

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістра»

СУЧАСНИЙ СТАН ВІДТВОРЕННЯ ЛОСОСЕВИХ (ЦІННИХ ВИДІВ) РИБ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ THE CURRENT STATE OF REPRODUCTION OF SALMONIDS (VALUABLE SPECIES) IN UKRAINE AND THE WORLD

Виконала: студентка 2 курсу заочної форми навчання
спеціальності 207 Водні біоресурси та аквакультура
Освітньо-професійна програма Охорона, відтворення
та раціональне використання гідробіоресурсів

Сидоренко Катерина Олександрівна
(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник Матвієнко Т.І.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.б.н., доцент, Радіонов Д.Б.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
водних біоресурсів та аквакультури
№ ____ від ____ . ____ . 2024 р.

Завідувачка кафедри
Марина БУРГАЗ
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК №
протокол № ____ від ____ . ____ . 2024 р.

Оцінка ____ / ____ / ____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

Анотація

Сучасний стан відтворення лососевих (цінних видів) риб в Україні та світі

Сидоренко К.О., магістр кафедри Водних біоресурсів та аквакультури

Лососеві риби є цінним продовольчим ресурсом, який також є найшвидше зростаючою галуззю виробництва харчових продуктів із щорічним зростанням виробництва. Провідними виробниками вирощуваних лососевих риб є Норвегія, Чилі, Фарери, Канада та Шотландія, що стимулюється зростанням світового попиту та ринку. Однак протягом останніх 2 років виробництво знижується через наслідки хвороб, а також зростання вартості кормів.

Атлантичний лосось, *Salmo salar*, є знаковим, високоцінним рибним продуктом, який широко продається у всьому світі, і природні запаси часто знаходяться під загрозою надмірної експлуатації та деградації середовища існування. Він робить значний внесок у продовольчу, економічну безпеку та безпеку зайнятості в багатьох країнах, особливо в Норвегії, Чилі, Канаді та Сполученому Королівстві, які є провідними виробниками виду.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є аналіз сучасного стану відтворення лососевих риб в Україні та світі, аналіз наявних даних щодо іноваційних методів відтворення, огляд літературних джерел щодо відтворення генномодифікованого лосося.

Структура і обсяг роботи. Робота магістра викладена на 69 сторінках, містить 14 рисунків, 5 таблиць, 41 літературних джерела.

Ключові слова: атлантичний лосось, відтворення лососевих риб, аквакультура, генномодифікований лосось, продовольча безпека.

Summary

The current state of reproduction of salmonids (valuable species) in Ukraine and the world

**Sidorenko K.O., Master of the Department of Aquatic Bioresources and
Aquaculture**

Salmonids are a valuable food resource, which is also the fastest growing food production industry with annual production growth. The leading producers of farmed salmonids are Norway, Chile, the Faroe Islands, Canada and Scotland, driven by growing global demand and market. However, over the past 2 years, production has been declining due to the effects of diseases and rising feed costs.

Atlantic salmon, *Salmo salar*, is an iconic, high-value fish product that is widely traded around the world, and natural stocks are often threatened by overexploitation and habitat degradation. It makes a significant contribution to food, economic and employment security in many countries, especially in Norway, Chile, Canada and the United Kingdom, which are the leading producers of the species.

The purpose of the master's thesis is to analyze the current state of reproduction of salmonids in Ukraine and the world, to analyze the available data on innovative methods of reproduction, to review the literature on the reproduction of genetically modified salmon.

Structure and scope of the work. The master's thesis is presented on 69 pages, contains 14 figures, 5 tables, 41 references.

Keywords: Atlantic salmon, salmon fish reproduction, aquaculture, genetically modified salmon, food security.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ЛОСОСЯ.....	6
1.1 Оцінка потенційних факторів, що впливають на репродуктивний успіх лососевих протягом життя.....	10
1.2 Облік різних життєвих стратегій.....	14
1.3 Можливі захворювання лососевих на протязі життєвого циклу.....	19
2 ОСОБЛИВОСТІ ШТУЧНОГО ВІДТВОРЕННЯ ЛОСОСЕВИХ РИБ.....	27
2.1 Основні тенденції в мережах рециркуляційної аквакультури лосося (RAS-N).....	27
2.2 Нові тенденції у вирощуванні лососевих у рециркуляційних системах (RAS).....	29
2.3 Вирощування трансгендерного або генномодифікованного лосося.....	32
2.4 Забезпечення оптимального здоров'я та добробуту лосося за допомогою використання антибіотиків.....	39
3 ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЦІЛОРІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ ЛОСОСЕВИХ РИБ	44
3.1 Досвід Туреччини з вирощування лососевих в Чорному морі.....	45
3.2 Нові методи у форелівництві - приклад Данії.....	49
3.3 Вирощування лососів у Норвегії.....	59
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	65

ВСТУП

Лососеві риби є цінним продовольчим ресурсом, який також є найшвидше зростаючою галуззю виробництва харчових продуктів із щорічним зростанням виробництва. Провідними виробниками вирощуваних лососевих риб є Норвегія, Чилі, Фарери, Канада та Шотландія, що стимулюється зростанням світового попиту та ринку. Однак протягом останніх 2 років виробництво знижується через наслідки хвороб, а також зростання вартості кормів.

Лососеві представляють собою велику групу кісткових риб, які процвітають у холодноводному рибальстві та аквакультурі. Лососеві належать до сімейства лососевих, що включає 11 родів, включаючи лосося, форель, гольца, циско, харіуса, горбушу та прісноводного сига. Підродина *Salmoninae* об'єднує три добре відомі роди: *Onchorynchus*: райдужна форель, кумжа, тихоокеанський лосось, усі з місцевих ареалів у північній частині Тихого океану. Рід *Salmo* об'єднує атлантичного лосося, атлантичну форель і струмкову форель, усі з місцевих ареалів у Північній Атлантиці. *Salvelinus* включає гольця з місцевими ареалами на берегах Тихого океану. Тихоокеанський лосось налічує 5 видів: чава (*Onchorynchus tshawytscha*), кета (*O. keta*), кижуч (*O. kisutch*), казу (*O. masu*), рожева (*O. gorbuscha*) і нерка (*O. nerka*) [2]. Тихоокеанський лосось в основному анадромний (мігрує в морську воду після того, як провів раннє життя в струмках і річках), розмножується лише один раз у житті і демонструє точне самонаведення. Атлантичний лосось, який населяє східне узбережжя Північної Америки, є домашнім і ітеропородним (розмножується більше одного разу в житті).

Лососеві є третім за величиною вирощуваним урожаєм плавникової риби після китайських та індійських коропів і тілапій із загальним річним виробництвом 3 594 000 метричних тонн. Однак вони складають провідну м'ясоїдну рибу в усьому світі. Виробництво лосося (атлантичного та

тихоокеанського лосося) є найшвидше зростаючою харчовою галуззю у світі, щорічне зростання якого становить 7%. Атлантичний лосось, *Salmo salar*, є знаковим, високоцінним рибним продуктом, який широко продається у всьому світі, і природні запаси часто знаходяться під загрозою надмірної експлуатації та деградації середовища існування. Він робить значний внесок у продовольчу, економічну безпеку та безпеку зайнятості в багатьох країнах, особливо в Норвегії, Чилі, Канаді та Сполученому Королівстві, які є провідними виробниками виду.

З метою прискорити процес еволюції сучасні дослідники використовують не лише спрямований відбір, – вони поєднують його з факторами, що дестабілізують генофонд, тобто з внутрішньовидовою та міжвидовою гібридизацією, інбридингом і навіть зі штучним мутагенезом. Крім того, щоб забезпечити селекціонерів необхідною інформацією, проводиться величезна кількість досліджень, присвячених успадкуванню господарсько-важливих ознак лососевих риб. Останнім часом такі дослідження часто проводять із застосуванням молекулярно-генетичних маркерів.

В Україні є хороша кормова база для розвитку рибництва – щорічно в країні виробляється близько 500 тисяч тонн соєового та 4,8 мільйона тонн соняшникового шроту. Штучне вирощування риби у нас все ще значно менш поширене, ніж вилов у природному середовищі. У структурі внутрішнього виробництва минулого року частка аквакультури становила 34%.

На лососеві припадає близько 1% риби, що виловлюється і вирощується в Україні, основну частину місцевого виробництва лососевих в Україні становить форель, її розведенням у 2018 році займалося 20 вітчизняних підприємств. Проте їх потужностей недостатньо для задоволення навіть порівняно невеликого внутрішнього попиту на червону рибу, тому значна частина лососевих в Україну імпортується. Основним постачальником є Норвегія, яка торік на своїх фермах виростила 1,4 млн тонн лосося. Що ж до

експорту цього виду риби з нашої країни, він здійснюється лише у незначних обсягах.

На даний момент на українському ринку представлено 3 види фермерського лосося:

- атлантичний лосось з Норвегії, Шотландії, Ірландії, Ісландії, Чилі, або Фарерських островів,
- райдужна форель, яку також розводять у різних країнах по всьому світу (Норвегія, Данія, Чилі та ін.), та
- кижуч, його вирощують переважно у Чилі.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є аналіз сучасного стану відтворення лососевих риб в Україні та світі, аналіз наявних даних щодо іноваційних методів відтворення, огляд літературних джерел щодо відтворення генномодифікованого лосося.

І ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ЛОСОСЯ

Лосось мешкає у двох найбільших світових океанах та річках, що в них впадають. В Атлантичному океані мешкає лише один вид - атлантичний лосось (*Salmo salar*), а в Тихому океані - кілька видів, зокрема горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*), кета (*O. keta*), нерка (*O. nerka*), кижуч (*O. kisutch*), чавича (*O. tshawytscha*) та амаго (*O. rhodurus*) [1].



Рис. 1.1 – Життєвий цикл лососів

Ірландський лосось є атлантичним лососем і проводить свою ювенільну фазу в річках, перш ніж мігрувати в море, щоб рости і дозрівати (рис. 1.1). Щоб завершити свій життєвий цикл (рис. 1.2), вони повинні повернутися до річки свого походження для нересту. Лосось, який дотримується такого життєвого циклу, називається анадромним [1].



Рис. 1.2 – Ірландський лосось

Лосось починає життя з маленької ікринки розміром з горошину, захованої під пухким ґравієм у прохолодних чистих річках, що впадають у північну частину Атлантичного океану. Всупереч усьому, батькам цієї маленької ікринки вдалося повернутися до прісної води, щоб віднереститися і завершити свій життєвий цикл, перш ніж дати початок новому поколінню. Для цього дорослі особини перестали живитися, потрапляючи в прісну воду у відповідь на розвиток гонад, спрямувавши всю свою енергію на розмноження. Міграція дорослих особин взимку до відповідного місця проживання може розпочатися за рік до нересту. Нерест зазвичай відбувається у верхів'ях, хоча може відбуватися в будь-якому місці річки, якщо є відповідний субстрат з добре насиченого киснем пухкого ґравію. Під час нересту (з листопада по січень) самка викопує хвостом заглиблення в ґравії, куди відкладає ікру. Один або кілька самців виділяють молочко на падаючі ікринки, щоб запліднити їх. Самка швидко засипає яйця ґравієм на глибину кількох сантиметрів, утворюючи гніздо або «червону пляму» на дні річки. Поховані глибоко в ґравії, яйцеклітини захищені від впливу уламків, що переносяться під час сильних повеней, і від нападу хижаків, таких як вугор (*Anguilla anguilla*), форель (*Salmo trutta*) або баклан (*Phalacrocorax carbo*) [1-3].

Швидкість розвитку ікринок залежить від температури води. Усередині помаранчевої яйцеклітини розміром з горошину видно очі, і в міру поїдання жовткового мішка, що містить їжу, можна помітити посилення рухів. Кількість ікринок, що відкладаються в червоному кольорі, визначається розміром самки:

більші самки вагою понад 10 кг відкладають по 15 000 ікринок. Така висока плодючість (кількість яйцеклітин на самку) є критично важливою, оскільки виживання в дикій природі є надзвичайно низьким, особливо в прісній воді. Наприклад, у річці Беррішул на західному узбережжі Ірландії виживання молоді з 1970 по 2015 рік становило лише 0,3% у 2001 році, а у 2007 році зросло до 1,3% [2].

Рибки, які щойно вилупилися, називаються «алевінами» і навесні все ще мають жовтковий мішок, прикріплений до їхнього тіла. Коли жовтковий мішок розсмоктується, мальки стають дедалі активнішими і починають свою подорож вгору по гравію річкового дна. Коли маленькі рибки достатньо зміцніють, вони повинні піднятися на поверхню води і заковтнути повітря. Роблячи це, вони наповнюють свій плавальний міхур, щоб отримати нейтральну плавучість, що полегшує плавання та утримання позиції у швидкій течії. Цей критичний період називається «підпливом» і вперше наражає молодь на небезпеку зіткнення з хижаками. Коли вони починають вільно плавати, їх називають мальками[3].

Мальки мають вісім плавників, які використовуються для підтримки свого положення у швидких потоках і маневрування у воді протягом літніх місяців. Мальки харчуються мікроскопічними безхребетними, і їх чисельність регулюється температурою, хижацтвом, забрудненням і конкуренцією за їжу з іншими мальками та іншими видами риб. Присутність лосося в річці є синонімом здорового водного середовища, а оскільки лосось надзвичайно чутливий до змін якості води, середовища проживання та клімату, він є хорошим індикатором стану прісноводних і морських екосистем.

Восени мальки перетворюються на парр з вертикальними смугами і плямами для маскування. Вони харчуються водними комахами і продовжують рости від одного до трьох років, зберігаючи свою територію в потоці. Після того, як парри виростають до 10-25 см в довжину, вони проходять фізіологічну переадаптацію до життя в морській воді шляхом линяння. Це проявляється у зміні їхнього зовнішнього вигляду: вони стають сріблястими і плывуть за

течією, а не проти неї. Відбуваються також внутрішні зміни в механізмах регулювання солевого балансу риби. Ця адаптація готує малька до подорожі в океан[4].

Навесні велика кількість мальків віком 1-3 роки залишає ірландські річки, щоб мігрувати вздовж Північноатлантичного дрейфу до багатих кормових угідь Норвезького моря та більших просторів Північного Атлантичного океану. Тут вони живляться переважно такою рибою, як мойва (*Mallotus villosus*), оселедець (*Alosa spp.*) та піщаний вугор (*Ammodytes spp.*). Оскільки вони швидко ростуть, менше хижаків можуть ними живитися. Тому швидкість їхнього росту має вирішальне значення для виживання.

Лосось, який досягає зрілості після одного року перебування в морі, називається Грільсе; він повертається до своєї річки влітку вагою від 0,8 до 4 кг. Якщо лосось провів у морі два або більше років, то він повертається значно раніше і важить від 3 до 15 кг, і через свій розмір він користується великим попитом у рибалок. Лосось має чудовий «інстинкт самонаведення», і дуже велика його частка здатна знаходити річку свого походження за допомогою магнітного поля Землі, хімічного запаху своєї річки та феромонів (хімічних речовин, що виділяються іншими лососями в річці). Очікується, що лосось буде безпомилково визначати місцезнаходження навіть після міграції на відстань понад 3 000 км до місць нагулу на північ від Полярного кола в Норвезькому морі і в Західній Гренландії. Коли дорослі лососі повертаються до річок, це викликає велике хвилювання, оскільки багато з них акробатично підстрибують у повітря і перестрибують через водоспади, рухаючись вгору за течією. Лососеві, який пережив рибалок, браконьєрів і забруднення, можливо, все ще доведеться долати великі дамби, побудовані поперек річок, перш ніж він знайде притулок в озерах і глибоких басейнах. Прибувши вгору за течією до своїх нерестилищ серед великих валунів у крижаних верхів'ях, життєвий цикл починається знову, забезпечуючи виживання виду в наступному поколінні [1, 3, 5].

Після нересту лосось називається «ікрою». Ослаблені від того, що не їли з моменту прибуття в прісну воду, і втрачаючи енергію в спробі успішно розмножуватися, мальки вразливі до хвороб і хижаків. Смертність після нересту може бути значною, особливо серед самців, але деякі з них виживають і знову починають свою епічну подорож. Вчені, які вивчають лосося, спочатку використовували кільця, що відкладаються на лусці, подібно до кілець на деревах, для визначення віку та росту лосося в прісній воді та в морі. Таким чином вони встановили, що деяким лососям вдавалося нереститися тричі! Тепер існує новий рекорд ірландського лосося, який досяг зрілості після менш ніж одного року в морі - нульовий морський зимовий лосось. Лосось вийшов з річки Бундоррага в графстві Ко. Мейо 27/04/2007 у віці 1 року і вагою 49 г, а повернувся з моря 05/11/2007 вагою 810 г [6-8].

Сьогодні вчені мають у своєму розпорядженні більший набір методів для вивчення складного життєвого циклу цього важливого виду. Мічення, відстеження, використання ДНК та аналізу стабільних ізотопів у поєднанні з дослідженнями середовища існування та зміни клімату - все це робиться для того, щоб зрозуміти фактори, які визначають виживання цього виду. Північноатлантична крижень, що зазнає змін клімату, легко переходить з прісних водойм у північну частину Атлантичного океану, постійно мігруючи, уникаючи хижаків, а потім повертається до рідної річки, перестрибуючи через майже непрохідні водоспади, щоб дістатися до місця свого народження. Виживання в неймовірних умовах робить лосося *Salmo salar* «королем риб».

1.1 Оцінка потенційних факторів, що впливають на репродуктивний успіх лососевих протягом життя

Довічний репродуктивний успіх, тобто кількість нащадків, вироблених протягом життя організму, є фундаментальним компонентом дарвінівської пристосованості і зазвичай вважається достатньою оцінкою пристосованості в природних популяціях. Для таких таксонів, як лососеві, що потребують

охорони, розуміння факторів, що впливають на довічний репродуктивний успіх, є критично важливим для розробки та впровадження успішних практик управління збереженням[7].

На довічний репродуктивний успіх, що впливає на лососевих, мають значний вплив інкубаційне вирощування, життєва історія та фенотипічні зміни, а також поведінкові та нерестові взаємодії. Крім того, впливає конкурентна поведінка на нерестилищах, генетична сумісність, локальна адаптація та гібридизація. Дослідження репродуктивного успіху виявили деякі прогалини та виділили нові області досліджень:

- 1) розширення спектру досліджень, що оцінюють довічний репродуктивний успіх за різними стратегіями життєвого циклу, зокрема, враховуючи різні репродуктивні та міграційні фенотипи;
- 2) розширення різноманітності видів, представлених у дослідженнях пристосованості лососевих;
- 3) побудова багатопокілних родоводів для відстеження довготривалих ефектів пристосованості;
- 4) проведення досліджень довічний репродуктивний успіх, які вивчають вплив водних стресових факторів, таких як антропогенний вплив, патогени, фактори навколишнього середовища як у прісноводних, так і в морських середовищах, а також оцінку загального стану організму;
- 5) використання відповідних статистичних підходів для визначення факторів, які пояснюють найбільшу варіацію фітнесу, та надання інформації щодо біологічної значущості, обмежень потужності та потенційних джерел помилок у дослідженнях родоводів лососевих [8].

Дослідження довічного репродуктивного успіху значно поглибили наукове розуміння пристосованості лососевих, але для сприяння довгостроковому відновленню цих ключових видів у водних екосистемах необхідно подолати значні виклики, що стоять перед ними.

Лососеві представляють ідеальну систему дослідження для оцінки структури родоvodu, надійного вимірювання репродуктивного успіху та

вирішення еволюційних питань, враховуючи їх унікальні стратегії життєвого циклу та структуру популяції, високу плодючість, широку мінливість ознак життєвого циклу та багатство генетичної інформації, отриманої в результаті комерційної та природоохоронної аквакультури. Крім того, лососеві демонструють дуже високу індивідуальну та популяційну мінливість, інтенсивну внутрішньостатеву конкуренцію та високу смертність в цілому, що робить їх також ідеальними для вирішення питань статевого відбору [9-11].

Варіації численних ознак життєвого циклу відбуваються як всередині видів лососевих, так і між ними, включаючи як напівпарні, так і ітеропарні репродуктивні стратегії. Семельпарність характеризується однією репродуктивною подією, за якою слідує смерть, і являє собою стратегію життєвого циклу, яка може бути знайдена у всьому таксономічному спектрі. Багато видів лососевих риб демонструють напівпарний спосіб життя, але він особливо поширений в роді *Oncorhynchus*, включаючи чавичі (*Oncorhynchus tshawytscha*), кижуча (*Oncorhynchus kisutch*), нерки (*Oncorhynchus nerka*), горбуші (*Oncorhynchus gorbuscha*) і кети (*Oncorhynchus keta*). Оскільки нестатевозрілі види лососевих відтворюють потомство протягом одного репродуктивного циклу перед смертю, репродуктивний успіх можна оцінити за один сезон розмноження. З іншого боку, лососеві, які мають потенціал до ітеропарності, характеризуються повторними епізодами розмноження, кількість яких залежить від численних факторів, включаючи стать, розмір та антропогенний вплив. Деякі приклади ітеропарних лососевих включають європейського харіуса (*Thymallus thymallus*), озерного сига (*Coregonus clupeaformis*), райдужну і сталеголову форель (*Oncorhynchus mykiss*), гольця (*Oncorhynchus clarkii*), озерного гольця (*Salvelinus namaycush*), арктичний голец (*Salvelinus alpinus*), струмкового гольця (*Salvelinus fontinalis*), бичка (*Salvelinus confluentus*) та гольця Доллі Варден (*Salvelinus malma*), атлантичного лосося (*Salmo salar*) та струмкову форель (*Salmo trutta*) та інші.

У ітеропарних лососевих існують компроміси між виживанням і розмноженням на більш пізніх етапах життя [10-13].

Лососеві також демонструють широкий спектр інших альтернативних стратегій життєвого циклу, які можуть впливати на швидкий ріст популяції, таких як альтернативні репродуктивні фенотипи та альтернативні міграційні тактики. Наприклад, досоціальні самці зазвичай дозрівають (тобто виробляють молоки) принаймні на рік раніше, ніж середньостатистичні дорослі самці, і, залежно від виду, можуть або мігрувати в океан і повертатися раніше (зазвичай їх називають «джеками»), або частково мігрувати («міні-джеки»), або повністю дозрівати в прісній воді («резиденти»). Термін «пресоціальне дозрівання» часто використовується для опису самців-резидентів, які виробляють молоки, але в іноді використовують термін «пресоціальний» у більш широкому сенсі для позначення самців, які дозрівають принаймні на рік раніше, ніж середньостатистичні дорослі самці певного виду. Таке досоціальне дозрівання, або «джекінг», відрізняється від більших і старших самців, які спостерігаються у напівстатевозрілих тихоокеанських лососів *Oncorhynchus* spp. та інших анадромних лососів, таких як атлантичний лосось. Наприклад, в атлантичного лосося як розмір, так і вік досягнення зрілості можуть широко варіювати, причому деякі самці дозрівають як досоціальні партнери у своїх природних потоках і використовують стратегію «кросівок» для запліднення ікри порівняно зі стратегією «бійців», що спостерігається у більших анадромних самців. Досоціальне дозрівання також відбувається в інших ітеропарних видів лососевих, таких як струмкова форель. Подібно до самців, є кілька видів лососевих, які демонструють досоціальне дозрівання самок, і їх зазвичай називають «джіллами». Альтернативні репродуктивні фенотипи у лососевих є спадковими і підтримуються через процеси як негативного частотно-залежного добору, так і статевого добору, залежного від умов. Одним із запропонованих еволюційних пояснень присутності зрілих самців на нерестовищах є те, що вони можуть збільшити загальне генетичне різноманіття та зменшити інбридинг, оскільки вони навряд чи спаровуються з самками з власної когорти[12-16].

Альтернативні міграційні тактики також включають інші форми варіацій життєвої історії лососевих, які, подібно до альтернативної репродуктивної поведінки, визначаються як впливом навколишнього середовища, так і генетично обумовленими порогами розвитку і можуть відбуватися вздовж континууму як в межах популяції, так і між популяціями. Анадромні лососеві проводять частину свого життя у прісній воді (постнатальний розвиток і нерест), а іншу частину - в океані, де вони розвиваються і ростуть, тоді як риби-резиденти проводять весь свій життєвий цикл у прісній воді. Хоча більшість видів роду *Oncorhynchus* є анадромними (наприклад, чавича, кета, кижуч і горбуша), інші види, такі як прибережна горбуша, кижуч і нерка, є як анадромними, так і осілими. Аналогічно, види *Salmo*, *Salvelinus*, *Thymallus* та *Coregonus* демонструють континуум анадромності та резидентності [12].

Багато видів лососевих, включаючи атлантичного лосося, струмкову форель, чавичі, кети, кижуча та нерки, вважаються об'єктами особливої уваги з точки зору збереження через численні антропогенні впливи, такі як будівництво гребель, надмірний вилов риби, зміна клімату та деградація середовища існування. Оцінка продуктивності природоохоронних видів є життєво важливим компонентом життєздатності популяції, а успіх природоохоронного менеджменту часто вимірюється за допомогою репродуктивного успіху. Таким чином, розуміння широкого спектру нещодавньої літератури, присвяченої репродуктивній екології лососевих, може надати менеджерам з охорони природи основу для побудови успішних планів управління та оцінки успішності існуючих стратегій збереження [13].

1.2 Облік різних життєвих стратегій

Багато факторів впливають на пристосованість лососевих риб. Існує багато областей досліджень, які потребують подальшого вивчення, але вони майже відсутні в літературі (рис. 1.3). Одним із таких прикладів є включення

широкого спектру життєвих стратегій лососевих у дослідження репродуктивного успіху. Облік різних варіацій життя лососевих може не тільки допомогти зменшити мінливість результатів у дослідженнях, але також залишається надзвичайно важливим компонентом успішного управління збереженням [15].

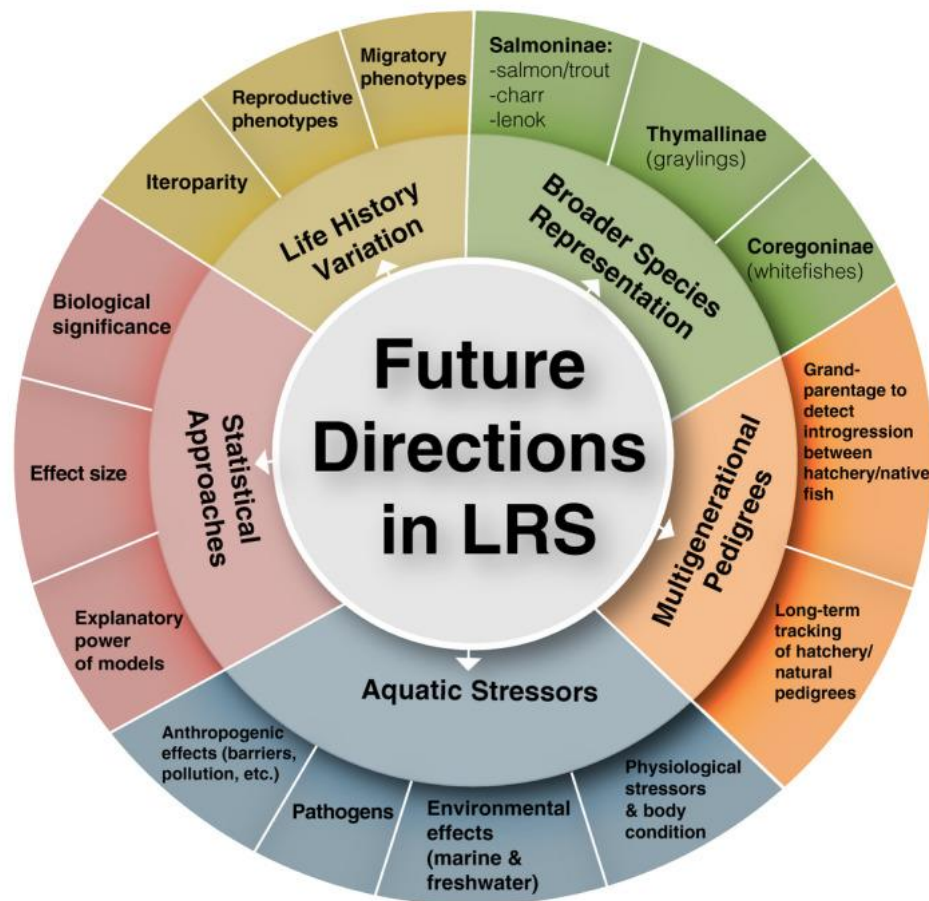


Рис. 1.3 – Кругла концептуальна карта, що вивчає потенційні напрямки майбутніх досліджень у дослідженнях успіху відтворення лососевих протягом усього життя. Кожен колір представляє загальну тему для майбутніх досліджень. Внутрішнє кільце представляє п'ять загальних тематичних областей, а зовнішнє — конкретні приклади напрямків для майбутніх досліджень.

Наприклад, при порівнянні походження репродуктивного успіху з інкубаторного заводу з репродуктивним успіхом природного походження, відмінності в походженні репродуктивного успіху з інкубаторного заводу між альтернативними репродуктивними фенотипами можуть впливати на загальні результати. Таким чином, майбутні дослідження репродуктивного успіху повинні визначити вплив як включення, так і виключення прекоціальних самців у наборі даних, коли це можливо. Інші життєві стратегії, такі як ітеропрофільність, прісноводне проживання, тривалість перебування в океані та час міграції дорослої особини, також залишаються в основному неврахованими в дослідженнях придатності лососевих [16].

Лише обмежена кількість досліджень лососевих вивчала відмінності в репродуктивному успіху між резидентними та анадромними рибами через виклики вибірки в плануванні експерименту. У видів як з анадромними, так і з резидентними формами, зусилля щодо відбору зразків були спрямовані майже виключно на повернення анадромних риб через низьку щільність і практичні проблеми відбору резидентів, що призвело до великої частки «відсутніх» резидентних батьків. Одним із потенційних методів обійти неповну вибірку риб-резидентів, яка нещодавно привернула увагу, є відстеження анадромних нащадків до їхніх предків, по суті, заповнюючи прогалини в родоводі, який містить повну вибірку анадромних, але не резидентних риб [17].

Також було проведено дуже мало досліджень, які вивчали відмінності у фізичній пристосованості між першими та повторнонароджуючими типами історії життя, які зустрічаються в межах одного виду. Зокрема, лососеві, які демонструють ітеропропарність (тобто повторне відкладення ікри), значно недостатньо представлені в дослідженнях репродуктивного успіху. Оскільки дуже небагато досліджень змогли пояснити повторне розмноження, цілком можливо, що ітерологічні особини, які або мінімізували витрати енергії та подальшу репродуктивну продуктивність у перший сезон розмноження та/або не змогли розмножитися протягом другого сезону розмноження,

демонструють непропорційно низький репродуктивний успіх порівняно з особин, які не народжували в тій самій популяції, потенційно знижуючи загальні тенденції репродуктивного успіху на рівні популяції. Незважаючи на логістичні труднощі з оцінкою репродуктивного успіху у ітеророплідних видів, збільшення кількості ітеророплідних риб у популяції стало інструментом для підвищення загальної генетичної мінливості та чисельності популяції, особливо для зменшення популяції сталевої форелі. Таким чином, важливо й необхідно, щоб широта досліджень репродуктивного успіху продовжувала розширюватися на широкий спектр типів історії життя, особливо тому, що ці дослідження допомагають приймати широкомасштабні рішення щодо управління та збереження ітерородільних видів [18-20].

Характеристики історії життя, такі як час міграції дорослої особини та тривалість перебування в прісній воді та в океані, часто відрізняються в популяціях лососевих, але вони також значною мірою не враховуються в дослідженнях репродуктивного успіху за лише кількома останніми винятками. З огляду на те, що було показано, що головні гени впливають на фенотипічні варіації цих ознак у різних видів лососевих, врахування варіацій ознак може суттєво впливати на оцінки репродуктивного успіху в популяціях. Наприклад, якщо риба інкубаційного походження повертається до місць нересту пізніше в сезон і відчуває зниження репродуктивного успіху через підвищення температури потоку порівняно з рибою природного походження, яка повертається в середньому раніше, це може мати важливі наслідки для управління збереженням, які потребуватимуть для вирішення. Існує також зростаючий інтерес до дослідження репродуктивного успіху риб, які є гетерозиготними за генами головного впливу порівняно з альтернативними гомозиготними рибами за фенотипічними ознаками, такими як час міграції дорослої особини, де один із типів життєвої історії є предметом серйозної занепокоєності щодо збереження (тобто, весняний біг). Загалом, очікується, що майбутні дослідження репродуктивного успіху потребуватимуть

ретельного планування досліджень, які враховуватимуть типи історії життя та риси [19,20,22].

Численні поведінкові фактори, такі як домінування, залицання та щільність, можуть впливати на репродуктивність лососевих риб. Наприклад, використовували кількість одностатевих конкурентів на нерестовищах струмкової форелі як показник конкуренції. Виявили, що кількість одностатевих конкурентів негативно впливає на репродуктивність і що на самок, зокрема, негативно впливає більша щільність самок на нерестовищах. Попередні дослідження припускали, що щільність розмноження на нерестовищах є основним фактором конкуренції самок у лососевих, коли самки конкурують за місця гніздування, витісняють інших самок і турбують гнізда [21].

Агресивна або домінантна шлюбна поведінка самців на нерестовищах також вивчалася в обмеженій кількості досліджень, і в цілому було виявлено позитивний зв'язок репродуктивності зі збільшенням агресивності. Агресивна поведінка самців, яку пов'язують з вищим рівнем репродуктивності, включає домінування в поведінці залицання, частоту нападів на конкурентів на нерестовищах та частоту спроб залицання до самок. Однак вплив агресивної поведінки самців може зменшуватися пізніше в нерестовий сезон, потенційно внаслідок зміни співвідношення статей, що може спричинити зниження здатності більших самців підтримувати доступ до нерестуючих самок через погіршення фізичного стану з часом, загальне завершення відкладання ікри самками та збільшення кількості нових нерестовиків. Також задокументовано позитивний зв'язок між кількістю партнерів на репродуктивність та негативний зв'язок між кількістю днів, проведених на нерестовищі [21-23].

Вибір партнера є ще одним компонентом поведінки лососевих, який може впливати на репродуктивність. Однак дослідження, засновані на батьківстві лососевих, зазвичай не розрізняють бажаних партнерів і успішних партнерів. Крім того, у програмах розведення лососевих у неволі зазвичай не можна використовувати переваги спаровування. Однією з областей вибору

партнера, якій приділено певну увагу в дослідженнях репродуктивності лососевих, є залежним від вибору партнера. У таксономічних групах було показано, що залежний від вибору партнера шляхом диссортивного спаровування оптимізує генетичну сумісність і підвищує загальну резистентність до патогенів у потомства. У лососевих загальні тенденції свідчать про вищі рівні диференціації популяції за генами вибору порівняно з нейтральними генами. У той час як диссортивне спарювання може забезпечити генетичні переваги для нащадків. Є гіпотеза про те, що позитивний ефект збільшення спільних алелів між самками та самцями, які використовують стратегію спаровування, міг розвинутися як механізм зменшення ймовірності гібридизації та аутбридної депресії або як механізм збільшення ймовірності специфічних комбінацій алелів, які можуть надати перевагу виживанню потомству[21].

Гібридизація та інтрогресія з немісцевими видами риб з відмінною історією життя також можуть впливати на репродуктивний успіх. Загалом гібридизація відіграє важливу роль в еволюції, обмежуючи еволюцію нових видів або сприяючи диверсифікації і може мати важливі наслідки для встановлення політики збереження. Подібним чином гібридні нащадки інтродукованої струмкової форелі та місцевого біло-рябого гольца показали значно нижчий репродуктивний успіх порівняно з їхніми батьківськими видами [21].

1.3 Можливі захворювання лососевих на протязі життєвого циклу

До основних захворювань лосося, що вирощується, належить інфекційна анемія лосося (ІАЛ), яка характеризується блідими зябрами і рибою, яка плаває близько до поверхні води, заковтуючи повітря. Деякі випадки протікають безсимптомно, але риба раптово гине. Вперше про ІАЛ було повідомлено на норвезьких лососевих фермах у 1984 році, звідки вона

поширилася на інших великих виробників лосося, спричинивши величезні збитки до 100 мільйонів євро [28, 29].

Інфекційна анемія лосося викликається вірусом, вірусом інфекційної анемії лосося, однією з найбільш руйнівних хвороб лосося *S. salar*, що вирощується в морських умовах, і вражає переважно підрощену рибу.

У Чилі перший спалах стався в червні 2007 року, коли циркулював варіант ISAV HPR7b [30]. Вплив спалаху був руйнівним і частково спричинив короткочасне зниження світового виробництва лосося в наступні роки (рис. 1.4).



Рис. 1.4 - Лосось, уражений інфекційною анемією

Спалахи інфекційна анемія лосося супроводжуються високою смертністю риби, величезними збитками для фермерів і суворим обмеженням виробництва в прилеглих районах. Відомо, що існує велика кількість факторів ризику, які роблять лосося схильним до спалахів ІАЛ [32]. Наявність рецепторів ISAV у риби, варіант штаму (вірулентний чи невірулентний), відповідальний за спалах, швидкість еволюції штаму від невірулентного до вірулентного, швидкість репродукції та розмноження вірусу, неоптимальні практики управління на садкових фермах, порядок зариблення та відсадки риби в садках, спалахи супутніх захворювань, рівень інтенсифікації виробництва риби на фермі, а також поводження з рибою та її обробка - ось

деякі фактори ризику, які сприяють збільшенню кількості спалахів ІАЛ [33, 34, 35]. Підвищення рівня біобезпеки, передові практики рибництва, а також краще розуміння деяких факторів ризику є відповідними заходами для пом'якшення наслідків спалахів ІАЛ [32].

Інфекційний панкреонекроз (ІПН) - це захворювання молоді лососевих (*Salmo*, *Onchorynchus* і *Salvelinus*), що вражає підшлункову залозу і паренхіму печінки риби (рис. 1.5). Вірус, що викликає ІПН, належить до родини аквабінарвірусів (*Birnaviridae*) і являє собою двоспіральну дволанцюгову РНК, що складається з двох сегментів.



Рис. 1.5 - Ураження підшлункової залози у зараженої вірусом некрозу райдужної форелі: А - здуття живота, В - жовта слизова рідина в шлунково-кишковому тракті

Виникає сильний некроз клітин підшлункової залози та печінки, який поширюється на слизову оболонку кишечника [36]. Після линьки шкіра темніє, передня частина черевця роздувається, капіляри навколо грудних плавців набухають, спинний плавець ерозується, а зяброве отвір роздувається

[36]. Це відбувається як у прісних, так і в морських водах, коли риба, як правило, перебуває на стадії початку нагулу до 20 г (після переходу в моря на стадії після линьки).

Тому хвороба вражає мальків і молодь після линьки, а в морському середовищі (після линьки) набуває особливо тяжкого перебігу, спричиняючи значну смертність [37]. Таким чином, спалахи ІПНВ мають економічні, екологічні та соціальні наслідки, оскільки лосось, який виживає після нападу, часто залишається безсимптомним носієм вірусу [38]. Економічні втрати від спалахів ІПНВ в Норвегії, наприклад, оцінюються в 30 мільйонів доларів США [39]. Окрім присутності в клітинах підшлункової залози, деякі клітини вірусу ховаються, а отже, розмножуються і персистують у лейкоцитах головної нирки. Це призводить до періодичних спалахів, які швидко поширюються між фермами в місцевості, особливо в провідних країнах-виробниках лосося, таких як Норвегія та Чилі, де ферми сконцентровані в одній місцевості. Деякі з механізмів захисту хазяїна від ІПНВ включають фактор некрозу інтерферону (IFN) та антивірусний білок або ген Мх [40], які пригнічують персистуючі вірусні клітини. Після того, як у країнах-виробниках лосося з'явився гомозиготний штаб, стійкий до ІПН (IPN-QTL), смертність тепер варіюється в залежності від сприйнятливих і стійких штамів лосося під час спалаху.

Тому смертність може коливатися від 5 до 10% у стійких штамів лосося до 70% у генетично сприйнятливих штамів у морських садках. Це свідчить про те, що значних успіхів у боротьбі з хворобами при вирощуванні лосося можна досягти шляхом поєднання селекції лосося на стійкість до хвороб і комплексу природних і активних імунних реакцій проти патогенних мікроорганізмів.

Окрім лососевих, **фурункульоз** також є високопатогенним для інших видів риб, що мешкають у диких водоймах, а також для популяцій, що вирощуються на фермах. Його викликає грамнегативна паличкоподібна бактерія *Aeromonas salmonicida subsp. salmonicida*. Бактерія має зовнішній поверхневий шар, поверхневий шар А-протеїну (А-шар), який протидіє

захисним механізмам риби-хазяїна. Це посилюється ліпополісахаридом, антигеном захисної клітинної оболонки на поверхні бактерії [41]. Коли бактерії ростуть, вони виділяють позаклітинні продукти, які спричиняють ураження риби. Тому симптоматичні випадки характеризуються рибою з ураженнями, які у важких випадках призводять до загибелі (рис. 1.6) [41].



Рис. 1.6 – Фурункулез форелі

Заражені риби, як правило, мляві, втрачають апетит, у них розвивається темна шкіра, з'являються вентральні крововиливи біля основи анального, грудних і черевних плавників, спленомегалія і субкапсулярні крововиливи в печінці [41]. Коли рідкі ураження шкіри та виразки розриваються, в навколишнє середовище потрапляє більше бактерій, що збільшує рівень інфікування навколишньої риби. Повідомляється, що сильні спалахи спричиняють економічні збитки, що перевищують 100 мільйонів доларів США в лососевій промисловості Норвегії [28]. Заходи контролю під час спалахів включають профілактику, наприклад, використання вакцин. Ліки (антибіотики, такі як флумеквіна) проти фурункульозу можуть вводитися зараженій рибі через дієти, в той час як для уникнення спалахів рекомендується застосовувати найкращі практики управління. У разі сильних спалахів може бути заборонено переміщення мальків (карантинні

господарства), а господарствам, які страждають від спалахів, заборонено продавати мальків [41]. До загальних факторів ризику, які спричиняють спалахи фурункульозу на лососевих фермах, належать: міграція риби, якість води, спільне використання або переміщення персоналу між лососевими фермами та інкубаторами, порушення карантинних протоколів, а також погане утримання та гігієнічні практики в інкубаторах та на фермах [40]. Крім того, цвітіння водоростей, підвищення температури і солоності води в диких водоймах збільшують ризик спалаху фурункульозу [41].

Атлантична хвороба лосося вперше з'явилася у ФРН наприкінці шістдесятих років. Але ще задовго до цього наприкінці 50-х років у Шотландії, де вона лютувала на той час, ця епідемія була вже досліджена.

При нересті загнивають голова і хвостове стебло. Не тільки струмкова форель і харіус, а й райдужна форель швидко заражаються. Існує думка, що ця хвороба вражає всі види риб. Уражаються насамперед під час нересту, а під час хвороби у більш менш розвинених гонадах спостерігаються крововиливи, тому в народі цю хворобу називають «статевою хворобою риб».

Хвороба настає насамперед під час нересту, саме відразу ж після настання статевої зрілості, наприклад у струмкової форелі — у листопаді. Знесилені риби збираються тоді поблизу млинових запруд, шкіра їх уражається сапролегнієм.

Печінка знебарвлена або має плямисте забарвлення, пілоричні придатки шлунка запалені і мають темно-червоний колір, як і пряма кишка. Особливо типовими є крововиливи в селезінці та яєчниках. Характерними є залежність появи хвороби від статевої зрілості та спалах хвороби при настанні нерестового періоду. Більш дорослі стерильні риби, а також риби, які перенесли хворобу і стали при цьому теж стерильними, не хворіють.

Підступність хвороби полягає в тому, що вона однаково вражає риб як у відкритих, так і в закритих водоймах, по всій системі струмків викликає великі втрати в стаді риб тим, що вражає готову до розмноження рибу і перешкоджає появі потомства. Якщо хвороба вражає риб, що перевозяться на далекі відстані

або використовуються як приманка, це веде до подальшого її поширення. Через пов'язане з хворобою виразкове руйнування шкіри вона називається виразковим дермальним некрозом.

Форелева епідемія (вірусна геморагічна септицемія). Так звана форелева епідемія з'явилася у ФРН вперше в кінці п'ятдесятих років Її, мабуть, завезли з Франції разом з імпортом столової риби. яка з'являється під час слабкості, пов'язаної з порушенням обміну речовин. час як симптом практично не зустрічається, тому назва «водянка форелі» також не вживається [24-27].

Цією хворобою захворює тільки райдужна форель, у якої сильно червоніють зябра, риби стають апатичними, темніють, одночасно з'являється витрішкуватість (*Exophthalmus*). Реакція слабшає. У цій стадії зябра стають яскравими, криваво-червоними. Оскільки хворі риби через апатію, що посилилася, не беруть їжу, а отже, неможливо і згодовування ліків, кишечник у риби порожній і заповнений лише жовтою слизовою рідиною, як правило, білі і не червоніють, як при дермальному. некрозі, або наповнені темним гранулятом. червоніє на довжину приблизно 1 см. Печінка робиться світлішою [24-27].

З усіх симптомів найвірнішою ознакою хвороби вважаються множинні крововиливи у внутрішніх органах, які можна виявити або в печінці, або на стінках кишечника і черевної порожнини, або в серці; на стінці плавального міхура вони присутні у всіх випадках у вигляді червоних плям з розпливчастими краями .Тільки при дуже сильному зараженні (воно може бути і первинним) вони зустрічаються в м'язах, особливо спини, позаду голови [25-27].

Ознаки хвороби виявляються лише у сьоголітків розміром понад 4 см. У деяких випадках масові втрати спостерігаються з ще нез'ясованої причини, тому дослідники можуть лише припускати причину форелевої епідемії.

Інкубаційний період зазвичай триває 3 тижні. На практиці він часто буває більш тривалим, протягом якого і відбувається перенесення збудника з хворих риб на здорове стадо. прибутку з вірусом Вважається, що здорові досі

риби, які захворіли разом із завезеними протягом 3 тижнів, не могли бути заражені від них, інакше хвороба настала б лише за 3 тижні.

Хвороба нині зустрічається протягом усього року у гострій формі і призводить нерідко до великих втрат, особливо у новому зараженні [29].

Численні інфекційні захворювання та паразити були широко задокументовані у лососевих. Однак було проведено дуже мало досліджень, які вимірюють вплив хвороби на репродуктивний успіх, особливо в природних популяціях лососевих риб, незважаючи на те, що були задокументовані спадкові варіації цих факторів, і вони можуть безпосередньо впливати на особливості, пов'язані з фітнесом, такі як ріст, годівля, поведінка, плавання та осморегуляція. У той час як летальний відбір зразків використовувався в численних дослідженнях для оцінки патогенів у лососевих, інші дослідження використовували нелетальні методи. Використання неінвазивного та нелетального відбору проб у дослідженнях лососевих риб залишається пріоритетом для державних, федеральних і племінних рибальських агентств, і було досягнуто значного прогресу в розробці цих методів відбору проб. Таким чином, оцінка впливу патогенів на репродуктивний успіх у лососевих є піддатливою сферою досліджень і залишається областю великої потреби. Подібним чином, вплив загального фізіологічного стану на репродуктивний успіх, зокрема загальна оцінка енергетичних запасів, є ще одним напрямком досліджень, якого бракує, а останні досягнення в технології дозволили проводити неінвазивний аналіз стану тіла лососевих. Враховуючи такі фактори, як навантаження патогенів і загальний стан організму, можна більш повно розвинути чітке розуміння факторів водного стресу, що впливають на фізичну форму лососевих. Особливо важливо визначити, чи взаємодіють ці фактори з іншими факторами для прогнозування репродуктивного успіху, такими як походження або умови навколишнього середовища, що може допомогти в ширшому контексті успішного управління збереженням [34-37].

2 ОСОБЛИВОСТІ ШТУЧНОГО ВІДТВОРЕННЯ ЛОСОСЕВИХ РИБ

2.1 Основні тенденції в мережах рециркуляційної аквакультури лосося (RAS-N)

Оскільки світовий попит на морепродукти продовжує зростати, необхідні інноваційні рішення для сталого задоволення цього попиту.

Рециркуляційні системи аквакультури (RAS) для лосося, звані RAS-N, являють собою передовий підхід в аквакультурі, який значно знижує вплив рибництва на навколишнє середовище. Ці системи переробляють воду в резервуарах, зводячи до мінімуму викиди відходів і максимізуючи ефективність використання води. Технологія RAS-N не тільки розв'язує екологічні проблеми, пов'язані з традиційною аквакультурою, а й забезпечує стабільне і контрольоване виробництво високоякісного лосося [24-27].

Однією з основних переваг RAS-N є стале управління водними ресурсами. У цих системах використовуються складні методи фільтрації для очищення і рециркуляції води, що знижує потребу в прісній воді до лише частки того, що потрібно традиційним проточним системам. Це не тільки економить воду, а й значно знижує скидання забруднювальних речовин у місцеві водойми. Можливість ретельного контролю параметрів якості води, включно з температурою, рН і рівнем кисню, покращує здоров'я і швидкість росту риб, що робить RAS-N екологічно й економічно життєздатним варіантом.

Біобезпека є серйозною проблемою в традиційній аквакультурі, де хвороби можуть швидко поширюватися і знищувати популяції риб. RAS-N пропонує контрольоване середовище, що ізолює рибу від зовнішніх патогенів, що значно знижує ризик захворювань. Використання методів і систем біобезпеки зводить до мінімуму потребу в антибіотиках і хімікатах, сприяючи

здоровішому і природнішому процесу зростання. Таке контрольоване середовище не тільки покращує благополуччя риби, а й робить морепродукти безпечнішими для споживачів[14-17].

Модульна природа RAS-N забезпечує масштабованість і локалізацію виробництва лосося, наближаючи виробництво до споживчих ринків і скорочуючи викиди вуглекислого газу, пов'язані з транспортуванням. Ця тенденція до місцевого виробництва стає все більш привабливою, оскільки споживачі шукають більш свіжі продукти місцевого виробництва. Крім того, RAS-N може бути створено в районах, де традиційна аквакультура неможлива, включно з міськими та пустельними районами, тим самим децентралізуючи і диверсифікуючи можливості виробництва продуктів харчування.

Лосось, вирощений у системах RAS-N, часто демонструє кращу якість завдяки контрольованим умовам вирощування. Атмосфера без стресу в поєднанні з можливістю індивідуального підбору дієти та режиму фізичних вправ дає змогу отримати лосося з оптимальним вмістом жиру, текстурою та смаком. Така вища якість не тільки підвищує конкурентоспроможність лосося, а й може забезпечити вищу ціну, що принесе вигоду виробникам. Очікується, що в міру зростання обізнаності споживачів про методи виробництва попит на лосося, вирощуваного екологічно стійким способом, наприклад, за допомогою систем RAS-N, зростатиме [38].

Для подальшого підвищення стійкості систем RAS-N вивчається можливість інтеграції з поновлюваними джерелами енергії. За рахунок живлення цих систем сонячною, вітровою або біоенергією можна значно скоротити вуглецевий слід аквакультури. Ця інтеграція не тільки відповідає глобальним цілям сталого розвитку, а й допомагає підприємствам аквакультури застрахуватися від коливань цін на енергоносії, підвищуючи економічну стабільність і стійкість.

Мережі рециркуляційної аквакультури з розведення лосося знаходяться на передньому краї перетворення галузі аквакультури, надаючи стійкі, ефективні та біобезпечні рішення для вирощування лосося. Тенденції, що

сприяють впровадженню RAS-N, відображають ширшу прихильність сталому розвитку та інноваціям у виробництві продуктів харчування. Оскільки ці системи стають дедалі більш інтегрованими з поновлюваними джерелами енергії та продовжують підвищувати ефективність і управління здоров'ям риби, RAS-N готова зіграти вирішальну роль у сталому задоволенні зростаючих світових потреб у морепродуктах. Завдяки постійним досягненням і дедалі ширшому визнанню, RAS-N являє собою багатообіцяюче майбутнє для аквакультури, яке поєднується з охороною довкілля та економічною життєздатністю [39].

2.2 Нові тенденції у вирощуванні лососевих у рециркуляційних системах (RAS)

Переваги, які дають рециркуляційні системи аквакультури, включаючи покращення росту риби, якості продукції та виживання, а також зниження витрат на лікування, зробили підхід RAS важливим виробничим трендом.

Існуючі операції демонструють, що технологія наземного утримання з втраченою герметичністю є адекватна для виробництва лосося та іншої харчової риби. Виробництво RAS розширюється з метою досягти економії від масштабу. Риба, вирощена за технологією RAS, має низку переваг. риба, вирощена на місцевому рівні, має багато переваг, які можуть бути використані для просування продукту на ринку (табл. 2.1) [1, 13, 17]

Переваги, які реалізуються завдяки підвищенню рівня біобезпеки та суворому контролю над середовищем вирощування, включаючи покращення росту риби, якості продукції та виживання, а також зниження витрат на вакцинацію та лікування, зробили підхід закритого контейнера важливою тенденцією, що розвивається. Однак для оптимізації виробництва риби, усунення сторонніх присмаків, зменшення скидів, скорочення витрат і подальшого посилення біобезпеки все ще потрібні додаткові вдосконалення.

Таблиця 2.1 – Показники, які необхідно контролювати:

Показник	Контроль
Температура води	лише на рівні від 20 до 30°C
Кількість риби	на 1 кубічний метр – не більше ніж 50кг
Склад води	солоність, вміст живильних елементів, наявність кисню
Робота насоса та фільтрів	повинно проганятися не менше 10% води на добу
Поступово розвиток мальків	огляд, годівля, розмноження

Рибоводи визнають загрозу біобезпеки, яку становить використання поверхневих вод, і відмовляються від цього джерела води, щоб уникнути перенесення патогенів з популяцій дикої риби. Крім того, все більше фермерських господарств, що займаються вирощуванням малька, переходять на рециркуляційні системи аквакультури (RAS), щоб звести до мінімуму промивку води, а для дезінфекції води для підживлення, за необхідності, використовувати складну фільтрацію та ультрафіолетове опромінення. Не менш важливо, що рибницькі ферми намагаються вводити лише специфічні безпатогенні ікринки, коли це можливо, а також уникають введення риби, потенційно зараженої поширеними патогенами. Якщо ферми можуть виключити облігатні рибні патогени, результатом є стабільно здоровіша риба, знижена смертність і покращена продуктивність порівняно з більш відкритими системами [20]. Виключення патогенних мікроорганізмів також може зменшити або виключити використання вакцин, антибіотиків і пестицидів та уникнути втрат у рості та виживанні, а також витрат на методи пом'якшення наслідків.

З розвитком індустрії вирощування риби у закритому ґрунті з'явилася тенденція до збільшення масштабів як вирощування, так і вирощування мальків та післялинькового утримання. Вдосконалені технології та економія на масштабах надають фермерам енергоефективні та капітально-ефективні системи для виробництва більшої кількості риби, що означає вищі прибутки

та кращий операційний контроль. Вплив удосконалення технології водопідготовки на постійні та змінні витрати може бути значним через масштабність системи [27]. Наприклад, для виробництва 1 000 тонн лососевих риб на рік для підтримання якості води потрібно 11 000-16 000 м³ /год. рециркуляційних потоків води, а також 4-5 тонн риби на добу, але менше 80 м³ /год. підживлювальної води. Це означає, що близько 99,5% стоку використовується повторно. Деякі нові ферми з вирощування атлантичного лосося на стадії линьки та/або після линьки, зокрема в Норвегії, мають на порядок більші масштаби виробництва, ніж у цьому прикладі. Деякі великі лососеві компанії просто називають свої RAS «машинами для виробництва малька»(табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння вирощування лососів у RAS з традиційними методами.

Параметр	RAS	Садкові ферми
Екологічність	Мінімальний вплив	Потенційне забруднення середовища
Контроль за середовищем	Повний контроль	Обмежений
Початкові інвестиції	Високі	Середні
Операційні витрати	Високі	Нижчі
Ризики	Технічні збої	Зовнішні (хижаки, погодні умови)

Ця інфраструктура часто включає вже існуючі маркетингові та дистриб'юторські канали, переробні потужності, приміщення для вирощування мальків та персонал з попереднім досвідом роботи з RAS. Деякі з найбільших виробників лосося також мають власне маточне стадо і

комбікормові заводи, що в сукупності дає їм перевагу над новими господарствами, яким доводиться розвивати багато чого з цього з нуля.

Лосось із системи закритого утримання отримує чудові відгуки. Риба має багато ринкових переваг, включаючи той факт, що вона виробляється на місцевому рівні і доступна у свіжому вигляді. Під час виробництва не використовуються пестициди та антибіотики [34].

Всі ці якості можна використовувати для маркетингу та брендування продукту. Крім того, добре керовані комерційні ферми, як правило, мають перевагу в тому, що вони виробляють однаковий продукт щотижня протягом року.

2.3 Вирощування трансгендерного або генномодифікованного лосося

У промисловому агробізнесі одним із способів збільшення прибутку є зниження витрат. Одним із способів зробити це є більш швидке зростання за рахунок зміни генетичного матеріалу тварини [20-23]. Лосось лінія *AquAdvantage* є генномодифікованим Атлантичним лососем, розробленим компанією *AquaBounty Technologies*.

Лосось *AquAdvantage* росте вдвічі швидше, ніж його дикі побратими, і вже продається на комерційній основі. Але чи є ця риба настільки неетичною та небезпечною, як дехто вважає, чи корисним інструментом для боротьби з продовольчою безпекою та екологічними проблемами?

У 1989 році американська компанія *AquaBounty Technologies* почала виводити нову генно-інженерну породу атлантичного лосося, яка могла б рости вдвічі швидше, ніж атлантичний лосось у дикій природі [24-27].

І хоча лосось *AquAdvantage* був ще дуже далекий від того, щоб бути схваленим для комерційного виробництва або продажу, потенціал генетично модифікованих (ГМ) продуктів тваринного походження на полицях наших супермаркетів швидко перетворився з гіпотетичного на життєздатну

реальність. У 2015 році ця гіпотеза стала реальністю. Після багаторічних дискусій Управління з контролю за продуктами та ліками США (FDA) схвалило лосося AquAdvantage, який став першою у світі генетично модифікованою твариною, дозволеною для комерційного виробництва та споживання [36].

Зараз, коли нові дискусії навколо нових генетичних технологій знову на порядку денному ЄС, десятирічна історія лосося AquaAdvantage може запропонувати нам зазирнути у майбутнє та виклики ГМО.

За останнє десятиліття популяція атлантичного лосося досягла історичного мінімуму. У 2020 році вилов атлантичного лосося склав 915 тонн, що на 19% і 29% менше порівняно із середнім виловом за попередні п'ять і десять років відповідно. Але ще до того, як лосось AquAdvantage був схвалений для комерційного використання, популяції перебували в стані різкого скорочення без явних ознак покращення[39].

Вирощування лосося швидко стало життєздатним рішенням для задоволення попиту на дикий вилов риби, що скорочується, і сьогодні близько 70% світового виробництва лосося припадає на аквакультуру, причому більша частина продукції потрапляє до країн з високим рівнем доходу. Галузь настільки зросла, що лише вирощений лосось становив понад 16% вартості всієї експортної продукції аквакультури у 2019 році.

Але за останні десятиліття стало зрозуміло, що вирощування лосося викликає низку власних проблем, таких як забруднення, що потрапляє у прилеглі водні шляхи, вплив використання антибіотиків та нераціональна залежність від дикої риби як ключового компонента корму. Існує також проблема втечі селекційно вирощеного лосося в дику природу, де він може завдати шкоди диким популяціям, які і без того перебувають у скрутному становищі, конкуруючи за ту саму їжу, поширюючи патогенні мікроорганізми, бактерії, віруси і паразитів, що може спричинити хворобу, а також послабити генетику дикого лосося через схрещування [41].

У серпні 2023 року Ісландія зіткнулася з однією з найбільших втеч за останні роки, коли тисячі вирощених лососів втекли з загону в Патрексфьордурі. За оцінками Норвезького інституту морських досліджень, середня кількість лосося, який щорічно втікає з ісландських ферм, майже вдвічі перевищує загальну дику популяцію, що викликало серйозне занепокоєння з боку екологів [17].

Компанія AquaBounty Technologies запропонувала лосось AquaAdvantage як вирішення цих проблем, заявивши, що їхній лосось нового вигляду не містить антибіотиків, стерильний і потребує на 25% менше корму, ніж звичайний лосось, вирощений на фермах, щоб досягти ринкового розміру. Крім того, він також був спроектований таким чином, щоб рости вдвічі швидше, ніж звичайний лосось, досягаючи ринкового розміру за значно менший час, що також є виграшним для виробників. Щоб досягти цього, компанія AquaBounty модифікувала лосося, видаливши типовий ген, що регулює гормон росту атлантичного лосося, і замінивши його на ген, що регулює гормон росту більш швидкого лосося чавичі та промоторну послідовність іншої риби - океанічного путасу. Ця послідовність схожа на генетичний «вимикач», який регулює, коли і де в організмі експресується ген, що регулює гормон росту. Разом ці модифікації дозволяють лососеві рости цілий рік, а не лише влітку та навесні, коли звичайний атлантичний лосось демонструє більший ріст [3, 5, 15].

Генетична інженерія дозволяє змінювати генетичний матеріал організмів, покращуючи існуючі ознаки або вводячи нові. Генетична модифікація, суперечливий метод генної інженерії, передбачає перенесення генів одного виду в ДНК іншого виду, створюючи трансгенні або генетично модифіковані організми (ГМО).

Хоча прихильники стверджують, що ГМО, такі як лосось AquaAdvantage, мають низку переваг, тривають дебати щодо етичних, соціально-економічних та екологічних проблем, пов'язаних з неприродним втручанням у ДНК рослин і тварин. Лосось AquaAdvantage може досягти

дорослого розміру за 16-18 місяців замість 36 місяців для звичайного атлантичного лосося. Ці трансгенні лососі споживають на 25 відсотків менше корму і приблизно на 20 відсотків ефективніше перетворюють їжу на м'ясо (рис. 2.1) [21].

Ще до того, як лосось AquAdvantage був схвалений FDA для комерціалізації, групи захисту навколишнього середовища, організації з захисту прав споживачів, активісти із захисту тварин та окремі сегменти наукової спільноти поспішили висловити свою критику. Такі терміни, як «франкенфіш», потрапили в заголовки газет, і стало зрозуміло, що думки щодо нового супер-лосося розділилися.

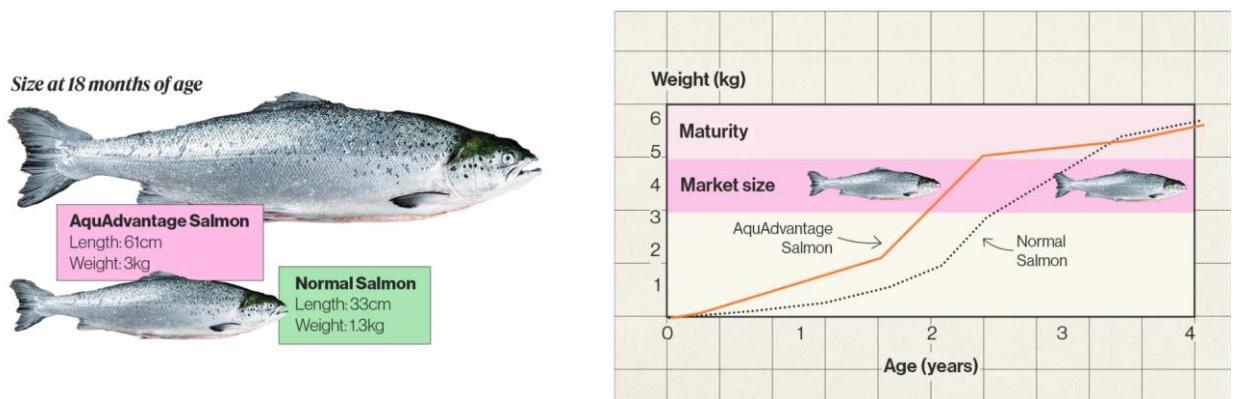


Рис. 2.1 – Порівняння росту лосося AquAdvantage та дикого лосося

Хоча список критичних зауважень з боку анти-груп довгий, вони в основному зосереджувалися навколо кількох ключових проблем.

Частина критики лосося AquAdvantage була пов'язана з процесом затвердження та недостатньою прозорістю маркування генетично модифікованих продуктів для споживачів. Управління з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів і медикаментів США (FDA) регулює генетично модифіковані продукти за допомогою процесу, який забороняє агентству розголошувати інформацію, отриману під час розгляду, громадськості. Така

непрозорість викликала занепокоєння щодо того, наскільки громадський контроль та участь громадськості були враховані при затвердженні.

Вимоги до маркування також викликали занепокоєння. Спочатку FDA не вимагало маркування генетично модифікованого лосося, заявляючи, що він схожий на дикий сорт. Однак групи захисту прав споживачів стверджували, що споживачі мають право знати, чи була їхня їжа генетично модифікована, що призвело до прийняття Національного закону про розкриття інформації про біоінженерні продукти харчування, який вимагає маркування ГМО, в тому числі лосося AquAdvantage. Незважаючи на це, винятки для ресторанів та деяких підприємств роздрібної торгівлі обмежують доступ споживачів до інформації про наявність генетично модифікованого лосося в їхніх продуктах харчування, що підкреслює поточні проблеми в забезпеченні прозорості в ланцюгу постачання продуктів харчування [25-27].

Генетично модифікований організм може вводити в їжу нові білки або алергени, які не були присутні в оригінальному організмі. Хоча ці добавки можуть бути нешкідливими, вони також можуть викликати алергічні реакції у чутливих людей, які раніше не були чутливими до оригінального незміненого продукту. Це загальне та обґрунтоване занепокоєння щодо безпеки харчових продуктів стосується і лосося AquAdvantage.

За останні десятиліття основні медичні групи представили дослідження та оприлюднили заяви, в яких підкреслили, що насправді немає жодних доказів того, що модифікований продукт представляє якийсь унікальний ризик для здоров'я людини порівняно з традиційно вирощеними продуктами [25-27].

Однак також було чітко підкреслено, що різні ГМО мають різні вставлені гени, і, як наслідок, їхній потенційний вплив на здоров'я людини слід оцінювати в кожному конкретному випадку, перш ніж вони стануть доступними на публічному ринку.

Щодо конкретного випадку з лососем AquAdvantage, FDA та Канадський науково-консультативний секретаріат дійшли висновку, що

лосось AquAdvantage не становить жодного додаткового ризику для здоров'я людини порівняно з диким лососем [23].

У 2004 році було показано, що трансгенний лосось може становити потенційну загрозу для диких популяцій за певних умов, якщо він потрапить у навколишнє середовище, і дослідники просили взяти це до особливої уваги.

Враховуючи, що лише з шотландських ферм у 2002-2006 роках втекло понад мільйон одомашнених лососів, проблема втечі риби з садків у дику природу залишається актуальною і донині.

Однак існують способи зменшити цей ризик. Наприклад, шкода навколишньому середовищу значно зменшується, коли рибу вирощують у закритих наземних фермах з додатковим біологічним стримуванням, наприклад, розведенням лише однієї статі або стерилізацією трансгенної риби, щоб вона не могла розмножуватися з дикими популяціями, якщо їй вдасться втекти [24].

Згідно з технологіями AquaBounty, щоб відповідати вимогам FDA з цього питання, весь їхній лосось є стерильними самками, вирощеними в добре захищених внутрішніх приміщеннях.

FDA, Міністерство рибного господарства та Канадський науковий консультативний секретаріат дійшли висновку, що ці заходи значно знижують ризик впливу лосося АкваБаунті на навколишнє середовище до «надзвичайно низького». Але це, схоже, не заспокоїло декого, і в 2020 році федеральний суддя в Сан-Франциско постановив, що FDA має краще дослідити потенційний вплив лосося AquAdvantage на навколишнє середовище, якщо він втече в дику природу. Після подальшого розслідування FDA стверджувало, що, враховуючи низьку ймовірність втечі лосося і схрещування з диким атлантичним лососем, його потенційний вплив на навколишнє середовище насправді є «надзвичайно низьким» [29].

Існують також деякі ознаки того, що одомашнена трансгенна риба не дуже добре почувається в дикій природі, однак дослідники закликають до

подальших досліджень з цього питання, щоб краще зрозуміти потенційний вплив трансгенної риби в дикій природі.

Поки що лосось AquAdvantage залишається єдиним комерційно доступним ГМО. Це означає «генетично модифікований організм», тобто жива істота, чия ДНК була змінена шляхом вставки ДНК іншої живої істоти. Цей організм може навіть належати до іншого виду. Якщо він має гени, це можливо.

Вона також продається лише в США та Канаді - жодні інші міжнародні уряди, включно з ЄС, не демонструють чіткого бажання серйозно розглядати питання виробництва чи продажу ГМ лосося в межах своїх кордонів.

Невирішені дебати навколо етики та відповідальності також не припиняються. Хоча дехто вважає ГМО неетичним і безвідповідальним способом вирішення деяких проблем сучасності, деякі організації та дослідники визнали його потенційно корисним новим інструментом для вирішення таких питань, як надмірний вилов риби, продовольча безпека, безпека харчових продуктів та використання ресурсів. Опір ГМО також часто зумовлений «прагненням до природного і більш простого способу життя; загальною недовірою до харчової промисловості; і тим, що, як ми бачимо, посилюється за останні 10 років, - загальною недовірою до науки» [24,28,31].

Однак навіть прихильники ГМ погоджуються з тим, що його слід використовувати з особливою обережністю, дотримуючись суворих правил і контролю з боку як наукових, так і регуляторних органів. В майбутньому, щоб прогодувати людей і захистити навколишнє середовище, більшість вирощуваної риби буде генетично поліпшеною. І якщо це дозволить нам вирощувати їжу з меншим впливом на навколишнє середовище, це буде добре для суспільства. Однак нам потрібно відповідально підходити до вибору правильних підходів. Вибір правильних рис і підходів є важливим [32].

З огляду на нинішній опір прийняттю ГМО в багатьох країнах світу, очевидно, що ця технологія ще має пройти довгий шлях, перш ніж завоює довіру споживачів, що вимагає глибокого розуміння існуючих продовольчих

систем, які ми маємо. Потрібно порівняти наслідки генної інженерії з наслідками нинішніх харчових систем.

Чи стане ГМО-риба коли-небудь невід'ємною частиною харчових систем у всьому світі, покаже тільки майбутнє. Однак, очевидно, що це не може статися без кардинальної зміни суспільного сприйняття ГМО. Цей необхідний зсув підкреслює, наскільки важливим є раннє залучення зацікавлених сторін, якщо виробники ГМО хочуть встановити довіру і прозорість між усіма залученими сторонами [37].

Необхідно також провести додаткову роботу, щоб краще зрозуміти, як саме генетично модифіковані тварини справді відрізняються від традиційно виведених аналогів з точки зору їхнього впливу на суспільство, навколишнє середовище, благополуччя тварин та етичності. Нарешті, нам знадобиться надійний моніторинг і нормативно-правова база, щоб переконатися, що ми застосовуємо методи генної інженерії для виробництва продуктів харчування послідовно.

2.4 Забезпечення оптимального здоров'я та добробуту лосося за допомогою використання антибіотиків

За останні кілька десятиліть індустрія аквакультури досягла значного прогресу у зменшенні використання антибіотиків.

Як і у людей та інших тварин, існують хвороби, які можуть вражати лосося, що вирощується на фермах. Щоб гарантувати, що риба залишається максимально здоровою, фермери, за рекомендацією ветеринарів, використовують різноманітні ліки, в тому числі антибіотики, для забезпечення оптимального здоров'я та добробуту риби. Але необхідно зменшити використання антибіотиків і постійно вдосконалювати найкращі практики добробуту, щоб забезпечити більш цілісний підхід до управління здоров'ям [18, 29, 34].

Антибіотики можуть бути корисним інструментом для підтримки здоров'я риби, коли це необхідно, і використовуватися при вирощуванні лосося, коли хвороби

становлять ризик, з яким не можемо впоратися превентивно. Коли риба уражається важким захворюванням (наприклад, рикетсіоз лосося або СРС), дотримуючись рекомендацій регуляторних органів та експертів зі здоров'я риб, застосовують антибіотики, щоб допомогти відновити її здоров'я якомога швидше та безпечніше.

Для лікування риби при промисловому вирощуванні використовують широкий спектр антибіотиків. Найпоширенішими є такі діючі речовини:

- Амоксицилін - антибіотик широкого спектра дії, який ефективний проти багатьох видів бактерій.
- Енрофлоксацин - антибіотик, який діє на грампозитивні та грамнегативні бактерії.
- Хлорамфенікол - антибіотик, який діє на грампозитивні та грамнегативні бактерії.

Глобальні тренди у використанні антимікробних препаратів в аквакультурі знаходяться під великим впливом зростання аквакультури в Азії, і особливо у Китаї

Для прикладу, кількість антибіотиків, які вводили шотландському лосося зменшилася майже на дві третини порівняно з 2021 роком. Оксолінова кислота, НР-СІА (найвищий пріоритет, критично важливий антибіотик), не використовувалася (рис. 2.2) [37].

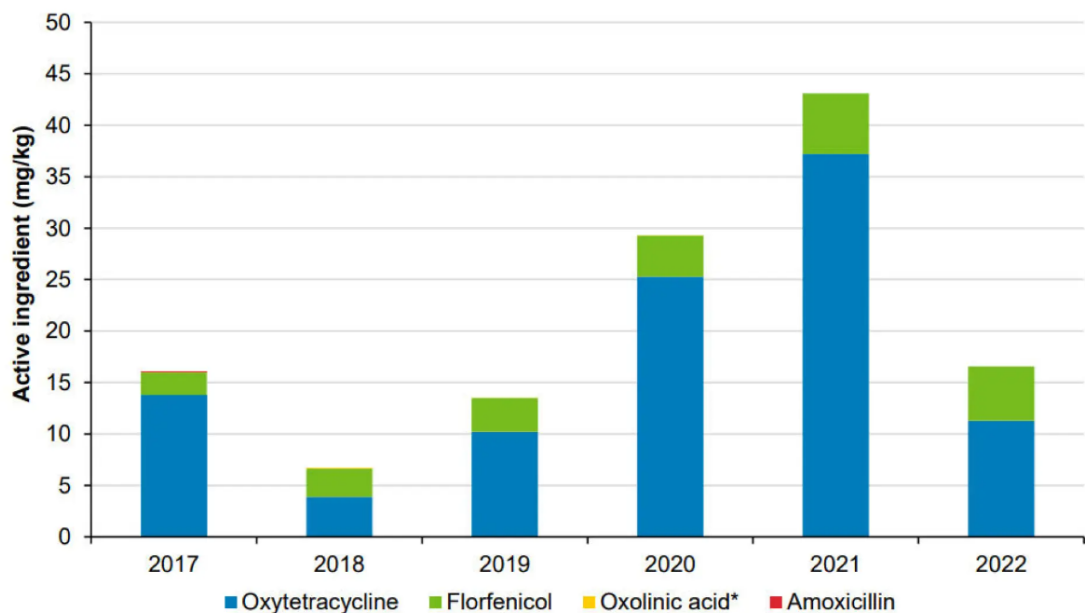


Рис.2.2 – Використання антибіотиків при вирощуванні форелі за роками

Використання антибіотиків у розведенні форелі зросло на 35,2 мг/кг між 2021 і 2022 роками з 9,0 мг/кг до 44,1 мг/кг. Використання антибіотиків у секторі вирощування форелі різко зросло через спалах *Aeromonas salmonicida* у великих риб.

Незважаючи на відсутність інформації про використання антибіотиків у багатьох країнах, світове використання антибіотиків оцінюється в діапазоні 100–200 тисяч тонн на рік, причому приблизно половина цієї кількості використовується для ветеринарних цілей.

Обсяг антибіотиків, які використовуються в аквакультурі в усьому світі, дуже важко оцінити, оскільки різні країни, що беруть участь у цьому, сильно відрізняються щодо своїх систем реєстрації, і з цієї причини в багатьох випадках інформація недоступна або її неможливо порівняти через прогалини в даних. Однак у країнах, які мають систему реєстрації, спостерігаються значні відмінності у використанні антибіотиків [24,39, 40].

Важливо зазначити, що весь вирощений лосось виробляється та продається відповідно до світових рекомендацій та правил охорони здоров'я, і якщо антибіотики й містяться у вирощених видах риби в незначних кількостях, то вони набагато нижчі за рівні, визнані безпечними. Крім того, порівняно з іншими тваринними білками, лососеві господарства намагаються використовувати найменшу кількість антибіотиків для лікування хвороб.

Хоча застосовуються антибіотики відповідально, все ще важливо продовжувати шукати шляхи для зменшення їх використання. Це пов'язано з тим, що експерти Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) та інших організацій попереджають про небезпеку надмірного використання антибіотиків у харчовій системі та у сфері охорони здоров'я людини [33].

Альтернативи антибіотикам:

- Вакцинація: У багатьох випадках вакцинація значно скоротила потребу в антибіотиках.
- Пробіотики та біологічні добавки: Використовують для підтримання здоров'я риб без застосування медикаментів.

- Поліпшення умов утримання: Зниження щільності риб і оптимізація якості води можуть запобігати поширенню хвороб.

На рисунку 2.3 видно тенденцію використання антибіотиків у сільськогосподарських тварин, це свідчить про те, що виробники тваринної продукції знизили використання антибіотиків на виробництві.

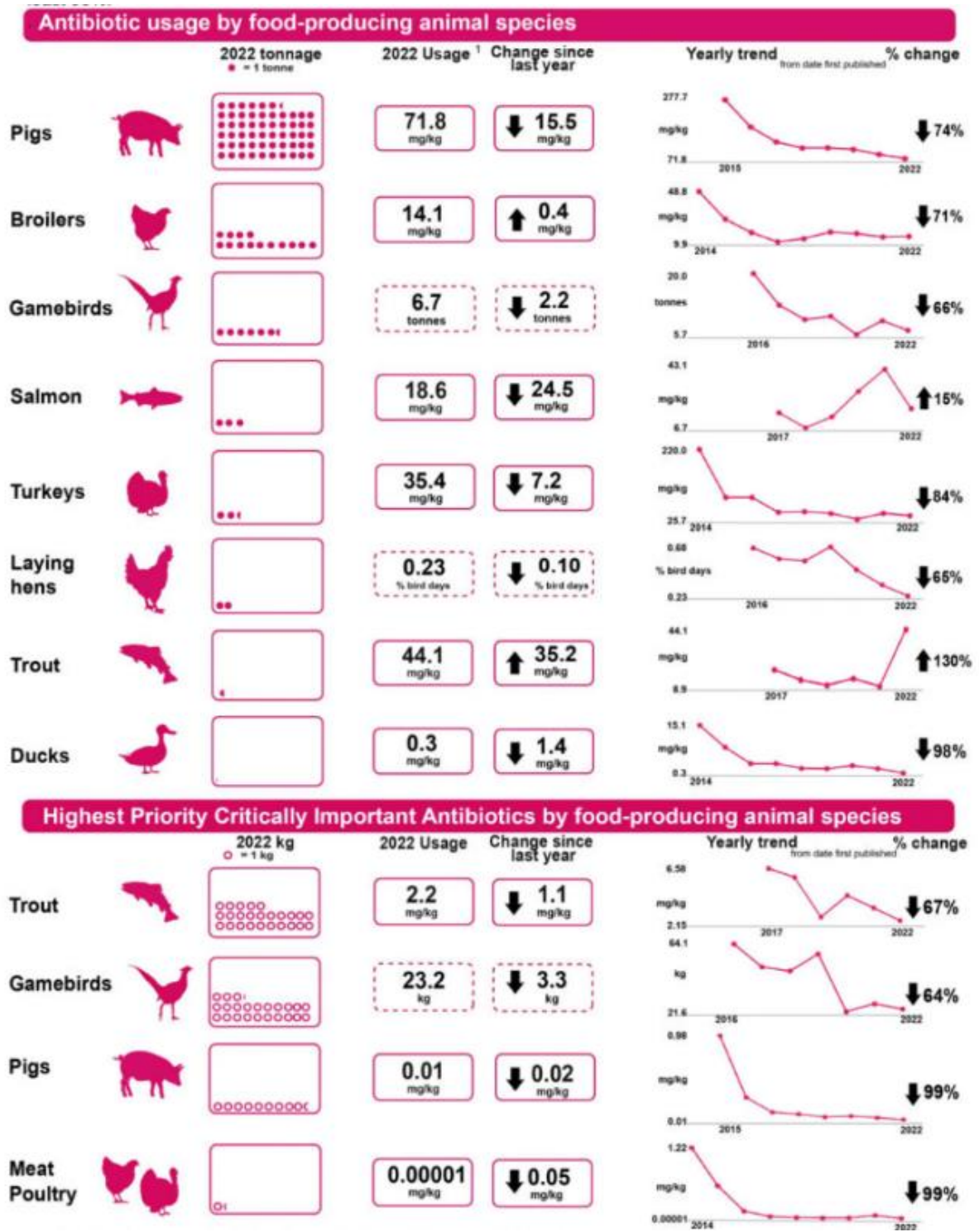


Рис. 2.3 – Застосування антибіотиків за видами сільськогосподарських тварин

Експерти підкреслюють, що через надмірне використання антибіотики стають менш ефективними, а резистентність до них може виникнути як у тварин, так і у людей. З цієї причини надзвичайно важливо, щоб кількість антибіотиків, які використовуються в лососевому господарстві та в харчовій промисловості, була зменшена і ліквідована, і де це можливо, переходити до альтернативних, цілісних підходів до управління охороною здоров'я.

3 ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЦІЛОРІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ ЛОСОСЕВИХ РИБ НА ЧОРНОМУ МОРІ

Цілорічний цикл вирощування ефективніший порівняно із сезонною схемою, але можливий лише за занурення садків нижче за літній термоклин (рис.3.1).

Морське рибництво в Чорноморських водах має значний потенціал для розвитку марикультури. Впровадження спеціальних технологій садкового рибництва дасть змогу вирощувати на Чорному морі у великих масштабах такі цінні види риб як горбиль, калкан, морський язик, осетрові, райдужна форель і чорноморський лосось (кумжа) [12].



Рис. 3.1 – Садки для вирощування цінних видів риб

Потенційні можливості садкового вирощування лососевих риб на Чорному морі можна порівняти з лососівничим кластером у Норвегії. Примітно, що біологічно ефективна сума градусоднів у водах Чорного моря

дасть змогу товарній форелі та лососеві за рік досягти біомаси в 2 рази більшої, ніж у Норвегії. Однак, оскільки берегова лінія Чорного моря не має захищених морських ділянок подібних до норвезьких фіордів, необхідно використовувати не традиційні, а інноваційні технології аквакультури з урахуванням як інженерних, так і біологічних аспектів [12].

Серед інженерних аспектів основним є ризик пошкодження плавучих структур, тому що традиційні садки не можуть протистояти впливу штормових хвиль, а ключовими біологічними аспектами є «заколисуючий» і пошкоджуючий вплив на рибу морських хвиль, а також надмірне прогрівання верхніх шарів води в літній сезон. Саме остання обставина є лімітуючим фактором для інтенсивного розвитку морського товарного лососівництва в Туреччині.

3.1 Досвід Туреччини з вирощування лососевих в Чорному морі

Незважаючи на стагнацію у виробництві рибного промислу, в Туреччині зростає кількість сільськогосподарської продукції. Загальна кількість рибних господарств в Туреччині становить 2100, загальною потужністю 486786 тонн на рік. Кількість господарств, що виробляють морську рибу, становить 426 з потужністю 254430 тонн, а у внутрішніх водоймах – 1860, загальною річною потужністю 232356 тонн. За даними за 2018 рік, загальний обсяг виробництва аквакультури становить 314537 тонн, з них 209370 тонн – морська та 105167 тонн – внутрішньої аквакультури. Всього в Чорному морі вироблено 29586 тонн (9,41%); з них 13257 тонн у морських та 11018 тонн у внутрішніх господарствах [14-16].

У порівнянні з даними 2018 року виробництво аквакультури зросло з 314537 тонн до 373356 тонн у 2019 році (табл. 3.1), з яких 68,8 % забезпечено морською та 31,2 % внутрішньою аквакультурою. Лідирує морський окунь з 137419 тонн, далі йде райдужна форель з 123573 тонн (116053 тонн у

внутрішній та 9692 тонни в морській аквакультурі) і морський лящ з 99730 тонн.

Таблиця 3.1 – Виробництво та вартість риби за роками

Роки	Виллов риби		Аквакультура	
	Кількість, т	Значення, млн. тур. лір	Кількість, т	Значення, млн. тур. лір
2000	503345	368	79031	140
2005	426496	1575	118277	704
2010	485939	1079	167141	1067
2015	431907	1245	240334	2569
2019	463168	2380	373356	7694

Туреччина експортує в 80 країн світу; з них 70,4% – країни Європи, 26,5% – країни Азії та незначна кількість інших. Найбільше експортованих країн – Італія, Нідерланди, Німеччина та Англія. Найбільшу частку експортованої рибної продукції займає свіжоохолоджена риба, частка якої за останні роки зросла з 46% до 62%. Частка мороженої риби зменшилася з 22% до 13%, а частка рибного філе коливалася в межах 14-17% (рис. 3.2) [14-16].

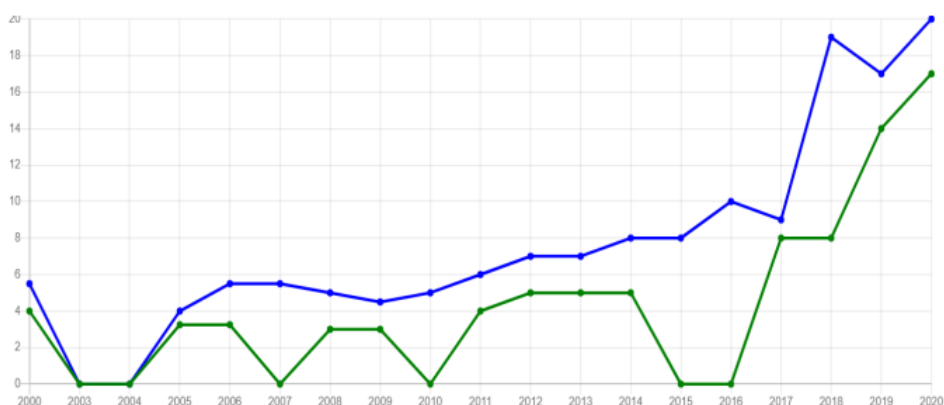


Рис.3.2 – Ціна великої райдужної форелі, вирощеної в морських клітках за роками (верхній рядок – максимальна, нижній – мінімальна ціна, турецькі ліри)

На сьогодні Туреччина посідає друге місце за обсягами аквакультури в Європі (після Норвегії) і третє у світі за темпами зростання. Фермери, які займаються аквакультурою, мають однакові проблеми та рішення. При цьому в Туреччині понад 2000 рибних ферм. Завдяки тісній взаємодії рибних Асоціацій та профільного міністерства, вдалося за короткий проміжок часу розв'язати основні проблеми фермерів і значно збільшити обсяги аквакультури, залучити додаткові інвестиції в галузь, працевлаштувати тисячі людей і вивести рибний сектор на новий рівень [29]. Це все стало можливим завдяки ухваленню спеціальної програми розвитку рибної галузі Туреччини, запущеної 2012 року. Програма включала в себе:

- виділення нових площ для розміщення ферм у морях, річках і водосховищах;
- фінансову підтримку (фермери можуть отримувати від 0,5 до 1,5 турецьких лір за кожен вирощений кілограм риби);
- пільгове кредитування фермерів (до 5 млн турецьких лір за однією заявкою).

Обсяги аквакультури в Туреччині:

- 2002 рік - вирощено 60 000 тонн (дохід від експорту риби - 97 млн. доларів США).
- 2016 рік - вирощено 253 000 тонн (дохід від експорту риби - 790 млн. доларів США).
- 2017 рік - вирощено 276 000 тонн (дохід від експорту риби - 854 млн. доларів США).
- 2018 рік - вирощено 315 000 тонн (дохід від експорту риби - 952 млн. доларів США).
- 2019 рік - вирощено 350 000 тонн (дохід від експорту риби - 1 млрд. доларів США).

На сьогодні Туреччина посідає друге місце за обсягами аквакультури в Європі (після Норвегії) і третє у світі за темпами зростання. 60% припадає на морську аквакультуру, 90% - це сібас (sea bass) і дорадо (sea bream) і близько

10% - це форель (trout). Решта 40% припадає на прісноводну аквакультуру – форель (рис. 3.3).

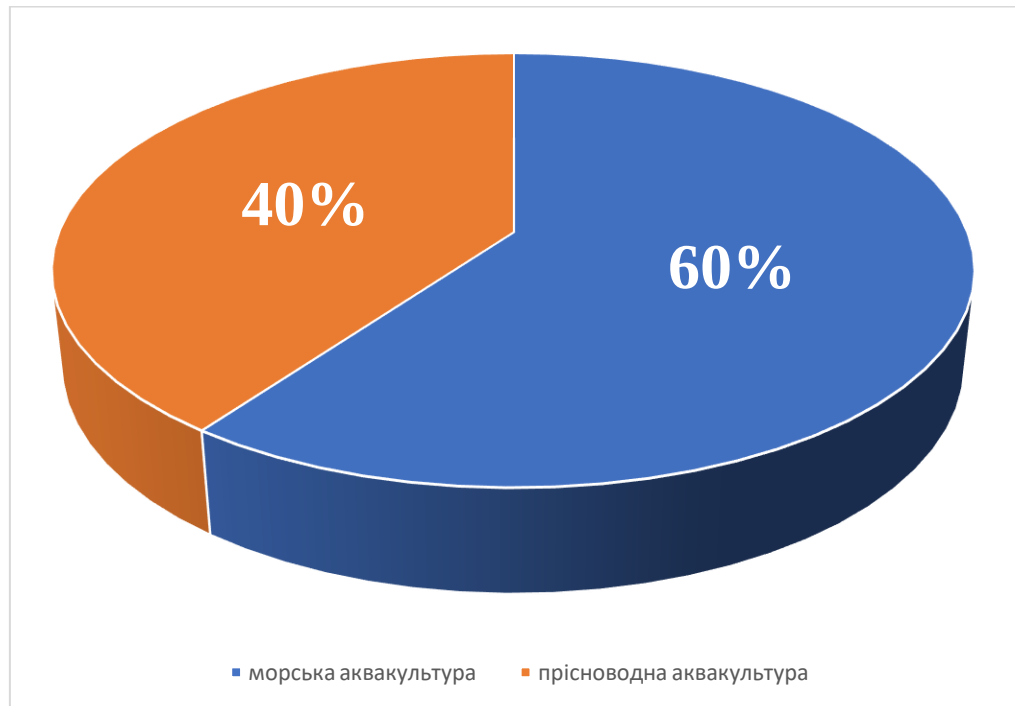


Рис. 3.3 – Розподіл аквакультури Туреччини, у %

Наприкінці 1980-х років у зв'язку із сукупністю різних чинників, включно з надмірним виловом риби, турецьке рибальство пережило серйозний спад, відомий як «анчоусна криза». Це призвело до нарощування зусиль, спрямованих на розвиток прибережної аквакультури в Чорному морі. Взявши за зразок розвинену прибережну аквакультуру в країнах Північно-Західної Європи (наприклад, у Норвегії, Фінляндії та Шотландії), у Туреччині розпочалося вирощування атлантичного лосося і райдужної форелі без будь-яких досліджень і розробок [11].

Нині в Туреччині існує кілька десятків морських ферм із розведення райдужної форелі. Половина з цих господарств розташована в затоці Персембе, що спричиняє організаційні проблеми, погіршення довкілля та протести місцевого населення. Інші розташовані в затоках Синопа, Сана (біля Трабзона) і Різе. Розвиток чорноморських ферм суттєво відстає від берегових

форелеводчих господарств. Якщо 2005 року співвідношення «морської» і «ставкової» форелі було 2,1 і 49,3 тис. т/рік, то 2011-го - 7,7 і 100,5 тис. т/рік, відповідно [9, 15]. Таким чином, приріст продукції морського (5,6 тис. т) і прісноводного (51,2 тис. т) форелеводства розрізняється десятикратно.

Проте в Туреччині вважають, що вирощування форелі в Чорному морі має великі перспективи, зокрема завдяки наявності різнорозмірної риби і наявності товарної риби протягом 6 місяців. Основна перевага морської аквакультури є швидке зростання. Однак, існують різні перешкоди, що обмежують розвиток марикультури райдужної форелі в Туреччині. Вирощування форелі (а також лосося) в Чорному морі почалося на промисловому рівні без будь-яких дослідно-промислових виробничих випробувань. Немає жодних сумнівів, що це серйозно вплинуло на розвиток галузі. Серед основних перешкод - високі літні температури та відсутність захищених морських ділянок. До того ж обов'язковий і масовий облов садків з фореллю в червні, пов'язаний з підвищенням температури змушує фермерів знижувати ціни. Хоча деякі рибоводи перевозять товарну рибу з моря на прісноводні ферми, обсяг цих перевезень досить обмежений. У Туреччині визнають, що для цієї проблеми немає ніякого простого рішення, але є думка, що використання берегових прямоточних рибницьких систем з подачею морської води з-під термокліна можуть зробити лососівництво економічно доцільним [11].

3.2 Нові методи у форелівництві - приклад Данії.

Райдужна форель (*Oncorhynchus mykiss*) вирощується в Данії протягом більш ніж 100 років і є переважаючим видом у данській аквакультурі. Загальна річна продукція сягає близько 33 000 тонн у прісних водах і близько 7 000 тонн у морях, що становить близько 20 % харчової продукції данського сектору рибного господарства(табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Виробництво аквакультури Данії

Вид	Виробництво	
	Тонн	Млн.долларів США
Райдужна форель	33400	89,763
Вугор	2011	17,233
Струмкова форель	226	1,02
Форель не визначена	79	0,84
Лосось	16	0,8
Тюрбо	5	-
Усього	35735	109,656

Цінність аквакультурної продукції дорівнює приблизно 25 % загальної цінності продукції сектору рибного господарства в Данії. Прісноводним виробництвом райдужної форелі в Данії займаються близько 250 господарств. З них приблизно 200 господарств працюють як традиційні проточні господарства, так само як працювали десятиліттями, отримуючи воду через водозабір і використовуючи відносно мало енергоспоживаючого обладнання (насосів тощо). Вода проходить через господарство самопливом і потрапляє у відстійник (для відкладення твердих частинок), перш ніж повернутися в річку. До 1980-х років у прісноводному виробництві райдужної форелі в Данії стічні води, як правило, не очищали [34-37].

Унаслідок зростаючого занепокоєння громадськості з приводу питань охорони довкілля, таких як випуск поживних речовин з форелевих господарств або утруднене пересування тварин річками через греблі, у 1989 р. у Данії було ухвалене нове законодавство про охорону довкілля. Відповідно до нього, для кожного форелевода було визначено обмежені квоти на використання комбікормів, а якість кормів мала відповідати певним параметрам. Усі форелеві господарства були зобов'язані побудувати відстійники для видалення твердих частинок і поживних речовин перед випуском води назад у річку. Рибоводи також повинні були здійснювати програму збору проб води для забезпечення даних щодо приблизного випуску поживних речовин з господарств [37].

Адаптуючись до цих правил, частина традиційних господарств була перетворена на високотехнологічні господарства, що використовують різною мірою технології очищення і повторного використання води, аерації, оксигенації тощо.

Крім того, було досягнуто великих успіхів у розробленні ефективних кормів із високою засвоюваністю, технології годівлі, очищенні води, зниженні потреби у воді та управлінні господарством. Тому обсяг виробництва риби на кілограм витрати корму значно зріс, а випуск забруднювачів знизився.

За цими правилами з охорони довкілля пішли й інші правила, що обмежують максимальний обсяг водозабору з річки. Згідно з цими нормативами, у річці має залишатися не менше половини її обсягу. Якщо рибоводи бажають продовжити виробництво, це законодавство змусить їх стати більш незалежними від річки, тобто зменшити споживання свіжої прісної води шляхом очищення і повторного використання води [40].

Внаслідок обмежень квот на корми та водозабір з річок, екологічного законодавства та Рамкової директиви ЄС щодо водного середовища, що встановлює стандарти якості води у приймаючих водоймах, виникла термінова необхідність у визначенні майбутніх умов форелеводства в Данії. Ідея створення «дослідних рибних господарств» (Model Fish Farms) виникла приблизно 2000 року в процесі подальших дискусій між аквакультурними організаціями, владою з охорони довкілля та НУО.

Концепція дослідних рибних господарств спрямована на зниження споживання свіжої води та збільшення вмісту поживних речовин шляхом використання рециркуляційних технологій. Дані відносяться до господарств, що використовують 100 тонн корму на рік [41].

Стратегія дослідних форелевих господарств має значні екологічні переваги та перспективи:

- Дослідні господарства досягли незалежності від водозабору з річок, видобуваючи воду з дренажних труб, розташованих під господарством, та/або

прилеглих свердловин і повторно використовуючи її (ступінь водообороту до 97%)

- Споживання води знизилося приблизно до 0,15 л/с/т корму або 3 900 л/кг виробленої риби, що в 13 разів менше, ніж у традиційних проточних форелевих господарствах

- Вільний рух дикої фауни вздовж усієї річки

- Значна кількість органічних речовин, що легко окислюються (БСК5), загальних органічних речовин (ЗОР), фосфору, амонійного та загального N була видалена очисними спорудами всередині господарства та водоочисними ставками з рослинами

- Використання водоочисних ставків з рослинами з метою товарного вирощування рослин для садових ставків, їстівних культур, як, наприклад, водяний крес, або інших видів може принести вигоду як інтегрований елемент дослідного форелевого господарства

- Стабільні умови вирощування (якість води тощо)

- Потенційне збільшення продукції форелі без збільшення екологічних ефектів

Однак впровадження технології дослідних господарств у практику вимагає:

- Великих знань і досвіду щодо біологічних потреб вирощуваного виду

- Великих знань про побудову і функціонування всього обладнання господарства, наприклад, механічної фільтрації, біофільтра, аерації, насосів тощо.

- Широких знань про наслідки вирощування риби з використанням рециркуляційних технологій

- Кваліфікованого досвіду в галузі рибництва та експлуатації систем, що використовують рециркуляційні технології

- Відповідної якості води

- Якісних рибних комбікормів і стратегій годівлі [24, 36, 38]

Досвідчені рибні господарства є успішними з екологічної та комерційної точки зору. Частина рибоводів відзначає коротші цикли виробництва. Крім значного зниження випуску поживних речовин, ці господарства також полегшують міграцію тварин ближніми річками. Однак ці системи потребують оптимізації, зокрема, щодо зниження випуску азоту[12].

Тому в данському прикладі «Sustain Aqua» вивчалися різні аспекти/модулі дослідних форелевих господарств з метою їх подальшої оптимізації:

1. Корми та годівля - Вплив дослідних форелевих господарств на навколишнє середовище
2. Витрати енергії дослідних форелевих господарств
3. Вирощування ставкових рослин у водоочисних ставках дослідних господарств
4. Вирощування альтернативних видів риб у водоочисних ставках дослідних господарств[16].

Корми є найважливішим фактором, що визначає ріст риб і вплив на навколишнє середовище, а також собівартість продукції. Для оцінки екологічної ефективності дослідних господарств необхідне точне кількісне визначення впливу кормів на якість використовуваної у виробництві води (так званого «внеску виробництва») перед подачею води в очисні споруди господарства.

Різні очисні споруди, що застосовуються на дослідних господарствах, мають різну ефективність очищення відповідно до кількості та складу компонентів відходів, що надходять із господарства. Тому потрібно розробити загальну модель для розрахунків, яка могла б прогнозувати екологічну ефективність системи щодо компонентів відходів - азоту (N), фосфору (P) та органічної речовини, - випущених у річки. Модель має враховувати релевантні виробничі (тип і кількість корму, продукція риби тощо) та експлуатаційні параметри (температура, вміст кисню тощо), а також побудову системи (компоненти, проточність і розміри) [33-36].

Фізична форма (розчинена, зависла, тверда) і хімічна структура (N, P, БСК5 [біохімічне споживання кисню], ХСК [хімічне споживання кисню]) компонентів відходів можуть бути визначені в лабораторних експериментах. На їхній основі можливо розробити модель для прогнозування, що спирається на лабораторні дані (що становить один із модулів загальної моделі для розрахунків) про безпосередній внесок у відходи найважливіших типів комерційних комбікормів, які використовуються в інтенсивних системах аквакультури. Лабораторна модель є важливим елементом, що забезпечує точність загальної моделі для розрахунків [37].

Модель для розрахунків ґрунтується, головним чином, на даних, отриманих під час програми документації та вимірювань, проведеної у 2005-2007 роках на восьми «дослідних форелевих господарствах» у Данії. Усі ці господарства мали шламовловлювачі, біофільтри і штучні водно-болотні угіддя, а на деяких із них були також встановлені мікрофільтри. З усіх господарств збирали дані про водокористування, концентрацію поживних речовин у воді в низці місць усередині господарства, кількість використаних кормів та їхніх інгредієнтів, приріст біомаси тощо. Основні результати були включені в загальну модель для розрахунків. Крім того, в моделі використовувалися дані з традиційних форелевих господарств Данії. Як правило, ці господарства не мають такого обладнання, як досвідчені форелеві господарства, але, згідно з законодавством Данії, вони також зобов'язані встановити відстійник безпосередньо після виробничих одиниць (рис. 3.4) [3].

Завдяки включенню в модель для розрахунків даних як з досвідчених, так і з менш технологічних форелевих господарств, вона дає змогу прогнозувати випуск речовин з форелевих господарств різного технологічного рівня. Після інтеграції даних модель було перевірено та адаптовано, щоб вона максимально збігалася з реально виміряними випусками. Таким чином, було зроблено спробу оптимізувати її настільки, наскільки це зараз можливо.

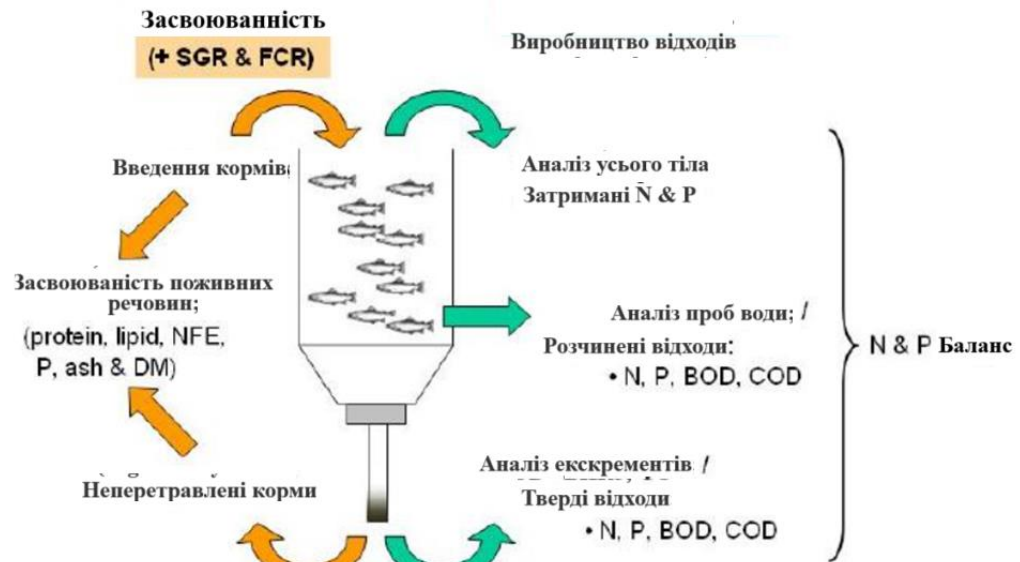


Рис. 3.4 – Система для оцінювання фізичної форми та хімічної структури компонентів відходів та їхнього прямого внеску у відходи головних видів комерційних комбикормів, що використовуються в інтенсивних системах аквакультури.

Лабораторні досліді проводили у 18 проточних басейнах із термопластику, об'ємом 189 л, виготовлених за модифікованою гуелфською системою (Guelph system) - нижня третина басейнів була конічною і була відокремлена від решти частини басейну сіткою. Ця система уможлиблює швидке осідання і збір недоторканих частинок екскрементів в охолоджених, частково ізольованих седиментаційних колонах [13].

Райдужну форель вагою приблизно по 50 г придбали від місцевих датських рибних господарств і привезли на науково-дослідну станцію «DTU Aqua» в Хірстхальсі (Данія).

Споживання корму реєстрували на всьому протязі дослідів, а екскременти збирали за допомогою седиментаційних колон. Седиментаційні колони спорожнялися щодня до годівлі, проби зберігалися при температурі - 20 °C до проведення аналізів на протеїни, ліпіди, безазотний екстракт (БЕ),

золу, сиру клітковину і Р. Три використані види кормів мали середній склад, зазначений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Склад кормів для годівлі лососів

Білки	12,6%
Ліпіди	27,5%
Зола	6,9%
Сира клітковина	1,4%
Суша речовина	96,6%
Фосфор	0,98%
Вміст енергії	23,8 кДж/г корма

Збиралися проби для визначення відносного внеску твердих і розчинених/зважених відходів N і P. Затримання N і P у рибах визначалося шляхом аналізу концентрацій у них на початку та наприкінці всього експерименту [38].

Через мале споживання свіжої прісної води, дослідні форелеві господарства залежать від транспорту води всередині господарства (рециркуляції), а також її аерації/оксигенації. Інші газоподібні відходи, такі як CO₂ і N₂, повинні видалятися з води, використовуваної у виробництві

Найважливішим завданням на дослідних форелевих господарствах є застосування рециркуляційних технологій, тобто перекачування води та її очищення для мінімізації споживання води та впливів на навколишнє середовище. Дана технологія потребує енергії, через що енергія є важливим фактором, який необхідно брати до уваги для досягнення сталості продукції.

Перекачування води на дослідних форелевих господарствах, а також її аерація/оксигенація, потребують енергії. Тому важливо оцінити потребу в кисні під час виробничого процесу та регулювати відповідно ступінь нагнітання/споживання енергії. Потреба в повітрі/кисні є найвищою під час

годівлі та перетравлення корму, тобто під час процесів обміну. Потреба в кисні також залежить від розміру риби та поголів'я [40].

Рослинність водоочисних ставків відіграє важливу роль у процесі очищення. Найважливішими видами рослин, відзначеними у водоочисних ставках дослідного форелевого господарства «Айstrupхольм» і такими, що вкривають до 80% їхньої поверхні, були маннік, ряска мала, гідрила мутовчаста, нитчасті водорості та болотник.

Рослини цікаві з точки зору як видалення поживних речовин, так і їх трансформації/перетворення. Вони забезпечують субстрат для мікроорганізмів (біоплівки) і відіграють роль у трансформації аміаку, а також перетворенні розчинених азоту і фосфору в рослинну біомасу. Нарешті, вони впливають на течію води і сприяють осіданню частинок.

Крім ролі водоочисних ставків з рослинами в зниженні впливів форелівництва на навколишнє середовище, їх також можна використовувати для вторинного виробництва комерційно цінних видів рослин, які забезпечують додатковий дохід форелярам [41].

Ставки з рослинами (штучні водно-болотні угіддя) мають гарний потенціал для зниження випуску поживних речовин з рибних господарств. Наприклад, добове видалення загального вмісту азоту перевищує 1 г/м². Тривалість перебування води у водоочисних ставках відіграє важливу роль в ефективному видаленні поживних речовин.

Однак дослідження показали, що природна рослинність усталеного водоочисного ставка не дає змоги піддослідним рослинам прижитися ні в ставках і каналах, ні на берегах.

Концепція плавучих садів була відносно успішною. Плавучі рамки можуть бути об'єднані в більші блоки, що покривають площу в кілька сотень квадратних метрів. З іншого боку, форелеві господарства в Данії вирізняються великою кількістю занедбаних земляних ставків відносно малого розміру і довгастої форми. Відповідно, водойми в цих місцях повністю заросли

природною рослинністю, що може бути перевагою з погляду вмісту поживних речовин, але ускладнює застосування більших плавучих блоків[38, 40].

- На основі проб зоопланктону було зроблено висновок, що водоочисні ставки відносно малопридатні для підрощування личинок риб. Однак виробництво мальків риб, наприклад, у сітчастих садках (у тому числі, на відповідних місцях водоочисних ставків) може бути привабливою методологією для виробництва різних видів риб з метою їхнього подальшого продажу для нагулу, рибальських ставків, акваріумів тощо.

- Результати збору проб зоопланктону у весняний (личинковий) період засвідчили, що концентрації планктону сильно варіюють і, як правило, не досягають рівнів, які вважаються необхідними для виживання і росту личинок риб. Крім того, якість води була непостійною, траплялися періоди з низькими рівнями кисню або утворенням токсичного сірководню. Тому водоочисні ставки були визнані відносно менш придатними для підрощування личинок.

- Результати показали, що виробництво молоді риб у водоочисних ставках недоцільне через низький рівень кисню і високу продукцію нитчастих водоростей у ставках. Аерація води в сітчастих садках була недостатньою для підвищення вмісту кисню до прийнятного рівня.

- З іншого боку, досліді на рибальських ставках показали, що личинки риб можуть підрощуватися від викльовування до розміру 2-3 см (один місяць) у сітчастих садках без людського втручання.

- Підсумовуючи підсумки, результати розглянутого прикладу датських дослідних форелевих господарств забезпечили цінну інформацію та керівництво щодо:

- - Зниження втрат поживних і органічних речовин, тобто зменшення впливів на навколишнє середовище
- - Оптимізації витрат на енергію
- - Стійкості вирощування ставкових рослин і підрощування молоді додаткових, альтернативних видів риб у водоочисних ставках дослідних господарств.

Можна виокремити такі конкретні фактори успіху та обмежувальні фактори:

- - Використання водоочисних ставків для підрощування молоді риб було недоцільним через низький рівень кисню і високу продукцію нитчастих водоростей у ставках. З іншого боку, досліді на рибальських ставках показали, що личинки риб можуть підрощуватися від викльовування до розміру 2-3 см у сітчастих садках без людського втручання.
- - Відповідне функціонування ерліфта сильно залежить від збалансованого співвідношення між швидкістю течії води і повітря, тобто швидкість подачі повітря повинна бути відповідно до швидкості течії води
- - Витрати на енергію під час аерації залежать від способу аерації, тобто форми розпилювача
- - Необхідно врахувати втрати енергії через значне збільшення температури при використанні змішувальних повітродувов
- - Економічно ефективний процес аерації повинен контролюватися і управлятися згідно з актуальними рибницькими умовами (добові зміни, пора року і т.д.)
- - Підвищений викид CO₂

Як правило, принципи концепції досвідчених форелевих господарств, що використовують рециркуляційну технологію, можуть бути адаптовані до європейського сектору аквакультури [39].

3.3 Вирощування лососів у Норвегії

Норвезький лосось в цілому є здоровим та вважається одним із найздоровіших сільськогосподарських тварин у Норвегії, навіть незважаючи на проблеми, які необхідно вирішити.

Відповідно до Закону Норвегії про аквакультуру, штучно вирощений (фермерський) лосось повинен мати добре здоров'я протягом свого життя. У порівнянні з багатьма іншими країнами, Норвегія має хороший аналіз щодо

здоров'я фермерської риби. Норвезький ветеринарний інститут публікує щорічний звіт про стан риб в норвезьких рибницьких господарствах.

У доповіді від 2015 року розповідається про лососевих вошей як особливу проблему для здоров'я риб. Лососеві воші все частіше розвивають стійкість до лікарських засобів, і для риб необхідно проводити повторні обробки [41].

Атакована паразитом риба втрачає у вазі та стає вразливою до інфекцій, не кажучи вже про втрату товарного вигляду. Лососева воша становить небезпеку і для дикої популяції лососів, але в меншій мірі (рис. 3.5).



Рис. 3.5 – Лососеві воші на поверхні тіла риби.

Зараз на виручку виробникам лосося в Норвегії прийшли нові технології. Зокрема, лідер галузі компанія Marine Harvest винайшла футуристичну капсулу для лосося, що є об'єктом яйцевидної форми 44-метрової висоти. А компанія SalMar розробила підводну конструкцію, яка своїми обрисами і розмірами нагадує супертанкер. Призначення цих нестандартних «садків» - занурювати рибу на таку глибину, на якій лососева воша неминуче загине.

Ще одним засобом боротьби з вошами є спеціальний робот (підводний дрон) з комп'ютерним зором, розроблений норвезькою компанією Besk

Engineering. Принцип розпізнавання зображень схожий з принципом, закладеним в програмну платформу з розпізнавання особи власника в сучасних смартфонах і ноутбуках. Але працює все це трохи швидше, оскільки ціль аж ніяк не статична. Софт аналізує відеопотік, який передається камерами дрона, і якщо комп'ютер отримує сигнал, починає працювати вже лазерна установка, яка випромінює зелений промінь з довжиною хвилі в 530 нм.

Паразити зажарюються миттєво, а риbam цей лазер не шкодить - луска відображає промені. Одна установка може в день знищувати десятки тисяч паразитів [12, 17 29].

Пристрій вже використовують більш ніж 100 рибних ферм в Норвегії. У минулому році з ними почали працювати і рибні ферми Шотландії.

Весь лосось у Норвегії вакцинований. За даними Норвезького ветеринарного інституту, сучасні вакцини забезпечують в цілому хороший захист від найбільш важливих бактеріальних інфекцій у лосося. Завдяки програмі вакцинації хвороби, які зазвичай викликають високу смертність, наприклад фурункулез, вібріоз й холодний ватервібріоз, тепер знаходяться під контролем.

Захист від вірусних захворювань є більш складним завданням. Можливі побічні ефекти, пов'язані з вакциною. Однак, оскільки за останні роки вакцини покращились, і необхідні дози ін'єкцій тепер нижчі, побічні ефекти, які представляють собою проблему зі здоров'ям для риб, сьогодні є рідкісними.

З 1987 року лікування антибіотиками при виробництві лосося скоротилося на 99 відсотків. У 2015 році загальне споживання антибіотиків у виробництві лосося відповідало 0,18 г на метричну тонну виробленого лосося. Фактично, обробляється менше одного відсотка всього лосося [19, 34, 38].

За даними Норвезького ветеринарного інституту, кількість антибіотиків у норвезькій аквакультури дуже невелика. У 2015 році продажі антибіотиків для вирощуваної риби в Норвегії склали в цілому всього 301 кілограм активної речовини. При цьому, загальна кількість вирощеного лосося і форелі в Норвегії за 2016 рік склала 1 300 000 тон.

На сьогоднішній день через лікування антибіотиками проходить менше 1% всієї вирощеної риби. На кілограм живої ваги лосося в Норвегії припадає 0,00034 грама антибіотиків. Таким чином, ефективні вакцини та профілактичні заходи призвели до того, що в індустрії аквакультури Норвегії сьогодні майже не використовуються антибіотики.

Оскільки Норвегія має відносно коротку історію інтенсивної аквакультури, не дивно, що з'являються нові хвороби. Саме тому, індустріальні гравці норвезької аквакультури обмінюються знаннями про ці захворювання для оперативного пошуку ефективних рішень.

ВИСНОВКИ

Лососеві риби по всьому світу стикаються з проблемою скорочення популяцій. Основними факторами є надмірний вилов, деградація природних місць нересту, зміни клімату та забруднення водних екосистем. В Україні подібна ситуація характерна для таких видів, як дунайський лосось, популяція якого суттєво зменшилася через зміни екологічних умов і втручання людини.

У світі широко використовуються програми штучного розведення та випуску молоді лососевих у природні водойми, зокрема, в США, Канаді, Японії та країнах Скандинавії. Це дозволяє зменшити навантаження на природні популяції та підтримувати рибальську промисловість. В Україні також реалізуються заходи з розведення лососевих у спеціалізованих рибних господарствах, однак масштаби та ефективність цих програм потребують покращення.

Відновлення природних нерестовищ — ключова складова успішного відтворення лососевих. У багатьох країнах проводяться проекти з відновлення річок, створення прохідних каналів через дамби і покращення екологічних умов для нересту. Україна потребує більших інвестицій у відновлення екосистем Карпатського регіону, де лососеві мали б більше можливостей для природного розмноження.

Успішне відтворення лососевих видів тісно пов'язане з контролем вилову та захистом рідкісних і зникаючих видів. У багатьох країнах встановлені суворі обмеження на вилов лососевих, квоти та сезонні заборони. В Україні також діють обмеження, однак їх контроль часто є недостатнім.

Глобальні зміни клімату значно впливають на популяції лососевих. Підвищення температури води, зміни в течіях і кислотності океану негативно позначаються на виживанні молоді лососевих та їхньому відтворенні. В Україні кліматичні зміни також впливають на середовище існування місцевих

видів, зокрема в гірських регіонах, що створює додаткові труднощі для підтримки стабільних популяцій.

Ефективне управління популяціями лососевих видів потребує міжнародного співробітництва, зокрема для координації зусиль із захисту та відтворення. Україна має можливість долучитися до міжнародних програм, брати участь у наукових дослідженнях і залучати міжнародні фонди для реалізації програм збереження лососевих.

Аквакультура є перспективним напрямком для відтворення лососевих видів і зменшення тиску на природні популяції. У багатьох країнах світу розведення лососевих в умовах аквакультури стало важливим джерелом риби на ринку. В Україні розвиток аквакультури лососевих може сприяти не лише економічному зростанню, але й збереженню природних популяцій за рахунок зниження тиску на дику природу.

Відтворення лососевих риб є глобальною екологічною проблемою, яка вимагає комплексних заходів на місцевому, національному та міжнародному рівнях. Для України важливо розширювати програми штучного розведення, контролювати вилов, відновлювати нерестовища та розвивати аквакультуру, орієнтуючись на міжнародний досвід.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шевченко П.Г., Пилипенко Ю.В., Рудик-Леуська Н.Я., Халтурин М.Б., Макаренко А.А., Климковецький А.А., Чередніченко І.С. Іхтіологія (загальна і спеціальна). У двох томах: Підручник. Т. II .Іхтіологія (спеціальна). Херсон: Олді-Плюс, 2036. 934 с.
2. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького [Текст]. Т. 12. №2(44), ч. 3. Львів : ЛНУВМ та БТ, 2010. 294 с. (Серія "Сільськогосподарські науки").
3. АГРО–2012: XXIV Міжнародна агропромислова виставка [Текст]: каталог. К.: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2012. 520 с.
4. Criddle KR, Shimizu I. The economic importance of wild Pacific salmon. In: PTK W, Noakes DJ, editors. Salmon. Hauppauge, New York, USA: Nova Science Publishers Inc.; 2014. Chapter 14. 39 pages. ISBN: 978-1-63117-570-1
5. Вайткамп Л.А., Гулетт Г., Хоукс Д., О'Меллі М., Крістін Л. Молодь лосося в естуаріях: Порівняння між північноамериканськими популяціями атлантичного та тихоокеанського лосося. Огляди в галузі біології риб та рибальства. 2014;24(1). DOI: 10.1007/s11160-014-9345-y
6. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО). Стан світового рибальства та аквакультури у 2020 році. Сталий розвиток в дії. Рим: ФАО; 2020. DOI: 10.4060/ca9229en.
7. Houston RD, Macqueen DJ. Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) genetics in the 21st century: Taking leaps forward in aquaculture and biological understanding. Animal Genetics. 2018;50:3-14. DOI: 10.1111/age.12748

8. Fishfarmingexpert. URL:<https://www.fishfarmingexpert.com/scottish-salmon-antibiotic-use/scottish-salmon-farming-antibiotic-use-fell-by-645-last-year/1586898>

9. Бергхайм А, Фівельстад С. Атлантичний лосось, *Salmo salar* в аквакультури: Швидкість метаболізму та вимоги до водного потоку. In: Nook PTJ, Noakes DJ, редактори. Лосось: Біологія, екологічний вплив та економічне значення. 1-е видання. Хауппаудж, Нью-Йорк, США: Nova Publishers Inc.; 2014. Розділ 8. 20 с.

10. Збірник доповідей на науково-практичних семінарах, проведених під час виставки "FishExpo" у 2011 та 2012 рр. [Текст]. К.: Державний комітет рибного господарства України, 2012. 178 с.

11. Актуальні проблеми розвитку галузей тваринництва та рибництва : Перша науково-практична конференція студентів магістратури ННІ тваринництва та водних біоресурсів (16-18 листопада 2010 р.) [Текст] : збірник праць. Ч. 2. К. : НУБіПУ, 2010. 74 с.

12. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького [Текст]. Т. 12. №3(45), ч. 3. Львів: ЛНУВМ та БТ, 2010. 280 с. (Серія "Сільськогосподарські науки").

13. Dresdner J, Chavez C, Estay M, Gonzalez G, Salazar C, Santis O, et al. Evaluacion socioeconomica del sector salmonicultor, en base a las nuevas exigencias de la Ley General de Pesca y Acuicultura. Informe Final. Proyecto FIPA 2015-42. Chile: Fondo de Investigacion Pesquera y de Acuicultura, Ministerio de Economia; 2016. p. 351

14. Avendano HR. Proper antibiotics use in the Chilean salmon industry: Policy and technology bottlenecks. *Aquaculture Reports*. 2018;495:803-805

15. Buschmann AH, Cabello F, Young K, Carvajal J, Varela DA, Henriquez L. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems.

Ocean and Coastal Management. 2009;52:243-249. DOI: 10.1016/J.ocesoaman.2009.03.002

16. І. Ю. Бузевич // Рибне господарство, 2004. Вип.63. С.16-18.
Годівля риб : підручник / [Шерман І. М., Гринжевський М.В., Желтов Ю. О. та ін.]. К.: Вища освіта, 2001. 269 с
17. Woynarovich, A. Small-scale rainbow trout farming / A. Woynarovich, G. Hoitsy, T. Moth-Poulsen. Rome: FAO, 2011. 81 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper; No. 561).
18. AquAdvantage лосось. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/AquAdvantage_salmon
19. Genetically modified salmon. URL: <https://www.livingoceans.org/initiatives/salmon-farming/issues/genetically-modified-salmon>
20. Базалій В. В., Шерман І. М., Пилипенко Ю. В. Основи рибогосподарської генетики: Навч. посібник. Херсон: Олди-плюс, 2007. 279 с.
21. Fishy Marketing: Greenwashing in the Chilean Salmon Industry – Jon C. URL: <https://commons.princeton.edu/patagonia/jon-c/>
22. AquAdvantage лосось. URL: <https://aquavitro.org/2017/08/34/aquadvantage-losos/>
23. Наукові основи сталого розвитку агроєкосистем України [Текст]. Т. 1. Екологічна безпека агропромислового виробництва / ред. О. І. Фурдичко. К.: ДІА, 2012. 352 с.
24. Алимов С. І. Рибне господарство України: стан і перспективи / С. І. Алимов. К.: Вища освіта, 2003. 336 с.
25. Ризики захворювання ГМО AquAdvantage Salmon URL: Avoid Disease-Prone GMO AquAdvantage Salmon from AquaBounty! Real Food Houston
26. Nevroy EH, Hunoskar C, de Gelder S, Shimiru M, Waaggloo R, Breck O, et al. GH-IGH system regulation of attenuated muscle growth and lipolysis in Atlantic salmon, reared at elevated sea temperature. Journal of Comparative Physiology. 2013;183(2):243-259

27. INGELAND. Levantamiento de informacion de pisciculturas en Chile y su incorporacion a la IDE de la Division de Acuicultura. Informe Final Proyecto FIPA N° 2016-19. Chile: Fondo de Investigacion Pesquera y de Acuicultura, Ministerio de Economia; 2017. p. 109

28. Попова О.Л. Статистика та економіка рибного господарства в Україні. Статистика України. 2017. № 3. С. 13–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/su_2017_3_4.

29. Кондратюк В.М., Андрищенко А.І., Кононенко Р.В. Лососівництво: підручник. Том 1. Київ, 2020. 382 с.

30. Шарило Ю.Є., Вдовенко Н.М., Федоренко М.О. та ін. Сучасна аквакультура: від теорії до практики. Київ, 2016. 119 с.

31. Миськовець Н. П. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку рибного господарства України. БізнесІнформ. 2020. № 3. С. 104–111. DOI:10.32983/2222-4459-2020-3-104-111

32. Михальчишина Л., Синенко І. Стратегічні напрями розвитку аквакультури в Україні. Біоекономіка та аграрний бізнес. 2020. Т. 11. № 2. С. 72–85.

33. Чемерис В.А., Душка В.І., Максим В.Л. Стан та перспективи розвитку аквакультури в Україні. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Економічні науки. 2016. Т. 18. № 2. С. 169–175.

34. Миськовець Н. П. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку рибного господарства України. Бізнес Інформ. 2020. № 3. С. 104–111. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2020_3_15

35. Гарнаженко Ю. А. Аналіз імпорту риби та морепродуктів в Україні. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Львів, 2014. Т. 16. № 2(59). ч. 3. С. 275–280.

36. Холодноводна аквакультура. URL: <https://www.twirpx.com/file/2952426/>

- 37.Райдужна форель URL: <http://www.zoolog.com.ua/ribi43.html>
- 38.Вирощування лососевих видів ри́б у садках і басейнах. URL: https://pidru4niki.com/89229/agropromislovist/viroschuvannya_ribi_sadkah_basaynah
- 39.Quinones RA, Fuentes M, Montes RM, Soto D, Leon-Munoz J. Environmental issues in Chilean salmon farming: A review. *Reviews in Aquaculture*. 2019;11:375-402. DOI: 10.1111/raq.12337
- 40.Buschmann AH, JLP M. Challenges for future salmonid farming. In: Cochran JK, Bokuniewicz JH, Yager LP, editors. *Encyclopaedia of Ocean Sciences*. 3rd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2019. pp. 313-319. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09560-4
- 41.Rypel AL, David RS. Pattern and scale in latitude–production relationships for freshwater fishes. *Ecosphere*. 2017;8(1):e01660