

УДК 602.44

Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського»

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Метою досліджень є розробка технології водоочищення із залученням груп кормових організмів, які здатні використовувати характерні забруднення УЗВ для культивування прісноводних риб в якості поживного субстрату. У результаті аналізу очисного потенціалу окремих гідробіонтів було виявлено групи, найбільш перспективні до культивування у інтегрований з УЗВ аквасистемі. Залучення до процесів відновлення якості циркуляційної води УЗВ організмів різних трофічних рівнів дозволить максимально повно використати енергетичний потенціал кормів та знизити кількості утворених відходів. Обґрунтовано доцільність реалізації концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури для очищення циркуляційної води прісноводних рибницьких комплексів із замкнутим водозабезпеченням. Визначено групи кормових організмів, які володіють високим потенціалом щодо вилучення та трансформації основних забруднень УЗВ, та можуть ефективно культивуватись в очисних установках.

**Ключові слова:** інтегрована мультитрофічна аквакультура, очищення води УЗВ.

L.A. SABLIIY, M.S. KORENCHUK

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

S.V. KONONTCEV, Y.R. GROKHOVSKA

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

#### IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF INTEGRATED MULTI - TROPHIC AQUACULTURE IN RECIRCULATING SYSTEMS FOR FISH CULTIVATION

The aim of research is development of water treatment technology that is using groups of feed organisms, which are able to use typical pollution of a recirculating aquaculture systems (RAS) for freshwater fishes cultivation as a trophic substrate. Aquatic organisms for cultivation together with fishes were selected by analysis of the self-purification processes of natural water, biochemical and metabolic features of certain species. Also, have been used results of our previous experimental studies on the cultivation of feed organisms in sewage treatment plants in the RAS. By analysis of a purification potential of specific aquatic organisms were found most promising groups for cultivation in systems which integrated with the RAS. Involving organisms from different trophic levels to RAS water treatment processes allows maximum use an energy potential of feed and reduce amount of waste. It was grounded the expediency of implementation Integrated multi-trophic aquaculture systems (IMTA) for the RAS water treatment processes. We identified groups of food organisms that have high ability to remove and transformation of main pollutants in RAS, which could be cultivated in purification plants. Our results can be used in construction for water treatment in the RAS. The implementation of the biotechnology would significantly reduce operating costs for the sediment removal and save food due to growing their own live food in aquaculture systems.

**Keywords:** integrated multi-trophic aquaculture, RAS water treatment.

Концепція системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури (Integrated multi - trophic aquaculture systems – ІМТА) вважається найбільш прогресивним напрямком розвитку рибництва. Фактично, дана концепція дає відповідь на складне питання найближчого майбутнього людства – як забезпечити стійке зростання продукції аквакультури та одночасно зменшити надходження відходів виробництва у навколишнє середовище. Основною метою ІМТА є підвищення продуктивності водних ресурсів, зниження рівня забруднення навколишнього середовища шляхом використання побічних продуктів (відходів) для забезпечення харчування організмів інших трофічних рівнів [1]. Досвід передових країн Європи, Америки та Азії, що вже декілька десятиліть активно впроваджують методи ведення рибництва в установках із замкнутим водозабезпеченням, дозволяє чітко окреслити основні перспективи розвитку даної галузі. Більшість існуючих інтегрованих мультитрофічних аквасистем розроблено на базі морських господарств, що пов'язано з високою харчовою цінністю субпродукції, яка вирощується у марикультурі (водорості, голкошкірі, кишковопорожнинні, молюски), відсутністю ефективних шляхів видалення утворених метаболітів риб з акваторії, а також жорсткими екологічними вимогами до діяльності таких господарств [2,3]. Системи аквапоніки, інтегровані з прісноводними УЗВ, являють собою лише перший крок до створення комплексної мультитрофічної аквакультури у даному сегменті індустріального рибництва [4], але навіть він дозволив суттєво підвищити ефективність відновлення якості води порівняно із класичними технологіями, які використовували в УЗВ з середини ХХ століття.

В межах даної роботи вирішували завдання щодо розробки інтегрованої з прісноводним рибницьким господарством індустріального типу аквасистеми, яка б забезпечила відновлення забрудненої у басейнах води з одночасними культивуванням гідробіонтів різних трофічних рівнів. Дана система характеризується потенційною спроможністю до зниження витрати на вирощування промислово цінних риб в УЗВ, створення конкурентоспроможної продукції та досягнення практично безвідходного виробництва. Усунення основних проблемних аспектів при експлуатації УЗВ, пов'язаних з витратами на відновлення якості води та потребою в утилізації утворених внаслідок очищення осадів, дозволить суттєво

зменшити потребу у комбікормах, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та отримати додаткову харчову або кормову субпродукцію.

Мультитрофічна аквасистема, інтегрована з УЗВ, має на меті забезпечення максимально повного використання енергетичного потенціалу кормів та зниження кількості відходів, що утворюються у процесі вирощування риби. Вирішення даного завдання можливе лише за умови ефективної трансформації метаболітів риб та залишків кормів у біомасу гідробіонтів – очисних агентів. Тому метою наших досліджень була розробка технології водоочищення із залученням груп кормових організмів, які здатні використовувати характерні забруднення УЗВ як поживний субстрат.

При розв'язанні задачі щодо максимально ефективного використання енергетичного потенціалу кормів та підвищення економічного ефекту інтегрованої аквасистеми необхідно забезпечити культивування в якості очисних агентів саме тих гідробіонтів, які окрім потенціалу щодо трансформації характерних забруднень становлять ще й кормову цінність для риб. Таким чином, при створенні мультитрофічної системи необхідно зважати на три основні критерії: швидкі темпи метаболізму та пристосованість до умов забрудненої води УЗВ; можливість ефективного утримання і розмноження гідробіонтів у проточних біореакторах; висока кормова цінність. Оскільки основним виробничим процесом у будь-якому випадку залишається вирощування риби, першочерговим завданням інтегрованої з УЗВ системи буде ефективне вилучення та трансформація основних забруднень циркуляційної води. Водночас, важливим залишиться й питання щодо зростання біомаси та відходів, що утворюються в результаті відновлення якості води. Очевидно, що чим більшу матеріальну цінність матиме субпродукція, вирощена в умовах інтегрованих культиваторів і чим меншою буде кількість відходів, що потребують витрат на утилізацію, тим більшою економічною ефективністю та екологічною чистотою буде характеризуватись аквасистема.

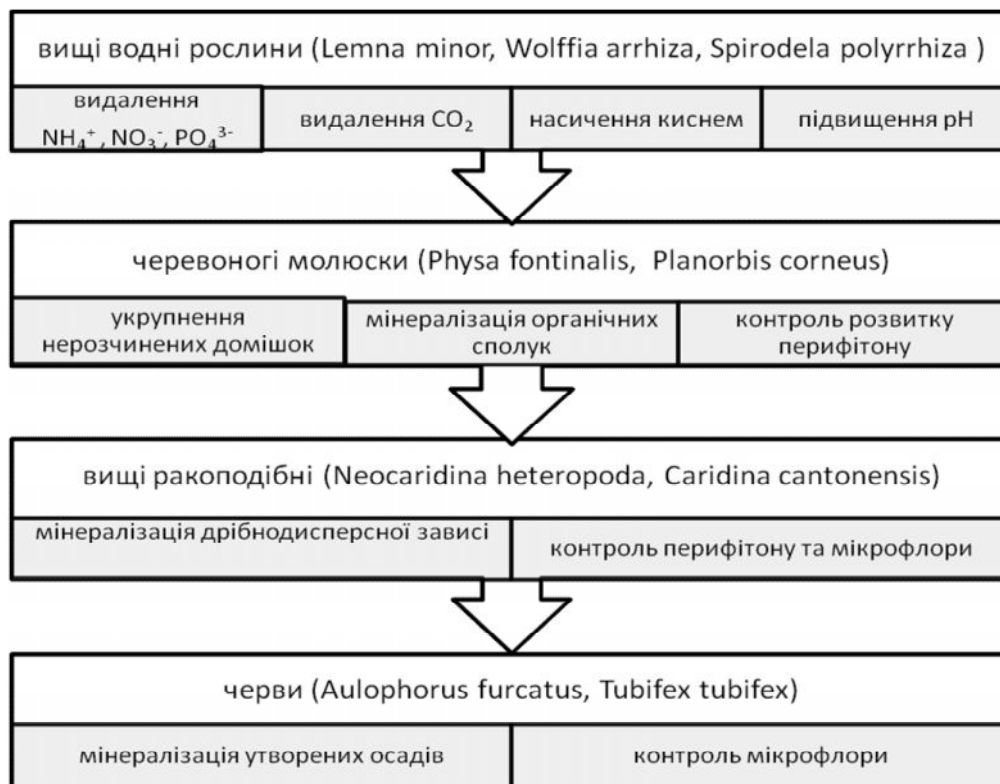
Детальний аналіз потенційного навантаження на споруди біологічного очищення УЗВ у процесі годівлі риб [5–7] дозволяє визначити основні групи забруднень, що відрізняються за фазово-дисперсним станом та складом. В цілому, якісний склад кормів визначає характер нерозчинених забруднень води УЗВ, основну частину з них складають сполуки Нітрогену та Фосфору. Також у твердій фазі присутні неперетравлені домішки корму, пилоподібні частки, які недоступні для споживання рибами. У розчиненій формі у воду надходять метаболіти риб, що виділяються через поверхню шкіри та зябра. Відповідно до біохімічних розрахунків [8], на кожний кілограм спожитого корму риба виділить у воду біля 10 г нерозчинених забруднень та близько 40 г метаболітів у розчиненій формі. Частина буде розсіяна на обмінні процеси, забезпечення життєдіяльності, а 90–91% перейде безпосередньо у приріст маси.

Результатами багатьох досліджень та практикою окремих господарств було підтверджено, що розчинені сполуки Нітрогену, а саме – йони амонію, нітрати та нітрити серед інших гідробіонтів найбільш ефективно вилучають рослини [9–12]. Процес асиміляції рослинами Нітрогену відбувається з порівняно великою швидкістю, без проміжних етапів та без утворення побічних продуктів. Водночас, практика експлуатації біофільтрів, що виконують роль нітрифікаторів, та споруд з денітрифікації засвідчує низькі темпи трансформації сполук Нітрогену бактеріями, нестабільність протікання процесу, високу чутливість до параметрів води та співвідношення у ній окремих компонентів. Також при використанні біофільтрів проблемним залишається вилучення із води фосфатів. За окремими даними, фосфати можуть бути вилучені під час процесу денітрифікації [13], але й у такому випадку проблемні аспекти протікання денітрифікації в УЗВ не вирішуються. Відкритими залишаються й питання, у які сполуки трансформуються розчинені фосфати та які подальші шляхи їх утилізації. Залучення ж до процесів очищення циркуляційної води рослин забезпечує швидку асиміляцію розчиненого Фосфору з високим ефектом очищення. Таким чином, найбільш ефективним способом вилучення та трансформації розчинених сполук Нітрогену та Фосфору є використання в якості очисних агентів рослин. Враховуючи відсутність побічних продуктів, що утворюються при культивуванні рослин, та високі ефекти вилучення з води фосфатів, нітритів, нітратів та амонійного Нітрогену (від 86 до 99%), дані забруднення можна вилучити в межах однієї споруди біологічного очищення – фітореактора.

Нерозчинені домішки, що надходять у воду рибницьких басейнів, можуть розглядатись як субстрат для багатьох груп гідробіонтів – детритофагів. Їх основною задачею в аспекті відновлення якості води УЗВ може бути підвищення рівня мінералізації затриманих часток, укрупнення та зменшення їх загальної кількості. З огляду на те, що нерозчинені забруднення УЗВ здатні швидко розкладатись у воді, підвищуючи концентрацію амонію, фосфатів та значення БСК, більш доцільним є відокремлення затриманих у спорудах механічного очищення крупних домішок із подальшим очищенням та розділенням фаз. Водночас, практика експлуатації барабаних фільтрів, що працюють за принципом проціджування, та інших конструкцій споруд для фільтрації засвідчує вкрай низьку ефективність роботи таких споруд при використанні сіток з розмірами вічка менше 40 мкм. Тому раціональним рішенням у даному випадку є використання сіток з розмірами вічка 60–100 мкм, які забезпечують достатньо стабільну та надійну роботу споруд механічного очищення. Крупнодисперсні забруднення, видалені із загального потоку води у спорудах механічного очищення, потребують обробки за межами УЗВ на відкритих територіях. Після мінералізації та зневоднення вони можуть ефективно використовуватись як добрива у сільському господарстві. Дрібні домішки, які не затримуються у проціджувачі, більш ефективно можна вилучити у спорудах біологічного очищення.

Трансформація дрібних нерозчинених домішок може відбуватись у спеціально розроблених біореакторах, конструктивні особливості яких дозволяють культивувати визначені групи гідробіонтів.

Забезпечити утилізацію твердих відходів можна за допомогою організмів нижчих трофічних рівнів, які не можуть розглядатись в якості харчових об'єктів для людини, але є чудовим кормом для риби. Особливі перспективи така схема відкриває для господарств, де вирощують види риби, здатних споживати саме такі організми. Це можуть бути представники тропічних черевоногих молюсків, водних олігохет та креветок, що характеризуються порівняно швидкими темпами росту, пристосованістю до умов тепловодних господарств УЗВ, високою кормовою цінністю для риби. Доцільність вирощування в очисному комплексі всіх трьох груп обґрунтована їх відмінностями у метаболізмі, отже і роль кожної групи у процесах трансформації органічної речовини буде відрізнятися. Окрім того, побічні продукти (метаболіти), що будуть утворюватись у культиваторах при вирощуванні однієї групи, можуть бути використані як поживний субстрат, що з потоком води надійде у культиватор для наступної групи. Оскільки зазначені гідробіонти у процесі життєдіяльності виділяють у воду також і розчинені метаболіти (переважно сполуки Нітрогену та Фосфору), необхідно забезпечити їх вилучення у фітореакторі. Таким чином трансформація нерозчинених органічних сполук може відбуватись у два-три послідовні етапи, зображені на схемі (рис. 1), після кожного з них буде спостерігатись підвищення ступеня мінералізації твердої речовини, що фактично виступає забрудненням УЗВ, та зниженням її об'єму. Пропорційно буде збільшуватись і біомаса очисних агентів, що включені у процеси трансформації нерозчинених домішок.



. 1.

Окрім визначених груп гідробіонтів, які будуть цілеспрямовано культивуватись у біореакторах, в очисних спорудах можна очікувати спонтанний розвиток організмів нижчого рівня організації – бактерій, грибів, водоростей, найпростіших та ін. У разі пристосованості конструкцій культиваторів для певної групи очисних агентів, інтенсивний та неконтрольований розвиток мікрофлори буде неможливим. По-перше, її чисельність буде контролюватись молюсками, червами та ракоподібними. Також конструктивні особливості біореакторів і гідравлічний режим споруд забезпечують постійне вимивання планктонних організмів. Окрім того, наявність у спорудах певної кількості прикріпленої мікрофлори призведе лише до підвищення ефективності очищення води, адже у процесах природного самоочищення водою перифітон також відіграє важливу роль. У разі, якщо зазначені групи гідробіонтів будуть здатні в сукупності вилучити з води основну масу забруднень, водний потік такої інтегрованої системи можна замкнути.

Реалізація концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури при вирощуванні риби в УЗВ дозволяє підвищити економічну ефективність діяльності таких господарств і забезпечити екологічну чистоту виробництва. Вирощування в якості субкультури окремих груп кормових організмів, які у процесі життєдіяльності забезпечують вилучення із забрудненої води нерозчинених і розчинених метаболітів риби, дозволяє зменшити загальну потребу у комбікормах, знизити кількості утворених відходів.

**References**

1. Ariel E. Turcios, Jutta Papenbrock. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents — What Can We Learn from the Past for the Future? // Sustainability. – 2014. – 6. – pp. 836–856.
2. Neori A., Ragg N.L.C., Shpigel M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system // Aquacult. Eng. – 1998. – 15. – pp. 215–239.
3. Waller U., Buhmann A.K., Ernst A. et al. / Integrated multi-trophic aquaculture in a zero-exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production // Aquaculture International. – 2015. – Volume 23. – Issue 6. – pp. 1473–1489.
4. Marton E. / Polycultures of fishes in aquaponics and recirculating aquaculture // Aquaponics J. – 2008. – 48. – pp. 28–33.
5. Kelly L.A., Bergheim A., Hennessy M.M. / Predicting output of ammonium from fish farms // Water Res. – 1994. – 28. – p. 1403–1405.
6. Heinen J.M., Hankins J.A., Adler P.R. / Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet // Aquacult. Res. – 1996. – 27. – pp. 699–710.
7. Schneider O, Sereti V, Eding EH, Verreth JAJ / Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems // Aquac Eng. – 2005. – 32. – p. 379–401.
8. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения / Якоб Брайнбалле / Eurofish – international organization. – Копенгаген, 2010. – 70 с.
9. Zachritz W.H., Jacquez R.B. / Treating intensive aquaculture recycled water with a constructed wetlands filter system // Constructed Wetlands for Water Quality Improvement; Moshiri, G.A., Ed.; Lewis Publishers: Boca Raton, USA. – 1993. – pp. 609–613.
10. Yao F, Sun J, Tang C, Ni W / Kinetics of ammonium, nitrate and phosphate uptake by candidate plants used in constructed wetlands // Procedia Environ Sci. – 2011. – 10. – pp. 1854–1861
11. Lin Y.F., Jing S.R., Lee, D.Y., Wang T.W. / Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system // Aquaculture. – 2002. – 20. – pp. 169–184.
12. Sindilariu P.D., Brinker A., Reiter R. / Factors influencing the efficiency of constructed wetlands used for the treatment of intensive trout farm effluent // Ecol. Eng. – 2009. – 35. – pp. 711–722.
13. Barak Y., J. van Rijn / Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system // Aquacultural Engineering. – 2000. – 22. – pp. 121–136.

Рецензія/Peer review : 26.09.2017 р.

Надрукована/Printed :27.10.2017 р.

Рецензент: стаття прорецензована редакційною колегією