

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІЛКОВИХ КОМПОНЕНТІВ НЕТРАДИЦІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ В КОМБІКОРМАХ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРИ (ОГЛЯД)

**В. В. Бех**, [vitbekh@online.ua](mailto:vitbekh@online.ua), Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

**В. П. Марценюк**, [vadymarts@online.ua](mailto:vadymarts@online.ua), Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

**Н. Й. Тушницька**, [n-tushnitska@ukr.net](mailto:n-tushnitska@ukr.net), Інститут рибного господарства НААН України, м. Київ

**Мета.** Проаналізувати наукові інформаційні джерела щодо досвіду та перспектив використання білкових компонентів нетрадиційного походження в комбікормах для аквакультури.

**Результати.** Доведено, що останніми роками налагоджене масштабне виробництво ASI (Algae, Single cell proteins/oils and Insects — далі ASI) протеїну має економічну конкурентоспроможність, а кінцевий продукт є рівноцінним до рибного борошна за профілем незамінних амінокислот та загальною поживною цінністю. Як і одноклітинні організми, комахи також є перспективним джерелом корму, оскільки вони містять не лише цінні компоненти, але й мають додаткові речовини, що несуть користь для здоров'я тварин порівняно зі звичайними кормами. Незважаючи на те, що виробництво білка з комах знаходиться в початковій стадії, пілотні дослідження показали вагомий позитивний результат.

Виробництво ASI-продуктів має значно менший негативний вплив на навколишнє природне середовище як стосовно викидів парникових газів, так і витрат води та енергії. Продукування мікробіологічного протеїну має незначне техногенне навантаження; зростають обмеження у виробництві рослинних білків, включаючи обмежену площу ріллі, постачання води та добрив, та пов'язані з цим супутні екологічні проблеми.

В Європі ідея розвитку промислового виробництва ASI-продуктів набирає обертів у значному масштабі.

Регламент ЄС (2015/2283), пов'язаний із використанням комах, а також білків одноклітинних у кормах для тварин, значно розширив перелік можливого їх використання. Таким чином, очевидно, що комахи та водорості незабаром будуть становити глобальну реалістичну потенційну альтернативу чи доповнення для кормів у аквакультурі.

**Наукова новизна.** Розвиток нових альтернативних сталих кормових ресурсів є одним із ключових довгострокових рішень дефіциту високопоживного корму для аквакультури. В даний час більшість доступних альтернативних кормових ресурсів, які використовуються, мають наземне походження, включаючи рослинні білки та олії — основні компоненти комбікормів. Таким чином, аквакультура зараз конкурує за використання агропродукції з тваринництвом, енергетикою та прямим споживанням людиною, що викликає певну стурбованість впливом комбікормової промисловості на глобальну продовольчу безпеку.

**Практична значимість.** Обмеження щодо доступності компонентів тваринного походження та їх висока собівартість призводять до широкого використання наземних рослинних продуктів як головного джерела білка та енергії, що є певною альтернативою

© В. В. Бех, В. П. Марценюк, Н. Й. Тушницька, 2020



морським інгредієнтам. В ідеалі, повинно відбутись забезпечення комбікормової промисловості кормовими ресурсами в достатній кількості та якості, за відсутності прямої харчової конкуренції з людиною. Таким чином перед виробниками комбікормів та кінцевими споживачами рибопродукції постало питання: чи дійсно побічні продукти тваринного чи рослинного походження є безпечними при використанні їх у якості комбікорму для аквакультури та чи справді вони здатні конкурувати з рибним борошном та риб'ячим жиром природного походження.

**Ключові слова:** компоненти комбікормів, нутрощі, пір'яне та кров'яне борошно, комахи, одноклітинні організми, білок.

---

## OUTLOOK OF USING PROTEIN COMPONENTS OF NON-TRADITIONAL ORIGIN IN AQUACULTURE FEEDS (REVIEW)

**V. Bekh**, [vitbekh@online.ua](mailto:vitbekh@online.ua), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

**V. Martseniuk**, [vadymarts@online.ua](mailto:vadymarts@online.ua), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

**N. Tushnytska**, [n-tushnitska@ukr.net](mailto:n-tushnitska@ukr.net), Institute of Fisheries NAAS, Kyiv

**Purpose.** To analyze scientific information sources on the experience and outlook of using protein components of non-traditional origin in compound feeds for aquaculture.

**Findings.** It has been proven that large-scale production of ASIs (Algae, Single cell proteins/oils and Insects — hereinafter ASI) has been achieved during recent years and their economic competitiveness has been demonstrated, while the quality of the end product is comparable to that of fishmeal in terms of essential amino acids and overall nutritional value. Like single-celled organisms, insects are also promising feed ingredients, as they contain not only valuable nutrients but also additional nutrients that are beneficial to animal health compared to conventional feed sources. Despite the fact that the production of insect protein is in its initial stage, pilot studies have shown significant positive results.

The production of ASI-products has a much smaller environmental impact in terms of both greenhouse gas emissions and water and energy consumption. Microbial protein production has a low anthropogenic load, while restrictions on plant protein production are increasing, including limited land, water and fertilizer supplies, and related environmental issues.

In Europe, the idea of developing industrial production of ASIs is gaining ground.

The new European Regulation EU (2015/2283) related to the use of insects and unicellular proteins in animal feed has significantly expanded the list of possible uses. Thus, it is obvious that insects and algae will soon be a global realistic potential alternative or supplement for aquaculture feeds.

**Originality.** The development of new alternative sustainable feed resources is one of the key long-term solutions to aquaculture food shortages. Currently, most of the alternative feed resources that are used are of terrestrial origin, including vegetable proteins and oils, the main ingredients for aquaculture. Aquaculture is now competing for the use of livestock, energy, and direct human consumption, raising concerns about the impact of the feed industry on global food security.

**Practical value.** Restrictions on the availability of high-cost animal ingredients and their high cost lead to the widespread use of terrestrial plant products as a major source of protein and energy, which is a definite alternative to marine ingredients. Ideally, providing the feed industry with feed resources of sufficient quantity and quality that will not directly compete with the human food chain. Thus, feed producers and end-users of fish products have been asked whether animal or vegetable by-products are safe when used as feed for aquaculture and whether they are truly capable of competing with fishmeal and fish oil of natural origin.

**Keywords:** feed ingredients, gut, feather and blood meal, insects, single cell organisms, protein.

---



## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ НЕТРАДИЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ (ОБЗОР)

**В. В. Бех**, [vitbekh@online.ua](mailto:vitbekh@online.ua), Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

**В. П. Марценюк**, [vadymarts@online.ua](mailto:vadymarts@online.ua), Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

**Н. И. Тушницкая**, [n-tushnitska@ukr.net](mailto:n-tushnitska@ukr.net), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев

***Цель.** Проанализировать научные информационные источники об опыте и перспективах использования белковых компонентов нетрадиционного происхождения в комбикормах для аквакультуры.*

***Результаты.** Доказано, что достигнутое в последние годы масштабное производство ASI (Algae, Single cell proteins / oils and Insects — далее ASI) протеина имеет экономическую конкурентоспособность, а конечный продукт сопоставим по качеству с рыбной мукой по профилю незаменимых аминокислот и общей питательной ценности. Как и одноклеточные организмы, насекомые также являются перспективными кормовыми ингредиентами, поскольку они содержат не только ценные питательные вещества, но и имеют дополнительные компоненты, несущие пользу для здоровья животных по сравнению с обычными источниками кормов. Несмотря на то, что производство белка из насекомых находится в начальной стадии, пилотные исследования показали веские положительные результаты.*

*Производство ASI-продуктов несет значительно меньшее негативное влияние на окружающую среду как по выбросу парниковых газов, так и расходу воды и энергии. Выработка микробиологического белка оказывает незначительную техногенную нагрузку; возрастают ограничения в производстве растительных белков, включая ограниченную площадь земли, снабжение водой и удобрениями, и связанные с этим экологические проблемы.*

*В Европе идея развития промышленного производства ASI – продуктов набирает обороты в значительном масштабе.*

*Новый европейский Регламент ЕС (2015/2283), связанный с использованием насекомых, а также белков одноклеточных в кормах для животных значительно расширил перечень возможного их использования. Таким образом, очевидно, что насекомые и водоросли вскоре будут составлять глобальную реалистичную потенциальную альтернативу или дополнение для кормов в аквакультуре.*

***Научная новизна.** Развитие новых альтернативных постоянных кормовых ресурсов является одним из ключевых долгосрочных решений дефицита корма для аквакультуры. В настоящее время большинство используемых доступных альтернативных кормовых ресурсов имеют наземное происхождение, включая растительные белки и масла — основные ингредиенты для аквакормов. Таким образом, аквакультура сейчас конкурирует за использование урожая с животноводством, энергетикой и прямым потреблением человеком, вызывая определенную обеспокоенность влиянием на комбикормовую промышленность и глобальную продовольственную безопасность.*

***Практическая значимость.** Ограничения по доступности ингредиентов животного происхождения и их высокая себестоимость приводят к широкому использованию наземных растительных продуктов как главного источника белка и энергии, являющих определенной альтернативой морским ингредиентам. В идеале, необходимо обеспечить комбикормовую промышленность кормовыми ресурсами в достаточном количестве и качестве, при отсутствии прямой пищевой конкуренции с человеком. Таким образом, производители комбикормов и конечные потребители рыбопродукции предстали перед вопросом: действительно ли побочные продукты животного или растительного происхождения являются безопасными при использовании их в качестве комбикорма для аквакультуры и*



*действительно ли они способны конкурировать с рыбной мукой и рыбьим жиром природного происхождения.*

**Ключевые слова:** *компоненты комбикормов, внутренности, перьевая и кровяная мука, насекомые, одноклеточные организмы, белок.*

---

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Очікується, що населення Планети до 2050 р. перевищить 9 мільярдів і, відповідно продовольчий розрив у забезпеченні продуктами харчування та їх потребою збільшиться через обмеження кліматичними та природними ресурсами, доступністю ріллі та прісних вод, водночас із підвищенням конкуренції з рекреацією та виробництвом продуктів для домашніх тварин.

Аквакультура — найбільш швидко зростаючий сектор тваринництва і, мабуть, один з найбільш важливих секторів глобальної продовольчої системи. При цьому тваринництво постійно шукає нові джерела білка для вирішення поточних завдань, оскільки з розвитком економік країн, а також з ростом населення планети зростає глобальна потреба в продуктах харчування [23].

Різноманітні зв'язки між різними секторами глобальної економіки є достатньо складними; особливо це стосується виробництва кормів для тваринництва та аквакультури, оскільки продукція цих галузей значною мірою залежить від наявності компонентів зернових та олійних культур, а також малоцінної промислової риби у якості сировини. Тому будь-які коливання та нестабільність цін через низькі врожаї, або обмеження промислу призводить до відповідного збільшення вартості вирощуваної риби або м'ясних продуктів [19].

Витрати на кормові ресурси, такі як рибне борошно, є дуже високими і їх доступність у майбутньому буде значно обмежено. В даний час близько 70% білка для кормів для тварин імпортується в Європу, в майбутньому безпека європейської економіки та стабільність ланцюгів постачання знаходиться під значним ризиком посилення глобальної конкуренції за продовольчі продукти, корми та паливо за обмежених природних ресурсів.

Тому в багатьох країнах здійснюється пошук нових альтернативних інгредієнтів для кормів на основі доступних місцевих ресурсів, з метою зниження витрат, покращення їх якості та максимально ефективного використання земельних, водних та енергетичних ресурсів.

Сталий розвиток рибальства у природних водоймах Світового океану в останні роки є значно обмеженим та ускладненим. Відповідно, саме тому аквакультура, що забезпечує щорічний глобальний приріст ~ 7%, і є важливою рушійною силою у виробництві нового джерела тваринного білка для харчування людини та, в майбутньому, можливо, окремих домашніх тварин [23].

Розвиток аквакультури залежить від стійкого постачання кормового білка, поживних речовин та енергетичних ресурсів. На сьогоднішній день сектор виробництва комбікормів для аквакультури є основним споживачем морських ресурсів, таких як рибне борошно та риб'ячий жир, проте через швидке зростання цього сектора та неможливість стабільного постачання, пропозиція вищезазначеної сировини не задовольняє зростаючий попит. Саме тому,



майбутній розвиток нових альтернативних сталих кормових ресурсів є одним із ключових довгострокових вирішень дефіциту якісного корму для аквакультури. В даний час більшість доступних альтернативних кормових ресурсів, які використовуються, мають наземне походження, включаючи рослинні білки та олії — основні компоненти комбікормів для аквакультури. Таким чином, сектор аквакультури зараз конкурує за використання агропродукції з іншими напрямками: тваринництвом, енергетикою та прямим споживанням людиною, що викликає певну стурбованість впливом комбікормової промисловості на глобальну продовольчу безпеку [19].

Інші альтернативні інгредієнти кормів — це побічні продукти тваринного походження, що містять високий вміст білка, ліпідів і широко застосовуються за межами Європи. Однак ці інгредієнти виробляються з відходів переробки тварини (наприклад, субпродукти з великої рогатої худоби), що значно обмежені як в Європейському Союзі (ЄС № 956/2008), так і в Сполучених Штатах (США FDA CGP, розділ 675.400). Хоча існує законодавство (Регламент ЄС 999/2001, 1069/2009 та 142/2011) щодо заборони використання окремих харчових відходів у кормовій промисловості (як, наприклад, борошно з жуйних тварин), змінами 2013 р. до європейського законодавства (Регламент ЄС 56/2013) дозволено застосовувати пташині продукти, такі як нутрощі, пір'яне та кров'яне борошно у кормовиробництві. Незважаючи на ці зміни, паралельне поєднання соціальних факторів та ринкових механізмів щодо постійних обмежень, гальмують широке використання побічних продуктів тваринного походження в межах Європи. Водночас, обмеження щодо доступності інгредієнтів тваринного походження та їх висока собівартість призводять до широкого використання рослинних продуктів як головного джерела білка та енергії, що є певною альтернативою морським інгредієнтам. Проте, з погляду конкуренції за землекористування, сільськогосподарські культури, що вирощені для споживання безпосередньо людиною, у поєднанні зі зростаючим світовим попитом на них є недостатньо надійними та економічно доцільними у довгостроковій перспективі. В ідеалі, потрібно забезпечити комбікормову промисловість кормовими ресурсами в достатній кількості та якості за відсутності прямої конкуренції з харчовими потребами людини. Таким чином перед виробниками комбікормів та кінцевими споживачами рибопродукції постало питання: чи дійсно побічні продукти тваринного чи рослинного походження є безпечними при використанні їх у якості комбікорму для аквакультури, та чи справді вони здатні конкурувати з рибним борошном та риб'ячим жиром природного походження [22]?

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Проаналізовано результати сучасних вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень щодо можливостей використання нетрадиційних біологічних організмів в якості джерела унікальних за якістю біологічно активних компонентів та поживних речовин для годівлі риб.

Методи досліджень — аналітичні, теоретичного узагальнення.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аквакультура країн ЄС посідає п'яте місце за величиною у світі з виробництвом 1,3 млн, т. Однак, при цьому, Євросоюз є найбільшим світовим



імпортером продуктів рибного господарства та аквакультури, причому 57% продуктів аквакультури споживається в ЄС з країн, що не входять до ЄС [23]. Таким чином, в Європі існує необхідність збалансування рибогосподарського комплексу з погляду імпорту та експорту морепродуктів з метою подальшого стійкого зростання сектора європейської аквакультури. Цей головний виклик можна вирішити, максимізуючи інноваційні, інтеграційні, екологічно чи економічно вигідні виробничі технології.

Останніми роками у ЄС, США та інших промислово розвинутих країнах відбувається достатньо швидкий розвиток виробництва у промислових обсягах водоростей, білкових та олійних продуктів з одноклітинних організмів та комах (ASI-продуктів); що може мати значний вплив на доступність зазначених інгредієнтів для продукування кормів для різних видів риб та ракоподібних.

В Україні також є спроби використати нетрадиційні джерела протеїну у якості корму для аквакультури. Наприклад, показники якості рибного борошна і соєвого концентрату у порівнянні між собою мають незначну розбіжність, проте при цьому соєвий концентрат на порядок дешевше.

Напрямки застосування і норми введення соєвого білкового концентрату для аквакультури, в залежності від виду риб, складають — від 50 до 100% заміни рибного борошна [1].

Соеві протеїнові концентрати — це продукти глибокої переробки сої. У порівнянні з соєвим шротом, харчова цінність соєвих концентратів набагато вища, а рівень олігосахаридів і антигенних чинників є дуже низьким.

Кормові дріжджі являють собою суху концентровану біомасу інактивованих дріжджових клітин, що спеціально вирощуються з метою наступного згодовування в складі кормів. Особливо перспективним є використання препаратів кормових дріжджів у стартових кормах для осетрових риб, що визначаються можливістю повної відмови від застосування кормових організмів зоопланктону для годівлі молоді на ранніх етапах онтогенезу [3].

Дослідженнями інших авторів встановлено [2], що у продукції з комах міститься 30–70% якісного протеїну. Вміст протеїну та жиру в личинках комах у порівнянні з рибо-кістковим або знежиреним соєвим борошном наведено у таблиці 1.

**Таблиця 1. Вміст протеїну та жиру в личинках комах і компонентах тваринницьких кормів [2]**

*Table 1. Protein and fat content of insect larvae and livestock feed components*

Джерело протеїну / Source of protein	Сирий протеїн, % / Crude protein	Сирий жир, % / Raw fat
Муха чорний солдат ( <i>Hermetia illucens</i> ) / Black soldier fly	35 - 57	35
Звичайна домашня муха ( <i>Musca domestica</i> ) / The house fly	43 - 68	4 - 32
Жовтий борошняний хрущак ( <i>Tenebrio molitor</i> ) / The mealworm	44 - 69	23 - 47
Борошно / Meal		
рибо-кісткове / fish-bone	61 - 77	11 - 17
соєве знежирене / soybean non-fat	49 - 56	3
м'ясо-кісткове / meat-bone	30 - 50	13 - 20



За вмістом сирого протеїну сировина з личинок вказаних комах незначно поступається рибо-кістковому борошну, проте значно перевищує значення для знежиреного соєвого та м'ясо-кісткового борошна. Протеїни, отримані з комах, є легкозасвоюваними, із значеннями якості, подібними або навіть кращими, ніж з м'ясо-кісткового або соєвого борошна, завдяки збалансованому складу незамінних амінокислот: аргініну, лізину і метіоніну. Експерименти з додаванням до раціону корму личинок домашніх мух (*Musca domestica*), личинок мухи чорний солдат (*Hermetia illucens*), домашніх цвіркунів (*Gryllus assimilis*), жовтого борошняного хрущака (*Tenebrio molitor*) і різних видів лускокрилих свідчать про підвищення середньодобових приростів деяких видів рибу у аквакультури [2].

Поживна цінність черв'яків (*E. fetida*) зумовлена присутністю в них як високоякісних білків, так і мінеральних компонентів, що визначає можливість їхнього використання в якості вітамінно-білкової кормової добавки для тварин. Доведено, що додавання до раціону риби черв'яків разом з вермикомпостом у дозі, що не перевищує 10% від маси комерційного корму, дозволяє замінювати рибне борошно. Дошові черв'яки (*E. fetida*) містять мікроелементи Fe, Cu, Mn, Zn тощо, а також вітаміни комплексів А і В, ферменти і т.п. [4].

Проте важливо пам'ятати, що жодне з цих джерел білка, олії чи жиру не є взаємозамінним, тому їх слід вважати взаємодоповнюваними при майбутньому виробництві кормів.

Водорості, одноклітинні організми (дріжджі та бактерії), як джерело білка, жирних кислот, вітамінів та біоактивних речовин є одними з найбільш перспективних кормових інгредієнтів для аквакультури в майбутньому, в т.ч. з метою покращення якісних та поживних характеристик кінцевої продукції [7, 14, 22]. Крім того, окремі мікроорганізми та рослини є джерелами унікальних білків та вітамінів, а також здатні формувати ланцюгові Омега-3 ліпіди.

Водночас, комахи здатні переробляти субстрати з низьким вмістом поживних речовин на білок та жири — компоненти складових кормів з підвищеною поживною цінністю. Було підраховано, що вирощені в ставах мікроводорості можуть виробляти більше 50 т білка/га на рік, що в 10–15 разів перевищує стандартне виробництво сої та в 25–50 разів — виробництво кукурудзи [16].

Кутура з співавторами [6] запропонував механізм виробництва кормових ресурсів з мікроорганізмів, таких як бактеріальне борошно та продукти з дріжджів з низьким вмістом вуглецю.

Окрім того, що в останні роки досягнуто масштабне виробництво ASI-протеїну та забезпечено його економічну конкурентоспроможність, кінцевий продукт є порівняним за якістю з рибним борошном за профілем незамінних амінокислот та загальною поживною цінністю [11, 12, 15]. Як і одноклітинні організми, комахи також є перспективними кормовими інгредієнтами, оскільки вони містять не тільки цінні поживні речовини, але й мають додаткові речовини, що несуть користь для здоров'я тварин порівняно зі звичайними джерелами кормів [9, 10]. Незважаючи на те, що виробництво білка з комах знаходиться на початковому етапі, пілотні дослідження показали вагомі позитивні результати. Зокрема, дослідження з годівлі підтвердили, що харчові профілі, смакові якості та засвоюваність рибних кормів, що містять продукти з комах, можна порівняти з кормами на основі традиційного рибного та соєвого борошна [10, 20].



Виробництво ASI-продуктів справляє значно менший негативний вплив на навколишнє природне середовище як стосовно викидів парникових газів, так і витрат води та енергії. Продукування мікробіологічного протеїну має незначне техногенне навантаження, в той час як зростають обмеження у виробництві рослинних білків, включаючи обмежену площу землі, постачання води та добрив та пов'язані екологічні проблеми [15]. Прийнято вважати, що мікрородості, бактерії, дріжджі та певні види комах можуть сприяти глобальній харчовій безпеці при виробництві кормів і що їх вдосконаленню потрібно приділяти значну увагу.

В Європі ідея розвитку промислового виробництва ASI-продуктів набирає обертів у значному масштабі [7, 8].

Регламент ЄС (2015/2283), пов'язаний із використанням комах, а також одноклітинних білків у кормах для тварин, значно розширив перелік можливого їх використання. Таким чином, очевидно, що комахи та водорості незабаром будуть становити глобальну реалістичну потенційну альтернативу чи доповнення для кормів у аквакультурі.

Дослідження показують, що організми ASI можуть швидко розвиватись на ряді органічних та неорганічних субстратів, забезпечуючи економічну доцільність та сприяючи зменшенню обсягу різноманітних відходів. В якості субстратів можна використовувати недорогі відходи харчової промисловості, зокрема, при виробництві пива чи інших напоїв.

Культивування організмів ASI також можливо проводити безпосередньо за використання відходів лісового та сільського господарства.

Крім того, в експериментальному пілотному проєкті було показано, що існує можливість культивування одноклітинних мікроорганізмів (бактерій та водоростей) при використанні неорганічного вуглецю CO<sub>2</sub> та метану. Цей напрям дозволяє також значно мінімізувати викиди парникових газів у атмосферу.

Дослідження останніх років також засвідчили безпеку та якість продуктів з комах, які є потенційними об'єктами для розвитку масштабного, економічно вигідного виробництва. Відповідно, є сподівання, що ASI-продукти будуть достатньо охоче схвалені на ринку як проміжними (кормовиробниками), так і кінцевими споживачами продукції аквакультури.

Окремі недавні дослідження повідомили про можливість та економічну доцільність сталого виробництва мікрородостей при використанні скидних вод інтегрованого рибного господарства в рамках комплексного підходу мультитрофічної аквакультури, де мікрородості виконували функції біоочищення та годівлі молоді риб [13]. Інші останні наукові дослідження показали ефективність використання окремих видів мікрородостей, вирощених за допомогою класичних хімічних добрив, в складі раціонів для годівлі риби [5].

Очевидно, що комерційне виробництво водоростей та бактерій вже досягає певного промислового масштабу, тоді як розвиток виробництва комах поки що знаходиться на початковому рівні. Хоча продукти з водоростей мають установлені ринки збуту як для харчових продуктів, так і для кормів, вони традиційно зосереджені лише на частковому застосуванні водоростей при виробництві кормів. В першу чергу, їх використовують як джерело спеціалізованих харчових добавок, наприклад, для отримання Омега-3 жирних





кислот, каротиноїдів та вітамінів, проте, як повноцінне джерело протеїну вони є відносно недооцінені.

У секторі аквакультури білкові продукти, олії та жири, що виробляються мікроорганізмами, використовуються на личинкових стадіях розвитку морських риб та ракоподібних, а останнім часом також при їх підрощуванні. Також з'явилися дослідження та технології використання ASI-продуктів з метою підвищення вмісту Омега-3 жирних кислот в рибному філе, що збільшує цінність харчової продукції [18, 22].

На сьогоднішній день висока собівартість виробництва одноклітинної біомаси у великомасштабних гетеротрофних ферментаторах або автотрофних водоймах (ставах) / реакторах обмежує їх використання в якості складової в кормах для аквакультури. Однак використання органічних та неорганічних субстратів, відходів харчової промисловості чи сільського господарства як потенційного джерела для виробництва одноклітинної біомаси в даний час досліджуються достатньо активно, завдяки зростаючій зацікавленості у широкомасштабному виробництві мікроводоростей для біопалива, біологічної сировини та цінних біоактивних сполук [17]. Таким чином, для того щоб бути економічно вигідним у короткостроковій перспективі, а також для того щоб ASI-продукти оперативно та широко були впроваджені у кормовій галузі, виробничі витрати повинні бути суттєво знижені.

Однак існує кілька ключових проблем, котрі потребують вирішення як для водоростей-бактерій, так і комах, щоб стати важливою частиною промислових комбікормів для аквакультури. В даний час біопродукти з комах і біомаса водоростей все ще виробляються у відносно невеликому / середньому масштабі, що призводить до надмірно високої собівартості порівняно з більшістю рослинних білкових джерел.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Відповідно до інформації Міжнародної платформи продуктів харчування та кормів з комах (IPIFF), приватні та урядові інвестиції в зазначений сектор можуть сягнути 2 млрд євро до 2025 р., що значною мірою допоможе прискорити розгортання об'єктів комерційного масштабу цього нового напрямку. Прогнозується, що, зі збільшенням обсягів, виробництво швидко стане більш економічно доцільним та конкурентноспроможним [21]. В коротко- та середньостроковій перспективі, важливо, щоб компанії — світові лідери з виробництва комбікормів для аквакультури підтримали тестування та верифікацію ASI-продуктів, що необхідно для виявлення їх потенційних можливостей, користі для здоров'я гідробіонтів та визначення економічної складової їх культивування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Макаринська А. В., Оганесян А. А. Переваги використання білкових рослинних концентратів при виробництві комбікормової продукції // *Зернові продукти і комбікорми*. 2018. Т. 18, № 3. С. 34—39.
2. Метлицька О. І., Мельничук С. Д., Спиридонов В. Г. Комахи – джерело поживних і біологічно активних речовин // *Вісник аграрної науки*. 2017. № 6. С. 29—35.



3. Симон М. Ю. Використання кормових дріжджів у годівлі осетрових (*Acipenserinae*) видів риб (огляд) // Рибогосподарська наука України. 2015. № 4. С. 100—126.
4. Титов И. Н., Усоев В. М. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 2 (18). С. 74—80. (Биология).
5. Microalgae as a potential ingredient for partial fish meal replacement in aquafeeds: nutrient stability under different storage conditions / Camacho-Rodriguez J. et al. // J. Applied Phycol. 2018. DOI: 10.1007/s10811-017-1281-5.
6. Environmental benefits of novel non-human food inputs to salmon feeds / Couture J. L. et al. // Environmental Science and Technology. 2019. DOI: 10.1021/acs.est.8b03832.
7. Gamboa-Delgado J., Márquez-Reyes J. M. Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development // Reviews in Aquaculture. 2016. Vol. 10, iss. 1. P. 224—246.
8. Gorry P.-L., Sánchez L., Morales M. Microalgae Biorefineries for Energy and Coproduct Production // Energy from Microalgae. Green Energy and Technology. Cham : Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-69093-3\_5.
9. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. / Henry M. et al. // Animal Feed Science and Technology, 2015. Vol. 203. P. 1—22.
10. State-of-the-art on use of insects as animal feed / Makkar H. P. S. et al. // Animal Feed Science and Technology. 2014. Vol. 197. P. 1—33.
11. Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? / Matassa S. et al. // Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 49, iss. 9. P. 5247—5254.
12. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint / Matassa S. et al. // Microbial biotechnology. 2016. Vol. 9(5). P. 568—575.
13. Milhazes-Cunha H., Otero A. Valorisation of aquaculture effluents with microalgae: The integrated multi-trophic aquaculture concept // Algal Res. 2017. Vol. 24. P. 416—424.
14. Pathways of lipid metabolism in marine algae, co-expression network, bottlenecks and candidate genes for enhanced production of EPA and DHA in species of *Chromista* / Mühlroth A. et al. // Mar Drugs. 2013. Vol. 22. P. 4662—4697.
15. Evaluation of methane-utilising bacteria products as feed ingredients for monogastric animals / Øverland M. et al. // Archives of animal nutrition. 2010. Vol. 64(3). P. 171—189.
16. Pelczar J., Chan E. C. S. Microbiology – An Application Based Approach. New Delhi, India : Tata McGraw Hill, 2010. 919 p.
17. Perez-Garcia O., Bashan Y. Algal biorefineries. Vol. 2: Products and refinery design. Switzerland : Springer International Publishing, 2015. P. 61—132.
18. Microbial protein produced from brown seaweed and spruce wood as a feed ingredient / Sharma S. et al. // Journal of agricultural and food chemistry. 2018. Vol. 66(31). P. 8328—8335.
19. Does aquaculture add resilience to the global food system? / Troell M. et al. // Proc Natl Acad Sci USA. 2014. Vol. 111. P. 13257—13263.
20. Van Huis A., Oonincx D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. Vol. 37. P. 43.



21. Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security / Van Huis et al. Rome, Italy : FAO, 2013. (FAO Forestry Paper ; 171). URL : <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf> (accessed : 7.10.2017).
22. Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient / Wan A. H. L. et al. // Reviews in Aquaculture. 2019. Vol. 11, iss. 3. P. 458—492. DOI: 10.1111/raq.12241.

## REFERENCES

1. Makarynska, A. V., & Ohanesian, A. A. (2018). Pervahy vykorystannia bilkovykh roslynnykh kontsentrativ pry vyrobnytstvi kombikormovoi produktsii. *Zernovi produkty i kombikormy*, 18(3), 34-39.
2. Metlytska, O. I., Melnychuk, S. D., & Spyridonov, V. H. (). Komakhy – dzherelo pozhyvnykh i biolohichno aktyvnykh rehovyn. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 6, 29-35.
3. Symon, M. Yu. (2015). Vykorystannia kormovykh drizhdzhiv u hodivli osetrovkykh (*Acipenserinae*) vydiv ryb (ohliad). *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 4, 100-126.
4. Tytov, Y. N., & Usoev, V. M. (2012). Vermykultura kak vozobnovliaemyi ystochnyk zhyvotnoho belka iz orhanycheskykh otkhodov. *Vestnyk Tomskoho hosudarstvennoho unyversyteta. Byolohiya*, 2 (18), 74-80.
5. Camacho-Rodriguez, J., et al. (2018). Microalgae as a potential ingredient for partial fish meal replacement in aquafeeds: nutrient stability under different storage conditions. *J. Applied Phycol.* DOI: 10.1007/s10811-017-1281-5.
6. Couture, J. L., Geyer, R., Øverland, M., Sahlmann, C., Hansen, J. Ø., Palazzo, J., & Lenihan, H. (2019). Environmental benefits of novel non-human food inputs to salmon feeds. *Environmental Science and Technology*. Doi: 10.1021/acs.est.8b03832.
7. Gamboa-Delgado, J., & Márquez-Reyes, J. M. (2016). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 224-246.
8. Gorry, P.-L., Sánchez, L., & Morales, M. (2018). Microalgae Biorefineries for Energy and Coproduct Production. *Energy from Microalgae. Green Energy and Technology*. Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-69093-3\_5.
9. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22.
10. Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, G., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33.
11. Matassa, S., Batstone, D. J., Hülsen, T., Schnoor, J., & Verstraete, W. (2015). Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? *Environ. Sci. Technol.*, 49(9), 5247-5254.
12. Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., & Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial biotechnology*, 9(5), 568-575.
13. Milhazes-Cunha, H., & Otero A. (2017). Valorisation of aquaculture effluents with microalgae: The integrated multi-trophic aquaculture concept. *Algal Res.*, 24, 416-424.
14. Mühlroth, A., et al. (2013). Pathways of lipid metabolism in marine algae, co-expression network, bottlenecks and candidate genes for enhanced production of EPA and DHA in species of *Chromista*. *Mar Drugs*, 22, 4662-4697.



15. Øverland, M., Tauson, A. H., Shearer, K., & Skrede, A. (2010). Evaluation of methane-utilising bacteria products as feed ingredients for monogastric animals. *Archives of animal nutrition*, 64(3), 171-189.
16. Pelczar, J., & Chan, E. C. S. (2010). *Microbiology – An Application Based Approach*. New Delhi, India: Tata McGraw Hill.
17. Perez-Garcia, O., & Bashan, Y. (2015). *Algal biorefineries*. (Vol. 2. Products and refinery design). Switzerland: Springer International Publishing, 61-132.
18. Sharma, S., Hansen, L. D., Hansen, J. Ø., Mydland, L. T., Horn, S. J., Øverland, M., & Vuoristo, K. S. (2018). Microbial protein produced from brown seaweed and spruce wood as a feed ingredient. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(31), 8328-8335.
19. Troell, M., et al. (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proc Natl Acad Sci USA*, 111, 13257-13263.
20. Van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 43.
21. Van Huis, A., et al. (2013). *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. FAO Forestry Paper. (Vol. 171). Rome, Italy: FAO, 2013. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>.
22. Wan, A. H. L., et al. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 458-492. DOI: 10.1111/raq.12241.

