



Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519-2698 print
ISSN 2707-5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a9913
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 636:579:639.3

Probiotics: an innovative approach to enhancing aquaculture productivity

P. Ya. Pukalo[✉]

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine

Article info

Received 02.08.2023
Received in revised form
04.09.2023
Accepted 05.09.2023

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska Str., 50, Lviv,
79010, Ukraine.
Tel.: +38-097-234-84-19
E-mail: ppukalo@gmail.com

Pukalo, P. Ya. (2023). Probiotics: an innovative approach to enhancing aquaculture productivity. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 25(99), 78–83. doi: 10.32718/nvlvet-a9913

Probiotics refer to live beneficial microorganisms introduced into the digestive system via food or water, contributing to overall well-being by promoting a balanced internal microbial environment. These probiotic microorganisms produce a variety of substances, including bacteriocins, siderophores, lysozymes, proteases, and hydrogen peroxide, which effectively inhibit the growth of harmful pathogens. Furthermore, these beneficial bacteria generate a diverse set of enzymes, including amylase enzymes produced by *Aeromonas* spp., *Bacillus subtilis*, *Bacteroidaceae*, *Clostridium* spp., *Lactobacillus plantarum*, and *Staphylococcus* sp., as well as protease and cellulase enzymes produced by *B. subtilis*, *L. plantarum*, and *Staphylococcus* sp. In aquaculture, probiotics have several advantages and play a crucial role in improving fish growth rates, disease resistance, immunity, maintaining health, intestinal epithelial integrity, supporting gut microbiota, and enhancing water quality. Furthermore, the practical application of probiotics in fish diets can reduce the negative impact of antibiotics. The incorporation of these supplements into fish feeds would contribute to improving their productivity and efficient feeds utilization, thereby increasing fish production and safeguarding human health. This article provides an overview of the use of probiotic preparations in aquaculture. It presents information about the composition of the innate microflora in fish, as well as historical facts regarding the development of probiotics in aquaculture. The data analysis indicates that probiotics are effective and environmentally friendly, making them suitable for the entire aquaculture system, including primary and supplementary feeding, as well as water purification. They have a positive impact on the health of aquatic organisms and consumers. Additionally, the article discusses the appropriateness of probiotic use in aquaculture for dynamic and environmentally safe fish farming development, aiming to reduce the spread of antibiotic and chemical resistance and address disease treatment and prevention in fish farms.

Key words: probiotics, aquaculture, microbiota, fish farming.

Пробіотики: інноваційний підхід до підвищення продуктивності аквакультури

П. Я. Пукало[✉]

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

Пробіотики – це живі корисні мікроорганізми, які вводяться в систему травлення через їжу або воду і сприяють зміцненню здоров'я, поліпшуючи внутрішній мікробіологічний баланс. Ці корисні мікроорганізми виробляють різноманітні речовини, такі як бактеріоцини, сидерофори, лізоцими, протеази та перекис водню, які ефективно пригнічують ріст шкідливих патогенів. Крім того, ці корисні бактерії виробляють низку ферментів, включаючи ферменти амілази, що виробляються *Aeromonas* spp., *Bacillus subtilis*, *Bacteroidaceae*, *Clostridium* spp., *Lactobacillus plantarum* і *Staphylococcus* sp., а також ферменти протеази і целюлази, які виробляються *B. subtilis*, *L. plantarum* і *Staphylococcus* sp. У сфері аквакультури пробіотики мають низку переваг і відіграють важливу роль у покращенні показників росту риб, стійкості до захворювань, підвищенні імунітету, забезпеченні стану здоров'я, цілісності кишкового епітелію, підтримці мікробіоти кишечнику та поліпшенні якості води. Крім того, практичне застосування пробіотиків у раціонах для риб може зменшити негативний вплив антибіотиків. Поширення цих добавок у кормах для риб сприя-

тиме підвищенню їх продуктивності та ефективного використанню кормів, що своєю чергою підвищить виробництво риби та допоможе зберегти здоров'я людей. У даній статті зроблено огляд використання пробіотичних препаратів в аквакультури. Наведена інформація про склад вродженої мікрофлори у риб, а також історичні факти стосовно розвитку пробіотиків в аквакультури. Аналіз даних свідчить, що пробіотики позитивно впливають на здоров'я водних організмів та споживачів. Крім того, обговорено доцільність використання пробіотиків в аквакультури для динамічного та екологічно безпечного розвитку рибництва з метою зменшення стійкості до антибіотиків та хімічних речовин і вирішення питань лікування та профілактики захворювань у рибницьких фермах.

Ключові слова: пробіотики, аквакультура, мікробіота, рибництво.

Вступ

Аквакультура є важливою діяльністю для підвищення продовольчої безпеки та додаткового заробітку для рибалок. Крім того, стрімкий приріст населення, зростаюча потреба в доступних джерелах білка та зменшення вилову риби з природних водойм створили необхідність в швидкому і невідкладному розвитку аквакультури. Останнім часом рибне господарство набуває все більшої популярності, оскільки аквакультура є найбільш перспективною діяльністю для задоволення світового попиту на продукти харчування. Темпи виробництва продукції аквакультури вищі, ніж у будь-якій іншій галузі виробництва їжі, і цей ріст буде вирішальним у боротьбі з нестачею їжі та недоїданням і відповідатиме зростаючому світовому попиту на їжу (El-Saadony et al., 2021).

Риба є багатим джерелом білків, жирних кислот, вітамінів, мінералів та важливих поживних мікроелементів. Проте збільшення рівня органічного забруднення та кількості умовно-патогенних бактерій у гідроекосистемі, особливо в системах закритого водопостачання з високою щільністю заселення, призводить до послаблення імунної відповіді гідробіонтів та великих втрат у виробництві.

Використання антимікробних препаратів як профілактичних та лікувальних засобів на сьогодні не є тривалим лікуванням, оскільки не завжди є ефективним: це призводить до дефіциту корисної мікробіоти, антибіотикорезистентності та зниження імунної відповіді й суттєво знижує приріст риби, тож спостерігається значний спад показників аквакультури (Balcazar et al., 2006).

Використання антибіотиків у виробництві харчових продуктів заборонено в багатьох країнах. Тому в даний час найбільш перспективним та ефективним засобом лікування і профілактики є використання препаратів на основі живих мікробних культур. Ці препарати мають ряд переваг порівняно з антимікробними препаратами інших груп. Вони є фізіологічно сумісними, мають виражену антимікробну активність щодо патогенних та умовно-патогенних бактерій, здійснюють імунокорегуючу та протизапальну дію, сприяють стимуляції моторної функції кишечника. Вони також менше сприяють формуванню стійких штамів мікроорганізмів. Пробіотичні препарати є дуже ефективними для забезпечення стійкості мікробіологічних екосистем та позитивно впливають на фізіологічні функції, біохімічні та поведінкові реакції організму господаря через оптимізацію його мікробіологічного статусу (Afc, 1989).

Мета дослідження

Метою роботи було узагальнити літературні дані щодо використання пробіотичних препаратів для лікування бактеріальних захворювань гідробіонтів з метою підвищення продуктивності вирощування комерційної риби. Ця робота спрямована на збір та аналіз інформації про застосування пробіотиків у сфері аквакультури з метою з'ясування їхньої потенційної користі для підвищення якості та кількості вирощеної риби. Такий підхід може допомогти у боротьбі з бактеріальними інфекціями та посилити ефективність аквакультурного виробництва, сприяючи сталому розвитку галузі.

Результати та їх обговорення

Аквакультура – це галузь сільського господарства, яка займається вирощуванням та розведенням водних живих організмів для отримання продуктів, таких як риба та інші водні види, а також для виробництва кормів, збереження та відтворення біоресурсів, інтродукції нових видів, переселення, акліматизації та реакліматизації гідробіонтів. Порівняно з рибальством, ця діяльність дозволяє вибірково збільшення виробництва видів, які використовуються для споживання людиною, промисловості чи риболовлі. Внаслідок перетримки дикої популяції аквакультура стала економічно важливою галуззю в усьому світі. В останні десятиліття аквакультура значно посилила свій внесок у глобальне виробництво продуктів харчування, сировини для промислових та фармацевтичних цілей, а також постачання водних організмів для акваріумної торгівлі та заселення водойм (Martínez Cruz et al., 2012).

Аквакультура має тривалу історію, що почалася принаймні у 475 р. до н. е. в Китаї, однак стала важливою наприкінці сорокових років двадцятого століття, оскільки методи аквакультури можна було використовувати для заселення водойм як доповнення до природного розмноження. На сьогодні аквакультура є прибутковою галуззю (Cressey, 2009).

Проте інтенсифікація аквакультури передбачає вирощування на великій щільності, що спричинило значні збитки для навколишнього середовища через викиди концентрованих органічних відходів, які вибирають розчинений кисень в ставках, внаслідок чого утворюються токсичні метаболіти (такі як водень сульфід, метан, аміак та нітрити), які часто є причиною смертності. В таких умовах інтенсивного вирощування водні організми піддаються значному стресу, що призводить до збільшення випадків захворювань і зменшення продуктивності. Хвороби риб та погір-

шення екологічних умов часто виникають і призводять до значних економічних втрат (Bondad-Reantaso et al., 2005).

В аквакультури традиційно використовували антибіотики для запобігання захворюванням у культивованих видів. Однак це призвело до проблем, таких як залишки антибіотиків у тканинах гідробіонтів, розвиток стійкості бактерій і дисбаланс у мікробіоті шлунково-кишкового тракту водних видів. Особливо важливо зазначити, що Європейський Союз регулює використання антибіотиків в організмах, призначених для споживання людиною (Schmerold et al., 2023). Зараз споживачі націлюються на натуральні продукти без антибіотиків, і тенденція полягає в запобіганні захворюванням, а не їх лікуванні. В цьому контексті використання пробіотиків стає життєздатною альтернативою для обмеження патогенів та контролю захворювань у культурних видах аквакультури.

Використання антибіотиків у ветеринарії стало причиною стійкості бактерій до них, що має потенційні ризики для громадського здоров'я (Nomoto, 2005).

Стійкість до антибіотиків може бути набутою через хромосомні мутації або придбання плазмід. Хромосомні мутації не передаються іншим бактеріям, але резистентні плазміди можуть швидко розповсюджуватися, призводячи до високого відсотка патогенних бактерій, які стають стійкими до антибіотиків (Balcazar et al., 2006).

Пробіотик – це порівняно новий термін, який використовується для позначення мікроорганізмів, які пов'язані з корисними ефектами для організму господаря. Термін “пробіотик” походить від грецького слова “*pro*” і “*bios*”, що означає “живий”. Він мав різні значення протягом багатьох років. І. І. Мечников вперше описав позитивну роль деяких бактерій у фермерів, які споживали молоко з хвороботворними мікроорганізмами і зауважив, що залежність від кишкових мікробів для їжі дозволяє вжити заходів для зміни флори нашого тіла та замінити шкідливі мікроби корисними мікробами (Metchnikoff, 1907). Термін “пробіотик” був введений до 1965 року і використовувався для опису речовин, які продукуються мікроорганізмами і подовжують логарифмічну фазу росту інших видів мікроорганізмів (Lilly & Stillwell, 1965). У 1974 році термін “пробіотик” використав Паркер для опису живих мікробних харчових добавок, які сприяють мікробному балансу кишечника (Parker, 1974). Подальші дослідження розширили визначення пробіотиків, вказуючи, що вони можуть мати антимікробну дію, модифікувати мікробіоту, імунну систему та інше, що призводить до покращення здоров'я господаря (Zaloi'lo et al., 2021).

Протягом багатьох років дослідження були зосереджені на мікроорганізмах, характерних для кишкової мікробіоти, і термін “пробіотик” в основному обмежувався грампозитивними молочнокислими бактеріями (Verschuere et al., 2000), особливо представниками родів *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* і *Streptococcus* (Vázquez et al., 1996). На відміну від наземних тварин шлунково-кишкова мікробіота водних видів особливо залежить від зовнішнього середо-

вища через потік води, що проходить через травний тракт. Таким чином, більшість бактерій тимчасово перебувають у кишечнику через постійне надходження води та їжі разом із наявними в них мікроорганізмами. Хоча повідомлялося про наявність в шлунково-кишковому тракті водних тварин потенційно патогенних бактерій, таких як *Salmonella*, *Listeria* та *Escherichia coli*, також були ідентифіковані пробіотичні бактерії та інші мікроорганізми. До них належать грампозитивні бактерії, такі як *Bacillus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus* і кілька видів *Lactobacillus*; грамнегативні, факультативні анаеробні, такі як *Vibrio* і *Pseudomonas*, а також деякі гриби, дріжджі та водорості родів *Debaryomyces*, *Saccharomyces* і *Tetraselmis* відповідно (Irianto & Austin, 2002; Burr et al., 2005; Vine et al., 2006).

Перше емпіричне застосування пробіотиків в аквакультури зробив Kozasa M. (1986), враховуючи користь використання пробіотиків для людини і птахівництва. Він використовував спори *Bacillus toyoi* як добавку до корму для підвищення швидкості росту жовтохвоста *Seriola quinqueradiata*. У 1991 році Porubcan R. S. (1991) задокументував використання *Bacillus* spp., щоб перевірити його здатність збільшити продуктивність фермування *Penaeus monodon* і поліпшити якість води шляхом зниження концентрацій аміаку та нітритів. З метою уникнення або зменшення використання певних антимікробних засобів, був проведений біологічний контроль, описаний як використання природних ворогів для зменшення завданої шкоди шкідливим організмам. Іншими словами, пробіотики не можна вважати біологічними контрольними агентами, оскільки вони не завжди є природними агентами боротьби з патогенами (Gomez-Gil et al., 2000). Однак деякі пробіотики мають здатність пригнічувати ріст патогенних бактерій. Moriarty визначив здатність *Bacillus* spp. знижувати частку *Vibrio* spp. в ставках з креветками, особливо в осадових відкладеннях (Moriarty, 1998). Подальші дослідження підкреслюють здатність пробіотиків стимулювати апетит, підвищувати поглинання поживних речовин та підсилювати імунну систему господаря (Irianto & Austin, 2002; Wang et al., 2008).

Потреба в стійкій аквакультури стимулювала дослідження використання пробіотиків для водних організмів. Спочатку основний інтерес був спрямований на їхню роль як засобів стимулювання росту та зміцнення здоров'я тварин. Проте з часом були виявлені нові сфери застосування, такі як вплив на репродукцію та збільшення стійкості до стресу, хоча це потребує подальшого наукового дослідження.

Пробіотики застосовуються в аквакультури з метою покращення росту і здоров'я культивованих видів. Щодо їхньої ролі у збільшенні апетиту та засвоєності їжі – є більше невідомих. За результатами досліджень, пробіотики можуть колонізувати шлунково-кишковий тракт на тривалий період і мати численні переваги для гідробіонтів залежно від різних факторів, таких як вид, температура тіла, генетична стійкість і якість води. Вони також демонстрували позитивний вплив на ріст фітопланктону та коловерток, що є важливим живим кормом. Пробіотики успі-

шно використовувалися для посилення росту ставових та декоративних риб, а також вирощування моллюсків (Lara-Flores et al., 2003).

Пробіотичні мікроорганізми мають здатність виробляти речовини, які мають бактерицидну або бактериостатичну дію на патогенні бактерії в шлунково-кишковому тракті господаря. Це створює бар'єр проти розмноження умовно-патогенних мікроорганізмів. Ефект антибактеріальної дії може бути зумовлений виділенням антибіотиків, бактеріоцинів, сидерофорів, ферментів (лізоцимів, протеаз) або перекису водню, а також зміною рН у кишечнику через утворення органічних кислот (Verschuere et al., 2000).

Пробіотики також можуть підвищувати неспецифічну імунну відповідь у водних видів, таку як активність лізоциму, міграція нейтрофілів та бактерицидна активність, що сприяє стійкості риби до інфекцій. Вони здатні інактивувати кілька патогенів, таких як *Aeromonas hydrophila* та *Vibrio alginolyticus*. За допомогою пробіотиків можна створювати здорову мікробіоту в шлунково-кишковому тракті водних видів, зменшуючи кількість гетеротрофних мікроорганізмів.

У деяких випадках використання пробіотиків дозволило підвищити виживаність і ріст водних організмів порівняно з антимікробними засобами. Використання пробіотиків стало ефективним способом контролю захворювань і покращення здоров'я в аквакультурі. Додавання пробіотиків до корму дволіток коропа призвело до збільшення маси риб та рибопродуктивності (Dobrjans'ka et al., 2019).

Пробіотики поліпшують травлення водних тварин, продукуючи ферменти та нутрієнти, що полегшують засвоєння поживних речовин. В деяких дослідженнях виявлено позитивний вплив пробіотиків на ріст та активність травних ферментів у водних організмів. Наприклад, *Bacillus*-пробіотики підвищують розмір і активність риби, а також сприяють розвитку травного процесу. Такі пробіотики також сприяють засвоєнню сухої речовини, протеїну та фосфору у білих креветках *Litopenaeus vannamei* та *Fenneropenaeus indicus*. У гуппі та мечохвоста виявлено збільшення розмірів і активності травних ферментів у травному тракті при використанні *Bacillus subtilis* як пробіотика (Ghosh et al., 2008).

Дослідження показують, що пробіотичні штами, особливо грампозитивні бактерії роду *Bacillus*, можуть поліпшувати якість води в аквакультурі. Це можливо завдяки їхній ефективності у перетворенні органічної речовини на CO₂. Збільшуючи концентрацію пробіотиків у виробничих ставках, рибоводи можуть зменшити накопичення розчиненого та твердого органічного вуглецю під час вегетаційного періоду і підтримувати баланс виробництва фітопланктону (Balcazar et al., 2006).

Додавання пробіотиків, таких як *Bacillus licheniformis* і *B. subtilis*, під час культивування тилапії підвищує якість води та покращує параметри, необхідні для вирощування риби. Це включає концентрацію розчиненого кисню, аміаку та рН (EL-Haroun et al., 2006).

Деякі дослідження також показують, що пробіотики можуть сприяти зменшенню концентрації аміаку,

нітратів та фосфатів у воді. Однак не всі дослідження підтверджують покращення якості води при застосуванні пробіотиків, і вони можуть варіювати залежно від конкретних умов аквакультури та виду пробіотика, що використовується.

Аквакультура часто вимагає інтенсивного вирощування, що може спричинити стрес у культивованих видів, таких як риби. Стрес може негативно впливати на ріст та розвиток тварин, включаючи синтез м'язового білка (Vianello et al., 2003). Додавання пробіотика *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *delbrueckii* до раціону європейського морського окуня (*Dicentrarchus labrax*) зменшує рівень гормону кортизолу в тканинах риби, що є маркером стресу. Це може свідчити про зменшення стресу у риб, які отримують пробіотик (Carnevali et al., 2006).

Дослідження також проводилися за допомогою стрес-тестів, таких як тепловий шок, на рибах, вирощених в рециркуляційних системах. Групи, які отримували пробіотики, виявили більшу толерантність до стресу порівняно з контрольною групою.

Рівні лактату та глюкози в плазмі також можуть служити індикаторами стресу. У дорадо (*Sparus auratus*), що отримували пробіотик, спостерігалось підвищення запасів глікогену і тригліцеридів у печінці, що свідчить про зменшення стресу.

Додавання пробіотиків також може позитивно впливати на антиоксидантну відповідь тварини на окислювальний стрес, збільшуючи активність антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза та каталаза (Tapia-Paniagua et al., 2012).

Пробіотичні добавки можуть позитивно впливати на репродуктивну здатність риб. У дослідженні Ghosh et al. (2007), використовуючи штаму *Bacillus subtilis*, виділений з кишечника *Cirrhinus mrigala*, доданий до раціону чотирьох видів декоративних риб, виявлено збільшення гонадосоматичного індексу, плодючості, життєздатності та виробництва мальків у самок всіх видів. Це свідчить про позитивний вплив пробіотика на репродукційну функцію риб.

Дослідники також вказали, що комплекс вітамінів групи В, синтезований пробіотиком, може сприяти зменшенню кількості мертвих або деформованих алевінів, що є ще одним позитивним аспектом впливу пробіотиків на репродукцію риб.

Аналогічні дослідження з використанням комерційного пробіотика, що містить різні бактерії, показали значне збільшення виробництва алевіну та відносної плодючості в групах, які отримували пробіотики порівняно з контрольною групою. Отримані результати свідчать про потенційну можливість використання пробіотиків для покращення репродуктивної здатності риб в аквакультурі (Abasali & Mohamad, 2010).

Висновки

Використання пробіотиків у аквакультурі має значний вплив на водні організми. Пробіотики зменшують накопичення органічних забруднень та ефективно підтримують якість води. Сучасні пробіотичні організми можуть сприяти стійкому розвитку аквакультури,

підсилюючи два ключові фактори: ефективність росту та стійкість до захворювань.

Використання пробіотиків залишається актуальним напрямком, хоча їхнє потенційне застосування ще потребує подальших наукових досліджень та практичних випробувань. На цей час комерційні пробіотики не завжди надають очікуваний позитивний вплив, що підкреслює важливість пошуку та вивчення нових потенційних пробіотичних засобів з природного середовища. Цей процес спрямований на підвищення якості та безпеки продукції аквакультури, зменшення ризику захворювань риб і сприяє сталому та ефективному розвитку цієї галузі.

Перспективи подальших досліджень полягають у ретельному виборі потенційних пробіотичних препаратів, які будуть адаптовані до конкретних видів риб та умов середовища їх утримання. Необхідно глибше розібратися в механізмах дії цих препаратів, щоб ефективно впливати на здоров'я та продуктивність риб. Для цього необхідно проводити подальші дослідження, спрямовані на вивчення спеціалізованих пробіотиків для конкретних видів риб.

Відомості про конфлікт інтересів

Автор зазначає, що в дослідженні немає жодних конфліктів інтересів з виробниками пробіотиків та товарів, які були згадані в статті. Згадка цих продуктів пов'язана виключно з використанням наукової літератури, яка була наведена у тексті, з метою демонстрації різноманітних можливостей застосування пробіотиків.

References

- Abasali, H., & Mohamad, S. (2010). Effect of dietary supplementation with probiotic on reproductive performance of female livebearing ornamental fish. *Research journal of animal sciences*, 4(4), 103–107. DOI: 10.3923/rjnasci.2010.103.107.
- Afrc, R. F. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of applied bacteriology*, 66(5), 365–378. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x.
- Balcazar, J., de Blas, I., Ruiz-Zarzuola, I., et al. (2006). The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary microbiology*, 114(3-4), 173–186. DOI: 10.1016/j.vetmic.2006.01.009.
- Bondad-Reantaso, M. G. et al. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture / *Veterinary parasitology*, 132(3-4), 249–272. DOI: 10.1016/j.vetpar.2005.07.005.
- Burr, G., Gatlin, D., & Ricke, S. (2005). Microbial ecology of the gastrointestinal tract of fish and the potential application of prebiotics and probiotics in finfish aquaculture. *Journal of the world aquaculture society*, 36(4), 425–436. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2005.tb00390.x.
- Carnevali, O. et al. (2006). Growth improvement by probiotic in European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*, L.), with particular attention to IGF-1, myostatin and cortisol gene expression. *Aquaculture*, 258(1-4), 430–438. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.04.025.
- Cressey, D. (2009). Aquaculture: future fish. *Nature*, 458(7237), 398–400. DOI: 10.1038/458398a.
- Dobryjans'ka, O. P., Deren', O. V., & Grygorenko, T. V. (2019). Produktyvni pokaznyky dvolitok koropa pry zastosuvanni v godivli prebiotyka v umovah vyroshhuval'nyh staviv Rybogospodars'ka nauka Ukrainy, 4(50), 95–108. DOI: 10.15407/fsu2019.04.095 (in Ukrainian).
- El-Haroun, E. R., Goda, A. M. A.-S., Kabir Chowdhury, M. A. (2006). Effect of dietary probiotic biogen supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture research*, 37(14), 1473–1480. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2006.01584.x.
- El-Saadony, M. T., Alagawany M., Patra A. K., Kar I., et al. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: an overview / *Fish & shellfish immunology*, 117, 36–52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
- Ghosh, S., Sinha, A., & Sahu, C. (2007). Effect of probiotic on reproductive performance in female livebearing ornamental fish. *Aquaculture research*, 38(5), 518–526. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01696.x.
- Ghosh, S., Sinha, A., & Sahu, C. (2008). Dietary probiotic supplementation in growth and health of live-bearing ornamental fishes. *Aquaculture nutrition*, 14(4), 289–299. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00529.x.
- Gomez-Gil, B., Roque, A., & Turnbull, J. F. (2000). The use and selection of probiotic bacteria for use in the culture of larval aquatic organisms. *Aquaculture*, 191(1-3), 259–270. DOI: 10.1016/s0044-8486(00)00431-2.
- Irianto, A., & Austin, B. (2002). Probiotics in aquaculture. *Journal of fish diseases*, 25(11), 633–642. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x.
- Kozasa, M. (1986). *Toyocerin (Bacillus toyoi)* as growth promoter for animal feeding. *Microbiologie Aliments Nutrition*, 4(2), 121–135.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M. A., Guzmán-Méndez, B. E., López-Madrid, W. (2003). Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 216(1-4), 193–201. DOI: 10.1016/s0044-8486(02)00277-6.
- Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. (1965). Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science*, 147(3659), 747–748. DOI: 10.1126/science.147.3659.747.
- Martínez Cruz, P., Ibáñez, A. L., Monroy Herмосillo, O. A., & Ramírez Saad, H. C. (2012). Use of probiotics in aquaculture. *ISRN microbiology*, 2012, 1–13. DOI: 10.5402/2012/916845.
- Metchnikoff, E. (1907). *The Prolongation of Life, Optimistic Studies*. London, UK: Mitchell Heinemann. Lactic acid as inhibiting intestinal putrefaction, 161–183.
- Moriarty, D. J. W. (1998). Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. *Aquaculture*, 164(1-4), 351–358. DOI: 10.1016/s0044-8486(98)00199-9.
- Nomoto, K. (2005). Prevention of infections by probiotics. *Journal of bioscience and bioengineering*, 100(6), 583–592. DOI: 10.1263/jbb.100.583.
- Parker, R. B. (1974). Probiotics, the other half of the antibiotics story. *Animal Nutrition Health*, 29, 4–8.

- Porubcan, R. S. (1991). Reduction in chemical oxygen demand and improvement in *Penaeus monodon* yield in ponds inoculated with aerobic *Bacillus* bacteria. Proceedings of the Program and Abstracts of the 22nd Annual Conference and Exposition; June 1991; Puerto Rico, Spain. World Aquaculture Society.
- Porubcan, R. S. (1991). Reduction of ammonia nitrogen and nitrite in tanks of *Penaeus monodon* using floating biofilters containing processed diatomaceous earth media pre-inoculated with nitrifying bacteria. Proceedings of the Program and Abstracts of the 22nd Annual Conference and Exposition; June 1991; Puerto Rico, Spain. World Aquaculture Society.
- Schmerold, I., van Geijlswijk, I., & Gehring, R. (2023). European regulations on the use of antibiotics in veterinary medicine. *European journal of pharmaceutical sciences*, 189, 106473. DOI: 10.1016/j.ejps.2023.106473.
- Tapia-Paniagua, S. T., Díaz-Rosales, P., León-Rubio, J. M. et al. (2012). Use of the probiotic *Shewanella putrefaciens* pdp11 on the culture of senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) and gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture international*, 20(6), 1025–1039. DOI: 10.1007/s10499-012-9509-5.
- Vázquez, L., Hernández, R., Sainz, E., et al. (1996). Cambio en la flora intestinal de ratones por la administración de bifidobacterias y jugo de girasol. *Veterinaria México*, 27(2), 127–131. URL: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-208043>.
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P., & Verstraete, W. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and molecular biology reviews*, 64(4), 655–671. DOI: 10.1128/mmr.64.4.655-671.2000.
- Vianello, S. et al. (2003). Myostatin expression during development and chronic stress in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of endocrinology*, 176(1), 47–59. DOI: 10.1677/joe.0.1760047.
- Vine, N. G., Leukes, W. D., & Kaiser, H. (2006). Probiotics in marine larviculture. *FEMS microbiology reviews*, 30(3), 404–427. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2006.00017.x.
- Wang, Y.-B., Li, J.-R., & Lin, J. (2008). Probiotics in aquaculture: challenges and outlook. *Aquaculture*, 281(1–4), 1–4. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.002.
- Zaloi'lo, I. A., Zaloi'lo, O. V., Rud', Ju. P., Grycynjak, I. I., & Zaloi'lo, Je. I. (2021). Zastosuvannja probiotyktiv v akvakul'turi. *Rybogospodars'ka nauka Ukraïny*, 2, 59–81 (in Ukrainian).