



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-a9921  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 639.3.043.13

## Use of insects in feeding of fish (review)

O. Konoval, M. Sychov<sup>✉</sup>, D. Umanets, I. Ilchuk, I. Balanchuk, S. Boiarchuk, V. Otchenashko, T. Holubeva

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### Article info

Received 28.08.2023  
Received in revised form  
28.09.2023  
Accepted 29.09.2023

**Konoval, O., Sychov, M., Umanets, D., Ilchuk, I., Balanchuk, I., Boiarchuk, S., Otchenashko, V., & Holubeva, T. (2023). Use of insects in feeding of fish (review). Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 25(99), 126–133. doi: 10.32718/nvlvet-a9921**

National University of Life and  
Environmental Science of Ukraine,  
Heroiv Oborony Str., 15,  
Kyiv, 03041, Ukraine.  
Tel.: +38-050-502-80-19  
E-mail: [sychov@ukr.net](mailto:sychov@ukr.net)

Aquaculture is the fastest growing sector of the global food industry, signaling a paradigm shift in how we meet the growing demand for fish. The current aquaculture production system relies heavily on fishmeal, which is becoming increasingly unsustainable due to stagnant or declining fish catches, especially wild marine fish stocks. A significant percentage of fish stocks are already almost completely used. This situation, combined with the increasing demand for fish, suggests that fishmeal will become a more limiting ingredient, both from a production and price perspective. In response to these pressing issues, there has been a notable surge in research to explore potential alternatives, such as insect meal, which is one of the critical means to ensure the sustainability of aquaculture and overcome the limitations of fishmeal. Insects hold significant promise in the field of animal nutrition, and further research is needed to fully understand their nutritional value in the context of animal feed applications. Insect farming can be effectively done on human by-products or waste, allowing them to convert this rich, cheap organic waste into protein-rich animal biomass suitable for animal consumption. Analytical review found that insect meal has sufficient nutrient composition suitable for potential inclusion in fish feed as a versatile protein source to create individual nutrient profiles. It is worth noting that a wide range of insect species, their various habitats, developmental stages, feeding behavior and other characteristics can affect the nutritional value of insect meal. This diversity makes insect meal an attractive target for further research as an alternative to fish meal.

**Key words:** aquaculture, arthropods, feed additives, protein, amino acids, nutrients.

## Використання комах у годівлі риб (огляд)

О. О. Коновал, М. Ю. Сичов<sup>✉</sup>, Д. П. Уманець, І. І. Ільчук, І. М. Баланчук, С. В. Боярчук,  
В. В. Отченашко, Т. А. Голубєва

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Аквакультура є найбільш швидкозростаючим сектором світової харчової промисловості, що свідчить про зміну парадигми в тому, як ми задовольняємо зростаючий попит на рибу. Сучасна система виробництва продукції аквакультури значною мірою покладається на рибне борошно, яке стає все більш нестійким через стагнацію або скорочення вилову риби, особливо диких морських рибних запасів. Значний відсоток рибних запасів вже майже повністю використаний. Ця ситуація в поєднанні зі зростаючим попитом на рибу свідчить про те, що рибне борошно стане обмежувальним інгредієнтом як з точки зору виробництва, так і з точки зору ціни. У відповідь на ці нагальні проблеми спостерігається помітний сплеск досліджень, спрямованих на вивчення потенційних альтернатив, таких як комашине борошно, яке має одне з вирішальних значень для забезпечення сталості аквакультури та подолання обмежень рибного борошна. Комахи мають значні перспективи у сфері годівлі тварин, і для повного розуміння їхньої поживної цінності в контексті застосування в кормах для тварин необхідні подальші дослідження. Вирощування комах можна ефективно проводити на побічних продуктах або відходах життєдіяльності людини, що дозволяє їм перетворювати ці цінні, дешеві органічні відходи в багату на білок тваринну біомасу, придатну для харчування тварин. За результатами аналітичного огляду встановлено, що борошно з комах має достатній склад поживних речовин, придатний для потенційного включення в корм для риб як універсального джерела білка для створення індивідуальних профілів поживних речовин. Варто зазначити, що

*широкий спектр видів комах, їх різноманітні середовища існування, стадії розвитку, харчова поведінка та інші характеристики можуть впливати на поживну цінність борошна з комах. Така різноманітність робить борошно з комах привабливим об'єктом для подальших досліджень як альтернативи рибному борошну.*

**Ключові слова:** аквакультура, членистоногі, добавки до кормів, протеїн, амінокислоти, елементи живлення.

## Вступ

Важлива роль риби як основного джерела білка, незамінних жирів, життєво важливих мінералів та основних вітамінів є незаперечною, особливо в умовах швидкого зростання населення планети (FAO, 2018). Прогнози показують, що для підтримки поточного рівня споживання на душу населення попит на рибу в найближчі десятиліття зросте більш ніж на 20 мільйонів тонн (Magalhães et al., 2017). Таке різке зростання створює очевидний виклик: покладатися виключно на дикий вилов риби нерационально, оскільки це загрожує як збереженню морських ресурсів, так і довгостроковій життєздатності рибного господарства. Ці цілі відстоюють численні міжнародні та національні інституції (FAO, 2017; FAO, 2018).

Вплив цього виклику вже відчувається, оскільки рибальство сприяє зниженню доступності диких водних організмів. Ефективне вирішення проблеми надмірної експлуатації рибних запасів стало ключовим глобальним питанням. Вона вимагає комплексного, далекоглядного підходу, який би збалансував харчові потреби зростаючого населення з необхідністю збереження морських екосистем.

Аквакультура передбачає цілеспрямоване вирощування, розведення та виробництво різноманітних водних організмів у контрольованому морському або прісноводному середовищі. Це ефективно зменшує навантаження на природні рибні популяції та пом'якшує потенціал для подальшої деградації навколишнього середовища (FAO, 2018).

За даними Продовольчої та Сільськогосподарської Організації ООН, розвиток аквакультури призвів до вирощування приблизно 600 різних видів риб. Цей різноманітний асортимент водних біоресурсів задовольняє харчові потреби мільйонів людей і робить значний внесок у світову економіку. Обсяги виробництва перевищують 100 мільйонів тонн, а глобальна вартість становить близько 170 мільярдів доларів, що становить майже половину світового виробництва риби. Прогнозується, що до 2030 року ця цифра зросте на безпрецедентні 62 %, що підкреслює ключову роль аквакультури у забезпеченні майбутньої глобальної продовольчої безпеки (FAO, 2018). Таке багатобічне зростання також вимагає виваженого та сталого підходу для забезпечення довгострокової життєздатності аквакультури в усьому світі.

У відповідь на ці нагальні проблеми спостерігається помітний сплеск досліджень, спрямованих на оцінку економічної та екологічної сталості практики аквакультури (Volpe et al., 2013). Одним з ключових аспектів такої оцінки є визнання того, що сталість аквакультури нерозривно пов'язана з характером та якістю кормів, що використовуються на аквафермах. Тип корму, що використовується, не лише суттєво впливає на здоров'я вирощуваної риби, а й потенцій-

но може бути джерелом забруднення води та екосистем.

З екологічної точки зору – значна залежність від рибного борошна, жиру та інших морських джерел білка у складі кормів для риб є суттєвою проблемою (Bossier & Ekasari, 2017; Gasco et al., 2018). Ця проблема впливає з реальності, що океанічні ресурси не в змозі забезпечити виробництво величезної кількості кормів для риб, необхідних для задоволення постійно зростаючого світового попиту на аквакультуру (Gasco et al., 2018). Це підтверджує про нагальність розробки більш стійких та екологічно відповідальних альтернатив для виробництва кормів для риби.

Водночас, з економічної точки зору, глобальне зростання попиту на рибу має вплив на вартість кормів, що робить її першочерговою проблемою, яка відбивається на всій аквакультурі загалом (FAO, 2018). Зростання вартості кормів має економічні наслідки як для великомасштабних аквакультурних підприємств, так і для дрібних рибних фермерів і становить значний виклик для підтримки економічної життєздатності галузі.

Враховуючи цей складний контекст, перед дослідниками все частіше постає завдання пошуку інноваційних рішень як на рівні галузі, так і на рівні фермерських підприємств. Ці рішення повинні не лише обмежити навантаження на навколишнє середовище, пов'язане з аквакультурою, а й допомогти в управлінні та зниженні витрат на корми, що постійно зростають. Вкрай важливо визнати, що ці два виміри сталого розвитку в аквакультурі взаємопов'язані й повинні вирішуватися в синергії. Пошук альтернативних і більш стійких джерел кормів, а також розробка ефективних методів годівлі є критично важливими для забезпечення довгострокової стійкості та життєздатності сектору аквакультури у світі, де попит на рибу продовжує стрімко зростати.

У прагненні до сталої аквакультури дослідницькі зусилля були спрямовані як на макrorівневі стратегії, спрямовані на розробку систем, що сприяють досягненню екологічних цілей, так і на мікрорівневий аналіз економічної стійкості та конкурентоспроможності окремих компаній з плином часу (Van Huis et al., 2013; Gasco et al., 2018; FAO, 2018). Ці екологічні цілі включають зменшення споживання ресурсів, мінімізацію впливу аквакультури на навколишнє середовище, сприяння оптимальному розвитку, росту та відтворенню риби, а також заміну рибного борошна у рецептурах кормів екологічно чистими альтернативами. Досягнення цих цілей має першорядне значення не лише для збереження довкілля, а й для підвищення продуктивності, прибутковості та довгострокової стійкості аквакультури.

Однак на шляху до цих цілей стоїть значна перешкода – вартість кормів, яка становить значну частину загальної собівартості продукції – від 40 % до 70 %

(Ogunji et al., 2008; Kleih et al., 2013; Shaalan et al., 2017; Henry et al., 2018). Зростання цін на корми не було співмірним з відповідним зростанням кінцевих ринкових цін на продукцію аквакультури, насамперед через інтенсивну горизонтальну та вертикальну конкуренцію (Adwan, 2017). Така невідповідність між витратами на виробничі ресурси та ринковими цінами має далекосяжні економічні наслідки, створюючи значне навантаження на окремі підприємства в секторі аквакультури (Shaalan et al., 2017).

Як потенційну альтернативу традиційному рибному борошну на рибних фермах почали використовувати соевий шрот. Однак ця заміна зазнала критики за те, що вона спричинила конкуренцію за землекористування та сприяла значному погіршенню стану довкілля (Van Huis et al., 2013; Gasco et al., 2018). Крім того, було виявлено, що соевий шрот містить антипоживні фактори, які можуть подразнювати травний канал риби, роблячи його менш смачним і забезпечуючи меншу кількість сірковмісних амінокислот, таких як метіонін і цистеїн.

З іншого боку, численні наукові дані свідчать про те, що комахи є багатообіцяючою альтернативною комбікормам, риб'ячому жиру та звичайним білковим кормам у рецептурах кормів для аквакультури. Продукти з комах характеризуються високим вмістом протеїну, який зазвичай становить від 45 % до 70 %. Вони також мають сприятливий профіль незамінних амінокислот і містять значний вміст ліпідів, який може коливатися від 8 % до 35 % залежно від використовуваного процесу екстракції ліпідів (Gasco et al., 2018).

### Мета дослідження

Мета – розглянути можливість використання комах у годівлі риб.

### Матеріал і методи досліджень

У процесі досліджень були використані методи аналізу і узагальнення на основі інформації, отриманої з літературних та інформаційних джерел, щодо оцінки поживного складу комах та досвіду їх використання в годівлі риб.

### Результати та їх обговорення

Визнаючи нагальні екологічні та економічні виклики, що стоять перед галуззю аквакультури, Європейська Комісія зробила значний крок вперед, прийнявши Регламент 893/2017. Цей Регламент відкрив шлях до використання семи видів комах у складі кормів для риб, визнавши їхній потенціал у вирішенні цих питань сталого розвитку. Серед окремих видів комах три виявилися особливо перспективними: жовтий борошняний хрущак (*Tenebrio molitor*), солдатська чорна муха (*Hermetia illucens*) та звичайна кімнатна муха (*Musca domestica*). Їх життєздатність як альтернативних кормових інгредієнтів тісно пов'язана з їх потенціалом для широкомасштабного вирощування з використанням органічних побічних продуктів, що

відповідає принципам циркулярної економіки та безвідходності (Meneguz et al., 2018).

Дослідження, проведене (Belforti et al., 2015), продемонструвало, що додавання *T. molitor* до корму для райдужної форелі, навіть у пропорції 50 %, не мало негативного впливу на приріст ваги. Аналогічно – в інших дослідженнях вивчалася заміна рибного борошна на хрущак у раціонах різних видів риб, включаючи європейського морського окуня, звичайного сома та тиліпію (*Hermetia illucens*). Ці дослідження в сукупності вказують на те, що хрущак може слугувати частковою заміною рибного борошна в раціонах багатьох видів риб (Henry et al., 2018).

З точки зору ринку – індустрія вирощування комах стрімко набирає обертів і на арену виходять численні компанії та стартапи. В Європі такі компанії, як Innovafeed, Ynsect, Protix, Mutatec та Hermetia Varuth GmbH, досягли значних успіхів у виробництві борошна з комах для використання в харчовій та кормовій промисловості. За межами Європи такі компанії, як Entofood, Agriprotein, Enviroflight і Enterra, також зробили помітний внесок у зростаючий сектор.

Завдяки своїм властивостям борошно з комах має потенціал для революції у виробництві аквакультури та стимулювання зростання окремих компаній, що в кінцевому підсумку знизить вартість кормів. Ця трансформація може відбутися, навіть незважаючи на те, що поточні ринкові ціни на борошно з комах зазвичай перевищують ціни на рибне борошно.

Аналіз різних видів комах виявляє значний діапазон вмісту протеїну, який можна порівняти з соєвим шротом, але загалом нижчий, ніж у рибному борошні. Зокрема, види з ряду Перетинчастокрилі (*Orthoptera*) зазвичай демонструють вищий рівень сирого протеїну, що коливається від 60 % до 70 %. Однак важливо враховувати, що всі зразки в цьому ряді є дорослими особинами, які мають більше хітину (і зв'язаного з хітином азоту) і нижчий вміст жиру, що підвищує рівень протеїну.

На противагу цьому види лускокрилих (*Diptera*) демонструють рівні протеїну від 40 % до 50 %. Між різними дослідженнями є значні розбіжності. Наприклад, значення протеїну для личинок *Musca domestica* було зафіксовано на рівні 46,9 %, що узгоджується з даними (Ogunji et al., 2008) на рівні 47,1 %, тимчасом як інші дослідники повідомляють про більш різноманітні результати – від 37,5 % (Bossier & Ekasari, 2017) до 56,8 % (Bernard et al., 1997). Лялечки *Musca domestica*, за спостереженнями, демонстрували вищий вміст протеїну – 58,3 % порівняно з 40,1 %. Тим часом вміст СП у личинках *Hermetia illucens* (36,2 %) близький до значень, отриманих (Sheppard et al., 2002) – 37,8 %, що трохи нижче 40,6 %, зазначених (Newton et al., 1977). Значення СП для *Eristalis te-x* на рівні 40,9 % відображає результати (Ramos-Elorduy, 1997) для *Eristalis sp.* на рівні 40,7 %.

У ряді Рівнокрилі (*Coleoptera*) *Rhynchophorus ferrugineus* має найнижчий вміст протеїну – 35 %. Види роду *Rhynchophorus* зазвичай менш багаті на білок: (Banjo et al., 2006) повідомляють, що *Rhynchophorus phoenicis* містить лише 28,4 % білка. І навпаки, личинки *Tenebrio molitor* продемонстрували



вміст протеїну 58,4 %, а *Zophoba morio* – 53,5%. Значення як для *Tenebrio*, так і для *Zophoba* децю перевищували дані інших дослідників, коливаючись між 47 % і 53 % для *Tenebrio molitor* (Finke et al., 1989; Bernard et al., 1997; Finke, 2007) і 46,8 % для *Zophoba morio* (Finke, 2002).

Дійсно, відмінності у вмісті білка, що спостерігаються серед різних видів комах, можна пояснити кількома факторами, ускладнює зробити остаточні висновки, особливо при порівнянні різних рядів комах. Ці фактори включають фазу розвитку комах, відмінності в харчових звичках різних популяцій та методи переробки (Fasakin et al., 2003; Banjo et al., 2006). Отже, встановлення чітких відмінностей між рядами комах, заснованих виключно на вмісті білка, стає складним завданням.

Крім того, визначення сирого протеїну у комах є унікальною проблемою через наявність нітрогенк в складі N-ацетилглюкозаміну, складової полімеру хітину, який не є легкозасвоюваним (Finke, 2002). Однак важливо зазначити, що кількість нітрогену, що міститься в хітині, порівняно невелика. Як наслідок – для більшості безхребетних вміст азоту може слугувати досить точною оцінкою загального вмісту протеїну (Finke, 2002). Це міркування є життєво важливим для точної оцінки поживної цінності кормів на основі комах для аквакультури та іншого використання.

Вміст жиру в комах демонструє значну розбіжність і має тенденцію коливатися між різними стадіями їхнього розвитку, часто потрапляючи в діапазон від 15 % до 30 %. Зокрема, *Zophoba morio* виділяється як вид з найвищим вмістом жиру – 38 %. Це значення децю нижче, ніж у (Finke, 2002), який зафіксував його на рівні 42 %. Загалом личинки ряду видів комах зазвичай містять значну кількість жиру, що часто перевищує 25 %. Наприклад, у личинках *Tenebrio molitor* у дослідженні було виявлено 30 % жиру, що нижче за показники інших дослідників (від 38 % до 43 %) (Finke, 2002, 2007).

Личинки та лялечки *Musca domestica* демонстрували порівняно високий рівень жиру в цьому дослідженні – 31,3 % та 33,7 % відповідно, що перевищує дані інших авторів. Ці відмінності особливо помітні у випадку личинок, оскільки в попередніх дослідженнях вміст жиру коливався від 13,5 % до 25 % (Bernard et al., 1997; Sheppard et al., 2002; Ogunji et al., 2006; Ogunji et al., 2008; Aniebo & Owen, 2010). Для лялечок вміст жиру був помітно вищим, ніж 15,8 %, про які повідомляли (Bernard et al., 1997).

Вміст жиру в личинках *Hermetia illucens*, який у цьому дослідженні становив 18 %, помітно нижчий, ніж за даними інших дослідників, і перевищує 30% (Newton et al., 1977; Sheppard et al., 2002).

Крім того, на вміст жиру суттєво впливає стадія розвитку, причому личинкові стадії зазвичай містять більше жиру, ніж дорослі особини (Barker et al., 1998). Наприклад, у *Acheta domestica* вміст жиру коливається від 14 % до 22 % на різних стадіях розвитку (Bernard et al., 1997; Finke, 2002, 2007). Варто зазначити, що відмінності у вмісті ліпідів у одного і того ж виду, про які повідомляють різні автори, можуть бути

пов'язані не тільки зі стадією розвитку, а й з віком комах.

Крім того, варто зазначити, що рівень ліпідів у комах зазвичай перевищує вміст ліпідів у рибному борошні та соєвому шроті. Така різниця у вмісті ліпідів може потенційно створювати проблеми при додаванні комах до рибних кормів, оскільки вищий вміст ліпідів може вимагати коригування рецептури корму для підтримання бажаного балансу поживних речовин.

У таблиці 1 наведено короткий опис поживного складу біомаси *Hermetia illucens*, підкреслюючи її значний вміст білків, жирів і мінералів. Згідно з даними таблиці 1, наданими (Ogunji et al., 2008), вміст сирого протеїну та жиру в біомасі *Hermetia illucens* коливається від 30 % до 52 % та від 21 % до 40 % від сухої речовини відповідно.

Порівнюючи вміст сирого протеїну в біомасі *Hermetia illucens* з широко використовуваним джерелом рослинного протеїну – соєвим шротом, можна помітити значну схожість. Крім того, валова енергетична цінність біомаси має тенденцію до перевищення енергетичної цінності традиційних джерел енергії для тварин, таких як кукурудзяний та пшеничний шрот. Варто зазначити, що знежирена біомаса *Hermetia illucens* має вищий вміст сирого протеїну порівняно з соєвим шротом і має схожість з рибним борошном (Surendra et al., 2016).

Збалансований профіль незамінних амінокислот є вирішальним фактором, що визначає якість білка. Традиційні комерційні водні корми значною мірою покладаються на рибне борошно як основне джерело протеїну через його високий вміст протеїну та збалансований профіль незамінних амінокислот. Рибне борошно особливо багате на засвоювані незамінні амінокислоти, такі як лізин, метіонін і лейцин, яких часто не вистачає в зерні, що зазвичай використовується як основа в більшості кормів для тварин (Makkar et al., 2014).

У таблиці 2 наведений приблизний склад амінокислот. Серед цих груп *Diptera* демонструє найбільшу схожість з рибним борошном за вмістом незамінних та лімітуючих амінокислот. Види *Diptera* демонструють подібну частку метіоніну порівняно з рибним борошном, а також вищі значення гістидину, лізину та треоніну. На противагу цьому види з ряду Лускокрилі та Твердокрилі демонструють вищий вміст лейцину.

Ці результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, які постійно спостерігали низький рівень метіоніну в лускокрилих (Bernard et al., 1997; Finke, 2002; Fasakin et al., 2003) і твердокрилих (Finke, 2002, 2007; Makkar et al., 2014), тимчасом як види двокрилих мають тенденцію до вищого рівня метіоніну (Newton et al., 1977; Ogunji et al., 2006). Що стосується лізину, то пропорції, які спостерігаються як для *Coleoptera*, так і для *Orthoptera* на рівні 6 %, узгоджуються зі значеннями, про які повідомляє Finke (Finke, 2002, 2007). У випадку з двокрилими – рівень лізину, зафіксований у цьому дослідженні на рівні 8 %, відповідає значенню, раніше задокументованому (Newton et al., 1977).

**Таблиця 1**

Орієнтовний склад біомаси *Hermetia illucens*, вирощеної на різних органічних відходах (Одиниця виміру: % сухої речовини; % ліофілізованої речовини кукулю) (Surendra et al., 2020)

Компонент	Стадія росту	Сирий протеїн	Сирий жир	Вуглеводи	Сира клітковина	Зола	Валова енергія (ккал/кг)	Хітин
Комбікорм для курей	Передлялечки	41,2	33,6	–	–	10	–	6,2
Біогаз	Передлялечки	42,2	21,8	–	–	19,7	–	5,6
Овочеві відходи	Передлялечки	39,9	37,1	–	–	9,6	–	5,7
Відходи ресторанів	Передлялечки	43,1	38,6	–	–	2,7	–	6,7
Відходи кафетерію	Передлялечки	43,7	31,8	12,3	10,1	6,0	5751,7	–
Відходи овочів та фруктів	Личинки	41,9	26,3	–	–	13	–	6,2
Відходи овочів та фруктів	Передлялечки	39,9	30,8	–	–	5,7	–	–
Фруктові відходи	Передлялечки	43,8	46,8	–	–	5,7	27825,2	–
Відходи виноробства	Личинки	34,4	32,2	–	–	14,6	–	5,3
Відходи пивоваріння	Личинки	53	29,9	–	–	7,3	–	1,4
Бурі водорості	Личинки	41,3	8,1	–	–	15,8	–	–
Харчові відходи	Передлялечки	42,0 – 43,7	35,0 – 37,2	–	–	3,1 – 4,6	–	–
Свинячий гній	Передлялечки	42,8	36,5	–	–	3,7	–	–
Пташиний послід	Передлялечки	41,7	36,2	–	–	3,8	–	–
Гній ВРХ	Передлялечки	41,2	35,7	–	–	4,9	–	–
Ферментована кукурудзяна солома	Передлялечки	41,8	30,5	–	–	8,2	–	–

**Таблиця 2**

Амінокислотний склад комах у порівнянні з еталонними показниками ФАО щодо потреби в білку, соєвому та рибному борошні, соєвому та рибному борошні (Makkar et al., 2014)

Амінокислоти	Личинки чорної солдатської мухи	Борошно з опаришів мух	Борошно з сарани	Цвіркун	Шрот з лялечок шовкопряда	Рибне борошно	Соєве борошно
Метіонін	2,1	2,2	2,3	1,4	3,5	2,7	1,32
Цистин	0,1	0,7	1,1	0,8	1,0	0,8	1,38
Валін	8,2	4,0	4,0	5,1	5,5	4,9	4,50
Ізолейцин	5,1	3,2	4,0	4,4	5,1	4,2	4,16
Лейцин	7,9	5,4	5,8	9,8	7,5	7,2	7,58
Фенілаланін	5,2	4,6	3,4	3,0	5,2	3,9	5,16
Тирозин	6,9	4,7	3,3	5,2	5,9	3,1	3,35
Гістидин	3,0	2,4	3,0	2,3	2,6	2,4	3,06
Лізін	6,6	6,1	4,7	5,4	7,0	7,5	6,18
Трионін	3,7	3,5	3,5	3,6	5,1	4,1	3,78
Триптофан	0,5	1,5	0,8	0,6	0,9	1,0	1,36
Серин	3,1	3,6	5,0	4,6	5,0	3,9	5,18
Аргінін	5,6	4,6	5,6	6,1	5,6	6,2	7,64
Глутамінова кислота	10,9	11,7	15,4	10,4	13,9	12,6	19,92
Аспаргінова кислота	11,0	7,5	9,4	7,7	10,4	9,1	14,14
Пролін	6,6	3,3	2,9	5,6	5,2	4,2	5,99
Гліцин	5,7	4,2	4,8	5,2	4,8	6,4	4,52
Аланін	7,7	5,8	4,6	8,8	5,8	6,3	4,54

Пропорції аргініну в цьому дослідженні виявилися адекватними для *Diptera* і *Orthoptera*, але види *Coleoptera* демонструють дефіцит аргініну. Ці результати дещо відрізняються від попередніх досліджень, де частка аргініну в організмі прямокрилих становила приблизно 7% (Finke, 2002, 2007), тимчасом як для двокрилих (Newton et al., 1977; Ogunji et al., 2006) і лускокрилих (Finke, 2002, 2007) – близько 5%.

Якщо оцінювати схожість з рибним борошном, то амінокислотний профіль *Diptera* помітно перевершує профіль соєвого борошна. Таким чином, *Diptera* потенційно може слугувати кращою заміною рибного

борошна в рецептурах рибних кормів. Хоча кожен вид комах може відчувати дефіцит певних незамінних амінокислот, можна розробити корм, який досягне збалансованого амінокислотного профілю шляхом поєднання декількох видів комах. Такий підхід може стати перспективною стратегією для створення повноцінних і збалансованих кормів для аквакультури та інших галузей, що сприятиме сталому використанню джерел білка на основі комах.

Жирнокислотний склад комах, як зазначає Ramos-Elorduy (Ramos-Elorduy, 2008), зазвичай характеризується вищим рівнем поліненасичених жирів порівняно

з рибним борошном, але нижчим, ніж у соєвому борошні. Подібно до сої – комахи зазвичай мають нижчий рівень поліненасичених жирів n-3 порівняно з рибним борошном. Bukkens (Bukkens, 1997) повідомив про значну кількість лінолевої кислоти в профілях жирних кислот усіх проаналізованих видів комах. Відповідно до висновків інших дослідників Екпо і Onigbinde (Ekpo & Onigbinde, 2007), Finke (Finke, 2002, 2007) і Katayama та ін. (Katayama et al., 2008) наземним комахам зазвичай не вистачає ейкозапентаєнової кислоти і докозагексаєнової кислоти у складі їх жирних кислот. Виняток становлять такі види, як *Chrysomya megacephala* та *Calliphora vicina*, які містять від 1,3 % до 1,5 % ейкозапентаєнової кислоти. Однак ці пропорції значно нижчі, ніж у рибному борошні, яке може містити від 14 % до 16 % ейкозапентаєнової кислоти.

Відсутність ейкозапентаєнової і докозагексаєнової кислот в комах є одним з основних обмежень для їх використання в кормах для морських риб. Це обмеження пов'язане з тим, що ейкозапентаєнова і докозагексаєнова кислоти є незамінними поживними речовинами для багатьох морських видів риб і мають важливе значення для загального здоров'я та росту риб. Отже, нестача цих незамінних жирних кислот у кормах на основі комах може накласти обмеження на їх включення до складу аквакормів, особливо тих, що призначені для морських видів риб.

Дані Finke (2002) свідчать про те, що жирнокислотним складом комах можна керувати за допомогою їхнього раціону, і ці дієтичні маніпуляції можуть мати значний вплив на поживну цінність комашиного корму. Відмінності в жирнокислотному складі комах також можуть бути пов'язані з їх харчуванням.

Таким чином, дані узгоджуються з висновками (Justi et al., 2003), які вказують на те, що вміст жирних кислот у комах більше залежить від їхнього раціону, тимчасом як амінокислотний склад тісніше пов'язаний з їхньою таксономічною класифікацією. Таке розуміння підкреслює потенціал для маніпулювання поживною цінністю комашиного шроту шляхом управління раціоном харчування, що робить комах універсальним джерелом білка з потенціалом для створення індивідуальних профілів поживних речовин.

## Висновки

Дані дослідження вказують на те, що борошно з комах має достатній склад поживних речовин, придатний для потенційного включення в корм для риб. Варто зазначити, що широкий спектр видів комах, їх різноманітні середовища існування, стадії розвитку, харчова поведінка та інші характеристики можуть впливати на поживну цінність борошна з комах. Така різноманітність робить борошно з комах привабливим об'єктом для подальших досліджень як альтернативу рибному борошну.

Амінокислотний профіль борошна з комах *Diptera* свідчить про можливість використання його як альтернативного джерела протеїну в аквакультурі. Однак необхідні додаткові дослідження для оцінки таких

факторів, як засвоєваність, вміст хітину, травні ефекти, наявність токсинів, методи обробки борошна, оптимальні комбінації різних видів комах, а також потенційна модифікація поживних профілів комах за допомогою коригування раціону або умов вирощування.

Сучасна система виробництва продукції аквакультури значною мірою покладається на рибне борошно, яке стає все більш нестійким через стагнацію або скорочення вилову риби. Зростаючий попит на рибу свідчить про те, що рибне борошно стане більш обмежувальним інгредієнтом як з точки зору виробництва, так і з точки зору ціни. Тому вивчення потенційних альтернатив, таких як комашине борошно, має вирішальне значення для забезпечення сталості аквакультури та подолання обмежень рибного борошна.

Включення комашиного борошна в раціон тварин може запропонувати стійке та ресурсоефективне вирішення проблем, з якими стикаються традиційні джерела протеїну, особливо в контексті аквакультури та виробництва кормів для тварин.

*Перспективи подальших досліджень.* В подальшому планується використання різноманітного комашиного борошна у годівлі риби вітчизняної селекції. Введення його до складу комбікормів українського виробництва – як альтернативи заміни рибного борошна та потенційного протеїнового корму.

## Відомості про конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів у даній роботі.

## References

- Adeniyi, T. & Kuton, M. & Ayegbokiki, A., & Olasunkanmi, L. (2015). Economic A-lyze of Costs and Return of Fish Farming in Saki-East Local Government Area of Oyo State, Nigeria. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 6, 5. DOI: 10.4172/2155-9546.1000306.
- Adwan, O. M. A. (2017). Analyzing Fish Farming System in the Jordan Valley Comparative study. *Journal of Social Sciences*, 6(4), 827–832. URL: [https://centrefexcellence.net/J/JSS/Vol6/No4/JSSarticle10,6\\_4\\_pp827-832.pdf](https://centrefexcellence.net/J/JSS/Vol6/No4/JSSarticle10,6_4_pp827-832.pdf).
- Aniebo, A. O., & Owen, O. J. (2010). Effects of Age and Method of Drying on the Proximate Composition of Housefly Larvae (*Musca domestica* Lineus) Meal (HFLM). *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(5), 485–487. DOI: 10.3923/pjn.2010.485.487.
- Banjo, A. D., Lawal, O. A., & Songonuga, E. A. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5(6), 298–301. URL: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/6678/1/jb06047.pdf>.
- Barker, D., Fitzpatrick, M.P., & Dierenfeld, E. S. (1998). Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biology*, 17(2), 123–134. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2361(1998)17:2%3C123::AID-ZOO7%3E3.0.CO;2-B.
- Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M. J., Segura, M., Morote, E., Torres, A., Ramos, R., & Guil, J. M. C. (2017). In-

- sects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 8–13. DOI: 10.1016/j.jfca.2017.04.008.
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Ren, M., Malfatto, V. M., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., & Gasco, L. (2015). *Tenebrio Molitor* Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Diets: Effects on Animal Performance, Nutrient Digestibility and Chemical Composition of Fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14(4), 4170. DOI: 10.4081/ijas.2015.4170.
- Bernard, J. B., Allen, M. E., & Ullrey, D. E. (1997). Feeding captive insectivorous animals: nutritional aspects of insects as food. *Nutrition Advisory Group Handbook*, 3, 1–7. URL: <https://nagonline.net/wp-content/uploads/2014/01/NAG-FS003-97-Insects-JONI-FEB-24-2002-MODIFIED.pdf>.
- Bossier, P., & Ekasari, J. (2017). Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1012–1016. DOI: 10.1111/1751-7915.12836.
- Bukkens, S. G. (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 287–319. DOI: 10.1080/03670244.1997.9991521.
- Danieli, P. P., Lussiana, C., Gasco, L., Amici, A., & Ronchi, B. (2019). The Effects of Diet Formulation on the Yield, Proximate Composition, and Fatty Acid Profile of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Prepupae Intended for Animal Feed. *Animals*, 9(4), 178. DOI: 10.3390/ani9040178.
- Dickson, M., Nasr-Allah, A., Kenawy, D., & Kruijssen, F. (2016). Increasing fish farm profitability through aquaculture best Management practice training in Egypt. *Aquaculture*, 465, 172–178. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.09.015.
- Ekpo, K. E., & Onigbinde, A. (2007). Characterization of Lipids in Winged Reproductives of the Termite *Macrotermis bellicosus*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(3), 247–251. DOI: 10.3923/pjn.2007.247.251.
- FAO (2017). *FAO and the SDGs. Indicators: Measuring up to the 2030 Agenda for Sustainable Development*; FAO: Rome, Italy
- FAO (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals*. Rome.
- Fasakin, E. A., Balogun, A. M., & Oo, A. (2003). Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research*, 34(9), 733–738. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2003.00876.x.
- Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269–285. DOI: 10.1002/zoo.10031.
- Finke, M. D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2), 105–115. DOI: 10.1002/zoo.20123.
- Finke, M. D., DeFoliart, G. R., & Benevenga, N. J. (1989). Use of a Four-Parameter Logistic Model to Evaluate the Quality of the Protein from Three Insect Species when Fed to Rats. *Journal of Nutrition*, 119(6), 864–871. DOI: 10.1093/jn/119.6.864.
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal Alternative protein sources for aquaculture feeds. In *Springer briefs in molecular science*, 1–28. DOI: 10.1007/978-3-319-77941-6\_1.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Ren, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P., & Chatzifotis, S. (2016). *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 220, 34–45. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003.
- Henry, M., Gasco, L., Chatzifotis, S., & Piccolo, G. (2018). Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental and Comparative Immunology*, 81, 204–209. DOI: 10.1016/j.dci.2017.12.002.
- 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. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.
- Holmer, M., Black, K., Duarte, C. M., Marbà, N., & Karakassis, I. (2008). *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-1-4020-6810-2.
- Justi, K. C., Hayashi, C., Visentainer, J. V., De Souza, N. E., & Matsushita, M. (2003). The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chemistry*, 80(4), 489–493. DOI: 10.1016/s0308-8146(02)00317-5.
- Katayama, N., Ishikawa, Y., Takaoki, M., Yamashita, Nakayama, S., Kiguchi, K., Kok, R., Wada, H., & Mitsuhashi, J. (2008). Entomophagy: A key to space agriculture. *Advances in Space Research*, 41(5), 701–705. DOI: 10.1016/j.asr.2007.01.027.
- Kleih, U., Linton, J. C., Marr, A., Mactaggart, M., Naziri, D., & Orchard, J. E. (2013). Financial services for small and medium-scale aquaculture and fisheries producers. *Marine Policy*, 37, 106–114. DOI: 10.1016/j.marpol.2012.04.006.
- Magalhães, R., Sánchez-López, A. M., Leal, R. S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., & Perés, H. (2017). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476, 79–85. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.021.
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussia, C., Ren, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784. DOI: 10.1002/jsfa.9127.
- Newton, G. L., Booram, C. V., Barker, R. W., & Hale, O. M. (1977). Dried *hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44(3), 395–400. DOI: 10.2527/jas1977.443395x.



- Ogunji, J. O., Kloas, W., Wirth, M., Neumann, N., & Pietsch, C. (2008). Effect of housefly maggot meal (mameal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(4), 511–518. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2007.00745.x.
- Ogunji, J., Kloas, W., Wirth, M., Schulz, C., & Rennert, B. (2006). Housefly Maggot Meal (Mameal): An Emerging Substitute of Fishmeal in Tilapia Diets.
- Ramos-Elorduy, J. (1997). Insects: A sustainable source of food? *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 247–276. DOI: 10.1080/03670244.1997.9991519.
- Ramos-Elorduy, J. (2008). Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition*, 47(3), 280–297. DOI: 10.1080/03670240701805074.
- Roncarati, A., Gasco, L., Parisi, G., & Terova, G. (2015). Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 233–240. DOI: 10.3920/jiff2014.0006.
- Sánchez-Muros, M. J., De Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C. E., Villareces, S., & Barroso, F. G. (2015). Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 943–955. DOI: 10.1111/anu.12313.
- Shalan, M., El-Mahdy, M., Saleh, M., & El-Matbouli, M. (2017). Aquaculture in Egypt: Insights on the current trends and future perspectives for sustainable development. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(1), 99–110. DOI: 10.1080/23308249.2017.1358696.
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing methods for the Black Soldier fly (Diptera: Stratiomyidae): Table 1. *Journal of Medical Entomology*, 39(4), 695–698. DOI: 10.1603/0022-2585-39.4.695.
- Surendra, K., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202. DOI: 10.1016/j.renene.2016.03.022.
- Surendra, K., Tomberlin, J. K., Van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58–80. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.07.050.
- Van Huis, A., Van Isterbeek, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper*, 171. URL: <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>.
- Volpe, J. P., Gee, J., Ethier, V., Beck, M., Wilson, A., & Stoner, J. (2013). Global Aquaculture Performance Index (GAPI): the first global environmental assessment of marine fish farming. *Sustainability*, 5(9), 3976–3991. DOI: 10.3390/su5093976.