



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Модуль 5. Вплив глобального потепління на захворювання у водному господарстві та заходи захисту

Гражина Жибене, д-р доц.

Альвідас Жибас, керівник Центру аквакультури

Університет Вітаутаса Магнуса

1. Вступ до глобального потепління та здоров'я аквакультури

Зміна клімату триває і впливає на водне середовище (прісноводні, морські або солонуваті екосистеми) шляхом підвищення температури води, зміни рівня води та режиму течії, евтрофікації, підкислення, зміни навантаження поживними речовинами, збільшення проникнення ультрафіолетового (УФ) світла, зменшення ареалу проживання та деградації, а також збільшення теплового стресу та поширення видів.

Зміни у водному середовищі, такі як температура, солоність і хронічний стрес через низький рівень розчиненого кисню, впливають на слизові бар'єри, епітелій, імунні клітини і внутрішнє середовище (тобто рідини, клітини, тканини і органи) водних організмів і всередині них. Це призводить до зниження імунокомпетентності водних організмів, поганого росту та зниження репродуктивних показників. Зміна клімату, що включає глобальне потепління, також може негативно впливати на енергетичні запаси риб, сприяючи посиленню окислювального стресу та зниженню термостійкості (Woo, P. T., & Iwama, G. K., 2019).

Підраховано, що для того, щоб людство могло підтримувати споживання морепродуктів на поточному рівні, аквакультура повинна виробляти понад 80 мільйонів тонн (т) до 2030 року, щоб зберегти поточний рівень споживання на душу населення. Таким чином, менш ніж за півтора десятиліття аквакультура повинна буде виробляти додатково 30 млн т морепродуктів. Для цього, ймовірно, не вистачить землі або придатних морських акваторій, щоб це відбулося без масштабних порушень численних екосистем. Однак близько 40% всієї продукції аквакультури втрачається через хвороби, як це визначено нижче. Отже, просто усунувши або обмеживши вплив хвороб, людство могло б майже повністю задовольнити потреби в морепродуктах, не змінюючи жодних практик землекористування (Lucas et al. (2019)).

Прогнозується, що до 2030 року середня глобальна температура повітря підвищиться на 0,5-1,5°C, і очікується, що вплив цього підвищення перевищить глобальне підвищення температури на 1-2°C. Температура світового океану у верхніх 100 м зросте на 0,6-2,0°C до 2100 року. Теплове розширення океанічної води, що нагрівається, і танення льодовикових щитів і льодовиків з великою ймовірністю призведе до підвищення середнього рівня світового



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

океану на 10-35 см до 2050 року. Зміна клімату також призвела до збільшення частоти екстремальних погодних явищ, таких як шторми та посухи. До 2050 року збитки від екстремальних погодних умов можуть сягнути 1% світового ВВП на рік. Близько 20-35% викидів CO₂ поглинаються океанами, що призводить до закислення океану.

Глобальне потепління збільшує поширеність та інтенсивність захворювань. Підвищення температури води може збільшити швидкість росту і розмноження патогенів, що призводить до більш частих і важких спалахів захворювань в аквакультурі. Вищі температури води прискорюють життєві цикли багатьох водних патогенів, збільшуючи їх поширеність і вірулентність. Бактерії, віруси та паразити можуть стати більш агресивними або розвинути стійкість до лікування. Багато видів аквакультури мають вузький діапазон температурної толерантності. Підвищена температура може послабити їхню імунну систему, роблячи їх більш вразливими до інфекцій та хвороб. Тепліші води можуть дозволити тропічним і субтропічним патогенам розширити свій ареал, наражаючи види аквакультури в помірних регіонах на нові хвороби.

Зміна клімату загрожує унікальним і вразливим екосистемам, таким як коралові рифи. У наземних і прісноводних екосистемах зміна клімату призводить до втрати біорізноманіття та посилення колонізації інвазивними видами. Сукупний вплив підвищення рівня моря, берегової ерозії, забруднення та підкислення океану загрожує прибережним екосистемам (Lucas et al. (2019)).

Наслідки зміни клімату для аквакультури в майбутньому є глибокими. Оскільки зміна клімату призводить до збільшення частоти посух та екстремальних погодних умов, можна очікувати перебоїв у ставковому виробництві. Крім того, зниження врожайності сільськогосподарських культур і збільшення попиту, пов'язане зі зростанням населення та економічним зростанням, призведе до дефіциту і підвищення цін на товарні культури, що використовуються для виробництва кормів для аквакультури. Підвищення рівня моря та екстремальні погодні умови підвищать вразливість аквакультури в прибережній зоні, включаючи прибережні креветочні та рибні ставки, плоти для молюсків та рибні садки, особливо в Азії з розвиненою інфраструктурою аквакультури.

Підкислення океану поставить під сумнів стійкість прибережної аквакультури двостулкових молюсків. Глобальна зміна клімату, ймовірно, посилить вразливість аквакультури до захворювань (Lucas et al. (2019)).

Підвищення рівня CO₂ призводить до закислення океану, що впливає на організми, які кальцифікують, такі як молюски та корали. Кислі умови послаблюють їхні мушлі та скелети, роблячи їх більш вразливими до хвороб та екологічного стресу. Підкислення може змінити склад і стан водних екосистем, потенційно впливаючи на види, які залежать від цих середовищ існування, в тому числі на ті, що вирощуються в системах аквакультури.

Глобальне потепління може спричинити зміни солоності через зміну структури опадів та збільшення стоку прісної води. Аквакультурні види можуть відчувати осмотичний стрес, що призводить до підвищеної сприйнятливості до хвороб і уповільнення росту. Коливання



солоності можуть впливати на поширеність певних патогенів і хвороб, що вимагає коригування методів управління.

Через глобальне потепління збільшення стоку поживних речовин з сільськогосподарських та міських територій може призвести до евтрофікації, що спричиняє цвітіння водоростей та гіпоксичні умови. Ці зміни погіршують якість води і створюють середовище, сприятливе для спалахів захворювань.

Глобальне потепління може спричинити шкідливе цвітіння водоростей (ВЦВ). Деякі водорості виробляють токсини, які можуть безпосередньо шкодити видам аквакультури або створювати умови, сприятливі для патогенних організмів.

Екстремальні погодні явища, такі як шторми та повені, можуть завдати фізичної шкоди інфраструктурі аквакультури та призвести до раптових змін якості води. Ці стресові фактори можуть послабити здоров'я водних видів і підвищити їхню вразливість до хвороб.

Глобальне потепління може змінити розподіл і різноманітність водних патогенів. Нові або раніше рідкісні патогени можуть стати більш поширеними, створюючи нові виклики для управління хворобами в аквакультурі.

Інші наслідки зміни клімату, такі як гіпоксія, підкислення та зміна солоності, можуть посилити стрес і ще більше погіршити імунну функцію.

Глобальне потепління може змінити життєві цикли і взаємодію між хазяїнами і паразитами, що потенційно може призвести до появи нових переносників хвороб і шляхів їх передачі. Аквакультура повинна адаптуватися до мінливого ландшафту патогенів, впроваджуючи оновлені стратегії моніторингу та управління хворобами.

1. Поширені хвороби в аквакультурі та їх вплив на водні види

1.1. Вступ до хвороб в аквакультурі

Хвороба - це реакція організму на несприятливі фактори зовнішнього середовища. В результаті порушується нормальне функціонування організму і знижується здатність до адаптації. Водночас мобілізуються захисні функції організму.

Хвороби характеризуються певними клінічними явищами, симптомами, відповідними ушкодженнями структури тканин організму та розладами їх функцій.

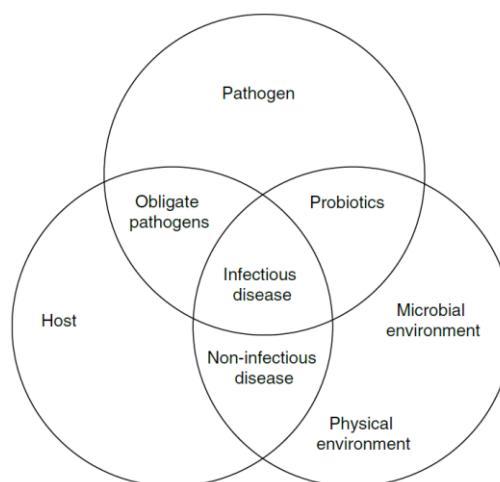
Три кільця Снейжка, діаграма Венна взаємодії між хазяїном (об'єктом аквакультури), патогеном та навколишнім середовищем (рис. 1) ілюструє той факт, що для виникнення більшості інфекційних захворювань необхідна тристороння взаємодія, яка потребує всіх компонентів:

- збудник
- хазяїн
- навколишнє середовище.



Неінфекційні захворювання - це взаємодія лише між хазяїном і середовищем. Зона перекриття між патогеном і хазяїном - це облигатні патогени: найбільш загрозлива група, оскільки їм не потрібен стрес навколишнього середовища, щоб викликати клінічне захворювання (Lucas et al., 2019).

Рисунок 1. Модифікована трикутцева модель Снейзко, що відображає взаємодію між хазяїном, патогеном і навколишнім середовищем (Lucas et al., 2019)igu



1.2 Поведінкові та фізичні відхилення. Аномальна поведінка часто є першою ознакою наближення проблеми зі здоров'ям риби. Фахівці повинні бути знайомі з нормальною поведінкою та зовнішнім виглядом риб певного виду. Необхідно ретельно спостерігати за всіма проявами поведінки, включаючи харчування і плавання, а також реакцію на різкі рухи. Рибовод повинен навчитися розрізняти нюанси в поведінці. Здорова риба демонструє «нормальну» поведінку. У таблиці 1 перераховані відхилення від норми, які можуть спостерігатися у хворих риб. Ці ознаки допоможуть діагностувати причину проблеми (Timmons & Ebeling, 2013).

Таблиця 1. Поведінкові та фізичні ознаки стресу та хвороби риб (Timmons & Ebeling, 2013)

Поведінка риби	Ознаки для спостереження
Рухи	Слабке, нестабільне або мляве плавання Підвищена або знижена реакція на зовнішні подразники, такі як шум або рух Дряпання, блимання або тертя об стінки або дно резервуара Стінки або дно Смикання, кидки, обертання або вистрибування з води Скупчення людей біля джерела водопостачання Плавання догори ногами Задишка біля поверхні води
Годування	Не годувати Зменшене годування

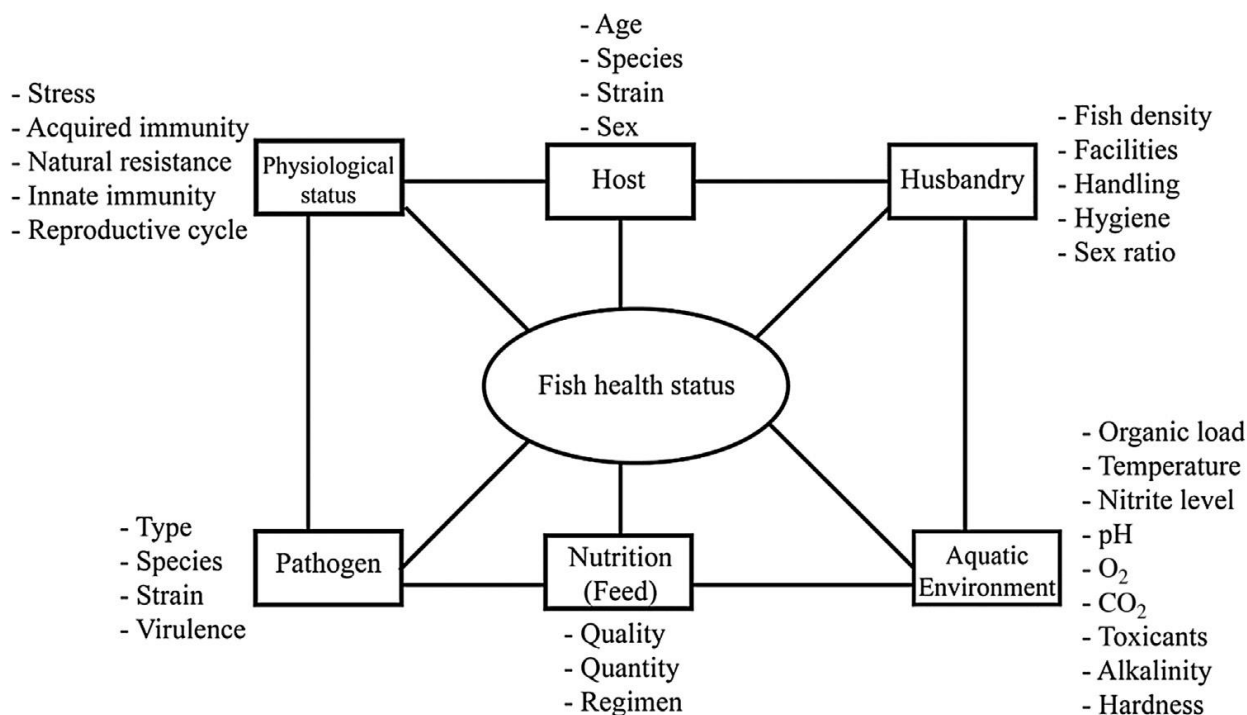


	(визначається за кривими росту та спостереженнями)
Дихання	Зменшення швидкості рухів в окологрудинному просторі Підвищена швидкість рухів в окологрудинному просторі
Фізичний стан	Видимі пошкодження або виразки Каламутні очі Вирячені очі Зябра набряклі, білі, рожеві або блідо-червоні, ерозовані, набряклі, криваві, коричневі Втрата луски Роздутий живіт Надлишок слизу на шкірі та/або зябрах (також перевірте, чи немає надлишку слизу на екранах акваріума) Плями або грибок на шкірі Незвичайні забарвлення на поверхні тіла, в тому числі червоні набряклі ділянки, сірі або жовті ураження Роздуті оперкули (зяброві кришки) Потерті плавники або хвіст Бульбашки в очах або на шкірі

Риба, яку вирощують в системах аквакультури, стикається з різними типами стресів, які можна умовно поділити на абіотичні та біотичні. Вплив абіотичних стресорів на вирощуваних риб дуже важко оцінити (Рис. 2). Деякі з біотичних факторів можна легко контролювати, і обережне маніпулювання певними біотичними факторами може успішно запобігти або, принаймні, мінімізувати втрати від хвороб в аквакультурі (Jeney, 2017).



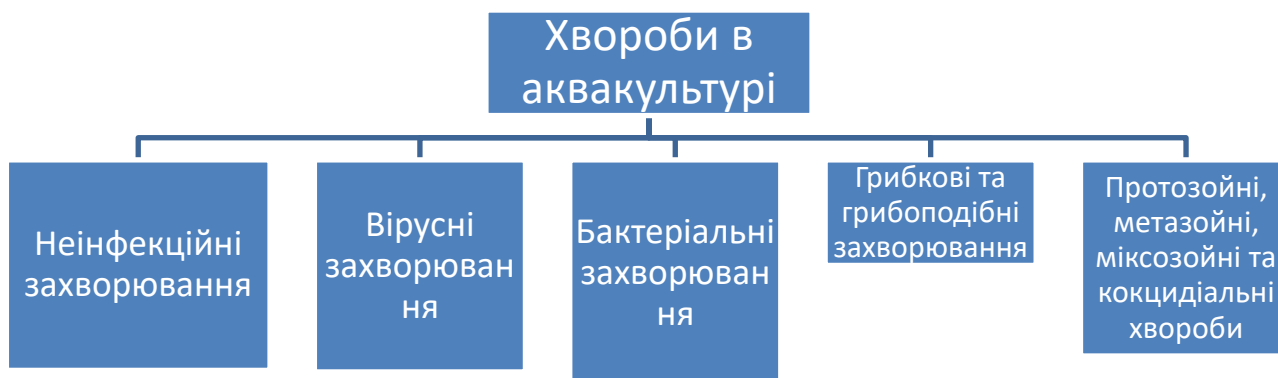
Figure 2. Factors affecting the health status of fish (Jeney, 2017)



1.2. Класифікація хвороб в аквакультурі

Хвороби в аквакультурі можна розділити на кілька груп: неінфекційні хвороби, вірусні хвороби, бактеріальні хвороби, хвороби, спричинені грибами та грибоподібними організмами, і хвороби, спричинені паразитами (найпростіші, метазоа, міксоzoа, кокцидії тощо) (Рисунок 3).

Рисунок 3. Класифікація хвороб в аквакультурі





Детальну інформацію про хвороби, етіологію, симптоми, фактори ризику, лікування та профілактику можна знайти, наприклад, у спеціалізованих джерелах, книгах, базах даних:

- Клінічне керівництво з рибної медицини. (2021). В електронних книгах Wiley;
- Noga, E. J. (2010). Хвороби риб: діагностика та лікування. John Wiley & Sons.
- <http://afs-fhs.org/bluebook/bluebook-index.php> Розділ «Здоров'я риб» СИНЯ КНИГА 2014 року видання. Запропоновані процедури для виявлення та ідентифікації певних патогенних мікроорганізмів пелагічних риб та молюсків.
- <http://www.thefishsite.com/diseaseinfo/>
- https://www.dnr.state.mn.us/fish_diseases/index.html .

Приклади поширених зовнішніх або внутрішніх уражень, що вказують на захворювання у вирощуваної риби, наведені на рисунках 4 і 5.

1.3. Неінфекційні захворювання

Неінфекційні захворювання пов'язані з якістю води (низький вміст розчиненого кисню, перенасичення газами, баротравми, температурний стрес, стрес рН та токсичність аміаку, нітритів, нітратів, хлору, важких металів, сірководню, пестицидів тощо) або іншими причинами.) або інших причин (травми, екстенсивна міопатія, депігментація бічних ліній, гіперплазія щитовидної залози, кісти мукометри та яєчників, затримка або зв'язування ікри, дистопія, катаракта, ліпідна кератопатія, дефіцит мікроелементів, сторонні тіла шлунково-кишкового тракту та новоутворення (Клінічний посібник з рибної медицини, 2021).

1.4. Вірусні захворювання

Most of the common known viral pathogens of fish are from three families:

- *Herpesviridae*, *Rhabdoviridae*, and *Iridoviridae*.

The following fish viral diseases are most dangerous and reportable to the OIE (World Organisation for Animal Health), regional and national organizations, responsible for animal diseases (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021):

- koi herpes virus
- viral hemorrhagic septicemia
- infectious hematopoietic necrosis
- spring viremia of carp
- epizootic hematopoietic necrosis
- red seabream iridovirus
- infectious salmon anemia
- salmonid alphavirus.











Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Рисунок 4. Приклади поширених зовнішніх уражень, що вказують на захворювання у вирощеної риби (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Multifocal to coalescing hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection, or heavy external parasitism
	Diffuse hemorrhages, along with a hemorrhagic vent, suggestive of a systemic subacute viral and/or bacterial infection
	Furuncle suggestive of infection with <i>Aeromonas salmonicida</i>
	Deep hemorrhagic ulcer suggestive of bacterial infection
	Fin erosion and deep ulcer on the caudal peduncle suggestive of flavobacterial infection
	Exophthalmia with an ocular hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection
	Severely pale gills suggestive of anemia, possibly induced by viral or bacterial infection
	Gills showing extensive tissue loss suggestive of flavobacterial infection and some viral infections (e.g., Koi herpesvirus)



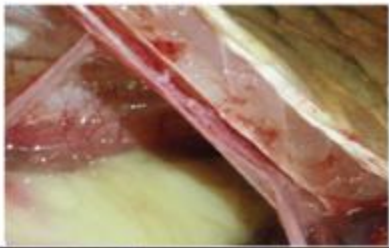
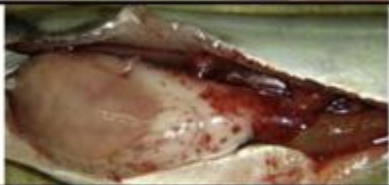




Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]™

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Рисунок 5. Приклади поширених внутрішніх уражень, що вказують на захворювання у вирощеної риби (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Presence of fluids in the abdominal cavity suggestive of a systemic bacterial and/or viral disease
	Hemorrhage in visceral fat suggestive of nutritional deficiency or systemic viral/bacterial disease
	Multiple whitish nodules in the liver suggestive of granulomatous diseases, such as mycobacteriosis, bacterial kidney disease, or piscirickettsiosis. The same lesions can be caused by encysted metacercariae or larval trematodes
	Hemorrhagic inflammation of the intestine suggestive of toxicosis or enteric redmouth disease caused by <i>Yersinia ruckeri</i>
	Hemorrhages in the swimbladder suggestive of systemic viral and/or bacterial disease
	Whitish nodules in the kidney parenchyma suggestive of bacterial kidney disease



1.5. Бактеріальні захворювання

Більшість бактеріальних захворювань риб викликаються умовно-патогенними грамнегативними паличками (паличками).

Повідомляється про деякі значні грампозитивні бактеріальні інфекції (наприклад, *Streptococcus* і *Renibacterium* spp.; *Mycobacterium* spp. також можуть забарвлюватися за Грамом).

Захворюваність і смертність часто є вторинними по відношенню до стресових факторів. Найбільш поширені системні інфекції, хоча можуть спостерігатися і місцеві інфекції. Клінічні ознаки часто неспецифічні, і для остаточного діагнозу потрібні додаткові дослідження. Лікування антибіотиками повинно базуватися на результатах посіву та чутливості.

(Клінічний посібник з рибної медицини, 2021)

1.6. Грибкові та грибково-подібні захворювання

Риби сприйнятливі до різноманітних грибкових та грибкоподібних захворювань. Найпоширенішими грибковими патогенами є ооміцети, екзофіалі, фузарії, мікроспорида та мезоміцети.

- Оомікота (сапролегніоз)
- Оомікоти, широко відомі як ооміцети або водні плісняви, - це грибкоподібні організми, які можуть вражати шкіру або зябра риб, риб'ячу ікру та будь-які речовини, що гниють.
- Вони є поширеними умовно-патогенними мікроорганізмами прісноводних і солонуватих риб і становлять особливу проблему для сомів в аквакультурі.
- Зараження часто є вторинним внаслідок травми або температурного стресу.
- Типові ооміцети піддаються лікуванню за допомогою медичних та господарських заходів, хоча рецидиви є поширеним явищем.
- Атипові ооміцети є більш інвазивними і призводять до важкого хронічного запалення.
- *Aphanomyces invadans* - атиповий ооміцет, який може викликати сезонні епізоотії у диких і вирощуваних прісноводних і солонуватих риб.

1.7. Протозойні, метазойні, міксозойні та кокцидіальні хвороби

Ichthyophthirius multifiliis - війчастий найпростіший ектопаразит, який вражає шкіру та зябра прісноводних кісткових риб. Захворювання часто називають прісноводним іхтіозом або білою плямистістю.

Метазоа - багатоклітинні еукаріотичні організми. Моногенії - плоскі черви (сисуни), які є поширеними ектопаразитами риб. Капсаліди - великі, овальні, яйцеживородні моногенії. Вони вражають шкіру, очі та зябра морських риб. П'явки - гематофаги, метазойні паразити. Їх часто можна побачити на шкірі, плавниках.



Міксозоїди є поширеними паразитами дикорослих риб та ставкової аквакультури. Більшість цих паразитів мають непрямий життєвий цикл, зазвичай за участю олігохети, поліхети або моховатки.

1.8. Основні хвороби молюсків, ракоподібних

У всьому світі найпростіші паразити є найбільш значною причиною збитків для індустрії двостулкових молюсків. Це переважання найпростіших паразитів відображено в довіднику хвороб для фермерів, які вирощують молюсків (Elston, 1990). З 11 «найпоширеніших хвороб устриць», описаних у цьому довіднику, сім викликаються найпростішими:

- *Perkinsus marina*;
- *Haplosporidium nelsoni*;
- *Haplosporidium costalis*;
- *Bonamia mackini*;
- *Bonamia ostrea*;
- *Marteilia refringens*; і
- *Hexamita nelsoni*.

Хвороби молюсків викликають не лише найпростіші, але й віруси та бактерії. Віруси спричиняють смертність в інкубаторах і значні проблеми з вирощуванням морських креветок. Найбільш руйнівним вірусом, відомим на сьогоднішній день, є вірус синдрому білої плямистості (WSSV) (Lucas et al. (2019)).

1.9. Поширення патогенів в аквакультурі

Поширення патогенних мікроорганізмів залежить від щільності популяції, а отже, на нього впливають норми зариблення. Існує така залежність: чим більша щільність, тим менша відстань між сусідами. Це призводить до більшої ймовірності того, що патогени перетинають відстань між хазяїнами у життєздатному стані.

Нерухомі патогени, такі як віруси, нерухомі бактерії, спороносні гриби та яйця паразитів, в основному підпорядковуються законам дифузії, і тому в умовах стоячої води навколо інфікованої особи буде формуватися градієнт концентрації патогенів.

Інші патогени, такі як бактерії, зооспори грибів, найпростіші та метазої, як правило, мають активну, але різну здатність до розсіювання. Зі збільшенням відстані все менше патогенів зможуть досягти сприйнятливих хазяїв, щоб створити або продовжити епідемію (спалах) хвороби. Оскільки в навколишньому середовищі відбувається природне вимирання патогенів, якщо патоген не потрапляє до сприйнятливого хазяїна протягом певного періоду часу, ймовірність виникнення нової інфекції майже дорівнює нулю (Lucas et al. (2019)).

Заселяючи водойми монокультурами, аквакультура виключає як хижаків, так і конкурентів виду, що вирощується. Виключається також велика кількість об'єктів здобичі вирощуваних видів. Виключення тварин-сусідів призводить до виключення проміжних та остаточних хазяїв з екосистеми аквакультури. Це ефективно перериває життєвий цикл багатьох гельмінтів, що мають багато хазяїв (наприклад, дигеней та цестод), які, відповідно, відіграють меншу роль у виникненні захворювань в аквакультурі, ніж



у диких популяціях. Морські вольєри набагато менш ефективні в розриві цих життєвих циклів, ніж ставки або системи рециркуляції (Lucas et al. (2019)).

Глобальне потепління може змінити розподіл і поширеність патогенів, змінюючи умови навколишнього середовища і порушуючи екосистеми. Можуть з'явитися нові патогени або раніше рідкісні патогени можуть стати більш поширеними. Види аквакультури можуть зіткнутися з новими або більш агресивними патогенами, до яких вони не пристосовані, що збільшує ризик спалахів хвороб і ускладнює зусилля з управління.

1.10. Методи лікування хвороб риб

Різні методи лікування та застосування препаратів контролюють хвороби риб, як описано в (Parker, R. (2011)).

Занурення. У методі занурення використовується міцний розчин хімікату протягом відносно короткого часу. Цей метод може бути небезпечним, оскільки використовуються концентровані розчини. Різниця між ефективною дозою і смертельною зазвичай дуже незначна. Рибу зазвичай поміщають у сітку і занурюють у міцний розчин хімікату на короткий час, зазвичай від 15 до 45 секунд, залежно від типу хімікату, концентрації та виду риби, яку обробляють.

Промивання. Цей метод досить простий і полягає в додаванні базового розчину хімікату у верхній кінець пристрою, що підлягає обробці, після чого він промивається через пристрій. Необхідно забезпечити достатній потік води, щоб хімікат можна було промити через пристрій або систему за короткий час. Цей метод не можна використовувати у водоймах.

Пролонгований. Існує два типи пролонгованої обробки: короткочасна, або ванна, обробка та невизначена пролонгована обробка.

Ванна. Необхідну кількість хімікату або препарату додають безпосередньо в блок вирощування або утримання і залишають на певний час, зазвичай на одну годину. Потім хімікат або препарат швидко змивають свіжою водою. Щоб запобігти серйозним втратам, необхідно дотримуватися кількох запобіжних заходів. Хоча рекомендується, щоб час обробки становив одну годину, за рибою слід спостерігати протягом усього періоду лікування. При перших ознаках неблагополуччя швидко підливають свіжу воду. Використання цього методу вимагає особливої обережності, щоб забезпечити рівномірний розподіл хімікату по всьому об'єму акваріума і запобігти утворенню гарячих плям хімікату.

Невизначений. Зазвичай цей метод використовується для обробки водойм або цистерн. Застосовується низька концентрація хімікату, який розсіюється природним шляхом. Це, як правило, один з найбезпечніших методів очищення. Основним недоліком є велика кількість необхідних хімікатів, які можуть бути надто дорогими. Як і при обробці у ванні, хімікат повинен бути рівномірно розподілений по всій установці, щоб запобігти утворенню гарячих точок.

Годування. При лікуванні деяких захворювань ліки або медикаменти необхідно згодовувати або якимось чином вводити в шлунок хворої людини. Це можна зробити, додаючи ліки в їжу або відваживши потрібну кількість препарату, помістивши його в желатинову капсулу, а потім за допомогою пістолета ввести її в шлунок риби. Цей тип лікування базується на вазі тіла.



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ін'єкції. Великих і цінних риб, особливо якщо йдеться про невелику кількість, іноді найкраще лікувати, вводячи ліки в порожнину тіла - внутрішньочеревно (ВЧ) - або в м'язову тканину - внутрішньом'язово (ВМ). Більшість препаратів діють швидше при внутрішньочеревному введенні, ніж при внутрішньом'язовому. Ін'єкції внутрішньочеревно вимагають обережності, щоб не пошкодити внутрішні органи. Найпростішим місцем для в/м ін'єкцій є основа одного з тазових плавників. Для ін'єкцій ІМ найкращим місцем зазвичай є ділянка безпосередньо біля спинного плавця (Parker, R. (2011)).

Зміни умов навколишнього середовища можуть призвести до зсувів у популяціях патогенів і появи нових або більш вірулентних збудників. Поява раніше нерозпізнаних захворювань, збільшення кількості спалахів хвороб, а також труднощів у діагностиці та лікуванні.



2. Захисні заходи та застосування біотехнологій для пом'якшення впливу хвороб

Управління здоров'ям риби описує методи управління, спрямовані на запобігання хворобам риби. Якщо риба захворіла, її важко врятувати. Успішне управління здоров'ям риби починається з профілактики, а не лікування. Належне управління якістю води, харчування та санітарія запобігають

рибних хвороб. Без цього неможливо запобігти спалахам опортуністичних захворювань. Риба постійно купається в потенційних патогенах, включаючи бактерії, грибки та паразитів. Погана якість води, погане харчування або пригнічення імунної системи, як правило, пов'язане зі стресовими станами, дозволяють цим потенційним патогенам викликати захворювання. Ліки, що використовуються для лікування хвороб, виграють час для риб і дозволяють їм подолати опортуністичні інфекції, але вони не можуть замінити належне утримання тварин (Parker, R. (2011)).

Глобальне потепління вимагає регулярного і всебічного моніторингу якості води, рівня патогенів і показників здоров'я. Цей моніторинг включає використання передових діагностичних інструментів і методів спостереження для раннього виявлення та подолання спалахів захворювань.

2.1. Філософія боротьби з хворобами

Контроль захворювань в аквакультурі зазвичай намагаються здійснювати, виходячи з припущення, що відсутність патогенних мікроорганізмів є бажаним станом. Однак шанси розпочати аквакультурне підприємство без будь-яких потенційних патогенів у системі дуже малі, і виникає питання, чи є економічно ефективним досягнення стану, вільного від патогенів. Ця стратегія «повного усунення патогенів» є класичним підходом до контролю захворювань: патогеноцентричним підходом (Lucas et al. (2019)).

Існує ряд факторів, які слід враховувати при прийнятті рішення про заходи контролю в аквакультурі:

- Вартість заходів контролю. Деякі патогени роблять культуру економічно не вигідною за їх присутності, і вони повинні бути повністю видалені з системи вирощування.
- Ймовірність повторного зараження. В ідеалі не повинно бути майже ніяких шансів на повторне зараження патогеном з навколишнього середовища або з диких запасів поблизу. З іншого боку, інфікування патогеном і подальше лікування часто дозволяє імунній системі хребетних підготуватись, і, таким чином, подальші інфекції обмежуються.
- Адекватний аналіз наявності збудника. Необхідно мати можливість точно ідентифікувати збудника, щоб мати змогу оцінити вплив заходів боротьби на нього.

2.2. Методи лікування генералізованих захворювань

Найважливішим фактором переміщення та занесення патогенів на ферми, та й взагалі в будь-якому географічному масштабі, є переміщення тварин. Це включає в себе



- зокрема, живий племінний молодняк
- живі личинкові форми для зариблення
- живих альтернативних хазяїв;
- заморожені туші для споживання людиною;
- корми для аквакультури; і
- приманки.

Більшість нових інтродукцій патогенів у неінфіковані системи відбувається через необмежене переміщення заражених тварин. Іноді це неминуче, оскільки аквакультура не може існувати без маточного поголів'я або живої молоді для зариблення. Однак біобезпекою маточного поголів'я, яке є забруднювачем номер один, часто нехтують, і це має бути першим пунктом, на який слід звернути увагу в першу чергу. Так, в Європі обов'язковим є тестування плідників на широкий спектр захворювань (бактеріальних і вірусних), що підлягають повідомленню, перш ніж дозволяється їх передача (Lucas et al. (2019)).

- Пакетна культура. Культура періодичної дії працює за принципом «все на вхід, все на вихід».
- Очищення вхідної води. Обробка вхідної води є важливою в системах рециркуляції і більш корисною в інкубаторах, ніж в умовах дорощування, через велику кількість води, що використовується в останньому випадку. Обробка води включає хімічну стерилізацію (хлор, йодофори, озон) і фізичну стерилізацію (ультрафіолетове світло).
- Зменшення щільності засіву. Зниження щільності зариблення збільшує середню «міжрибну» відстань і зменшує ймовірність передачі збудника хвороби наступному хазяїну в експоненціальному масштабі. Теоретично, епідемії хвороб згасатимуть, якщо в даній місцевості не буде досягнуто порогової кількості хазяїв. Спрощено кажучи, кожен інфікований хазяїн повинен заразити щонайменше двох інших хазяїв, інакше епідемія не буде поширюватися. Крім того, зменшення щільності популяції також знизить рівень стресу, спричиненого взаємодією між братами і сестрами, та конкуренції за простір і їжу.
- Поодинокі нерестові стада. Диференційований ріст є хорошим індикатором поганого стану здоров'я популяції, що утримується в неволі. Нерест дуже корисний для скринінгу захворювань, оскільки вони або відстають у рості під впливом патогенів, або зазнають поведінкового та харчового стресу через те, що перебувають у нижній частині харчового ланцюга. Такі тварини, що зазнали стресу, також будуть експресувати патогени. Якщо для зариблення системи вирощування використовується змішана нерестова популяція, диференційований ріст, зумовлений віком, генетичними особливостями або варіаціями умов вилуплення, затуляє собою викликаний патогенами диференційований ріст. Таким чином, зариблення з одним нерестом є особливо корисним для водного патобіолога. Цей метод не настільки корисний для багатьох видів плавникових риб, для яких градація за розміром є нормальною частиною вирощування (наприклад, вугор, лосось і форель), але він добре працює для безхребетних (наприклад,



прісноводні раки). Цей метод також висвітлює проблему дуже поширеної практики серед рибних фермерів. Під час збору врожаю більшість рибних фермерів випускають мальків, які занадто малі, щоб задовольнити потреби ринку, у ставок, щоб дати їм змогу вирости до ринкового розміру. При цьому не враховується найбільш ймовірна причина того, що вони не досягають ринкового розміру: вони скомпрометовані хворобою. Таким чином, насправді фермер утримує на фермі резервуар хворих особин, які можуть заразити наступне зариблення.

- Маточне поголів'я, вільне від певних патогенів. Більшість патогенів є більш вірулентними для молодих стадій хазяїна. Отримання потомства від маточного поголів'я, вільного від специфічних патогенів, має хороші шанси вирости до несприйнятливих розміру до зараження, і, таким чином, урожай може бути отриманий навіть у зоні, де хвороби регулярно вражають тварин. Це також може спрацювати, якщо всі життєві стадії однаково сприйнятливі, але завдяки пізньому зараженню хазяїна культуру можна виростити до збору врожаю до того, як хвороба встигне закріпитися.
- Зменшення стресу. Стрес часто використовується як виправдання проблем, коли немає іншого логічного пояснення. Незважаючи на таке розпливчате використання поняття стресу, він має реальну фізіологічну основу і наслідки. Неприятливі умови призводять до адаптивної реакції, і досягається новий рівень гомеостазу. Якщо цього не відбувається, то настає виснаження, яке супроводжується надмірним виробленням гормонів стресу. Два найбільш практичні способи обмеження стресу - це подвоєння аерації, що полегшує будь-який кисневий стрес, який може виникнути, особливо під час спекотного літа, і зниження щільності утримання.
- Вакцинація. Вакцинація в основному працює на основі припущення, що існує імунологічна пам'ять і що попередній контакт з патогеном забезпечить сильнішу і швидшу імунну відповідь (Lucas et al. (2019)).

2.3. Вакцинація риби

Термін «вакцина» зараз використовується більш широко для визначення будь-якого препарату, що використовується для створення імунітету проти хвороби шляхом щеплення, а принцип дії ґрунтується на тому, що реципієнт має адаптивну імунну систему, яка ініціює реакцію на компоненти вакцини, що призводить до запам'ятовування цих компонентів. Імунна система вакцинованої особи здатна реагувати швидше і активувати захисні ефекторні системи з більшою силою при наступних зустрічах з тими ж зразками або структурами (рис. 6) (Lucas et al. (2019)).

Імунізація риб в аквакультурі розпочалася понад 50 років тому. Вакцинація є ефективним засобом профілактики бактеріальних та вірусних захворювань. Вакцинація також сприяє екологічній, соціальній та економічній стійкості галузі аквакультури. На жаль, розробка вакцин у галузі аквакультури значно відстає від тваринництва. Лише кілька вакцин були зареєстровані та застосовуються в галузі. Крім того, вакцинація риб є трудомістким процесом, коли окремим риbam вручну вводиться доза вакцини. Пероральні вакцини є альтернативою трудомісткій традиційній вакцинації з ручним введенням. Оральна вакцинація зводить до мінімуму обробку



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

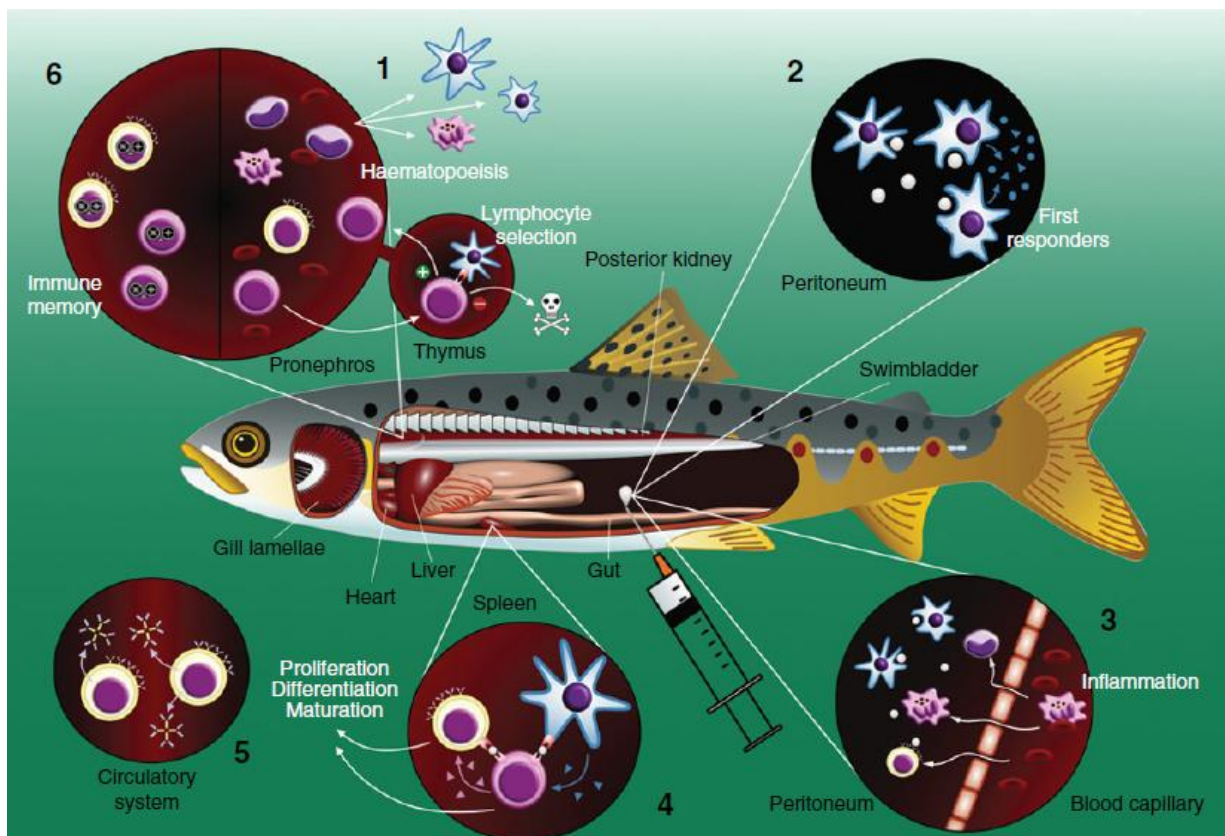
і пошкодження риби, тим самим знижуючи рівень смертності під час вакцинації. Мікроінкапсуляція, в яку включені антигени патогенів, може бути технологією для доставки оральних вакцин риbam.

Існують способи розробки революційних вакцин для пероральних систем доставки. Однак, схоже, що наразі не існує ефективної пероральної вакцини, доступної для аквакультури (Yue & Shen, 2021).

Через глобальне потепління необхідно розробляти та застосовувати вакцини для захисту видів аквакультури від конкретних захворювань. Постійні дослідження нових вакцин та стратегій імунізації мають важливе значення. Необхідна розробка та впровадження ефективних програм вакцинації для запобігання спалахам специфічних захворювань, спричинених зміною клімату.



Малюнок 6. Схематичне зображення парру атлантичного лосося, що показує основні імунні тканини та розвиток відповіді на вакцинацію шляхом внутрішньочеревної ін'єкції (Lucas et al. (2019)).



2.4. Імуномодулятори та імуностимулятори

Речовини, які індукують, посилюють або пригнічують імунну відповідь, називаються імуномодуляторами, і вони мають потенціал для значного зменшення втрат, пов'язаних з хворобами в аквакультурі. Існує широкий спектр речовин (рекомбінантних, синтетичних і природних), які пропонують привабливу альтернативу антибіотикам, оскільки вони, як правило, мають менше побічних ефектів, ніж існуючі ліки, і менш імовірно, що патоген розвине стійкість до них (Jeney, 2017).

Імуностимулятори - це речовини, які стимулюють імунну відповідь риб шляхом індукції або підвищення імунної активності риб, або через антиген-специфічні реакції, такі як вакцини, або неспецифічно, незалежно від розпізнавання антигену, такі як ад'юванти або неспецифічні імуностимулятори. Ад'юванти додаються до вакцин, щоб допомогти сформувати сильнішу захисну реакцію на антигени, присутні у вакцині, і забезпечити посилений захист від патогену. Цитокіни, що виробляються клітинною імунною системою, також діють як імуностимулятори і можуть посилювати імунну функцію.



Імуностимулятори отримують як з природних, так і з синтетичних джерел. Прикладами імуностимуляторів є β -глюкани, хітин, лактоферин, левамизол, вітаміни групи В і С, гормон росту і пролактин. Доведено, що імуностимулятори підвищують стійкість риб до хвороб і посилюють їхню імунну відповідь під час стресу. Їх використання зараз є звичайним явищем у програмах боротьби з хворобами для запобігання інфекційним захворюванням в аквакультурі, особливо з огляду на те, що їх можна легко

β -глюкани є найбільш поширеними імуностимуляторами в аквакультурі, особливо β -глюкан (β -1,3 і 1,6-глюкани), отриманий з клітинної стінки пекарських дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, хоча досліджуються й інші джерела β -глюкану (Jeney, 2017).

2.5. Пробиотики, пребіотики та адаптивне харчування

Пробиотики - це живі мікроорганізми, отримані з «нормальних» бактерій навколишнього середовища або кишкових бактерій, які мають потенційну користь для здоров'я при введенні рибі. Вони визначаються як «корисні живі мікроорганізми, коли їх вводять хазяїну в ефективній дозі». Окремі бактерії видів *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Carnobacterium*, *Shewanella*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Saccharomyces*, *Pediococcus* і *Streptococcus* були досліджені як потенційні пробіотики для аквакультури. Дія пробіотиків базується на їх здатності стимулювати ріст специфічних мікробів у кишковому тракті риби. Вони підтримують мікробну рівновагу кишечника, конкуруючи з патогенними бактеріями за місця прикріплення на слизовій оболонці кишечника, а також конкуруючи за поживні речовини. Вони мають антагоністичну активність проти збудника, оскільки виробляють різноманітні антимікробні речовини (бактерицидні або бактеріостатичні), які запобігають розмноженню та/або вбивають збудника, таким чином запобігаючи його колонізації в кишечнику риби. Вони також безпосередньо посилюють імунну відповідь хазяїна проти збудника (Jeney (2017).

Пребіотики - це неперетравлювані вуглеводи, які приносять користь організму тварини, стимулюючи ріст та/або активність певних бактерій у кишечнику тварини. Найбільш перспективними з них вважаються ферментовані вуглеводи, які позитивно впливають на склад і активність місцевої мікрофлори в кишковому тракті. Існує кілька потенційних пребіотичних вуглеводів, які були протестовані в аквакультурі. Пребіотики метаболізуються в кишечнику хазяїна такими бактеріями, як лактобактерії та біфідобактерії, а вони, в свою чергу, виробляють метаболіти, такі як коротколанцюгові жирні кислоти, які важливі для здоров'я товстої кишки. Вони також знижують рівень кишкових патогенів, присутніх у кишечнику (Jeney, 2017).

Використання пробіотиків та імуностимуляторів у кормах для зміцнення імунної системи об'єктів аквакультури, підвищення їхньої стійкості до хвороб є одним із важливих факторів мінімізації наслідків зміни клімату.

Враховуючи вплив змін навколишнього середовища на ріст і здоров'я, необхідно модифікувати рецептури кормів і практики годівлі. Це вимагає коригування профілів поживних речовин на основі температури та якості води, а також надання спеціалізованих кормів для підтримки



імунної функції та стресостійкості. Водночас, це вимагає моніторингу ефективності кормів та внесення коригувань у разі потреби. Про те, як мають змінитися корми та годівля в аквакультури у зв'язку з глобальним потеплінням, описано в окремому розділі.

2.6. Інтегровані стратегії управління патогенами у рибництві

Вплив патогенів на аквакультуру є значним - фінансові втрати оцінюються приблизно в 20% від загальної вартості продукції. Основна мета інтегрованого управління патогенами (ІУП) - об'єднати всі доступні профілактичні та лікувальні методи, щоб мінімізувати вплив патогенів у виробничому ланцюжку, і в той же час мінімізувати вплив на навколишнє середовище та уникнути майбутніх побічних ефектів, таким чином підвищуючи стійкість як на економічному, так і на екологічному рівнях (Jeney, 2017).

Термін КБВ включає в себе наступне:

Інтегрований: Це цілісний підхід, оскільки він поєднує в собі всі доступні стратегії боротьби з хворобами з акцентом на взаємодію між патогеном, хазяїном і навколишнім середовищем. Взаємозв'язок між цими трьома факторами є складним, оскільки сама по собі наявність патогену не обов'язково призводить до розвитку хвороби. Ця взаємодія, ускладнюючи епізоотологію захворювань, надає можливості мінімізувати вплив інфекції.

Збудник: Це будь-який організм, який конфліктує з рослинним або тваринним виробництвом. Якщо організм не має серйозного впливу, не варто розробляти для нього КБВ. КБВ особливо добре працює для патогенів зі складним життєвим циклом, що надає безліч можливостей для втручання.

Управління: Це спосіб утримувати патогени нижче рівня, на якому вони можуть завдати серйозної економічної шкоди. Це не завжди означає знищення патогенів. Це означає пошук стратегій, які є ефективними та економічними і зводять до мінімуму шкоду навколишньому середовищу.

Розробка СУІБП - це процес, що складається з декількох етапів, підсумованих на Рисунку 7 (Jeney, 2017). Процес ініціюється, коли патоген викликає спалах хвороби, і перший крок полягає у зборі всіх можливих знань про ключовий(і) патоген(и) (життєвий цикл, стратегії вторгнення в організм хазяїна, природні вороги, переносники тощо), а також про фактори ризику для хазяїна та навколишнього середовища, які сприяють поширенню патогенів та їх впливу на популяцію риб. Ця інформація спочатку надходить з досвіду фермерів, наукових досліджень та оглядів літератури. Другий крок - це профілактика; він передбачає розробку, оцінку доцільності та співвідношення витрат і вигод, а також впровадження найкращих профілактичних стратегій для кожного патогену. Третій крок - моніторинг захворювання, який включає виявлення збудника, спостереження за станом організму хазяїна і можливим впливом на навколишнє середовище. Якщо профілактики недостатньо, щоб зупинити хворобу, четвертим кроком є втручання; це означає розробку, оцінку доцільності та співвідношення витрат і вигод, а також впровадження фізичних, хімічних та/або біологічних методів лікування. Моніторинг також відбувається після втручання.



Funded by
the European Union

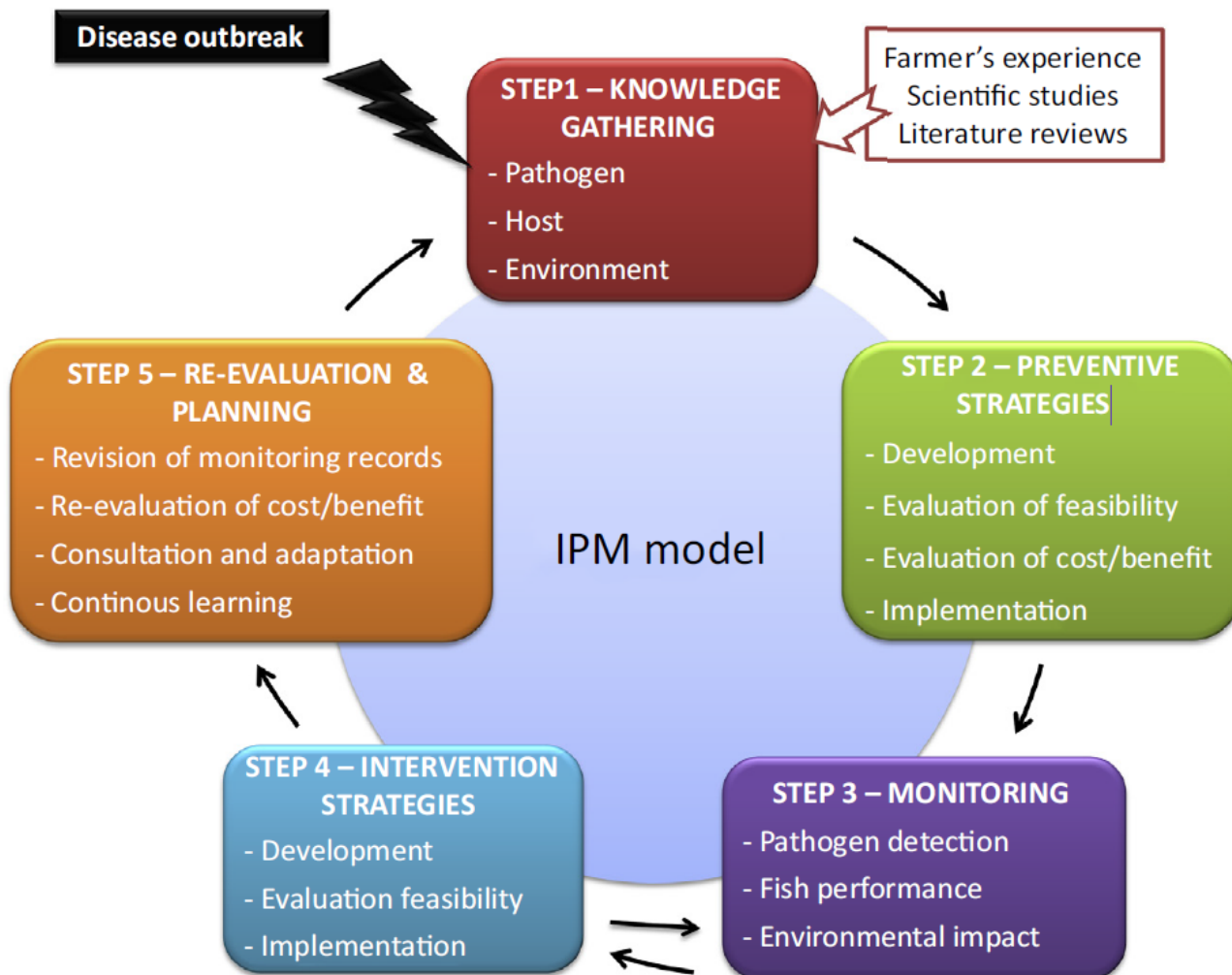


The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

П'ятий крок - це переоцінка і планування з урахуванням результатів, отриманих від різних стратегій, оскільки для отримання максимальної користі від СППМ необхідно постійно оцінювати і вдосконалювати її, переглядаючи історію хвороби, переоцінюючи витрати/вигоди, консультуючись і адаптуючись до інновацій, а також постійно навчаючись. В ідеалі це має дозволити в довгостроковій перспективі визначити моделі прогнозування. Крок 5 повертається до кроку 1, збільшуючи обсяг знань. У цьому розділі ми опишемо наявні варіанти для більшості з цих кроків у рибництві, які є поточними обмежувальними факторами для їх впровадження на виробничих майданчиках, а також перспективи на майбутнє (Jeney, 2017).

Рисунок 7. Процес розробки стратегій інтегрованого управління патогенами (ІУП) щодо хвороб риб (Jeney, 2017).



Глобальне потепління суттєво впливає на захворюваність та управління хворобами в системах аквакультури. Розуміючи взаємозв'язок між змінами в навколишньому середовищі та динамікою захворювань, аквакультурні підприємства можуть впроваджувати ефективні стратегії управління для пом'якшення цих впливів. Посилений моніторинг, контроль температури та якості води, практики управління здоров'ям та стійкість інфраструктури є ключовими для підтримки здоров'я та продуктивності видів аквакультури в умовах мінливого клімату.

2.7. Основні вимоги до біобезпеки в аквакультурному господарстві

Основні вимоги (типові для Литви) до біобезпеки в аквакультурному господарстві є наступними:

1. Кожне підприємство аквакультури повинно мати план біобезпеки, щоб запобігти потраплянню забруднення на ферму та/або поширенню інфекції за її межами.
2. Колеса кожного автомобіля або іншого транспорту, що в'їжджає на територію, повинні бути продезінфіковані.
3. Контролюйте параметри якості води у рибних водоймах та ставках.
4. Дезінфекційні килимки або ванночки повинні бути розміщені на кожному вході/виході з приміщення, як всередині, так і зовні будівлі.
5. Працівники повинні переодягатися в робочий одяг, коли приходять на роботу, і знову переодягатися, коли йдуть з неї.
6. Співробітники, які працюють у відділах з різними стадіями росту риби, повинні дезінфікувати руки кожного разу, коли вони переходять з одного приміщення в інше.
7. Інструменти для вилову, транспортування, годівлі та очищення риби не можна використовувати в декількох приміщеннях.
8. Використані інструменти та обладнання необхідно зберігати в сольовому розчині до наступного використання.
9. Обмежте кількість відвідувачів, а після їх прибуття реєструйте їх та використовуйте одноразовий одяг для захисту.
10. Працівники можуть працювати тільки на одній аквакультурній фермі, щоб уникнути передачі інфекції.

План управління здоров'ям риб на рівні об'єкта має неоціненне значення, але може бути недостатнім для запобігання поширенню патогенів у більш широкі географічні регіони або з них. Тому необхідно впроваджувати політику та правила на регіональному/національному та міжнародному рівнях (Jeney, 2017).

2.8. Інші захисні заходи для мінімізації впливу зміни клімату та хвороб

Для інфраструктури аквакультури дуже важливим є вибір ділянок, які знижують ризик передачі хвороб і мінімізують вплив зміни клімату.

Залежно від типу культивационної системи та виду, що вирощується, правильний вибір ділянки може значно знизити ризик передачі хвороб. Відповідні ділянки забезпечують умови навколишнього середовища (температура води, солоність тощо), які мінімізують фізіологічний стрес, тим самим знижуючи частоту і тяжкість інфекційних захворювань на об'єкті. Слід також враховувати якість доступної води. Обсяг води та її мінлива доступність у часі може обмежувати виробничі потужності. Об'єкти з недостатнім водопостачанням часто страждають від низької продуктивності риби, більшої кількості захворювань і зниження прибутковості. Для земляних ставків важливо переконатися, що ґрунти не забруднені сполуками, які можуть потрапити у товщу води і негативно вплинути на здоров'я риби або іншим чином забруднити м'ясо риби (Tucker & Hargreaves, 2009).

Екстремальні погодні умови можуть завдати фізичної шкоди інфраструктурі аквакультури, призвести до раптових змін якості води та занести патогени і забруднювачі в аквакультурні системи. Це може призвести до спалахів захворювань та операційних збоїв.



Глобальне потепління та його наслідки можуть спричинити фізичне пошкодження акваріумів або садків, погіршення якості води та збільшення захворюваності через забруднення або стрес. Крім того, можуть виникнути операційні проблеми в управлінні та обслуговуванні систем аквакультури.

Відповідні місця також зменшують ймовірність того, що природні явища (такі як повені, штормові припливи або великі морські хвилі) спричинять порушення біозахисту об'єкта, що може призвести до вивільнення патогенів або втечі інфікованої риби. При виборі місця також слід враховувати, чи не піддаються ризику вразливі популяції дикої риби. Чутливі популяції можуть включати види, що перебувають під загрозою зникнення, або мігруючі популяції сприйнятливих видів (Tucker & Hargreaves, 2009).

У зв'язку з глобальним потеплінням може знадобитися зміцнити існуючу структуру, підняти об'єкти для запобігання пошкодженням від повеней, а також впровадити гнучкі та стійкі системи, розробити та підтримувати плани реагування на надзвичайні ситуації для вирішення проблем пошкодження інфраструктури, якості води та спалахів хвороб, спричинених екстремальними погодними умовами.

Можна вибрати види аквакультури з більшою термостійкістю, щоб краще витримувати високі температури і знизити сприйнятливість до хвороб.

У RAS можна впровадити більше заходів та інноваційних рішень. Підтримка оптимальних температурних діапазонів може допомогти впоратися зі стресом і знизити ризики захворювань. В якості профілактичних заходів можна впроваджувати технології контролю температури з можливістю коригування налаштувань на основі даних в режимі реального часу. Регулярне тестування та оптимізація параметрів якості води, таких як рН, розчинений кисень, рівень поживних речовин тощо, можуть бути автоматизовані. Можна застосовувати такі методи, як затінення, аерація та контрольоване годування для пом'якшення впливу температури та інших стресових факторів навколишнього середовища на системи аквакультури.

Вибір системи та заходи протидії глобальному потеплінню в аквакультурі описані в окремій главі.

3. Поточні та нові рішення для подолання впливу глобального потепління на здоров'я аквакультури

3.1. Фактори, пов'язані зі зміною клімату, які сприяють виникненню проблем із захворюваннями

Інтенсифікація. Інтенсифікація виробництва, навіть за стабільних умов навколишнього середовища, створює ризики та виклики для сталого розвитку, які вимагають суворого управління, щоб мати можливість ефективно реагувати на виявлення патогенів та/або спалахи хвороб. Зміна клімату посилить ці загрози та виклики.

Великомасштабне виробництво одного виду у виробничому середовищі потребує



- 1) швидкого реагування на відмову тварин від корму, ознаки захворювання та падежу
- 2) спроможності ізолювати уражених тварин від неуражених популяцій та ферм; і
- 3) спроможність депопуляції уражених ділянок, де лікування неможливе.

Інтенсивне сільське господарство все частіше зазнає впливу екстремальних погодних умов, які викликають стрес у сільськогосподарських тварин і перешкоджають механізмам управління, наприклад, запобіганню втечам (руйнування систем утримання) та ізоляції хворих і стресованих тварин від неуражених (Вплив зміни клімату на рибальство та аквакультуру: синтез сучасних знань, варіанти адаптації та пом'якшення наслідків, 2018 р.).

Видова та генетична диверсифікація. Протягом останніх 30-40 років аквакультура розвивалася за допомогою диверсифікації видів (відбір видів, що демонструють найкращі виробничі результати в умовах фермерських господарств) та генетичних штамів, розроблених в експериментальних умовах для комерційного виробництва.

Обидві методики селекції включають толерантність до хвороб (інфікування без вираженої значної смертності) та резистентність (здатність запобігати інфікуванню). Переваги селекції видів і штамів, однак, залежать від постійних параметрів навколишнього середовища у виробничій системі, тобто від відсутності значних змін умов виробництва. Якщо такі умови піддаються «екстремальним» коливанням (температура, солоність, каламутність), відібрані види та/або штами можуть бути більш вразливими до високих втрат, ніж менш відібрані та більш генетично різноманітні запаси; особливо ті, що походять з району виробництва (Вплив зміни клімату на рибальство та аквакультуру: синтез сучасних знань, варіанти адаптації та пом'якшення наслідків, 2018 р.).

Розширення за межі природного географічного ареалу аборигенних видів, які використовуються в аквакультурі і демонструють стабільне виробництво, часто піддаються розширенню ферм на периферії або за межами їхнього природного географічного ареалу. Тварини можуть витримувати незначні сезонні зміни температури та/або солоності, але опиняються в невідповідному становищі, коли екстремальні умови впливають на нормальний репродуктивний цикл або цикл росту.

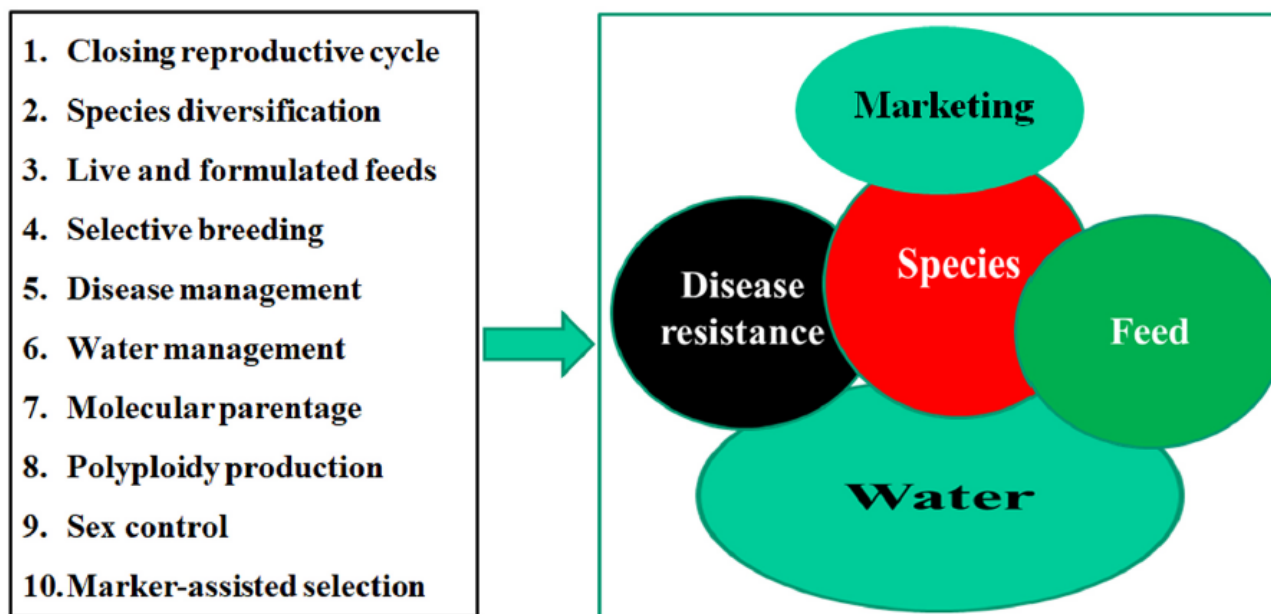
Що стосується інтенсифікації та видової і генетичної диверсифікації, то там, де відбуваються такі зміни навколишнього середовища, стійкість до опортуністичних або первинних патогенних інфекцій може значно знизитися (Вплив зміни клімату на рибальство та аквакультуру: синтез сучасних знань, варіанти адаптації та пом'якшення наслідків, 2018 р.).

3.2. 3.2. Генна інженерія, селекція за допомогою маркерів та CRISPR

Біотехнології, включаючи контроль статі, поліплоїдизацію, гіногенез та андрогенез (рис. 5), відіграли важливу роль у підвищенні продуктивності аквакультури (Yue & Shen, 2021).



Рисунок 5. Технології, що застосовуються в аквакультурі, призводять до швидкого зростання виробництва аквакультури (Yue & Shen, 2021)



A. Technologies applied to aquaculture B. Important components in aquaculture

Генетичне поліпшення за допомогою селекції стало ключовим фактором буму світової аквакультури.

Поєднання молекулярних технологій з існуючими селекційними програмами значно прискорило генетичне поліпшення деяких видів аквакультури. Селекція за допомогою маркерів (MAS) вже застосовується для підвищення стійкості до хвороб (наприклад, стійкості до IPN у лосося) (Yue & Shen, 2021).

Геномна селекція (ГС) - це новий підхід молекулярної селекції. ГС використовує багато маркерів як предикторів продуктивності і, отже, забезпечує більш точні прогнози селекційних цінностей. З постійним розвитком секвенування та біоінформаційних технологій, а також зниженням вартості генотипування SNP (однонуклеотидний поліморфізм), ГС з використанням SNP, що охоплюють весь геном, та/або з використанням відібраних SNP, пов'язаних з ознаками, все частіше застосовується для широкого спектру видів аквакультури для оптимізації селекції та прискорення генетичного вдосконалення (Yue & Shen, 2021).

Редагування геному (ГЕ) з використанням CRISPR/Cas здатне прискорити генетичне поліпшення видів аквакультури, якщо відомі гени, які підлягають редагуванню. ГЕ дозволяє швидко вводити в геном сприятливі алелі, збільшувати частоту бажаних алелів у локусах, що визначають важливі ознаки, генерувати нові алелі та/або вводити сприятливі алелі з інших видів. Аквакультурні види особливо підходять для ГЕ завдяки своїй високій плодючості та зовнішньому заплідненню, що дозволяє редагувати геном багатьох особин одночасно.



Досягнення в галузі ГС і ГЕ можуть кардинально змінити індустрію аквакультури, сприяючи поліпшенню економічно важливих ознак багатьох видів аквакультури. У майбутньому поєднання ГС і ГЕ з передовими традиційними стратегіями розведення та розвиненими біотехнологіями значно прискорить генетичне вдосконалення в аквакультурі (Yue & Shen, 2021).

Глобальне потепління та селекція, біотехнології в аквакультурі описані в окремому розділі

3.3. Відповідаючи на виклики майбутнього

Нові підходи знизили захворюваність і залежність від антибіотиків та хімічних терапевтичних засобів. У Норвегії розробка вакцин і поліпшення біозахисту (контроль і локалізація хвороб) значно знизили потребу в антибіотиках при вирощуванні лосося. Необхідні інвестиції в біобезпеку для мінімізації ризику спалахів хвороб будуть відрізнятися залежно від місця і масштабу, але спільним елементом є потреба в поліпшенні діагностичних і наглядових можливостей національних ветеринарних служб. Хоча аквакультура і надалі стикатиметься з новими хворобами, будуть розроблятися нові технології управління здоров'ям, щоб відповідати на ці виклики. Вартість секвенування геному падає в геометричній прогресії. Це дозволить розробляти методи діагностичного тестування, а також ліки та інші види терапії, адаптовані до конкретних штамів патогенів, у формі індивідуального лікування хвороб. (Лукас та ін. (2019).

Ключовою мегатенденцією є прискорення технологічних змін, особливо у сфері біотехнологій, нанотехнологій, інформаційних та комп'ютерних технологій. Дослідження і розвиток науки і техніки в усьому світі прискорюються завдяки економічному зростанню та державним інвестиціям. Датчики, програмне забезпечення та бездротовий зв'язок дозволяють збирати та аналізувати дані в режимі реального часу. Підключені до пристроїв виводу, вони дозволяють своєчасно

з вихідними пристроями, вони дозволяють своєчасно реагувати на вхідні дані. Наприклад, відеомоніторинг годівлі лосося забезпечує ефективну годівлю з кращою конверсією корму, меншими втратами корму і меншим забрудненням. Датчики кисню в ставках, пов'язані з програмним забезпеченням для аналізу і контролю, можуть активувати аератори для контролю концентрації кисню в ставку. «Інтернет речей» буде підтримуватися розвитком

датчиків, автоматизації, автономних машин, дронів і підводних апаратів. Цифрові та роботизовані технології все частіше доповнюватимуть або замінюватимуть працівників (Lucas et al. (2019)).

Технології відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності та екологічних показників аквакультури. Ключовими сферами для інновацій є корми, генетичне вдосконалення, боротьба з хворобами, насінництво та виробничі системи вирощування (Lucas et al. (2019).

Інвестиції в дослідження для розуміння впливу глобального потепління на динаміку захворювань і розробку інноваційних рішень для профілактики та лікування хвороб є край важливими.



Funded by
the European Union



The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]”

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Інтенсивна співпраця з дослідниками та установами для вивчення нових технологій, стійких до хвороб штамів та адаптивних методів управління має стати способом мінімізації впливу глобального потепління та ефективних методів управління хворобами.

Аквакультура потребує все більше освічених практиків та експертів. Навчальні семінари, вебінари та ресурси з профілактики захворювань, екологічного менеджменту та адаптивних стратегій є дуже корисними та необхідними.

Резюме/Огляд

Глобальне потепління впливає на здоров'я та управління видами аквакультури через різні механізми, включаючи збільшення поширеності хвороб, ослаблення імунної функції та погіршення якості води. Ефективне управління вимагає багатогранного підходу, який включає посилений моніторинг, екологічний контроль, управління якістю води, управління здоров'ям, стійкість інфраструктури та адаптивне годування. Впроваджуючи ці стратегії та залишаючись поінформованими про нові виклики та рішення, аквакультурні підприємства можуть краще захистити свої види та забезпечити стале виробництво в умовах мінливого клімату.



Література

- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.
- Clinical Guide to Fish Medicine. (2021). In Wiley eBooks. <https://doi.org/10.1002/9781119259886>
- Elston, R.A. 1990. Mollusc Diseases: Guide for the Shellfish Farmer. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle.
- Ergün Demir et al.: Handbook on European Fish Farming (2020). Tudás Alapítvány, - 326 p.
- Jeney, G. (2017). Fish diseases: Prevention and Control Strategies. Academic Press.
- Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection. (2017). In CABI eBooks. <https://doi.org/10.1079/9781780647784.0000>
- Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.
- Lal, J., Vaishnav, A., Singh, S. K., Meena, D. K., Biswas, P., Mehta, N. K., & Priyadarshini, M. B. (2024). Biotechnological innovation in fish breeding: from marker assisted selection to genetic modification. Deleted Journal, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44340-024-00007-6>.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. John Wiley & Sons.
- Noga, E. J. (2010). Fish disease: diagnosis and treatment. John Wiley & Sons.
- Parker, R. (2011). Aquaculture Science. Delmar.
- Timmons, M. B., & Center, N. R. A. (2013). Recirculating Aquaculture.
- Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (Eds.). (2009). Environmental best management practices for aquaculture. John Wiley & Sons.
- Yue, K., & Shen, Y. (2021). An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquaculture and Fisheries, 7(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- Woo, P. T., & Iwama, G. K. (Eds.). (2019). Climate change and non-infectious fish disorders. CABI.