



**KAPITEL 9 / CHAPTER 9<sup>9</sup>**  
**COMPLEX TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE MODULAR SYSTEM  
OF MULTITROPHIC AQUACULTURE**

**DOI: 10.30890/2709-2313.2024-32-00-032**

**Вступ.**

Враховуючи умови сучасного стрімкого розвитку технологій у всіх галузях та сферах діяльності, актуальним вектором розвитку в аквакультурі є оптимізація технологічних рішень з акцентом на гармонізації якісних та кількісних параметрів виробництва продукції. Трансформація кліматичних параметрів чинить корегуючий вплив, в тому числі, на водну екосистему. Враховуючи таку тенденцію, однією із задач рибного господарства є не лише забезпечення якісною продукцією населення, а й розробка стратегії сталого розвитку галузі, здійснення програм зариблення, підвищення конкурентоспроможності галузі на світовому рівні [1, 2, 3].

В такому контексті актуальним та відкритим питанням є комплексні заходи щодо оптимізації загального підходу з метою перезавантаження в цілому рибогосподарської галузі. Одним із напрямів реалізації такої глобальної програми є фермерська, мультитрофічна модель аквакультури, яка передбачає багатовекторність ведення галузі з можливістю максимально наближеної технології отримання екологічно-безпечної продукції в аквакультурі.

Слід зауважити, що європейська модель в умовах сьогодення достатньо швидко інтегрується, впроваджуються нові або удосконалюються класичні аспекти ведення галузі. Одним із векторів української аквакультури потенційні стейкхолдери виділяють використання альтернативних джерел білку для гідробіонтів або для інших об'єктів (відповідно їхнім біологічно-господарським можливостям). Галузь аквакультури важливо забезпечити відповідністю таким умовам, в яких галузь буде функціонувати та представляти українську аквакультуру на європейському просторі. Враховуючи окресленні актуальні аспекти виникає потреба у систематизації існуючого інформаційного простору,

---

<sup>9</sup>*Authors: Honcharova Olena Viktorivna*



практичного досвіду з позитивними ефективними рішення оптимізації технологічної карти культивування гідробіонтів з акцентом на екологічну безпечність отриманої продукції та рентабельність для виробничого сектору.

В цілому, гідробіонти в галузі аквакультури є ключовим об'єктом, під який мають підбирати інноваційні технології, умови вирощування та розведення. Адаптація їх організму може мати різний рівень фізіології, тому для отримання якісної продукції фахівці проводять комплексні дослідження, порівняльні аналізи та експерименти [4,5]. В модульній системі мультитрофічної аквакультури використання природних компонентів в альтернативі синтетичним та гормональним препаратам набуває актуальності в науковому та практичному контексті. Крім того, якщо мета є зариблення водою підрослою та резистентною молоддю риб, то така форма підвищує ефективність використання ресурсного потенціалу та зменшує ризик зниження ефективності очікувань від програм зариблень. При цьому актуальним є питання збалансованого сталого розвитку аквакультури.

### **Обговорення, актуальний стан проблеми**

Сучасні вимоги трансформуються, адаптуються під трендові позиції на ринку попиту, втім, врахування біологічних особливостей об'єктів культивування, розведення завжди лишається головним. Коли є живий організм, то завжди результат будь-якого процесу буде залежати від вміння адаптуватися технологічної сторони до біології та специфічності цього об'єкту. Технології в аквакультурі трансформуються, розвиваються та удосконалюються підходи [2,3,6]. Тому поєднання різних складових (виробничих секторів, технологічних аспектів) в галузі набуває комплексного значення та практичної цінності.

Автори відмічають в своїх дослідженнях, що актуальним є питання раціональної експлуатації природного біопродукційного потенціалу водою, отримання якісного рибопосадкового матеріалу або товарної риби. Одним із прикладів інноваційного рішення раціонального використання технологій та ресурсів в аквакультурі є створений прототип природної системи фільтрації для ставкової аквакультури з використанням солом'яних тюків, що діють за



принципом «решета». Одна із важливих систем - фільтрації - складається з 69 комплектів по 3 тюки соломи, які розташованих у вигляді ялинки вздовж дренажного каналу (довжиною 14 м), які регулюють швидкість потоку води, здійснюючи фільтрацію від осаду (рис.1) [2,7].



**Рисунок 1** - Приклад використання солом'яних цеглинок у скидному каналі ставка у вигляді ялинки для збирання осаду з подальшим використанням в якості субстрату для вирощування грибів

джерело фото та інформації <https://bumtca.com.ua/revolyuciya-u-prisnovodnij-akvakulturi-eurofish-3-2024-pp-30-33/>

У відповідності до загальнодоступної інформації з відкритих джерел, в презентації проектного рішення відмічено шість основних сфер інновацій:

1. дизайн виробничих систем;
2. управління відходами;
3. розробка аквакормів;
4. генетичне вдосконалення;
5. цифрові інновації;
6. профілактика захворювань.

Солом'яні тюки, збагачені осадом, згодом авторами проекту були апробовані в якості субстрату для вирощування виду деревних їстівних грибів (*Pleurotus ostreatus*) [7]. У відповідності до стратегічних аспектів розвитку аквакультури в проекті *Horizon Europe SAFE* (який ідентифікується як *Smart Aqua 4Future*), передбачається розробка технологічних рішень щодо зменшення



впливу при діяльності галузі на навколишнє середовище та збільшення раціонального використання ресурсів. Серед окреслених задач можна виділити таку, як зменшення викидів поживних речовин з прісноводних систем аквакультури шляхом використання відходів при виробництві біомаси.

В якості ще одного з прикладів стрімкого розвитку та гармонізації інноваційних технологій з аспектами біологічно-господарських параметрів гідробіонтів, можна представити модель з акцентом вдосконалення технологічних маніпуляцій, зокрема, процесів сортування гідробіонтів з мінімізуванням контакту працівників, операторів з рибою, зменшенням варіабельності масонакопичення тощо [2,7]. До речі питання є актуальним та відкритим, оскільки «добре доглянути», *well fare* тварини є невід'ємним при дотриманні європейським нормативів поведження при експериментах та при вирощуванні і розведенні з живими об'єктами. Є дослідження, де в межах проекту автори пропонують моделювати ріст та розподіл ваги гідробіонтів з використанням системи дискретних подій (DES), яка враховує різні умови вирощування гідробіонтів (зокрема, температурний режим, солоність тощо) [7].

За статистичними дослідженнями в доступній літературі відмічено, що в контексті кормового виробництва аквакультура знаходилась на перших позиціях щодо найбільшого споживання рибного борошна (86 %) та риб'ячого жиру (73 %) за останні роки [1]. Тому практичної цінності та актуальності набувають дослідження щодо використання альтернативних джерел протеїну при формуванні загальногосподарського раціону гідробіонтів. На сьогодні є багато чисельні дослідження, де автори відмічають позитивний досвід використання альтернативних джерел протеїну, біологічно активних речовин, в тому числі і білків, екстрагованих з комах різних видів, рослинних побічних продуктів, для виробництва борошна з високим вмістом протеїну з перспективою повної або часткової заміни [8, 9, 10, 11].

Безумовно розглядаючи та всебічно аналізуючи доступні джерела інформації за окресленою тематикою, слід відмітити модель аква- та гідропоніки. На сьогодні презентовано чималу кількість науково-



експериментальних робіт щодо позитивних результатів та доцільності використання такої моделі в аквакультурі [12,13,14].

Вимоги до виробничого сектору передбачають відповідність нормативним значенням, а при євроінтеграції, має бути гармонізація з європейськими стандартами та рекомендаціями в аквакультурі. В такому плані є необхідність в галузях, де відбувається контакт з живими організмами дотримуватись не лише класичних понять (розведення, вирощування, годівля тощо), а й гуманного відношення до них, формування сприятливого середовища, зниження стресових ситуацій тощо. При цьому технологічні чинники мають актуальність в контексті оптимізації умов вирощування, годівлі, розведення тощо [5,15,16]. Раціональне використання водних біоресурсів з комплексним поєднанням декількох галузей (аквакультура, агрокультури, птахівництва тощо) буде сприяти задоволенню споживача у широкому асортименті продукції з відповідною високою якістю. За будь-яких умов традиційні способи використання водних екосистем відкритих або у закритих формах передбачають забезпечення вихідним якісним матеріалом (гідробіонтами, якими зариблюють водойми або, яких вирощують та розводять у штучних системах, ставах РАС тощо). Тому питання ведення удосконалення технології вирощування, підгодівлі є відкритим, воно немає часових обмежень та завжди потребує належної уваги зі сторони всіх дотичних до галузі.

На сьогодні активно практикується використання біологічно активних добавок, природних компонентів, що на сьогодні привертає увагу в аквакультурі. Безумовно, домінуючим аспектом є високі якісні та кількісні параметри продукції, мінімальний тиск на екосистему в цілому [15].

Відбувається перестройка глобального формату, адаптація технологій під нові умови для гідробіонтів, доповнення або поєднання технологічних елементів з різних форм ведення галузі. У рибогосподарській діяльності важливим прикінцевим результатом та метою є виробництво риби, рибної продукції, яка відповідає як його потребам, так і попиту місцевому ринку. На офіційній сторінці рибного агентства України міститься інформація, що тенденція розвитку галузі, відповідність нормативам забезпечення рибною продукцією українців [1,2].



Тому нарощення обсягів виробництва продукції аквакультури є стратегічним завданням, яке набуває національного, продовольчого значення.

### **Основні результати дослідження**

Науково-дослідним шляхом впродовж експериментальної частини роботи було встановлено, що синергія декількох виробничих секторів в аквакультурі сприяє вищим параметрам ефективного ведення галузі. Зокрема, модель мультитрофічної аквакультури передбачає підвищення раціонального використання ресурсів в контексті виробничої ефективності та потенціалу об'єктів, яких культивують.

Підгодівля шляхом використання природних компонентів для гідробіонтів сприяє зміцненню резистентності їх організму. В свою чергу, це формує високий потенціал розвитку, вищі параметри виходу (виживання), морфо-метричні показники, масонакопичення, біохімічного складу по відношенню до контрольної групи. Рекомендовано використовувати у класичній схемі такі елементи модульної мультитрофічної аквакультури, оскільки відбувається підвищення основних параметрів.

Додаткове впровадження платформи використання природного джерела енергії – сонячного ресурсу – за умов інсталяції над водоймою та у виробничому циклі РАС, сприяє підвищеному використанню ефективно ресурсів з заощадженням [16].

Отримано позитивний вплив використання в загальній схемі додаткового культивування продукції агроспрямування, це надає можливість сформувати оптимізаційну технологічну карту отримання продукції максимально наближеної до екологічно-безпечної.

За умов підрощення та вселення життестійкого рибопосадкового матеріалу є можливості успішної реалізації програми досягнення позитивних результатів та вирішення чималої низки питань рибогосподарської діяльності.

В кожній групі експериментального дослідження (у складі ЗГР *Hermetia illucens*) перерозподіл та швидкість масонакопичення відбувалися активніше, ніж в контрольній. Використання в якості технологічного чинника корегування



швидкості розвитку спіруліни, вермикультури та *Hermetia illucens* продемонструвало найвищі результати. При чому кожний з компонентів культивували у загальній схемі технологічної карти мультитрофічної аквакультури.

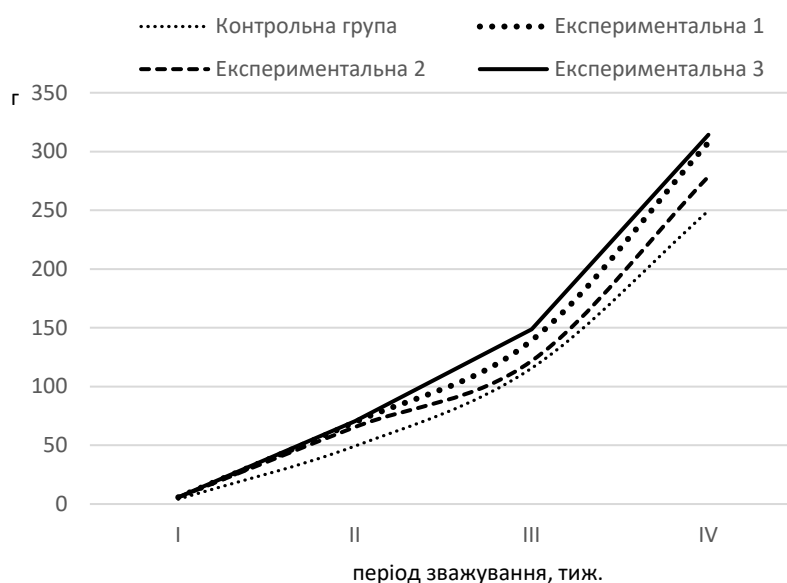


**Рисунок 2 - Технологічний фрагмент модульної системи за принципом мультитрофічної аквакультури**

Експериментальним шляхом було встановлено, що в результаті оперативних втручань, технологічних чинників при виробництві продукції аквакультури виникає ланцюг певних послідовних змін (стресові реакції в організмі гідробіонтів, зменшення показників ефективного ведення галузі, нерациональність експлуатації ресурсів тощо), що у сукупності негативно



впливають на ефективне ведення галузі. В окреслених умовах одним із кейсів вирішення розробка певних комплексних рекомендацій щодо оптимізації.



**Рисунок 3** - Аналіз впливу кормового чинника різної природи на темпи зростання райдужної форелі в онтогенезі при вирощуванні в системі мультитрофічної аквакультури РАС ( $x \pm SD$ )

В якості енергозберігаючої технології в рибористві визначено не лише альтернативні енергії, а технологічні прийоми вирощування гідробіонтів, серед яких рекомендовано використовувати щільність посадки, склад полікультури, умови годівлі (підгодівлі).

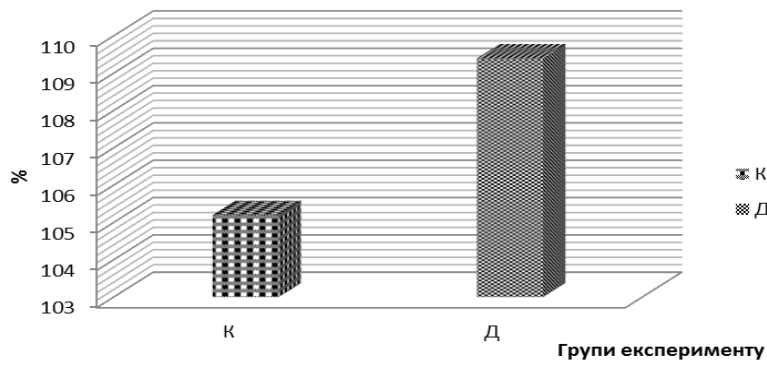
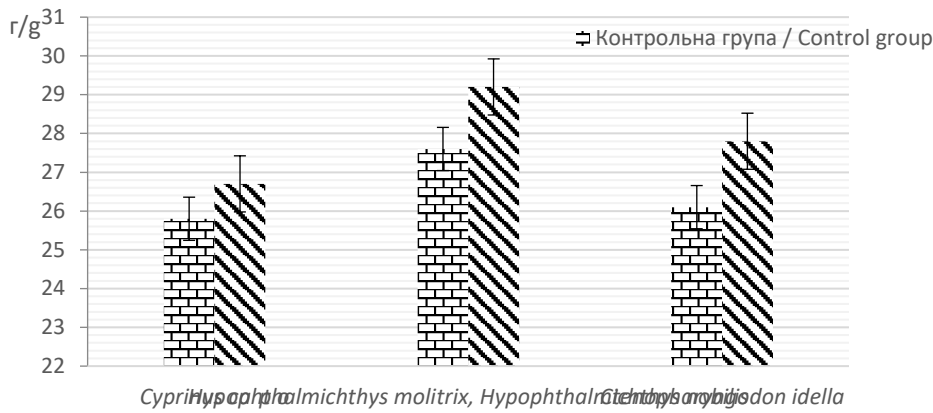
Досвід використання природних компонентів, отриманих в загальній схемі модульної системи аквакультури демонструє позитивні зміни на ранніх стадіях онтогенезу гідробіонтів. В цей період відбувається їх активний розвиток, формування потенціалу для майбутніх показників, що складатимуть якісні характеристики товарної та племінної риби.

Вплив природних компонентів передбачає стимуляцію активних систем в організмі личинок коропа та товстолобиків, в результаті чого відбувається підвищення всіх параметрів, що забезпечують швидкість масонакопичення, приростів та виходу (виживання). Вивчення темпів розвитку у коропа та

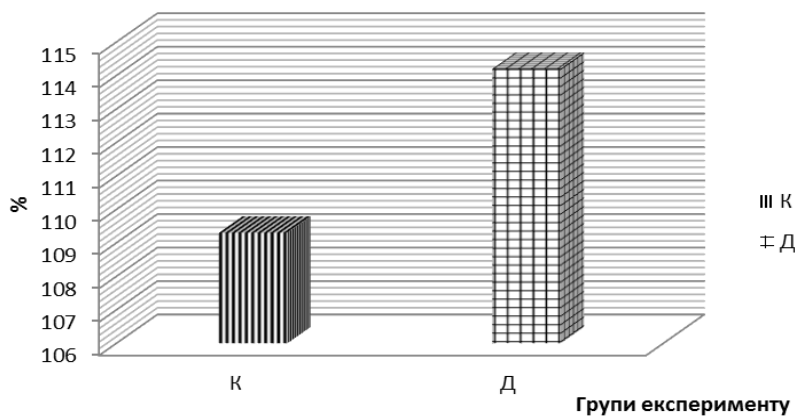




товстолобика в залежності від використання підгодівлі (природними компонентами) та використання наночастинок при формуванні вже пастоподібної кормосуміші до ЗГР показало, що спосіб є ефективним.



А



Б

**Рисунок 4** - Порівняльний аналіз впливу технологічного чинника модульної мультитрофічної аквакультури на розвиток личинок коропа (А) та товстолобиків (Б)



Аналізуючи результати, відмітимо, що різниця між параметром по коропу складала 3, 42 %, по товстолобиками також були вищі показники в дослідній групі, різниця становила 2,07 %. В дослідній групі вихід по коропу та товстолобику був вищим, ніж в контрольній групі різниця дорівнювала 3 %.

Загалом, всі експериментальні дослідження продемонстрували позитивні результати в дослідних групах модульної системи мультитрофічної аквакультури. Таким чином, оптимізаційні заходи мають бути комплексні, враховувати всі аспекти зі сторони гідробіонтів та виробництва. Показники, які є важливими та залежать від технологічних чинників – це вихід, швидкість розвитку, морфо – метричні параметри, рибопродуктивність, коефіцієнт вгодованості.

За результатами комплексних досліджень, використання модульної системи мультитрофічної аквакультури при вирощуванні теляпії з у басейнах РАС та підгодівлею її природними компонентами, отриманими в даній аквакультуральній системі.



**Рисунок 5** - Аналіз впливу кормового чинника різної природи на темпи зростання теляпії *Florida Red* в онтогенезі при вирощуванні в системі мультитрофічної аквакультури РАС ( $\bar{x} \pm SD$ )

Враховуючи еколого-біологічні особливості теляпії *Florida Red* підгодівля природними компонентами передбачала включення до ЗГР компонентів з використанням спіруліни, артемії та чорної левинки. Порівняльний аналіз використання модельних рішень мультитрофічної аквакультури підгодівлення



молоді (модельна система унікального біореактору культивування мікроводоростей) продемонстрував кращі параметри в експерименті, ніж в контролі. Зокрема, показники розвитку гармонізували і з кращим хімічним складом біологічної продукції.





**Рисунок 6** - Фрагмент реалізації синергізму енергетичних ресурсів гідробіонтів та рослин (фото зроблені автором)

Технологічні прийоми оптимізації вирощування, підрощення передбачають використання інноваційних методів. Враховуючи, що сучасні уявлення надають таку можливість. Наприклад, інноваційні технології можуть сприяти ефективнішій оптимізації при прорахуванні потенційних ризиків, при моделюванні потенційного ефекту від заходів в аквакультурі за певних елементів її удосконалення. За всіх умов важливим є врахування біологічних потреб об'єктів культивування, продуктивних параметрів, харчових відносин конкретного об'єкту у водному середовищі, складу раціону, якість кормів.

Використання модульної системи мультитрофічної аквакультури надає можливість поліпшити якісні та кількісні параметри вирощування гідробіонтів. Всі ці аспекти на сьогодні є актуальними та обумовлюють практичну цінність таких способів удосконалення вирощування або підрощення гідробіонтів.



## **Висновки**

Відносно формування як одного з напрямів мультитрофічної моделі аквакультури виробництва продукції максимально наближеної до екологічно-безпечної доцільним відмітити тенденцію до становлення основних аспектів в технологічній карті. Така форма ведення аквакультури доповнює загальноприйняті аспекти класичного формату та надає інформаційних запит від споживачів виробникам продукції аквакультури.

Ресурсний потенціал української аквакультури має всі базові аспекти для успішного розвитку та впровадження інноваційних елементів у виробничий цикл. Одним з ключових питань є підтримка таких програм стратегічного розвитку в синергії всіх сфер галузі (зокрема, нормативно-правова частина, фінансування, підтримка бізнес демо-проектів на державному рівні тощо).

Комбінування різних методів в аквакультурі на прикладі модульної системи мультитрофічної аквакультури, надає можливість оптимізувати вирощування, раціонально використовувати ресурси. Використання на певній ланці технологічного процесу етапу підрощення молоді риб сприяє підвищенню їх резистентності організму до впливу абіотичних та біотичних чинників. В цілому це позначається на вищих якісних та кількісних параметрах ведення галузі.