



EFFICIENCY OF USING VERMICULTURE BIOMASS IN SHRIMP DIETS

S.V. Merzlov, A.S. Kachur

Bila Tserkva National Agrarian University, Ukraine

ORCID

S.V. Merzlov: <https://orcid.org/0000-0002-9815-4280>

A.S. Kachur: <https://orcid.org/0009-0001-3490-0117>

E-mail: merzlovagv@ukr.net

Abstract. The article presents the results of an experimental study on the efficiency of using vermiculture biomass as an alternative protein source in diets for the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. The relevance of the study is the limited availability of fish mince and fish meal resources, fluctuations in their cost, and the need to introduce economically affordable and environmentally sustainable feed ingredients in aquaculture.

The aim of the study was to determine the optimal level of partial replacement of low-value freshwater fish mince with vermiculture biomass produced on a substrate of fermented soybean waste and spoiled corn silage, as well as to evaluate its effect on shrimp productivity. The experiment was conducted using the group-analog method, with one control and three experimental groups, each consisting of 200 individuals. In the experimental diets, 8.0%, 12.0%, and 18.0% of fish mince were replaced with vermiculture biomass. The duration of the experiment was 100 days.

It was established that the inclusion of vermiculture biomass in the diet positively affected growth rate, average daily gains, and feed utilization efficiency. At 150 days of age, the body weight of shrimp in the second experimental group was higher by 17.9% ($p < 0.05$), and in the third group by 18.2% ($p < 0.05$) compared to the control. Average daily gains increased by 20.0%, while feed conversion per 1 kg of weight gain decreased by 18.2% at replacement levels of 12.0–18.0%. It was shown that increasing the proportion of vermiculture biomass above 12.0% did not result in further productivity improvement, indicating the achievement of an optimal inclusion level. The positive effect can be explained by the high biological value of earthworm protein, its high digestibility, and a well-balanced amino acid composition. The obtained results confirm the feasibility of using vermiculture biomass as an effective alternative protein source in shrimp feeding, allowing increased productivity, improved feed conversion, and reduced dependence on traditional fish resources. The practical significance of the study lies in the possibility of implementing resource-saving feeding technologies in aquaculture.

Key words: *fish mince, shrimp body weight, daily gain, fish meal, worm meal.*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОМАСИ ВЕРМИКУЛЬТУРИ У РАЦІОНАХ КРЕВЕТКИ

С.В. Мерзлов, А.С. Качур

Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

E-mail: merzlovagy@ukr.net

Анотація. Наведено результати експериментального дослідження ефективності використання біомаси вермикультури як альтернативного джерела протеїну в раціонах річкової гігантської прісноводної креветки (*Macrobrachium rosenbergii*). Актуальність дослідження зумовлена обмеженістю ресурсів фаршу риби і рибного борошна, коливанням їх вартості та необхідністю впровадження економічно доступних і екологічно безпечних кормових інгредієнтів у аквакультури.

Метою роботи було встановити оптимальний рівень часткової заміни фаршу із малоцінної прісноводної риби біомасою вермикультури, вирощеної на субстраті з ферментованих відходів сої та зіпсованого силосу кукурудзи, а також оцінити її вплив на продуктивні показники креветок. Дослідження виконано на групах-аналогах із формуванням однієї контрольної та трьох дослідних груп по 200 особин у кожній. У дослідних раціонах 8,0 %, 12,0 % та 18,0 % рибного фаршу замінювали на біомасу вермикультури. Тривалість експерименту становила 100 діб. Встановлено, що включення біомаси вермикультури до складу корму позитивно вплинуло на інтенсивність росту, середньодобові прирости та ефективність використання корму креветками. У 150-добовому віці маса тіла креветок у II дослідній групі була більшою на 17,9 % ($p < 0,05$), у III – на 18,2 % ($p < 0,05$). Середньодобові прирости були більшими на 20,0 %, а витрати корму на 1 кг приросту – меншими на 18,2 % за рівня заміни 12,0–18,0 %. Підвищення частки біомаси вермикультури понад 12,0 % не супроводжувалось додатковим зростанням продуктивності, що свідчить про досягнення її оптимального рівня введення. Позитивний ефект пояснюється високою біологічною цінністю білка дощових черв'яків, його високою перетравністю та збалансованим за амінокислотним складом. Отримані результати підтвердили доцільність використання біомаси вермикультури як ефективного альтернативного джерела білка у годівлі креветок, що дозволяє підвищити їх продуктивність, покращити конверсію корму та знизити залежність від традиційних рибних ресурсів. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження ресурсозберігаючих технологій годівлі в умовах аквакультури.

Ключові слова: фарш, риба, креветки, прирости, кормосуміші, рибне борошно, борошно із черв'яків.

Вступ. Актуальність теми. У годівлі креветки риба та продукти її переробки є основним компонентом раціонів в промислових масштабах. Продуктом переробки риби є рибне борошно, яке традиційно застосовується як основне джерело білка в кормах для креветок за рахунок високого вмісту протеїну, який містить збалансований амінокислотний склад і має високу перетравність (Kasamechotchung et al., 2025).

Використання рибного борошна в кормах покращує коефіцієнт конверсії корму, інтенсивність росту та збереження молодняку креветок. Крім того, наявність біологічно активних компонентів сприяє підвищенню імунної відповіді та стійкості до патогенів у ракоподібних (Chen et al., 2024).

Разом з тим, ресурси рибного борошна є обмеженими. У 2023 р. у світі було зафіксовано зменшення глобального виробництва рибного борошна приблизно на 23,0 %, що призвело до збільшення вартості кормів для креветок. Використання рибного фаршу, як основного білкового інгредієнта, має низку обмежень, таких як: висока собівартість,

сезонність постачання, ризики мікробіологічного псування та нестабільність хімічного складу. У зв'язку з цим актуальним є пошук альтернативних джерел протеїну з високою біологічною цінністю.

Дослідники шукають можливість часткової заміни рибного борошна іншими білковими джерелами без зниження продуктивності креветок. Установлено, що часткова заміна рибного борошна соєвим шротом у раціоні *Litopenaeus vannamei* може забезпечувати аналогічні або навіть вищі показники приросту маси тіла та розвитку травної системи, якщо раціон залишається збалансованим за амінокислотами (El-Naby et al., 2023).

Встановлено позитивний вплив використання корму із комах, з личинок *Hermetia illucens*, знежиреного борошна із личинок *Zophobas atratus* у годівлі креветки (*Litopenaeus vannamei*) та тихоокеанської білої креветки (*Penaeus vannamei*) (Shin & Lee, 2021; Lin et al., 2023; Chen et al., 2023).

Перспективним білковим кормом для креветки може бути біомаса вермикультури. Біомасу черв'яків використовують як білкову добавку до комбікормів для свиней, птиці, ставкової та акваріумної риби як у натуральному або термічно обробленому вигляді (Herasymenko et al., 2006; Osipenko & Merzlov, 2023).

Невивченим залишається питання часткової заміни фаршу із малоцінної прісноводної риби на біомасу вермикультури, вирощену на субстраті із вмістом ферментованих відходів сої та зіпсованого силосу кукурудзи у складі раціонів креветки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній аквакультурі важливою проблемою є висока вартість традиційних білкових компонентів кормів, передусім рибного борошна. Тому активно досліджуються альтернативні джерела протеїну, серед яких значну увагу привертає біомаса дощових черв'яків. Біомасу вермикультури та борошно із неї можна використовувати як білкову добавку або часткову заміну рибного борошна у комбікормах для гідробіонтів ([Ariman Karabulut et al., 2016](#)).

Для вирощування гнойових черв'яків, в тому числі, і гібрида червоних каліфорнійських, застосовують органічні відходи сільськогосподарського виробництва, в тому числі, гній ссавців, послід птиці, відходи рослинництва та зіпсовані корми (Selden et al., 2005; Kostecka et al., 2022; Kovtun & Merzlov, 2023; Osipenko & Merzlov, 2023). За переробки 1 т органічних відходів можна виростити до 43,0-65,0 кг біомаси вермикультури (Herasymenko et al., 2006).

Біомаса вермикультури є цінною кормовою добавкою. Хімічний склад біомаси може коливатись в залежності від субстрату в якому її вирощували. Біомаса черв'яків містить білок (39-66 % від сухої речовини), ліпіди (3,8-9,5 % від сухої речовини), жиророзчинні і водорозчинні вітаміни, ензими та мікроелементи. Біомаса черв'яків має високий коефіцієнт перетравності (Gunya et al., 2016; Perez-Corria et al., 2019; Garczyńska et al., 2020; Kostecka et al., 2022).

Rachmawati & Nurhayati (2022) доведено, що заміна частини рибного борошна борошном із дощових черв'яків позитивно впливає на засвоюваність корму, темпи росту та збереження креветки. За використання суміші борошна з черв'яків і личинок мух у кормах для бананової креветки (*Penaeus merguensis*) спостерігали підвищення ефективності використання корму та коефіцієнта засвоєння корму. Найкращі результати отримано при співвідношенні борошна черв'яків та личинок мух (2:2), що призводило до підвищення росту ракоподібних на 5,0 %. Встановлено позитивний вплив на ріст креветки (*Litopenaeus vannamei*) використання в їх раціонах борошна із личинок комах, що підтверджує перспективність таких кормових компонентів (Motte et al., 2019).

Cummins et al. (2017) повідомляють, що повножировим борошном з личинок мухи-солдатики (*Hermetia illucens*) можна замінити до 25,0 % традиційної білкової добавки, не маючи негативного впливу на ріст креветок. Panini et al. (2017) доведено вплив заміни рибного борошна на борошно із біомаси черв'яків на якість м'язової тканини вирощених креветок *Litopenaeus vannamei*. Науковий інтерес представляють дослідження впливу заміни у раціонах *Macrobrachium rosenbergii* фаршу риби на біомасу вермикультури.

Мета роботи. Встановити ефективність заміни у складі раціонів *Macrobrachium rosenbergii* різних доз фаршу із малоцінної прісноводної риби на біомасу вермикультури, вирощеної на субстраті із вмістом ферментованих відходів сої і зіпсованого силосу кукурудзи.

Завдання дослідження. Дослідити оптимальну дозу заміни фаршу риби на біомасу вермикультури та визначити її вплив на масу тіла креветки. Встановити вплив різних доз біомаси черв'яків на прирости ракоподібних. Установити ступінь ефективності заміни фаршу риби на біомасу вермикультури шляхом визначення витрат корму на одиницю маси приросту креветки.

Матеріал і методи дослідження. Науково-господарський експеримент щодо встановлення ефективності використання біомаси вермикультури, вирощеної на субстраті із вмістом ферментованих відходів сої та зіпсованого силосу кукурудзи у складі раціонів для креветки було виконано згідно методу груп-аналогів за схемою, наведеною у табл. 1. Дослідження виконано в умовах ТОВ «Українська креветка Слєпньов».

Для проведення експериментів було підготовлено одну контрольну і три дослідні групи по 200 особин річкової гігантської креветки (*Macrobrachium rosenbergii*) віком 50 діб. Дослідження тривало 100 діб. Температура води її об'єм в ємностях контрольної та дослідних груп були однаковими. Фільтрування води та насичення Оксигеном у кожній ємності проводилось однаково.

Раціони для креветки із контрольної групи склались із подрібненого кормового гарбуза (28,0 % від маси) та фаршу малоцінної прісноводної риби (72,0 % від маси). Кормосуміш щодня виготовляли свіжу. Для молодняку креветки із I дослідної групи згодовували раціони де 8,0 % фаршу риби було замінено на біомасу вермикультури вирощеної в субстраті із вмістом ферментованих відходів сої і кукурудзи силосу.

Раціон для креветок II дослідної групи містив 12,0 % біомаси черв'яків. У III дослідній групі креветки споживали кормосуміш із вмістом 18,0 % біомаси вермикультури.

Середня маса молодняку креветки у групах на початку досліду становила 1,32 г (вік 50 діб).

Таблиця 1

Схема досліду на молодняку креветки

| Група | Кількість особин у групі | Фактор, що досліджували |
|--------------|--------------------------|--|
| Контрольна | 200 | Стандартний (фактичний) раціон в господарстві (фарш із малоцінної прісноводної риби (72,0 % за масою) та подрібнений кормовий гарбуз (28,0 %) – (СР) |
| I дослідна | 200 | СР де 8,0 % фаршу риби замінено на біомасу вермикультури |
| II дослідна | 200 | СР де 12,0 % фаршу риби замінено на біомасу вермикультури |
| III дослідна | 200 | СР де 18,0 % фаршу риби замінено на біомасу вермикультури |

Умови утримання, гідрохімічні показники води, щільність посадки та режим годівлі в усіх групах були ідентичними; відмінність полягала виключно у складі корму.

Молодняк креветки вирощували в однакових ємностях (басейнах) розміром 175 x 100 x 70 см. Визначаючи добову даванку кормосуміші, приймали до уваги її поїдання, температуру води та масу тіла ракоподібних.

Подрібнену біомасу вермикультури додавали до кормосуміші в день згодовування. Зважування молодняку *Macrobrachium rosenbergii* проводили під час п'ятдесятої і сотої доби експерименту, використовуючи технохімічні ваги.

Результат досліджень та їх обговорення. У табл. 2 наведено показники середньої маси тіла молодняку прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii* у 100- та 150-добовому віці залежно від дози включення біомаси вермикультури до складу раціону.

Таблиця 2

Маса тіла молодняку креветки ($M \pm m$, $n = 200$, г)

| Група | У 100 добовому віці | У 150 добовому віці |
|--------------|---------------------|---------------------|
| Контрольна | 19,7 ± 0,45 | 42,3 ± 2,67 |
| I дослідна | 19,9 ± 0,23 | 42,9 ± 3,45 |
| II дослідна | 20,4 ± 0,37 | 49,9 ± 1,89* |
| III дослідна | 20,4 ± 0,33 | 50,0 ± 2,67* |

Примітка: *- $p < 0,05$ – порівняно з показником контрольної групи

Застосування біомаси вермикультури у складі раціонів молодняку прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii* вплинуло на формування живої маси тварин упродовж періоду вирощування.

У 100-добовому віці маса тіла креветок контрольної групи становила $19,7 \pm 0,45$ г. Заміна 8,0 % рибного фаршу на біомасу вермикультури (I дослідна група) сприяла незначному підвищенню маси на 1,0 % відносно контролю. У II та III дослідних групах (вміст біомаси вермикультури 12,0 % та 18,0 % відповідно) маса молодняку креветки перевищувала контрольний показник на 3,55 %. Різниця мала характер тенденції та свідчила про позитивний, але не повністю реалізований ефект добавки на початкових етапах вирощування ракоподібних.

Більш виражені зміни встановлено у 150-добовому віці креветки. У контрольній групі маса тіла становила $42,3 \pm 2,67$ г. У I дослідній групі показник був вищим на 1,4 %, однак різниця не мала статистичної значущості.

У II дослідній групі маса тіла молодняку креветки була на 17,9 % вищою ніж у контролі ($p < 0,05$). Аналогічний результат отримано у III дослідній групі маса тіла була, більша відносно контролю на 18,2 % ($p < 0,05$). Таким чином, встановлено статистично значуще підвищення живої маси креветок за рівня заміщення рибного фаршу біомасою вермикультури 12,0 % і більше.

Отримані результати можна пояснити підвищенням біологічної повноцінності кормосумішів завдяки включенню білка біомаси дощових черв'яків виду *Eisenia fetida*, який характеризується високою перетравністю та збалансованим амінокислотним складом. Для молодняку *Macrobrachium rosenbergii*, що відзначається інтенсивним білковим обміном, покращення якості протеїнового живлення сприяє більш повному використанню поживних речовин та підвищенню темпів росту.

Встановлено, що підвищення частки біомаси вермикультури з 12,0 % до 18,0 % не забезпечує додаткового достовірного приросту маси тіла, що свідчить про досягнення оптимального рівня її введення. Таким чином, заміна 12,0 % рибного фаршу на біомасу вермикультури з господарської та фізіологічної точки зору є більш доцільною та ефективною для підвищення продуктивності молодняку креветки.

Включення біомаси вермикультури до складу раціонів молодняку прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii* позитивно вплинуло на інтенсивність росту тварин (рис. 1).

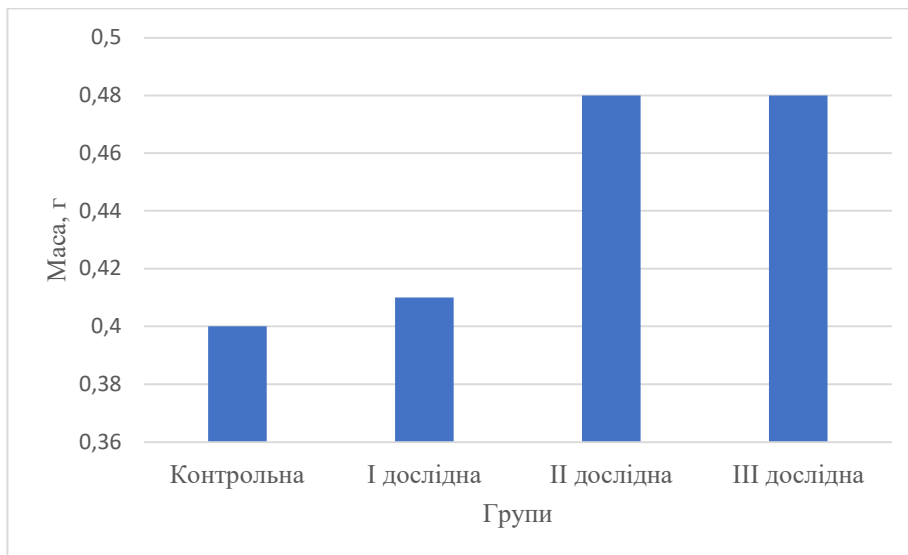


Рис. 1. Середньодобові прирости молодняку креветки дослідних груп

У контрольній групі середньодобовий приріст становив 0,40 г. Заміна 8,0 % рибного фаршу на біомасу вермикультури (I дослідна група) сприяла незначному підвищенню показника на 2,5 % відносно контролю. Різниця мала характер тенденції та не свідчила про виражений ефект за мінімального рівня включення добавки. У II дослідній групі, де 12,0 % фаршу риби замінено на біомасу вермикультури середньодобовий приріст збільшився на 20,0 % відносно контрольного показника.

Аналогічний рівень приросту (0,48 г) встановлено і в III дослідній групі. Отже, підвищення частки біомаси понад 12,0 % не супроводжувалося подальшим зростанням інтенсивності росту, що свідчить про досягнення фізіологічного оптимуму. Встановлене зростання темпів росту у групах де у складі кормосуміші містилось 12,0–18,0 % біомаси вермикультури пояснюється високою біодоступністю протеїну із біомаси дощових черв'яків виду *Eisenia fetida*.

Таким чином, із підвищенням рівня введення біомаси вермикультури до 12,0 % середньодобові прирости креветки зростають, що свідчить про стимулювальний вплив альтернативного білкового компонента. Подальше збільшення частки добавки до 18 % не забезпечує додаткового приросту. Аналіз показників витрат кормосуміші на 1 кг приросту маси тіла молодняку прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii* свідчить про підвищення ефективності використання корму за введення до раціону біомаси вермикультури (рис. 2.).

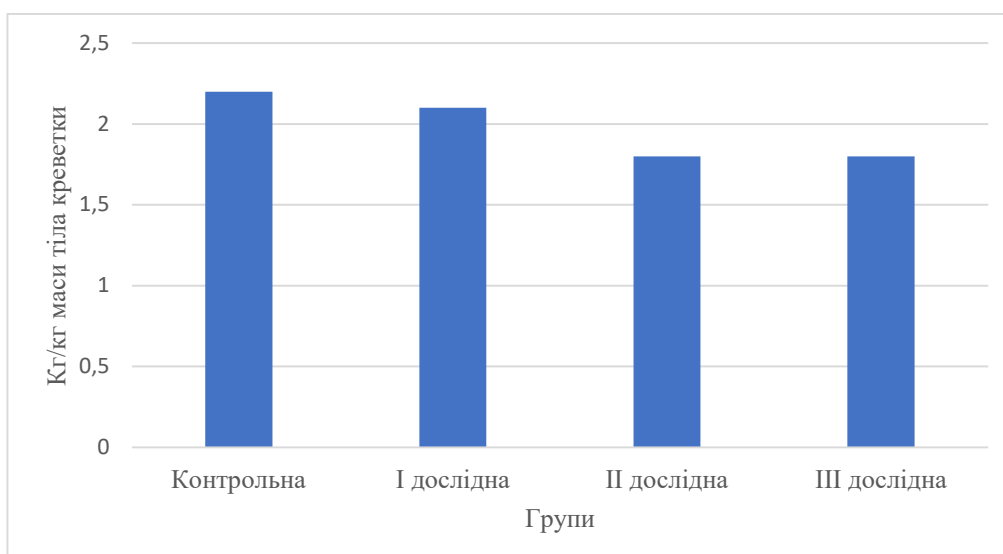


Рис. 2. Витрати кормової суміші на одиницю маси тіла креветки дослідних груп

У контрольній групі витрати корму становили 2,2 кг/кг приросту. Це відображає фактичний рівень конверсії корму за традиційної системи годівлі, де основним білковим компонентом є рибний фарш.

Заміна 8,0 % рибного фаршу на біомасу вермикультури (I дослідна група) дозволила знизити витрати кормосуміші на 4,5 % порівняно з контролем. Різниця мала характер тенденції та узгоджується з незначним підвищенням середньодобових приростів у цій групі.

Найбільш виражений ефект встановлено у II та III дослідних групах, де за рівня введення біомаси вермикультури до 12,0 % і 18,0 % витрати корму становили 1,8 кг/кг приросту, що на 18,2 % менше, ніж у контрольній групі. Зменшення показника витрат корму свідчить про більш ефективне використання поживних речовин раціону та кращу їх засвоюваність.

Поліпшення конверсії корму безпосередньо корелює з підвищенням середньодобових приростів та кінцевої маси тіла. Встановлено, що підвищення частки біомаси вермикультури понад 12,0 % не забезпечує додаткового зниження витрат корму, що свідчить про досягнення оптимального рівня її введення до складу раціону.

Обговорення. Отримані результати дослідження підтверджують перспективність використання біомаси вермикультури як альтернативного джерела протеїну у годівлі прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii*. Встановлене підвищення живої маси, середньодобових приростів та покращення конверсії корму узгоджується з даними інших авторів, які відзначають позитивний вплив альтернативних білкових компонентів на продуктивність ракоподібних. Зокрема, результати корелюють із дослідженнями (Rachmawati & Nurhayati, 2022), в якому використання борошна з дощових черв'яків сприяло покращенню росту та ефективності використання корму у креветок, а також із даними (Cummins et al., 2017), що підтверджують можливість часткової заміни традиційного білка без негативного впливу на продуктивність.

Важливо відзначити, що у нашому дослідженні максимальний ефект досягався при заміні 12,0 % рибного фаршу, тоді як подальше підвищення частки біомаси вермикультури до 18,0 % не забезпечувало додаткового приросту продуктивності. Подібна закономірність описана у літературі щодо використання інших альтернативних джерел білка де перевищення оптимального рівня введення може не супроводжуватися подальшим підвищенням ефективності через обмеження засвоєння або дисбаланс поживних речовин (Chen et al., 2024; El-Naby et al., 2023). Це свідчить про існування фізіологічного оптимуму включення альтернативних білкових компонентів у раціони гідробіонтів.

Покращення показників росту та зниження витрат корму у дослідних групах можна пояснити високою біологічною цінністю біомаси вермикультури. Відомо, що білок дощових черв'яків характеризується збалансованим амінокислотним складом і високою перетравністю (Kostecka et al., 2022; Gunya et al., 2016), що сприяє ефективному використанню поживних речовин організмом креветок. Крім того, наявність біологічно активних сполук, ензимів і мікроелементів може позитивно впливати на метаболічні процеси та травну функцію, що опосередковано відображається у покращенні конверсії корму.

Слід також враховувати, що біомаса вермикультури, використана у дослідженні, була вирощена на субстраті з ферментованих відходів сої та зіпсованого силосу кукурудзи. Це може додатково впливати на її поживну цінність, оскільки склад біомаси черв'яків значною мірою залежить від субстрату вирощування (Kostecka et al., 2022; Perez-Cortia et al., 2019). Таким чином, отримані результати свідчать не лише про ефективність самої біомаси вермикультури, але й про доцільність використання органічних відходів як ресурсу для її виробництва, що відповідає принципам циркулярної економіки та сталого розвитку аквакультури.

Порівняно з традиційними кормовими інгредієнтами, такими як фарш риби, біомаса вермикультури має низку переваг: доступність сировини для вирощування, відносно низька

собівартість, екологічна безпечність та можливість локального виробництва. Це особливо актуально в умовах зниження обсягів виробництва рибного борошна і фаршу та зростання його вартості (Chen et al., 2024). Отже, використання біомаси вермикультури може розглядатися як економічно доцільна альтернатива у складі кормів для креветок.

Водночас результати дослідження вказують на необхідність подальших наукових пошуків. Зокрема, потребують уточнення питання довгострокового впливу біомаси вермикультури на фізіологічний стан креветок, імунітет, якість продукції та безпечність її використання у харчуванні людини. Перспективним є також дослідження оптимальних технологій підготовки біомаси (сушіння, ферментація, гідроліз) та її поєднання з іншими альтернативними джерелами білка.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що заміна рибного фаршу біомасою вермикультури на рівні 12,0 % є ефективним способом підвищення продуктивності молодяку *Macrobrachium rosenbergii* та покращення використання кормів, що має як біологічне, так і економічне обґрунтування.

Висновки.

1. Заміна у складі раціону 12,0 % фаршу із малоцінної прісноводної риби на біомасу вермикультури, вирощену в субстраті із вмістом зіпсованих відходів сої та силосу кукурудзи призводить до підвищення маси тіла креветки у 150 добовому віці на 17,9 %.

2. За згодовування креветкам кормосуміші із вмістом 12,0 % біомаси вермикультури середньодобові прирости підвищуються на 20,0 %.

3. Збільшення частки біомаси вермикультури у складі раціону до 12,0 % забезпечує зниження витрат корму на одиницю маси тіла креветок на 18,2 %.

References

- Abd El-Naby, A. S., Eid, A. E., Gaafar, A. Y., Sharawy, Z., Khattaby, A. A., El-sharawy, M. S., & Asely, A. M. (2023). Overall evaluation of the replacement of fermented soybean to fish meal in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei* diet: growth, health status, and hepatopancreas histomorphology. *Aquaculture International*, 32, 1665-1683. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01234-0>
- Arıman Karabulut, H., Zeki Kurtoğlu, I., Yüksek, T., & Osmanoğlu, M. I. (2016). Use of worm meal as animal protein source in fish feed. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. 1(2), 64-69. <https://doi.org/10.35229/jaes.273810>
- Chen, Y., Mitra, A., Rahimnejad, S., Chi, S., Kumar, V., Tan, B., Niu, J., & Xie, S. (2024). Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects, *Reviews in Aquaculture*, 16(1):382-409. <https://doi.org/10.1111/raq.12843>
- Chen, Y., Zhuang, Z., Liu, J., Wang, Z., Guo, Y., Chen, A., Chen, B., Zhao, W., & Niu, J. (2023). Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis. *Comparative biochemistry and physiology. Part D, Genomics & proteomics*, 46, 101080. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2023.101080>
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velásquez, A. V., Kobayashi, Y., Hager, J. V., & Webster, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473, 337-344. DOI: [10.1016/J.AQUACULTURE.2017.02.022](https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.02.022)
- Garczyńska, M., Paćzka, G., Podolak, A., Mazur-Paćzka, A., Szura, R., Butt, K. R., & Kostecka, J. (2020). Effects of owinema bio-preparation on vermicomposting in earthworm ecological boxes. *Applied Sciences*, 10(2), 456. <https://doi.org/10.3390/app10020456>
- Gunya, B., Masika, P.J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2016). Nutrient composition and fatty acid profiles of oven-dried and freeze-dried earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of Food and Nutrition Research*, 4(6), 343-348. <https://doi.org/10.12691/jfnr-4-6-1>.
- Herasymenko V.H., Herasymenko M.O., & Tsvilikhovskiy M.I. (2006) Biotekhnolohiia: Pidruchnyk. 240-380.

- Kasamechotchung, C., Munkongwongsiri, N., Plaipetch, P., Lertsiri, K., Thitamadee, S., Vanichviriyakit, R., Khidprasert, S., Sritunyalucksana, K., Façanha, F. N., & Kruangkum, T. (2025). Effect of partial and total replacement of fishmeal by soybean meal in feed on growth and gut performance of *Penaeus vannamei*. *Scientific reports*, 15(1), 451. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83494-1>
- Kostecka J., Garczyńska M., Paçzka G., & Mazur-Paçzka A. (2022). Chemical composition of earthworm (*Eisenia fetida* Sav.) biomass and selected determinants for its production. *Journal of Ecological Engineering*, 23(7), 169–179 <https://doi.org/10.12911/22998993/149940>
- Kovtun, P. V., & Merzlov, S. V. (2023). Application of the fermented broiler chickens manure under different aeration regimes during vermiculture cultivation. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences*, 25(99), 108–113. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9918>
- Lin, H., Liang, X., Han, F., Luo, X., & Li, E. (2023). Growth, biochemical characteristics, flesh quality, and gut microbiota of the pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) fed a defatted superworm (*Zophobas atratus*) larvae meal. *Aquaculture nutrition*, 8627246. <https://doi.org/10.1155/2023/8627246>
- Motte, C., Rios, A., Lefebvre, T., Do, H., Henry, M., & Jintasataporn, O. (2019). Replacing fish meal with defatted insect meal (yellow mealworm *Tenebrio molitor*) improves the growth and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals : an open access journal from MDPI*, 9(5), 258. <https://doi.org/10.3390/ani9050258>
- Osipenko I. S., & Merzlov S. V. (2023). Biokhimichniy ta khimichniy sklad biomasy vermykultury, vyroshchenoї na poslidi pytsi, fermentovanoho pryskorenym metodom. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten DNDKI veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok Instytutu biolohii tvaryn. Lviv*. 24(1), 105-112. <https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.15>
- Panini, R. L., Pinto, S. S., Nóbrega, R. O., Vieira, F. N., Fracalossi, D. M., Samuels, R. I., Prudêncio, E. S., Silva, C. P., & Amboni, R. D. M. C. (2017). Effects of dietary replacement of fishmeal by mealworm meal on muscle quality of farmed shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 102, 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.017>
- Perez-Corria, K., Botello-Leon, A., Mauro-Felix, A.K., Riviera-Pineda, F., Viana, M.T., Cuello-Perez, M., Botello-Rodriguez, A., & Martinez-Aguilar, Y. (2019). Chemical composition of earthworm (*Eisenia fetida*) co-dried with vegetable meals as a animal feed. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 79–92. <https://doi.org/10.19053/012228420.v16.n22019.9130>
- Rachmawati, D., & Nurhayati, D. (2022). Effect of fish meal replacement with earthworm and maggot meals on feed utilization and growth of banana shrimp (*Penaeus merguensis*). *AAFL Bioflux*, 15(3), 1470-1478.
- Selden, P., DuPonte, M., Sipes, B., Dinges, K., & Vasudevan, P. (2005). Small-scale vermicomposting. Cooperative Extension Service. *Home Gard*, 45, 1–4.
- Shin, J., & Lee, K. J. (2021). Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses. *PloS one*, 16 (11), e0260305. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260305>.