передбачається, що для задоволення потреб зростаючого населення, світове виробництво продуктів харчування, відповідно, має зрости на 56 %. Але поточне виробництво продуктів харчування є несталим та недостатнім [17].

З початку 2020 року європейський ринок продукції рибальства та рибництва зазнав дестабілізації внаслідок пандемії COVID-19. Крім того, вторгнення Росії в Україну 24 лютого 2022 року поглибило інфляцію, яка спостерігалася протягом останніх років. Сектор рибальства та рибництва в ЄС безпосередньо постраждав від збільшення вартості палива для суден, електроенергії та корму об'єктів аквакультури, що призвело до підвищення витрат на виробництво та переробку. Крім того, дефіцит деяких ключових видів сировини та ресурсів (наприклад, соняшникової олії) посилив тиск на ціни, які значно зросли за останній період [2].

На суходолі сільське господарство є наріжним каменем світової продовольчої системи, однак вигоди від цього різновиду діяльності отримуються за рахунок негативних наслідків для земель, що використовуються та емісії вуглецю, а також ресурсів прісної води та втрати біорізноманіття. Дивлячись на дослідження [26] можна побачити, що значна кількість ресурсів рибальства вже експлуатується у повному обсязі або навіть надмірно експлуатується, а поточні практики морської аквакультури недостатньо розвинуті для того, щоб закрити прогалини у пропозиції та попиті на продукти харчування. Крім того, рибальство та рибництво створюють проблеми у царині екологічної та соціальної справедливості, порівнянні з такими самими проблемами, що генеруються сільським господарством на суходолі [17].

Зараз, за оцінками експертів, одна чверть населення світу недоїдає, причому два мільярди людей споживають їжу з дефіцитом мікроелементів, а понад 800 мільйонів людей не можуть отримати достатню кількість калорій для задоволення своїх мінімальних добових потреб в енергії. Розподіл їжі та велика кількість відходів є значною частиною проблеми сьогодні, однак навіть покращень у цих сферах до 2050 року буде недостатньо для того, щоб прогодувати додаткові три мільярди людей, більшість із яких населяють країни, що розвиваються. Щоб забезпечити адекватне постачання продовольства в другій половині 21 століття, суспільству потрібно буде значно інтенсифікувати систему виробництва продуктів харчування, одночасно зменшуючи її шкідливий вплив на глобальне навколишнє середовище.

Враховуючи обмеження щодо збільшення сільськогосподарського виробництва, досліджується багато альтернативних варіантів харчування, щоб оцінити, як суспільство може стабільно інтенсифікувати свою систему виробництва продуктів харчування. Серед варіантів морської «блакитної їжі» велику увагу привернула аквакультура, перш за все тому, що збільшення обсягів вилову не покривають потреби.

Недавній огляд Charles H. Greene. щодо застосування підходів циркулярної економіки для трансформації майбутнього морської аквакультури підтверджує домінування виробництва прісноводної риби на світовому ринку аквакультури: у 2017 році воно становило 75 % із 112 млн т виробленого обсягу живої ваги [17].

Отже, прісноводна аквакультура, в даний час, в контексті забезпечення швидкозростаючого населення планети продуктами харчування – є надзвичайно важливим напрямком для досліджень та розвитку. Саме впровадження нових та вдосконалення вже існуючих методів інтенсифікації дозволять прісноводній аквакультурі не просто тримати лідируючі позиції по забезпеченню населення світу здоровими продуктами харчування, а й визначити вектор розвитку світового продовольчого ринку в контексті продовольчої безпеки на роки вперед.

1. Методи інтенсифікації в аквакультурі

У зв'язку з необхідністю вирішення загальної проблеми продовольчого забезпечення населення України та світу з кожним роком все більш важливого значення набуває розвиток специфічної галузі виробництва – аквакультури.

Інтенсифікація виробництва риби, або іншими словами підвищення рибопродуктивності існуючих виробничих систем, може мати реальну основу лише в разі застосування всього комплексу інтенсифікаційних заходів, зокрема годівлі та використання кормів відповідної якості та свідомого володіння теорією і практикою годівлі риби. У сучасному світовому рибництві існує тривала і стійка тенденція збільшення значення кормів і годівлі риб з підвищенням рівня інтенсифікації. Вона, безсумнівно, і надалі зберігатиме свою актуальність. Цей чинник нині є одним з головних, що визначає собівартість продукції і загальний, тобто комерційний ефект виробництва, а іноді і його доцільність [3].

Проте інтенсифікація – це не лише годівля та якісні корми, як було зазначено вище. Сучасні методи інтенсифікації включають в себе багато факторів та етапів функціонування аквакультурного господарства, як наприклад:

- особливості вирощування того чи іншого виду;
- особливості конструкцій та експлуатації рециркуляційних аквакультурних систем (РАС);
- фізико-хімічні властивості джерела водопостачання;
- профілактика захворювань риб;
- рибогосподарська меліорація;
- удобрення ставів та характеристика добрив;
- особливості утримання та вирощування в ставах, басейнах тощо;
- особливості ставової аквакультури;
- аерація; оксигенація; селекція та гібридизація; альтернативні методи.

Отже, інтенсифікаційні заходи у рибництві спрямовані на оптимальне концентрування ресурсів на одиниці площі акваторії з метою одержання

максимальної кількості продукції високої якості за достатньої рентабельності виробництва. Методи інтенсифікації рибництва ґрунтуються на певних механізмах, які визначають взаємовідносини риби і навколишнього середовища. При цьому вирішального значення набувають адаптаційні можливості культивованих риб упродовж усього процесу онтогенезу за сталості низки екологічних і технологічних параметрів вирощування (рис. 1) [3].



Рисунок 1 – Рециркуляційна аквакультурна система

Джерело <https://fishindustry.com.ua/ryby-dlya-uzv-i-uov/>

2. Кормовиробництво та годівля риб

Основою сучасного товарного рибництва є раціональна годівля риби. Риб цілеспрямовано культивують у спеціалізованих рибних господарствах з різним рівнем інтенсифікації, головним елементом якої є годівля.

Нині ледь частка собівартості продукції риби, яку вирощують за інтенсивними технологіями, припадає на корми, тому важко переоцінити актуальність проблеми, пов'язаної з годівлею риби [3].

Становлення ринкових відносин передбачає екологічну доцільність використання кормів і не виключає потреби збільшення загального обсягу виробництва риби. Ця концепція за умов інтенсивного виробництва переважно

ґрунтується на оптимізованій годівлі риби і враховує видоспецифічні особливості культивованих об'єктів та умов виробництва.

Корми – це спеціально вирощені або виготовлені фізіологічно допустимі продукти рослинного, тваринного чи мікробіологічного походження, які у доступній формі містять необхідні поживні та біологічно активні речовини, енергію, шкідливо не впливають на тварин і риб, на якість отримуваної від них продукції. Для кормів різного походження характерні певні фізичні і хімічні ознаки, колір, смак, запах, відсутність або вміст у допустимих кількостях шкідливих домішок і речовин, що погіршують їх поживні властивості (рис. 2) [3].



Рисунок 2 – Корм для риб

Джерело: https://stemar.com.ua/supreme-21-korm-dlia-vidhodivli-foreli-alltech-coppens-3.0-mm-25-kh/?gclid=Cj0KCQiAzoeuBhDqARIsAMdH14ERTeA3dXC6pCiSY-tI13ShILmGYDg8ZEEH2HPf3fVeEU8UBpb0xIaAnhVEALw_wcB

2.1. Погляд на світові досягнення в галузі кормовиробництва

Корми все ще лишаються основними витратами на виробництво продукції аквакультури, і галузь шукає шляхи їх більш ефективного використання. Для багатьох інсайдерів галузі прийняття «прецизійного харчування» – або кормів, розроблених для розкриття потенціалу ДНК риб і ракоподібних, мікробіомів і метаболічних реакцій для запобігання хворобам і ефективного росту – є наступною віхою у рибництві [20].

Щоб використовувати кормові інгредієнти більш стало, промисловість має прийняти харчові рецептури, які зосереджуються на концепції чистої енергії замість засвоюваної енергії. Ключова відмінність між цими двома системами полягає в тому, що поняття засвоюваної енергії передбачає, що всі харчові макроелементи використовуються рибою однаково, тоді як чиста енергія передбачає, що білки, жири та вуглеводні в рибних кормах переробляються по-різному. Зосередження уваги на різниці потенціалів дозволяє дієтологам аквакультури розробляти корми, оптимізовані для окремих видів – те, що було важко зробити, покладаючись виключно на показники засвоюваної енергії [20].

2.2. Ферменти та функціональні корми

Також необхідно звернути увагу на потенціал ферментів у харчуванні гідробіонтів. На даний час це недостатньо використовувана технологія в аквакультурі, незважаючи на те, що ферменти широко використовуються в секторі свинарства та птахівництва. Однак, досвід передових світових компаній, що використовують ферменти під час виготовлення кормів, як наприклад компанія «Alltech», що включає ферменти в екструдований корм для африканських сомів показує покращення засвоюваності фосфору та вуглеводів. Використання ферментів для покращення засвоюваності фосфору означає, що риба буде виділяти менше незасвоєних сполук з екскрементами, що зменшує забруднення господарства [20].

Що стосується функціональних раціонів, то галузь рухається в напрямку щоб перейти до створення кормів, адаптованих до умов навколишнього середовища у господарстві. Це може означати розробку рецептур кормів, які залишаються засвоєваними, незважаючи на зміну температури води. Наприклад під час культивування пструга температура води часто може опускатися до 4,0–6,0 °C (у зимові місяці). Навіть коли температура води падає, багато форелівників продовжують використовувати звичайний, традиційний корм, який зазвичай містить високу концентрацію жиру. Оскільки цей жир потім охолоджується і твердне відповідно до температури води, рибі стає важче

перетравлювати його. Так як температура плавлення жирної кислоти в кормі підвищується, засвоюваність стає нижчою. Цей ефект набагато більш виражений у холодній воді, ніж у теплій.

Фахівці можуть розробити корми з таким складом, який покращує засвоюваність жирів за низьких температур, роблячи їх специфічними для зимових умов. В компанії «Alltech» зазначили, що під час дослідницьких випробувань із райдужним пстругом використання цієї стратегії харчування призвело до 7 % покращення загального перетравлення жиру. Це також сприяло зниженню коефіцієнта конверсії корму (кормового коефіцієнту) (FCR) і покращення показників росту протягом зимових місяців (рис. 3) [20].

макуха	бобове борошно	шрот	висівки	мінерали	елементи тваринного походження
					

Рисунок 3 – Компоненти корму для риб

2.3. Роль генетики у харчуванні риб

Дуже важлива роль генетики в оптимізації харчування об'єктів аквакультури. Як і тваринництво, рибництво розраховує на генетичні вдосконалення, щоб зробити виробництво продуктів харчування більш ефективним і сталим. На сьогоднішній день більшість генетичних методів селекції в аквакультурі були спрямовані на підвищення опірності до хвороб або зростання темпу росту, але нещодавно дослідники зробили своєю метою підвищення ефективності використання поживних речовин окремими видами риб [4].

Нещодавно на цю тему проводили дослідження, метою яких було встановити чи існують відмінності в споживанні корму між двома різними

генетичними штамми. Дослідники мали райдужного пструга із «жирного» генетичного штаму та «худого» генетичного штаму та годували їх за однаковим раціоном. Отримані результати показали значні відмінності у використанні цими штамми поживних речовин.

За результатами дослідження «жирний» штам мав вищу ефективність використання енергії (споживання засвоюваної енергії проти збереженої енергії) ніж «худий» штам. Пструг «жирного» штаму був здатним краще засвоювати та метаболізувати складні поживні речовини зі свого раціону, порівняно з пстругом нежирного штаму [4].

2.4. Сучасна альтернативна годівля риб

2.4.1. Використання рибних відходів для виготовлення корму

Багато побічних продуктів морської промисловості, таких як нутрощі, шкіра, луска та кістки, що становлять від 30 до 80 % маси тіла риби, викидаються як тверді відходи під час промислових операцій з переробки риби. Однак завдяки своєму складу вони мають великий потенціал для використання як білкові добавки у кормах для аквакультури [5].

Актуальність перетворення цих відходів на інгредієнти викликана їх значною перевагою, яка полягає у тому, що вони не вимагають будь-яких етапів попередньої термічної, хімічної та/або ферментативної гідролісної обробки. Оскільки етап попередньої обробки не є ні економічно вигідним, ні екологічно чистим, його виключення з процесу робить утилізацію рибних відходів економічнішою та екологічнішою.

Біотехнологічні методи, такі як ферментація з мікробними культурами, стають все більш популярними для обробки відходів. Серед застосовуваних мікроорганізмів дріжджі також використовувалися як посівний матеріал разом із молочнокислими бактеріями для зброджування рибних відходів та перетворення їх на корисний продукт, який можна використовувати як інгредієнт для збалансування харчових раціонів тварин. Дріжджі містять багато різних

імуностимулюючих сполук, включаючи нуклеїнову кислоту, бета-глюкани та олігосахариди мангану. Ці сполуки можуть посилити ріст різних видів риби і, отже, можуть розглядатися як чудові стимулятори здоров'я культивованих гідробіонтів.

Ферментовані рибні відходи – це рідкий продукт, отриманий шляхом розрідження тканин, яке здійснюється ферментами, що вже присутні в рибі, і прискорюється кислим рН. До субстрату також можна додавати натуральні наповнювачі, наприклад побічні продукти сільського господарства. Так, шкірку цитрусових можна використовувати як наповнювач під час ферментації, а отримуваний продукт відіграватиме важливу роль джерела пробіотиків. Серед корисних ефектів пробіотиків – підвищення опірності риби до збудників захворювань і покращення росту, використання корму та ліпідного обміну, а також стимулювання імунної відповіді через модуляцію кишкової мікробіоти [5].

2.4.2. Використання генетично-модифікованих культур у секторі кормів для гідробіонтів

Виступаючи на інформаційно-просвітницькому семінарі щодо використання генетично модифікованих (ГМ) культур і їх похідних у секторі кормів для аквакультури, організованому Biotech Consortium India Limited (BCIL) спільно з ICAR-Центральним дослідницьким інститутом морського рибного господарства (CMFRI), експерти підкреслили, що ГМ-продукти на основі сільськогосподарських культур (переважно неживі генетично модифіковані організми) мають величезні можливості для розширення постачання кормових інгредієнтів, тим самим сприяючи росту, опірності до хвороб і зниженню витрат на виробництво продукції аквакультури.

Експерти з рибного господарства та біотехнології також підкреслили, що впровадження ГМ-культур у сектор кормовиробництва для аквакультури допоможе зменшити зростаючий тиск на окремі кормові інгредієнти, зокрема на рибне борошно та риб'ячий жир і підтримувати сталість галузі аквакультури [6].

ГМ-культури мають кілька бажаних властивостей, таких як стійкість до комах, хвороб і гербіцидів, і їх використання буде корисним для підвищення врожайності. Наприклад використання висушених розчинних зерен, які використовують для дистиляції спиртів (DDGS) – побічного продукту використання злаків у лікєро-горілчаній промисловості – може допомогти знизити ціни на корм для креветок [6].

Доктор Ануїа зазначила, що за останні 25 років не було підтверджених повідомлень про шкідливі наслідки схвалених ГМ-культур. «Існують системні правила для забезпечення безпечного використання ГМ-культур, які контролюються міжнародно прийнятими методологіями оцінки безпеки. Отже, схвалена ГМ-культура є такою ж безпечною, як і її не-ГМ аналог», – додала вона.

Однією з головних переваг ГМ-культур у секторі виробництва гідробіонтів є їх здатність підвищувати поживну цінність корму. Наприклад ГМ-соєві боби можна сконструювати для виробництва омега-3 жирних кислот, які важливі для росту та здоров'я вирощуваної риби [6].

2.4.3. Досвід компанії «Satavie» у новому підході до переробки соєвого шроту

Компанія «Satavie» стала переможцем конкурсу «Soy Innovation Challenge 2022», забравши головний приз у розмірі \$ 100,000 – за революційний підхід до вилучення білка з соєвого шроту – метод, який ідеально підходить для кормів для аквакультури [7].

«Satavie» – компанію, яка прагне забезпечити харчування високоякісним концентратом соєвого білка з джерел відповідального походження, створеним за інноваційними технологіями – було обрано з-поміж майже 80 заявників з усього світу за їхній підхід до вилучення концентрованого соєвого білка із соєвого шроту. Їхній метод забезпечує високий рівень засвоюваності, покращене засвоєння поживних речовин і поліпшені коефіцієнти конверсії корму/кормового коефіцієнту, що робить його ідеальним для аквакультури, свиней і птиці. Вплив на соєву промисловість величезний. Наша запатентована технологія

екстрагування водою забезпечує кращі результати для здоров'я, загальний ріст і покращує якість м'яса. Зрештою, це сприяє травленню на ранніх етапах розвитку тварин.

Так, останніми роками особлива увага спрямована на зміцнення ринків соєвого шроту, оскільки пропозиція соєвого шроту продовжує зростати. В першу чергу це пов'язано зі зростанням попиту на соєву олію, яка використовується як сировина для відновлюваних джерел енергії [7].

2.4.4. Повторне використання побічних продуктів харчової системи в кормах для гідробіонтів

До 40 % усіх орних земель та більш як 30 % продукції зернових культур використовується як корми для тварин, і приблизно 23 % усієї вилученої рибальством риби призначено для використання у нехарчових цілях, головним чином для годівлі риби та свійських тварин.

Збільшення використання кормів, під час виготовлення яких використовуються субпродукти, що генеруються під час функціонування продовольчої системи (вторинні продукти, що утворюються вздовж ланцюга виробництва первинних продуктів, призначених для споживання людиною) – пропонується як рішення ефективності використання ресурсів з метою зменшення конкуренції в парі «їжа-корми» та збільшення циркулярності продовольчої системи. Крім того, використання субпродуктів як кормів може зменшити екологічний тиск на орні землі та прісноводні екосистеми, а також зменшити емісію парникових газів та застосування угноювачів (добрив). Збільшення використання субпродуктів та залишків відходів зернопереробки як інгредієнтів кормів може також бути економічно ефективним з огляду на те, що багато з них є дуже поширеними матеріалами з низькими виробничими витратами [8].

Однак деякі компоненти менш придатні для кормового використання; наприклад, пожнивні залишки є волокнистими, мають низьку засвоюваність і низьку якість білка, а інші, такі як деякі побічні продукти переробки

сільськогосподарських культур, містять багато білка, але мають низьку енергоємність. Тим не менш, деякі корми можна покращити за допомогою обробки або добавок. Незважаючи на труднощі, частину кормів, що конкурують із харчовими продуктами, можна замінити кормами, що не конкурують із харчовими продуктами, без негативного впливу на продуктивність.

Більш ефективне використання побічних продуктів і залишків харчової системи може зменшити конкуренцію продуктів і кормів і збільшити глобальне постачання продовольства без збільшення використання цінних природних ресурсів. Це, у поєднанні з іншими заходами, є терміново необхідною дією для переходу до більш стійких і циркулярних продовольчих систем, які є головними цілями багатьох національних стратегій і стратегій на рівні Європейського Союзу [8].

2.4.5. Борошно з чорної львинки як інгредієнт корму для гідробіонтів

Борошно з комах – зростаюча альтернатива іншими джерелами кормового білку, таким як SBM. Він поживний, економічний і може виготовлятися на місці. Борошно з комах може містити до 80 % білку, а також жирних кислот і антимікробних пептидів. «BioMar» і «Agronutris» підписали довгострокове партнерство для розробки наступного покоління корму з чорної львинки (*Hermetia illucens*), спеціально призначеного для аквакультури [9].

Харчовий профіль борошна з чорної львинки робить його хорошим джерелом живлення в галузі аквакультури. Після багатьох років досліджень і розробок борошно з комах тепер розглядається як новий багатообіцяючий кормовий інгредієнт в галузі аквакультури. Визначивши придатність чорної львинки як нового кормового інгредієнту, інноваційна компанія з виробництва кормів для гідробіонтів «BioMar» об'єднала зусилля з «Agronutris» – французькою біотехнологічною компанією, що спеціалізується на чорній львинці – для виробництва екологічно чистого борошна з комах нового покоління, призначеного для аквакультури. Компанія «Agronutris» сприяє зменшенню впливу кормів для гідробіонтів на навколишнє середовище. У

компанії розробили масштабовану модель для чорної львинки, здатну відповідати профілю харчування та сталості, які потрібні нам і промисловості» [9].

Щоб борошно з комах успішно потрапило до корму для гідробіонтів, воно має демонструвати високу поживну цінність і підтримувати хороший ріст і здоров'я риб та креветок. Даний інноваційний продукт має чудовий харчовий профіль, який добре підходить для індустрії аквакультури.

Рішення «Agronutris» полягає в тому, щоб забезпечити стабільний, високоякісний продукт із високими показниками сталості, що підтверджено надійною оцінкою життєвого циклу. Біотехнологічна компанія створила підхід, за якого існує чітке бачення переходу від нового джерела білка до інгредієнта, який має вплив у масштабах, пов'язаних з галуззю аквакультури.

«Справді стала їжа для комах повинна бути відокремлена від ланцюга постачання їжі людині та харчуватися субстратом, заснованим на харчових відходах і побічних продуктах. З Agronutris ми бачимо життєздатну, масштабовану модель для виробництва чорної львинки, завдяки якій цей продукт може стати хорошим джерелом живлення в аквакультурі», – підсумував Vidar Gundersen, глобальний директор зі сталого розвитку BioMar.

Існує сильний стратегічний зв'язок між місією «Agronutris» щодо постачань альтернатив із низьким впливом на навколишнє середовище та «BioMar», яка поставила сталий розвиток у центр своєї майбутньої стратегії з метою використання 50 % інгредієнтів із циклічної та відновлювальної економіки та зниження вуглецевого сліду кормів на третину до 2030 року [9].

Nofima тестує нову рецептуру корму з комах. Дослідження, яке було проведене науково-дослідним інститутом, показало, що, рецептура корму для гідробіонтів, до складу якого входили личинки чорної львинки з фракцією, яку зазвичай мало використовують, призвело до збільшення темпу росту лосося, порівняно зі стандартними аквакормами [10].

У новому дослідженні, присвяченому використанню личинок чорної львинки, як альтернативного корму для риб, норвезький науково-дослідний

інститут Nofima дослідив дію води з відстійників (куди потрапляє вода після переробки) – водорозчинного, багатого на поживні речовини інгредієнта, що утворюється під час переробки комах, - на ріст молоді лосося [10].

Дослідники Nofima розробили експериментальні корми, до яких додали 10 % відсотків комашиного борошна та кілька відсотків води з відстійника з личинок чорної львинки. Експериментальні корми використовували для годівлі лосося, який вирощувався в експериментальних резервуарах на дослідницькій станції Nofima в Sunndalsøra, і порівнювали темпи росту лосося в дослідному та контрольному режимах .

Випробування показали, що молодь лосося, яку годували кормом, що містив воду з відстійника з личинок комах, росла так само добре і мала таке ж ефективне засвоювання їжі, як і молодь, яка споживала стандартні корми для риб. З 10 % вмістом комашиного борошна (рис. 4) у кормі, молодь риби росла так само добре, як і риба, що отримувала контрольний корм [10].



Рисунок 4 – Борошно з комах

Джерело: https://harch.tech/2021/06/23/boroshno_cvirkuny/

«Дослід показав, що лосось може без проблем споживати корм з додаванням в нього, як мінімум 10 % комашиного борошна. Зважаючи на позитивний результат використання фракції відстійної води, що утворюється у процесі виготовлення рибного борошна, ми не можемо виключити, що ця фракція з комах мала б позитивний ефект і за інших умов. У будь-якому випадку, це

важливий додатковий спосіб забезпечити ефективне використання комах як корму для риби», – говорить Andre Sture з Nofima [10].

3. Селекція в аквакультурі

Подальше зростання виробництва продукції можливе тільки на основі комплексної інтенсифікації рибництва. Одним з найважливіших шляхів інтенсифікації є поліпшення якості об'єктів розведення шляхом створення нових високопродуктивних порід риб [3].

Характерними рисами технології сучасного високоінтенсивного товарного рибництва є надзвичайно високі щільності посадки, застосування полікультури (спільне вирощування різних видів риб), інтенсивна годівля штучними кормами і зниження в раціоні частки природної їжі.

В даний час вирощування риб здійснюється в умовах погіршеного гідрохімічного режиму, більш напруженої епізоотичної ситуації. Вкрай несприятливі наслідки має забруднення водних джерел господарств технологічними відходами промислових і сільськогосподарських підприємств.

Одночасно з розвитком ставового рибництва велике значення у виробництві товарної риби набуває культивування риб в садках і басейнах господарств, які використовують відпрацьовані води теплових і атомних електростанцій, а також в рециркуляційних аквакультурних системах (індустріальне рибництво).

Перед селекціонерами стоїть завдання створення порід з високою продуктивністю в умовах, які різко відрізняються від природних. Вирішення цього завдання вимагає перетворення спадкових властивостей об'єктів рибництва шляхом інтенсивної селекційної роботи [3].

В селекційній роботі з рибами доводиться вирішувати зазвичай дві основні задачі: поліпшення продуктивних якостей об'єкта розведення та створення порід, пристосованих до конкретних умов культивування. Розмежування цих двох завдань умовне, оскільки в будь-якому випадку мова йде про поліпшення продуктивності і товарних якостей на тлі конкретних умов вирощування. Можливі різні шляхи підвищення продуктивності. Основними є прискорення

темпу росту за рахунок більш повного використання природної їжі і штучного корму на приріст, підвищення життєздатності риб, у тому числі підвищення їх стійкості до несприятливих умов середовища і до хвороб. Сюди ж відноситься і ряд ознак, що характеризують якість товарної продукції (забійний вихід, жирність м'яса, костистість і т. д.).

3.1. Редагування геному, система CRISPR.

Інструменти редагування геному, такі як CRISPR, мають величезний потенціал для поліпшення сталості та прибутковості галузі аквакультури [3].

CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) – є біологічною системою для зміни ДНК і базується на імунній системі бактерій.

Основні функції CRISPR:

1. Точність – білки Cas можуть робити розрізи в ДНК на певних мішенях.
2. Редагування – білки Cas можуть вставляти нову генетичну інформацію в геном.
3. Відстежуваність – білки Cas є програмованими.

Прикладне редагування генів за допомогою інструментів CRISPR значною мірою покладається на фундаментальні знання про організм, який ви намагаєтесь редагувати. Станом на 2021 рік було секвеновано 594 геноми риб, включаючи найбільш популярні види, які вирощуються в аквакультурі. Секвенування *de novo*, або секвенування всього геному нового виду для наших цілей, тепер можна зробити швидше, ніж будь-коли раніше. Це пов'язано з послідовними дослідженнями експресії нещодавно відкритих генів риб. Оскільки бази даних геномної інформації систематично розвиваються, сучасна здатність редагувати гени та їх експресію стає цілком реальною, тепер як ніколи з CRISPR. Враховуючи величезні та постійно зростаючі геномні бібліотеки, які науковці мають сьогодні щодо вирощуваних видів, і постійні інновації в інструментах CRISPR, щоб надати більше можливостей редагування генів, час реалістичного застосування редагованої CRISPR риби настав [11].

3.1.1. Об'єкти аквакультури отримують найбільшу користь від редагування геномів

Враховуючи широту та глибину застосування CRISPR, можна відредагувати геном більшості видів за допомогою потрібної допоміжної інформації. Тому найкраще було б почати з видів, про які ми вже маємо обширні геномні дані. Власне, це вже почалося. Дослідники з Норвезького інституту морських досліджень успішно відредагували геном атлантичного лосося в 2022 році, щоб отримати стерильний варіант без передчасного дозрівання, яке перешкоджало стерилізації, через спроби триплоїдизації. Ця дослідницька група каже, що вони також вивчають такі сфери, як опірність до хвороб, міцність і метаболізм омега-3 жирних кислот. Окрім сьомги, CRISPR проводить дослідження тілапії, данію та медаки. Усі поточні зусилля CRISPR щодо культивованої риби спрямовані на пом'якшення проблем, з якими стикається галузь, і покращення риби за межі її природних можливостей – починаючи від усунення екологічного впливу риби, що втекла, або збільшення засвоєння омега-3 [11].

3.1.2. Основні бар'єри – етичні, нормативні та практичні – заважають більш широкому застосуванню CRISPR у комерційній аквакультурі.

З можливістю правильного використання CRISPR приходить неминуча можливість використовувати його неправильно. З моменту створення технології дослідники були надзвичайно обережними, намагаючись запобігти ненавмисній шкоді. Генна терапія застосовується до людини лише в тому випадку, якщо можливі результати перевірено на найвищому рівні, і те ж саме має застосовуватися до аквакультури [11].

Немає і ніколи не буде абсолютної гарантії, що технології CRISPR завжди будуть безпечними. Ця незручність відображена в сьогоднішньому законодавстві. Більшість урядів класифікують технологію CRISPR поряд з її класичним попередником редагування генів, і тому мине деякий час, перш ніж CRISPR-відредагована риба почне вирощуватися у відкритих водах.

Просвітницькі кампанії та великі індустріальні рухи вже тривають, щоб законодавчо відкрити двері для CRISPR. Йдеться про те, щоб донести до громадськості масштаб різниці між класичними методами редагування генів і CRISPR.

Практичні перешкоди для комерційного застосування CRISPR в аквакультурі не повинні викликати подиву. Законодавство, фінансування, глобальна співпраця та громадська освіта, ймовірно, є найважливішими перешкодами, які потрібно подолати (рис. 5). [11]

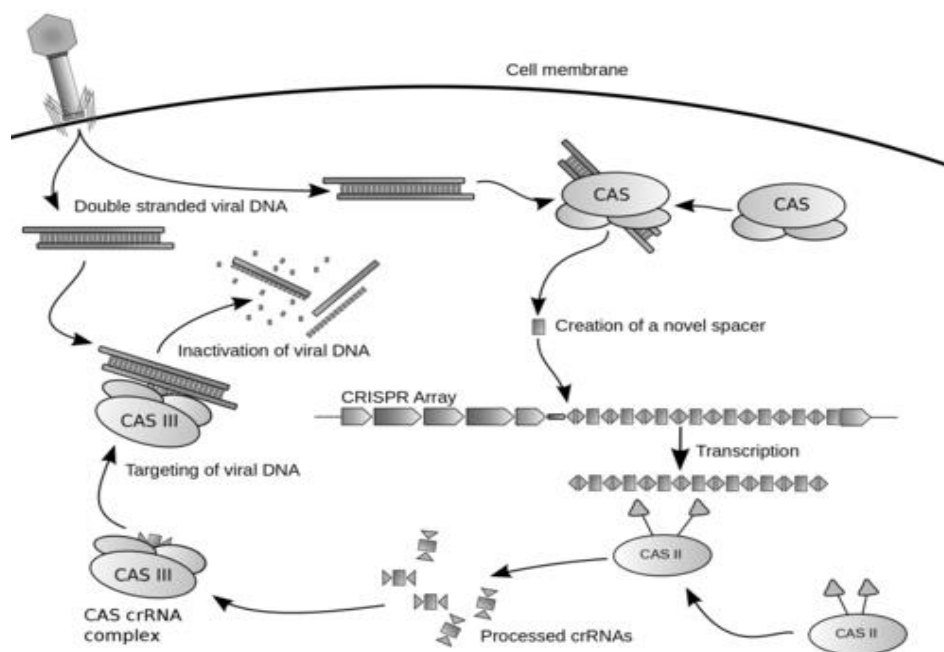


Рисунок 5 – Схема, що ілюструє можливий механізм CRISPR

Джерело: <https://uk.wikipedia.org/wiki/CRISPR>

3.2. Забезпечення стійкості та опірності аквакультури за допомогою інструментів редагування геному риб

Дослідження в Японії показують, що редагування геному може покращити ріст м'язів риби, вирощеної на фермах, що призводить до зменшення витрат корму, а також підвищити опірність до хвороб [12].

Редагування геному може багатьма способами покращити сталість аквакультури, і червоний пагр (*Pagrus major*) у Японії є одним із таких прикладів. Міостатин є негативним регулятором росту м'язів, тому видалення цього гена

або зниження його експресії збільшить м'язову масу, вагу і вихід філе. На сьогодні це було успішно досягнуто шляхом редагування геному червоного пагра, бурого скелезуба та нільської тілапії [12].

У 2021 р. новий вид червоного пагра з'явився на ринках Японії в результаті випробувань Регіонального рибного інституту в Кіото. Це було продовження дослідження, опублікованого в 2018 році, коли вчені з Кіотського та Кіндайського університетів маніпулювали заплідненою ікрою риби, щоб “вибити” ген міостатину, який обмежує ріст м'язів. Завдяки вмісту м'яса приблизно в 1,2–1,6 рази більшому, ніж у звичайного червоного пагра, нова лінія риб може стати величезним поштовхом для фермерів, які зможуть вирощувати більш м'ясистих тварин, використовуючи менше корму.

Ця робота включає технологію редагування геному під назвою CRISPR, яка модифікує гени шляхом вирізання або додавання нових сегментів ДНК. В аквакультурі CRISPR використовується для створення ліній риби з цільовими характеристиками, такими як опірність до хвороб і швидкий ріст [12].

3.3. Подолання парадоксу стерильності

Використовуючи досягнення у редагуванні генів, дослідники з Центру технологій аквакультури (CAT) в Сан-Дієго з'ясували, як не дати культивованій рибі витратити енергію на відтворення, водночас продукуючи потомство.

Якщо говорити про виробництво в термінах одного покоління риб, то ідеальна тварина не буде відтворюватися, матиме одну стать, і ця стать буде різною для різних видів риб. Наприклад, промисловість тилапії віддає перевагу самцям, тоді як виробники лососевих віддають перевагу самицям. Така риба не буде витратити енергію на відтворення, збільшуючи вихід кінцевої продукції. Крім того, такі риби не можуть втекти та спаровуватися з дикими рибами, усуваючи проблеми щодо біозабруднення (біоконтамінації) [13].

Однак ці переваги триватимуть лише покоління, оскільки для подальшого виробництва відтворення необхідно продовжувати. Отже, ідеальна тварина здається неможливою основою для промисловості. «Ми назвали це парадоксом

стерильності», – каже Debbie Plouffe, віце-президент із розвитку генетичного бізнесу CAT [13].

Самиці риб виробляють білок жовтка в печінці, який переміщається через кровотік і змушує ооцити в рибі дозрівати, щоб їх можна було використовувати для відтворення. Вимкнення потрібного гена в гонадах, первинних репродуктивних залозах, запобігає виробленню білка в потомстві риб, що сильно впливає на їхні ооцити.

«Ікринки ніколи не розвиваються. Вони просто залишаються крихітними», – каже Buchanan.

Ці риси, отримані завдяки генній інженерії, передаються у спадок, але вони рецесивні, зазначив Buchanan. У риби має бути дві копії модифікованого гена, по одній від кожного з батьків, щоб експресувати його (отримати експресію гена).

Таким чином, маточне поголів'я складатиметься з риб, які мають ген, але лише в одній копії. Деякі з їхніх нащадків мали б обидва гени, що робило б їх одностатевими, а їхніх нащадків стерильними. Вони підуть у виробничий цикл. Інші риби, з єдиною копією гена стерильності або без неї, дадуть наступне покоління, використовуючи селективне відтворення або інші методи для подальшого вдосконалення лінії.

Оскільки потомство є стерильним, немає жодних шансів втечі у зовнішнє довкілля будь-яких генних модифікацій, зроблених у рамках зусиль щодо покращення аквакультури. Цей запобіжний захід може бути життєво важливим як з нормативних, так і з етичних причин [13].

3.4. Роль селекції у боротьбі з хворобами

Науковці з Сільськогосподарської дослідницької служби (ARS) Мінсільгоспу США (USDA) створили нову породу райдужного пструга (*Oncorhynchus mykiss*), опірну до бактеріального холодноводного захворювання, одного з найнебезпечніших патогенів для північноамериканського форелівництва [14].

Дослідження здійснювалось під керівництвом д-ра Tim'a Leeds'a у Національному центрі холодноводної аквакультури та аквакультури у воді з помірними температурами (the National Center for Cool and Cold Water Aquaculture - NCCCWA) у Leetown, Західна Вірджинія [14].

За допомогою традиційних методів селекції було важко впоратися з хворобою. Розвинути таку рису, як опірність до хвороб, важко. Дослідники з'ясували, що за традиційними методами селекції ця риса успадковується – і це означає, що вони могли б покращити цю рису, відібравши та відтворивши тих, які є найбільш опірними. Але за допомогою геномних технологій команда може точніше ідентифікувати окремих риб, а не лише родини, які є більш опірними, що призводить до більш швидкого покращення ознаки в популяції. Багатство геномної інформації також дозволяє дослідникам краще зрозуміти справжні гени та біологічні механізми, які впливають на опірність до хвороб [14].

3.5 Роль селекції у годівлі

Світовий океан більше не може підтримувати постійно зростаючий попит на рибу. Аквакультура пропонує альтернативний підхід – якщо виробництво є сталим і високоякісним. INRAE, група Aqualande та її селекційна племінна компанія Les Sources de l'Avance разом із Французьким технічним центром птахівництва та аквакультури (SYSAAF) по новому подивились на дані 20-річної програми відтворення райдужного пструга, яку проводила компанія. Вони порівняли потреби в зростанні та харчуванні пструга з цієї програми з потребами популяції пструга, що не була предметом селекційного відтворення. Їхні висновки, опубліковані в Aquaculture reports, показують, що селективно відібраний пструг потребує на 17–20 % менше корму, щоб досягти такого ж росту, як невідібраний [15].

Вони також розробили сталий корм на основі досліджень INRAE, який виготовлявся без риб'ячого жиру, рибного борошна чи сої, щоб обмежити імпорт з-поза меж Європи. Цей корм виготовлявся з інгредієнтів із Франції та Європи, таких як картопляний білок і мікрододорості. Протягом 110 днів пструг з обох

груп отримував цей корм, тоді як інші отримували стандартний комерційний корм, що містить рибне борошно та риб'ячий жир [15].

Результати показують, що пстругові з програми селекційного відтворення потрібно було на 17–20 % менше корму, ніж пстругові без селекції, щоб досягти такого ж росту. Крім того, їхнє філе мало вищий вміст ліпідів, що покращує їхні поживні та смакові характеристики. Незалежно від того, годували пструга з обох груп сталим (інноваційним) або стандартним кормом, він зростав з однаковою швидкістю. Додавання мікроводоростей до сталого корму також покращило поживну якість філе, яке містило стільки ж довголанцюгових жирних кислот Омега-3, скільки філе пструга, якого годували стандартним кормом, тобто тим, що містив риб'ячий жир.

Це дослідження показує, що селекційне відтворення та розробка сталих кормів є двома важливими важелями для зменшення впливу на навколишнє середовище вирощуваної на фермах риби та прискорення переходу до більш сталої аквакультури [15].

4.Розвиток рециркуляційних аквакультурних систем, як інструмент інтенсифікації виробництва

Суворі екологічні обмеження, спрямовані на мінімізацію забруднення від інкубаторів та наземних об'єктів аквакультури в північноєвропейських країнах, стимулювали швидкий технологічний розвиток, інвестиції та інновації в системах рециркуляції в багатьох частинах світу. Загалом, аквакультурне виробництво впливає на навколишнє середовище, але сучасні методи рециркуляції значно зменшують цей вплив порівняно з традиційними способами вирощування риби. Таким чином, системи рециркуляції пропонують дві безпосередні переваги: економічну ефективність і зменшення впливу на навколишнє середовище. Рециркуляція також забезпечує більш високі та стабільні показники виробництва аквакультури з меншою кількістю захворювань і кращими способами контролю параметрів інкубатора, які впливають на ріст риби в системах виробництва аквакультури. Цей розвиток

вітається і повністю відповідає Кодексу поведінки ФАО щодо відповідального рибальства. Цей посібник зосереджується на методах переходу від традиційних методів вирощування до рециркуляційної аквакультури, а також містить поради рибоводам щодо підводних каменів, яких слід уникати на цьому шляху. Ключовими особливостями посібника є те, що він:

- допомагає фермерам перейти до рециркуляційної аквакультури;
- знайомить з технологією та методами управління
- консультує щодо належної практики переходу до рециркуляційної аквакультури;
- описує запуск системи рециркуляції, навчання та підготовку персоналу;
- наводить приклади з різних проектів рециркуляційної аквакультури [27].

З середини XX століття використання рециркуляційних аквакультурних систем (РАС) у промисловому рибництві – найбільш перспективна світова тенденція. При вирощуванні в рециркуляційних системах всі параметри технологічного процесу (кондиціонування води, годівля, контроль тощо) здійснюються за допомогою автоматизованих пристроїв, дія яких може програмуватися, а вплив природних чинників на хід технологічного процесу стає мінімальним. Створення та експлуатація сучасної РАС типу для вирощування цінних видів риби – досить витратні заходи. Тому основним складником успішної в економічному відношенні роботи є використання найбільш цінних видів риби, ціна на кінцеву продукцію яких дозволяє окупити вкладення в будівництво рециркуляційних систем і витрати на її функціонування [1].

Використання РАС (рис. 6) дозволяє інтенсифікувати товарне рибництво в рециркуляційних системах з природною температурою води. У цьому випадку РАС застосовують для одержання в них посадкового матеріалу, що за розмірами перевищує розміри риби, одержаних в умовах природної температури води. При цьому посадковий матеріал отримують не тільки потрібного розміру, але і більш високої якості, оскільки виключаються природні чинники, що негативно впливають на посадковий матеріал. До таких належать коливання температури, коливання концентрації кисню у воді. Крім того, на якість вирощуваного

посадкового матеріалу впливають такі чинники, як концентрація кормових об'єктів, каламутність води, наявність патогенної мікрофлори, освітленість тощо [1].

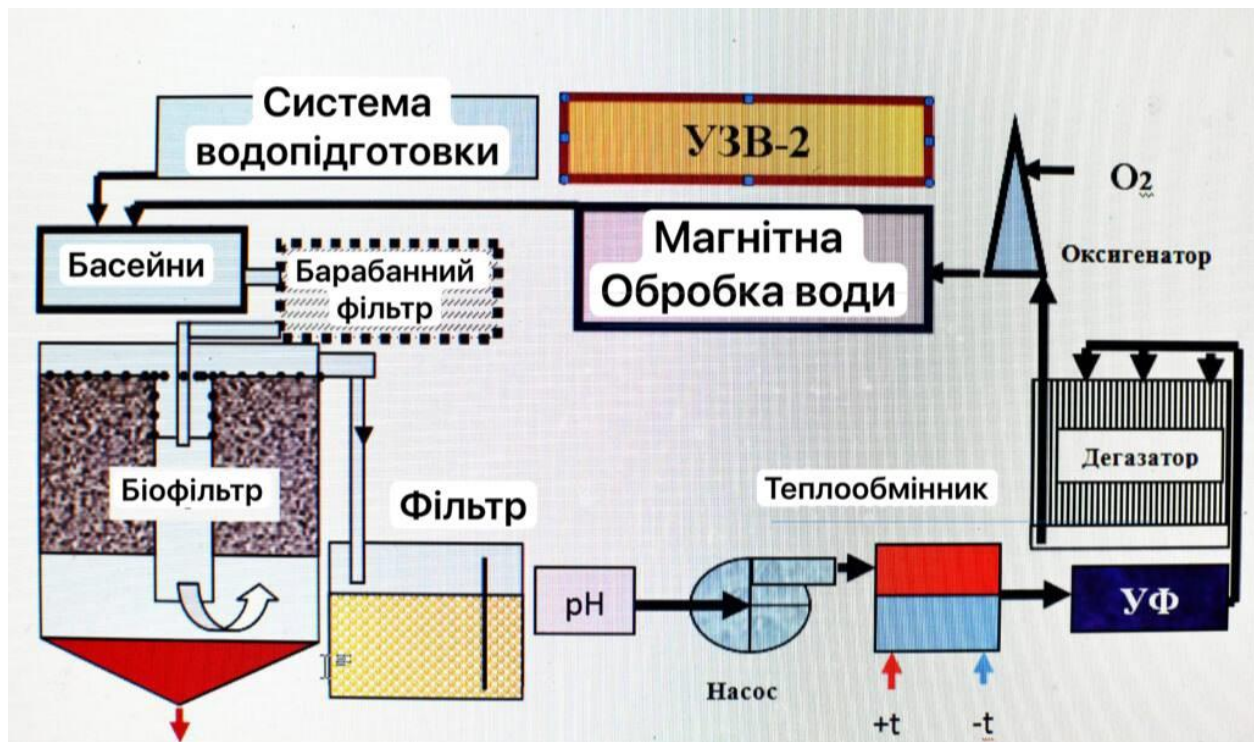


Рисунок 6 – Схема роботи рециркуляційної аквакультурної системи

Джерело: <https://pivden-ryba.com.ua/ru/>

Другим за значущістю чинником інтенсифікації є забезпеченість риби киснем. Потреба риби в кисні зростає з підвищенням температури води, зростанням споживання корму і збільшенням рухової активності. Однак зі зростанням температури концентрація кисню у воді знижується. Так, якщо за температури 5,0°C насичення прісної води киснем становить 12,8 мг O₂/л, то за 35 °C – лише 7,1 мг O₂/л. Таким чином, із зростанням температури збільшується потреба риби в кисні, але знижується можливість його споживання. У рециркуляційних аквакультурних системах, як правило, для насичення води киснем використовується технічний газоподібний кисень, що надходить у воду за допомогою спеціальних приладів – оксигенаторів. Використання такої техніки задовольняє потреби риби в кисні і компенсує споживання його мікрофлорою біологічних фільтрів [1].

4.1. Використання біоцидів в рециркуляційних аквакультурних системах

Біоциди – засоби знищення шкідливих живих організмів. До біоцидів належать речовини, які використовуються для обробки води, захисту деревини, у виробництві фарб і покриттів, харчових продуктів та напоїв, а також косметичних речовин. Однією із провідних галузей використання біоцидів, звісно, є сільське господарство. Тут вони використовуються на великих площах і допомагають зберегти врожай. До біоцидів зараховують багато фунгіцидів, гербіцидів, інсектицидів, акарицидів, нематод та інших груп агрохімікатів. Агенція з захисту довкілля США (EPA) затвердила використання пероцтової кислоти Vigorox Trident компанії Evonik у рециркуляційних системах аквакультури (рис. 7) та ставках [18].

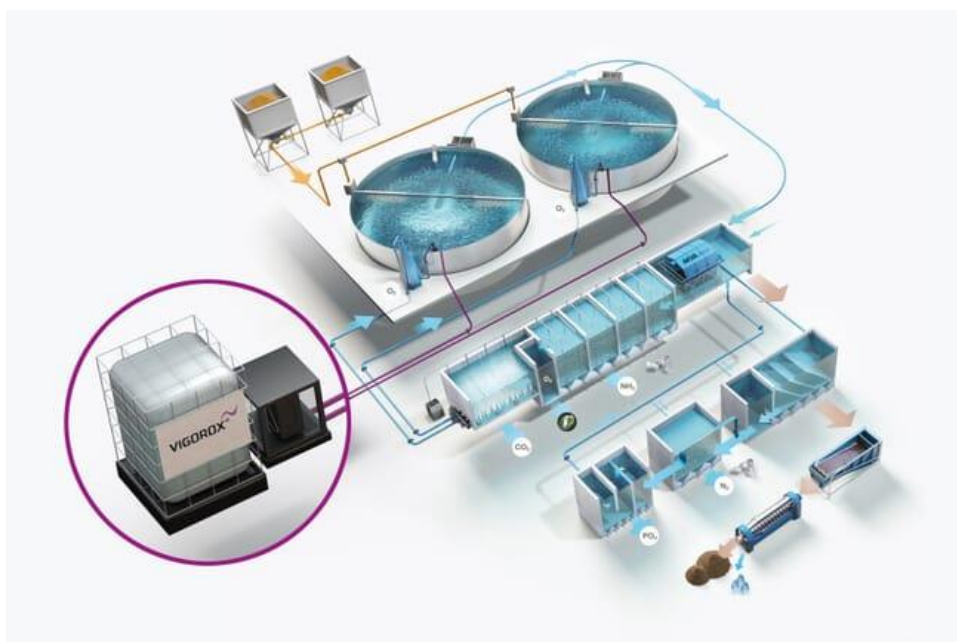


Рисунок 7 – Схема RAS-системи з використанням пероцтової кислоти Vigorox Trident.

Джерело: <https://m.indiamart.com/proddetail/ras-aquaculture-equipment-21098835362.html>

Цей біоцид призначений для зменшення кількості збудників хвороб риб у воді, і, за словами Evonik, його можна застосовувати під час перебування риби у резервуарі, оскільки він розпадається лише на воду, кисень і оцтову кислоту (вона малотоксична для риб). Дослідження компанії показали, що пероцтова

кислота не має помітного (zareєстрованого) впливу на лососевих та подібну рибу в концентраціях нижче 3,5 мг/л.

Підтримання чистоти води є важливим першим кроком у боротьбі з патогенами, наявність яких викликає велике занепокоєння операторів систем РАС [18].

4.2. Технологія нової генерації рециркуляційних аквакультурних системах

Зростаюча кількість технологій культивування об'єктів аквакультури, заснованих на технології РАС або рециркуляційної системи аквакультури, свідчить про те, що вона виявляється надзвичайно вигідною. AquaMaof, лідер у сфері рециркуляційних систем аквакультури, пропонує унікальний міждисциплінарний підхід до виробництва риби в закритих приміщеннях і є лідером у розробці інноваційних технологій систем рециркуляції аквакультури для наземної аквакультури наступного покоління [19].

4.2.1. Переваги рішень AquaMaof для аквакультури у рециркуляційних аквакультурних системах

Рециркуляційні системи для аквакультури AquaMaof пропонують багато передових переваг, у тому числі:

- 100 % рециркульована вода – 100 % зворотної води з резервуарів переробляється через головний фільтрувальний комплекс системи.
- Запатентована технологія та система розчинення кисню – постачання більшої кількості кисню з витратами менших обсягів енергії, при цьому кисень виробляється на місці; відновлення відпрацьованого тепла; і регулювання рівня кисню в кожному резервуарі. Здатність доставляти велику кількість розчиненого кисню під час пікового попиту.
- Мінімальні скидання (викиди) води (MLD) – досягається через впровадження запатентованих технологій повторного використання води.

- Низький коефіцієнт конверсії корму (кормовий коефіцієнт) (FCR) – досягається завдяки оптимізованим режимам годівлі, передовій системі керування кормами та оптимальним умовам рециркуляції води.

- Рибний канал для переміщення риби через воду – економічний, простий і безпечний спосіб переміщення великих об'ємів риби через виробничий ланцюг рециркуляційної системи аквакультури, від зариблення до сортування для ринку.

- Мінімальне обслуговування – розумний відбір і розподіл компонентів системи призводять до створення надійної рециркуляційної аквакультурної системи.

- Автоматизація – системи комп'ютеризації, які використовуються для збору інформації, аналізу, усунення пошкоджень, попередження та управління запасами – вони автоматично надаватимуть важливі дані в режимі реального часу для операторів і керівництва [19].

Технічні заходи, такі як планове технічне обслуговування, збирання врожаю, сортування та підрахунок, контроль розчинених газів, контроль температури тощо, які на об'єктах наступного покоління не передбачатимуть роботи людини, підвищення біозахисту та зменшення помилок людини [21].

Автоматизація та аналіз даних матимуть результатом ключові переваги: підвищення якості, успішна робота набагато більш потужних систем, краще використання умов навколишнього середовища та покращене розуміння складної динаміки між продуктивністю риби та компонентами рециркуляційної системи аквакультури.

- Індивідуальний дизайн – процес оптимізації для конкретного місця розташування системи, при якому кожне обладнання рециркуляційної системи аквакультури на рибному господарстві буде пристосоване до конкретного місця, що призведе до зменшення необхідного простору та оптимізації всіх етапів робочого процесу [19].

- Штучний інтелект – технології з використанням ШІ будуть використовуватись в рециркуляційній аквакультурі вже у найближчому

майбутньому [19] AquaMaof вже готова розвивати ІІІ, за допомогою інтелектуального аналізу даних (майнінгу даних) і аналітики в три етапи:

Етап 1 – головний процесор даних системи рециркуляції аквакультури збирає величезні обсяги інформації, яка буде подаватися в централізовану систему штучного інтелекту для аналізу, щоб генерувати індикатори, на яких можна ґрунтувати майбутні рішення.

Етап 2 – системи рециркуляції аквакультури «навчать» розпізнавати та прогнозувати закономірності, використовуючи методи машинного навчання для виявлення проблемних процесів. Ці знання дозволять системі рециркуляційної аквакультури створювати прогнози та ранні попередження про неминучі проблеми з функціонуванням.

Етап 3 – рециркуляційна система аквакультури стане «незалежною» з певним ступенем контролю, що дозволить їй працювати незалежно або запитувати дозвіл на вирішення виявлених проблем і запобігати проблемам до того, як виникнуть негаразди [19].



Рисунок 8 – Пристрій для моніторингу основних параметрів води (Aquaculturist UZV-Start)

Джерело: <https://mera.nt-rt/price/product/189644>

Моніторинг на основі передових технологій (рис 8). Передові технології будуть використовуватися для моніторингу таких параметрів, як умови води та навколишнього середовища, забезпечуючи точніший контроль усіх відповідних параметрів для системи рециркуляційної аквакультури та для самої риби, що

призведе до зменшення витрат виробництва та покращення якості кінцевого продукту [21].

Покращення процесів функціонування. Майже кожен етап процесу рециркуляційної системи аквакультури буде оновлено та вдосконалено, включаючи годівлю, освітлення та колір, мікробіологічний контроль біомаси, динаміку потоку резервуару та взаємодію біологічних і хімічних процесів у воді. Це підвищить загальну ефективність виробництва рециркуляційної аквакультури та дозволить розширити потужності системи рециркуляційної аквакультури, що призведе до зниження виробничих витрат [20].

5. Світові інновації у аквакультурі

П'ять інновацій в аквакультурі, на які варто звернути увагу: профілактика захворювань, доставка вакцини, заміна рибного борошна, рішення для сталого розвитку (включаючи замкнуте фермерське господарство) та управління ланцюгом поставок.

Профілактика захворювань є критично важливим аспектом аквакультури. Зміна температури океану та якості води робить гідробіонтів більш вразливими до хвороб. Інновацій бракує в профілактиці порівняно з тваринництвом. Фермери, які вирощують тварин, можуть легко використовувати десятки вакцин і профілактичних рішень, тоді як у аквакультури є менший вибір і значні проблеми з доставкою (докладніше про це нижче). Вакцини все ще вводяться вручну, і для багатьох інвазій просто немає хороших профілактичних заходів.

Наприклад, зараження морськими вошами (*Siphonostomatoida*) є поширеним і руйнівним явищем для вирощування лосося. Тоді як мігруючий лосось позбавляється морських вошей, коли досягає прісної води, вирощений в штучних умовах лосось утримується в солоній воді, і паразити в ній розмножуються, що призводить до фізичного пошкодження та подальшого впливу бактеріальних патогенів. Існуючі рішення мають небажані наслідки. Наприклад, перекис водню викликає стрес у лосося. Додавання в корм бензоату, що знищує вошей, залишає токсичні відходи в навколишньому середовищі, і воші стають стійкими до

лікування, що вимагає вищих доз. Занурення в прісну або нагріту воду створюють додатковий стрес. Існує небагато нових методів для вирішення масштабної проблеми морських вошей [22].

Занепокоєння щодо впливу хімікатів на аквакультуру допомогло підштовхнути низку альтернативних методів боротьби з морськими вошами на фермах. Ефективним способом може бути підсадка інших видів риб, які їдять морських вошей, у ємності з лососем. Інші підходи є більш технологічними, наприклад система «Stingray», яка використовує лазер, який виявляє вошей на рибі, фіксує вошу та запускає короткий лазерний імпульс, вбиваючи її без шкоди для риби. Нові конструкції сіткових басейнів, такі як «трубчасті морські садки», які зменшують зараження, утримуючи лосося на менших глибинах, ніж личинки морських вошей, також можуть допомогти запобігти спалахам [23]. Очевидно, що ця сфера, яка потребує ефективних, масштабованих і ефективних інновацій.

Фермерам також потрібні способи запобігання руйнівним вірусам, таким як вірус синдрому білої плями (WSSV), вірус, який має значний негативний вплив на креветок, які вирощуються в неволі. Пробіотики, наприклад, можуть допомогти зміцнити здоров'я креветок і підвищити імунітет. Інтерференція РНК (RNAi) оцінюється кількома визнаними та новими компаніями. Однак у галузі морських вірусів ще належить виконати багато досліджень і роботи, і чим більше буде відомо про способи боротьби з цими вірусами, тим доступнішими будуть ці рішення [22].

Ще одним багатообіцяючим нововведенням у боротьбі з профілактикою захворювань є пероральне введення вакцин, як альтернатива трудомістким ручним ін'єкціям, коли кожному об'єкту індивідуально вводять вакцину. Було досягнуто певного прогресу завдяки впровадженню систем механічного вприскування, але дотримання сталого рівня стресу залишається проблемою. Пероральне введення було б чудовим з точки зору ефективності та простоти використання, і підходить для риб будь-якого віку та розміру (ручна ін'єкція – ні). Це зменшує рівень пошкодження риби, може використовуватися повторно в міру дозрівання риби та може виявитися менш дорогим, водночас знижуючи рівень смертності.

Дослідження методів пероральної вакцинації відкриває двері для вдосконалення – зокрема можливості використання для риб будь-якого розміру та віку. Мікрокапсуляція, коли крихітні частинки або краплі оточені покриттям для створення маленьких капсул, і біокапсуляція, коли ліки вбудовуються в живі організми, а потім згодовуються рибам, є двома прикладами кращих систем вакцинації.

Наприклад, ViAqua Therapeutics є однією з важливих груп, які працюють у сфері мікроінкапсуляції. Вони розробили інкапсульовану частинку RNAi, яка вводиться в корм для ефективного перорального введення та лікування вірусних захворювань. Компанія ViAqua розробила способи обходу бар'єрів у травній системі для більш ефективного лікування РНК. Це лише одна з багатьох інновацій, які мають підірвати простір вакцин для аквакультури.

Більшість кормів значною мірою складаються з рибного борошна та риб'ячого жиру, виготовлених з перероблених частин риби. Ці кормові добавки, багаті поживними речовинами, але надмірний вилов ставить під загрозу запаси. Зважаючи на темпи зростання аквакультури, поставки традиційного рибного борошна навряд чи зможуть відповідати попиту.

Рішенням є використання компонентів рослинного походження – наприклад, концентрати соєвого білка – знаходиться в розробці. Корм з водоростей – ще один цікавий варіант, оскільки це вже природна частина харчового ланцюга для риб. В даний час високоякісний корм з водоростей коштує дорого, але він зміцнює здоров'я і може відзначитись поживними властивостями. Існує низка компаній, які працюють над покращенням годівлі водоростями та підвищенням доступності кормів, зокрема Cargill, Knirbio та MicroSynbiotiX [22].

Іншим цікавим варіантом заміни рибного борошна є корми на основі комах, зокрема цвіркунів, борошняних черв'яків і личинок чорної львинки. Такі компанії, як Ynsect, AgriProtein, Hexafly і nextProtein прагнуть замінити рибне борошно на корми в основі яких комахи і збільшити виробництво.

Стикаючись із загрозами надмірного вилову риби, потепління океану та збільшення токсичних відходів, виробники аквакультури прагнуть підвищити економічну, екологічну та соціальну стабільність. Включення контролю якості води, збереження, ефективне використання рибного борошна та відповідальне ставлення до джерел – усе це частина цього рівняння [22].

РАС, також відоме як системи рециркуляційної аквакультури, поєднує рибництво з іншими техніками аквакультури. Цей полікультурний підхід до вирощування рослин і риб одночасно створює самодостатні екосистеми. Наприклад, ставки, які використовуються для вирощування риби, можуть служити природним джерелом зрошення сільськогосподарських культур і давати осад для багатих поживними речовинами добрив.

Переваги замкнутого циклу включають: менше забруднення, менше споживання природних ресурсів. Наприклад, азотні відходи риби можна використовувати для виробництва високоякісних овочів, трав і рослин, а також додаткових продуктів, що сприятиме значному прибутку. Коаліція рециркуляційних ферм виступає за проект Better Fish Farming, і такі компанії, як Atlantic Sapphire, є піонерами нових рециркуляційних «Bluehouses» для вирощування лосося [24].

Блокчейн – це цифровий запис транзакцій, який є загальнодоступним і невідчужуваним будь-якою окремою організацією. Blockchain вперше зробив собі ім'я в обробці транзакцій цифрової валюти, але є ознаки того, що його можна використовувати для обміну інформацією про походження риби, її історію, урожай, обробку та доставку, створюючи прозоре та перевірене походження кожного окремого продукту аквакультури [25].

Такі компанії, як Fishcoin, розширюють межі блокчейну, щоб вирішити проблему фрагментації ланцюга постачання морепродуктів. Якщо блокчейн стане всеосяжним, це може змінити всю інфраструктуру ланцюга постачання рибальства, додавши прозорості та підзвітності, необхідних для сталої практики [22].

Висновки

Сучасні методи інтенсифікації в аквакультурі відіграють важливу роль у забезпеченні сталого розвитку галузі, забезпечуючи високу продуктивність при мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. На основі аналізу сучасних досліджень і практичних досягнень можна зробити кілька важливих висновків.

- Використання новітніх технологій – сучасні методи інтенсифікації включають в себе застосування новітніх технологій у галузі генетики, харчової технології, систем водопостачання та очищення води, а також автоматизації процесів. Використання сучасних систем моніторингу і управління дозволяє підтримувати оптимальні умови у вирощувальних об'єктах.

- Оптимізація умов утримання – інтенсифікація включає в себе оптимізацію умов утримання риб та інших водних організмів. Це передбачає вдосконалення систем аерації, контроль параметрів води (температура, рН, концентрація кисню тощо), а також розробку спеціалізованих кормів.

- Використання інтегрованих систем – інтегровані системи вирощування, такі як аквапоніка, дозволяють ефективно використовувати ресурси. У цих системах риби взаємодіють з рослинами, а воду, збагачену поживними речовинами, використовують для вирощування рослин. Це сприяє ефективнішому використанню ресурсів і зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

- Зменшення використання антибіотиків – сучасні підходи в аквакультурі спрямовані на зменшення використання антибіотиків та хімічних засобів. Розробка стійких штамів риб, покращені умови утримання та вживання профілактичних заходів дозволяють знижувати ризик захворювань та необхідність використання хімічних препаратів.

- Забезпечення сталості екосистем – збалансований підхід до інтенсифікації враховує не лише економічні аспекти, а й збереження біорізноманіття та

екологічну сталість. Врахування цих аспектів сприяє сталому розвитку аквакультури та збереженню морських та прісноводних екосистем.

Загалом, сучасні методи інтенсифікації в аквакультурі відкривають нові можливості для підвищення продуктивності галузі, забезпечуючи при цьому ефективне використання ресурсів і збереження навколишнього середовища. Важливо продовжувати дослідження та впровадження інновацій з метою постійного вдосконалення практик аквакультури для забезпечення сталого та вигідного розвитку галузі.

Список використаної літератури

1. Використання установки замкнутого водопостачання при інтенсифікації виробництва рибопродукції / [Р. В. Кононенко]: Рибогосподарська наука України, Випуск № 2/2013 (24), 56–65.
2. Європейська обсерваторія ринків продукції рибальства та рибництва - MONTHLY HIGHLIGHTS NO.7/2022. Тематичне дослідження: Вартість витратних матеріалів для цінових ланцюгів на сировину для рибальства та рибництва (с. 36–43).
3. Інтенсивні технології в аквакультури: навч. посіб. / [Р. В. Кононенко, П. Г. Шевченко, В. М. Кондратюк, І. С. Кононенко]. – К. : «Центр учбової літератури», 2016. – 410 с.
4. LASZLO VARADI¹, EMESE BEKEFI² TAMAS BARDOCZ³ (Aquaculture Europe • Vol. 48(1) March 2023, pp. 16–26).
5. Fermenting fish byproducts and citrus peels for use in aquafeeds [Електронний ресурс] URL: <https://www.globalseafood.org/advocate/fermenting-fish-byproducts-and-citrus-peels-for-use-in-aquafeeds>.
6. Experts argue need for GM crops in aqua-feed sector [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/experts-argue-need-for-gm-crops-in-aqua-feed-sector>.
7. Satavie wins \$100,000 prize for new approach to soy meal processing [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/satavie-wins-100-000-prize-for-new-approach-to-soy-meal-processing>.
8. Upcycling food system byproducts in livestock and aquaculture feeds [Електронний ресурс] URL: <https://www.globalseafood.org/advocate/upcycling-food-system-byproducts-in-livestock-and-aquaculture-feeds>.
9. BioMar signs deal with French biotech company to produce novel insect aquafeed [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/biomar-signs-with-french-biotech-company-to-produce-novel-insect-aquafeed>.

10. Nofima tests new insect feed formulation [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/nofima-tests-new-insect-feed-formulation>.
11. Why James Sibley is backing CRISPR's impact on aquaculture [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/faces-of-the-future-james-sibley-northeastern-university>.
12. With tools like CRISPR, can genome editing deliver more resilience for aquaculture? [Електронний ресурс] URL: <https://www.globalseafood.org/advocate/with-tools-like-crispr-can-genome-editing-deliver-more-resilience-for-aquaculture/>.
13. Overcoming the ‘sterility paradox’: How new gene editing technology can solve it and benefit aquaculture [Електронний ресурс] URL: <https://www.globalseafood.org/advocate/overcoming-the-sterility-paradox-how-new-gene-editing-technology-can-solve-it-and-benefit-aquaculture>.
14. Genomics helps to tackle bacterial cold-water disease in rainbow trout [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/genomics-helps-to-tackle-bacterial-cold-water-disease-in-rainbow-trout>.
15. The link between trout genetics and sustainability [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/the-link-between-trout-genetics-and-sustainability>.
16. An insider’s view of advances in aquaculture nutrition [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>.
17. Застосування підходів циркулярної економіки для трансформації майбутнього морської аквакультури [Електронний ресурс] URL: <https://www.globalseafood.org/advocate/a-circular-economy-approach-to-transform-the-future-of-marine-aquaculture>.
18. EPA approves use of peracetic acid in recirculating aquaculture systems [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/epa-approves-use-of-peracetic-acid-in-recirculating-aquaculture-systems>.

19. Next Generation Recirculating Aquaculture System (RAS) Technology [Електронний ресурс] URL: <https://www.aquamaof.com/ras-blog-post/recirculating-aquaculture-system>.
20. [Електронний ресурс] URL: <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>.
21. Рекомендації з виробництва в рециркуляційних аквакультурних системах [Електронний ресурс] URL: https://darg.gov.ua/files/11/03_15_ras.pdf.
22. 5 інновацій в аквакультурі, на які варто звернути увагу [Електронний ресурс] URL: <https://www.forbes.com/sites/michaelhelmstetter/2019/05/29/5-innovations-in-aquaculture-worth-catching-on-to-now/?sh=233b29f0431f>.
23. Cute, Colourful And Not That Tasty – But The Cleaner Fish Could Save Salmon Farmers Millions [Електронний ресурс] URL: <https://www.iflscience.com/cute-colourful-and-not-tasty-cleaner-fish-could-save-salmon-farmers-millions-28469>.
24. Future Trends and Innovations in RAS: Revolutionizing Sustainable Aquaculture [Електронний ресурс] URL: <https://www.btl liners.com/future-trends-and-innovations-in-ras-revolutionizing-sustainable-aquaculture>.
25. 7 top digital farming innovations impacting aquaculture [Електронний ресурс] URL: <https://www.alltech.com/blog/7-top-digital-farming-innovations-impacting-aquaculture>.
26. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 [Електронний ресурс] URL: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=cc0461en>.
27. A guide to recirculation aquaculture 2022 [Електронний ресурс] URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2390en>.