

УДК 637.8:577.32

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.25>

ПОТЕНЦІАЛ ІСТІВНИХ КОМАХ ЯК НОВОГО ДЖЕРЕЛА БІОАКТИВНИХ СПОЛУК

Голембовська Н.В. – к.т.н.,

доцент кафедри технології м'ясних рибних та морепродуктів,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0001-8159-4020

Ізраєлян В.М. – к.т.н.,

доцент кафедри технології м'ясних рибних та морепродуктів,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-7242-3227

Статкевич О.І. – д.філос. (PhD),

старший викладач кафедри біотехнології і екології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-7157-4912

Баль-Прилипко Л.В. – д.т.н.,

професор кафедри громадського здоров'я та нутриціології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-9489-8610

Коломієць Ю.В. – д.с.-г.н.,

професор кафедри біотехнології і екології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-1919-6336

У роботі представлено результати комплексного дослідження потенціалу істівних комах як альтернативного джерела біологічно цінних поживних і біоактивних сполук у контексті зростання чисельності населення, загострення проблеми продовольчої безпеки та обмеженості традиційних білкових ресурсів. Особливу увагу приділено личинкам мухи чорної львінки (*Hermetia illucens*), які характеризуються високою ефективністю біоконверсії органічних відходів, швидким приростом біомаси та значним вмістом білків, ліпідів і мінеральних речовин.

Метою дослідження було наукове обґрунтування доцільності використання личинок *Hermetia illucens* як перспективної сировини для харчових технологій і кормовиробництва шляхом вивчення впливу різних поживних субстратів на їх ріст, життєздатність і біохімічний склад. У ході експериментів личинок вирощували на субстратах різного походження, зокрема кормах тварин, харчових відходах та відходах тваринництва, з подальшим визначенням показників приросту біомаси, рівня утилізації субстрату, життєздатності та фізико-хімічних характеристик біомаси.

Встановлено, що тип поживного середовища суттєво впливає на інтенсивність росту личинок і накопичення поживних речовин. Найбільш сприятливими для формування білково-ліпідного складу виявилися зерново-рослинні субстрати, за яких середній вміст білка в живій біомасі досягав 16,8 %, жиру – 20,4 %, а показник життєздатності перевищував 95 %. Личинки ефективно скорочували масу органічних відходів на 42–57 %, що підтверджує їх екологічну доцільність як інструменту біоутилізації. Вміст золи на рівні 2,5–6,9 % свідчить про високий потенціал личинок як джерела мінеральних речовин.

Отримані результати підтверджують можливість використання біомаси личинок *Hermetia illucens* як альтернативного джерела високоякісного білка та функціонального інгредієнта у виробництві харчових продуктів, зокрема високобілкових рибних виробів. Практичне значення роботи полягає у формуванні науково обґрунтованих підходів до використання комах у харчових технологіях з урахуванням екологічних, економічних і технологічних аспектів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінку безпечності, мікробіологічних показників та впливу технологічної обробки біомаси личинок на якість готової продукції.

Ключові слова: сапрофаг, чорна львінка, розведення, біомаса, адаптація, харчова цінність, органічні відходи.

Holembovska N.V., Israelian V.M., Statkevych O.I., Bal-Prylypko L.V., Kolomiets Yu.V.
The potential of edible insects as a new source of bioactive compounds

The paper presents the results of a comprehensive study on the potential of edible insects as an alternative source of biologically valuable nutrients and bioactive compounds, in the context of population growth, the exacerbation of food security issues, and the limitation of traditional protein resources. Particular attention is paid to the larvae of the black lionfly (*Hermetia illucens*), which are characterized by high efficiency of bioconversion of organic waste, rapid biomass growth, and a significant content of proteins, lipids, and minerals.

The aim of this study was to scientifically substantiate the feasibility of using *Hermetia illucens* larvae as a promising raw material for food technologies and feed production by investigating the influence of various nutrient substrates on their growth, viability, and biochemical composition. During the experiments, larvae were grown on substrates of various origins, including animal feed, food waste, and livestock waste, with subsequent determination of biomass growth rates, substrate utilization rate, viability, and physicochemical characteristics of biomass.

It was found that the type of nutrient medium significantly affects the intensity of larval growth and nutrient accumulation. Grain-plant substrates were the most favorable for the formation of protein-lipid composition, in which the average protein content in live biomass reached 16.8%, fat – 20.4%, and the viability index exceeded 95%. Larvae effectively reduced the mass of organic waste by 42–57%, which confirms their environmental feasibility as a biorecycling tool. The ash content at the level of 2.5–6.9% indicates the high potential of larvae as a source of minerals.

The results obtained confirm the possibility of using *Hermetia illucens* larval biomass as an alternative source of high-quality protein and functional ingredient in the production of food products, in particular, high-protein fish products. The practical significance of the work lies in the formation of scientifically sound approaches to the use of insects in food technologies, taking into account environmental, economic and technological aspects. Further research should be directed to assessing the safety, microbiological indicators and the impact of technological processing of larval biomass on the quality of finished products.

Key words: saprophage, black lionfish, breeding, biomass, adaptation, nutritional value, organic waste.

Постановка проблеми. Із зростанням чисельності населення планети зростає і потреба у пошуку нових джерел харчових ресурсів, насамперед білка, окрім традиційних – м'яса, риби та штучно синтезованих білкових продуктів [1]. Серед альтернативних варіантів усе більше уваги привертає ентомофагія – вживання комах у їжу, що розглядається як екологічно безпечний, доступний та поживний варіант [2].

Порівняно з традиційними джерелами тваринного білка – такими як риба чи свійські тварини – комахи мають низку суттєвих переваг [3].

Вони надзвичайно поширені: за оцінками, на кожну людину у світі припадає близько 40 тонн цих організмів. Крім того, ентомологічні види відзначаються більшою харчовою ефективністю, адже для виробництва еквівалентної кількості поживних речовин споживають менше ресурсів і формують значно нижчі обсяги викидів парникових газів у навколишнє середовище [4].

У ряді країн, зокрема в Таїланді, комахи вже інтегровані в щоденний раціон населення та навіть розглядаються як різновид фаст-фуду. Їх розведення потребує мінімальних обсягів води й інших ресурсів, що робить такий спосіб отримання харчової сировини економічно вигідним. Крім цього, комахи характеризуються високою

концентрацією білка, низьким вмістом жирів і холестерину, а також значною кількістю мінеральних елементів, серед яких особливе значення мають кальцій і залізо [5].

У світлі посилення глобального дефіциту харчових ресурсів, необхідності гарантування продовольчої безпеки та мінімізації впливу на навколишнє середовище, дослідники та спеціалісти харчової індустрії все частіше звертають увагу на нетрадиційні джерела поживних речовин. Одним із таких альтернативних рішень є використання їстівних комах, які можуть слугувати джерелом не лише білків, жирів і мінеральних речовин, а й цінних біоактивних компонентів із вираженими антиоксидантними, протизапальними, антимікробними та імуностимулювальними властивостями [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До складу комах входять пептиди, полісахариди, поліненасичені жирні кислоти, вітаміни та фенольні сполуки, що мають значний потенціал для використання у створенні новітніх функціональних продуктів харчування. Зокрема, дослідження свідчать про те, що такі види, як *Tenebrio molitor*, *Acheta domestica* і *Hermetia illucens*, характеризуються високим вмістом токоферолів, каротиноїдів, хітину та його похідних, які можуть виконувати роль природних антиоксидантів [7].

Крім високої харчової цінності, біоактивні речовини, що містяться в комах, демонструють позитивний вплив на здоров'я, зокрема у контексті профілактики таких хронічних захворювань, як діабет, ожиріння та серцево-судинні розлади [8]. Тому аналіз складу й функціональних властивостей цих сполук становить значний інтерес як для науковців у сфері харчування, так і для розробників інноваційних харчових інгредієнтів.

Аналіз літературних джерел показав більш широкий спектр використання цієї групи живих організмів, при цьому, спостерігається великий інтерес до комах з високоефективною біоконверсією різноманітних твердих органічних відходів, а також як джерело кормового білку та жирів з унікальними властивостями. У даному випадку йде мова про широковідомий вид мухи *Hermetia illucens* [9, 10]. Природний ареал популяції мухи спостерігається у регіонах з субтропічним кліматом, зокрема, вона наявна у Західній і Північній Америці. Особливістю цього виду комах є те, що вони здатні цілий рік розвиватись в чистій культурі у штучностворених умовах, що у свою чергу це дає можливість вирощувати *H. illucens* L. у лабораторних умовах [11-14].

Станом на 2024 рік за даними Systema Dipterozum найбільше людських спостережень за популяцією мух відмічались у різноманітних наукових установах США (6450 знахідок), друге місце – посідає Коста Ріка (1406 знахідок). Проте є ряд країн, де зростає інтенсивність досліджень, зокрема, Австралія (1395), Мексика (812), Франція (679), Бразилія (654), Індія (619), Іспанія (407), Італія (297), Хорватія (85), Австрія (40), Бельгія (22) та ін (рис. 1).

За оцінками експертів, попит на білок комах у кормах для тварин до 2030 р. сягне 500 000 т. Деякі аналітики прогнозують, що до 2027 р. галузь вирощування комах перевищить 3 мільярди доларів. Це означає зростання на 33 % упродовж наступних років [16, 17]. Справді, попит на білок продовжує зростати тими самими темпами, що і населення планети.

Останні дослідження та публікації свідчать, що комахи розглядаються не лише як «резервний» засіб подолання дефіциту поживних речовин у раціоні людини, а й як продукти з високими смаковими характеристиками, які часто відносять до делікатесів. Їх популярність зростає у країнах Західної Європи, де комахи поступово сприймаються як перспективний та екзотичний харчовий продукт [18].

Зростаючий попит на м'ясну продукцію та підвищення вартості кормів стимулюють пошук нових, альтернативних джерел білка. Серед можливих рішень дослідники називають технології вирощування м'яса в культуральних середовищах [19], активізацію промислового вирощування та вилування морських водоростей [20] використання генетично модифікованих рослин і грибів, розведення дрібних сільськогосподарських тварин [21], а також розвиток комахівництва як конкурентоспроможного напрямку.



Рис. 1. Карта поширення виду *Hermetia Illucens L.* (спостереження у період 1897 – 2024 рр.) [15]

Окрім цього, вирощування комах має значно менший вплив на кліматичні зміни порівняно з традиційним тваринництвом. Харчові види комах утворюють істотно менші обсяги парникових газів, ніж більшість сільськогосподарських тварин. Сучасні технології розведення не потребують великих земельних площ чи їхнього додаткового освоєння, а швидкість відтворення популяцій комах у десятки разів перевищує показники відтворення свійських тварин. Водночас ентомофагія має й соціально-економічний ефект – вона сприяє підвищенню рівня життя населення, особливо в регіонах із обмеженими продовольчими ресурсами [22].

Муха чорний солдат (*Hermetia illucens*) розглядається як один із найбільш перспективних видів для біоконверсії органічних відходів. Її личинки здатні переробляти зіпсовані молочні продукти, м'ясо та відходи тваринництва, перетворюючи їх у біомасу з ефективністю до 58%. При цьому вони трансформують азот і фосфор із відходів у доступні форми на рівні 61–70% та 30–50% відповідно [23].

Наразі, в Україні ця тема мало вивчена. Відомі спорадичні дослідження, які частково показують можливість використання комах як джерела збалансованих поживних речовин для харчових технологій. Зрештою, мета наших досліджень полягає у порівняльній оцінці біохімічного складу личинки в залежності від адаптації трофічної спеціалізації мухи у специфічних умовах доместикації виду.

Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні доцільності використання комах, зокрема личинок мухи чорної львінки (*Hermetia illucens*), як альтернативного джерела високоякісних білків та інших біологічно цінних компонентів, а також у визначенні перспектив їх застосування у харчових технологіях і кормовиробництві з урахуванням екологічних, економічних та соціальних чинників.

Отже, комплексне дослідження біохімічних властивостей личинок за різних умов вирощування, визначення оптимальних методів їх переробки та

впровадження у харчові й кормові системи становить актуальний і перспективний напрям сучасної науки. Очікується, що отримані результати дозволять сформувати науково підтвержені підходи до використання комах як повноцінного джерела поживних речовин, що сприятиме зміцненню продовольчої безпеки, підвищенню ефективності агропромислового виробництва та зниженню екологічних ризиків.

Матеріали та методи. Упродовж тривалого терміну часу в Національному університеті біоресурсів і природокористування України підтримується лабораторна культура ряду Diptera вид *Hermetia Illucens*, якого вирощуємо за відомими технологіями у авторській модифікації.

Видову приналежність визначали за допомогою морфологічних ознак. Зокрема, довжина імаго коливалась в межах 15 – 20 мм, постановка голови прогнатична, слабковиражений лижучий ротовий апарат, антени у два рази довші голови та мають на кінці продовгуватий сегмент, ноги бігальні з характерним забарвленням (рис. 2). Забарвлення дорослої особини чорне з димчатыми прозорими крилами. Присутній статевий диморфізм, у вигляді безбарвних волосків в нижній частині голови.

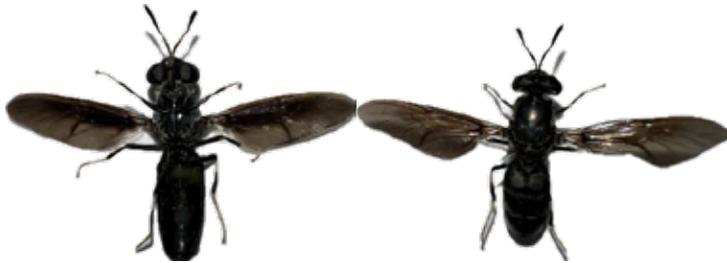


Рис. 2. Імагінальна стадія мухи *Hermetia Illucens* L.

Личинкова стадія поділялась на декілька вікових груп, які визначали за лінійними параметрами біоматеріалу. При цьому, початкова стадія від моменту відродження сягала до $5,0 \pm 0,3$ мм, перша (I) стадія тривалістю розвитку у 6 діб становила до $10 \pm 0,8$ мм, друга (II) стадія тривалістю у 9 діб – до $15 \pm 1,2$ мм, третя вікова стадія тривалістю розвитку 12 днів – до $18 \pm 1,3$ мм та четверта (VI) група личинок тривалістю у понад 15 діб – до 28 мм (рис. 2). Завершальна стадія розвитку (передлячка) тривалістю розвитку 10 діб становила до 19 мм.

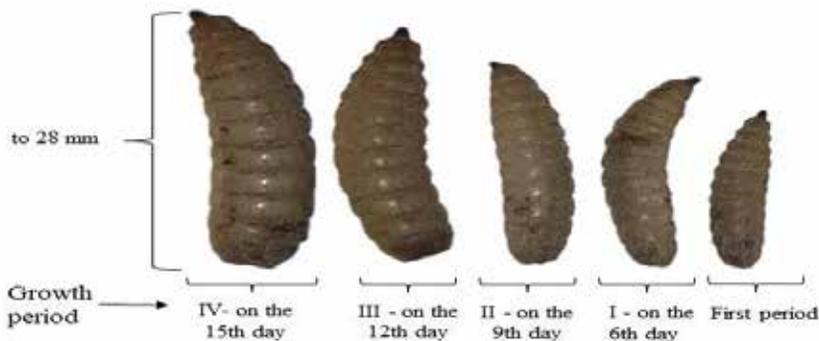


Рис. 3. Вікова структура личинок мухи *Hermetia Illucens* L.

Комплекс лабораторних досліджень які передбачали технологічні прийоми розведення мухи проводився протягом 2022 – 2025 рр. Дослідні популяції підтримували в оптимальних для їхнього розвитку гідротермічних умовах за допомогою клімокамери Memmert HPP260eso. Імаго мухи утримували у спеціальних садках, куди поміщали пристрої для збору яєць. Ембріональний розвиток яєць відбувався за таких параметрів: $t - 25 - 28^{\circ}\text{C}$, відносної вологості 70 % та 14:10 Д:Н фотоперіоді. Після відродження личинок їх сортували по 100 шт. і експонували у пластикові контейнери з різними варіантами поживного субстрату [24].

Експериментальні випробування. Середній приріст біомаси личинок мухи у певний проміжок часу розвитку вимірювали кожні 3 доби експерименту, відокремлюючи личинки мухи від залишків поживного середовища [24]. При цьому, для кількісного визначення приросту біомаси личинок кожні 3 доби відбирали проби для реєстрації їх ваги та визначали середнє значення за формулою:

$$M_{(I-IV)} = \frac{m_1(\text{g}) + m_2(\text{g}) \dots m_n}{N}, \text{ де} \quad (1)$$

$M_{(I-IV)}$ – маса свіжої личинки у різний проміжок часу розвитку;

$m_1 + m_2 \dots m_n$ – маса живої личинки;

N – кількість аналізованих проб.

Середній приріст біомаси личинок за весь період розвитку вираховувався за формулою:

Average increase in biomass = $m_I(\text{g}) - m_{IV}(\text{g})$, де

m_I – середня початкова маса личинок період розвитку I;

m_{IV} – кінцева середня маса личинок період розвитку IV.

Для визначення рівня скорочення поживного середовища лялечки мухи сепарують з раціону і проводять зважування кожного зразку. Показник розраховували із застосуванням наступної формули:

$$\text{Level of ration reduc.}(\%) = \frac{m_i(\text{g}) - m_f(\text{g})}{m_i(\text{g})} * 100\%, \text{ де}$$

$m_i(\text{g})$ – початкова маса субстрату;

$m_f(\text{g})$ – кінцева маса субстрату.

Життєздатність личинок визначали у кінці експерименту підраховуючи лялечки та відроджених з них імаго у кожному варіанті, розрахунок проводили за формулою:

$$D(\%) = \frac{I(\text{pcs.})}{L(\text{pcs.})} * 100\%, \text{ де}$$

$D(\%)$ – життєздатність личинок;

$I(\text{pcs.})$ – загальна кількість імаго мухи *H. Illucens*, що відродилась;

$L(\text{pcs.})$ – загальна кількість лялечок *H. Illucens* L.

Масову частку вологи визначали методом висушування зразка продукту до постійної маси за температури $100-105^{\circ}\text{C}$; масову частку золи – ваговим методом, після мінералізації наважки продукту в муфельній печі за температури $500-600^{\circ}\text{C}$; масову частку ліпідів методом Сокслета, який полягає в тому, що жир зважують після його екстракції розчинником із сухої наважки в апараті Сокслета, заснованому на визначенні зміни маси зразка після екстракції жиру розчинником; масову частку білка – визначенням загального азоту за методом Кьельдаля. Озолнення зразків проводили на Velp Scientifica серії DK6 (Італія) з вакуумним насосом

(JP). Відгонку здійснювали на апараті для перегонки з парою Velp Scientifica UDK 129 (Італія) [25].

Експериментальні дані оброблені методами математичної статистики в редакторі Microsoft Excel, STATISTICA. Точність отриманих експериментальних даних визначали за допомогою критерію Стьюдента за довірчої ймовірності $\leq 0,05$ за кількості паралельних визначень не менше 5. Задачі лінійного програмування вирішували з використанням настройки табличного процесора MS Excel «Пошук рішення» (Excel Solver) [25].

Виклад основного матеріалу. Для масового вирощування мухи використовуються різноманітні органічні поживні середовища в якості корму. Адаптація личинок мухи до раціону була направлена в першу чергу до відносно гомеостатичних умов живлення, що у результаті забезпечить надходження в організм необхідних енергетичних та пластичних речовин. Зокрема, підбір субстрату здійснювався таким чином, щоб вирішувалась проблема біоутилізації відходів та отримувати білкову біомасу личинок.

Склад поживного середовища для відгодівлі личинок мухи демонструє таблиця 1, зокрема, раціон був поділений на три груп: корма тварин (жом цукрових буряків, пшеничні висівки), харчові відходи (кондитерські вироби, обрізки овочів, фруктів та зелені) та відходи тваринництва (пташиний послід, гній свинячий). Спостереження показали, що набір і відповідність основних компонентів субстратів дуже істотно має вплив на біологічні показники личинок. Зокрема, оцінювався приріст маси личинок у різні проміжки часу розвитку, життєздатність та рівень скорочення субстрату.

На рисунку 4 можна спостерігати динаміку приросту живої біомаси личинок, зокрема, на різних субстратах отримали різні значення: в середньому від 5,65 г (відходи тваринництва) до 10,52 г (корма тварин). При цьому, рівень скорочення відходів за весь період розвитку личинок коливався в межах 42,3 – 57,3 %. Можна констатувати, що найбільш сприятливим раціоном для вирощування личинок *H. Illucens* L. відбувається при використанні зерново-овочевої суміші. Особливістю такого субстрату полягає у високому вмісту клітковини, що сприяє накопиченню біомаси личинок.

Показник життєздатності мухи (в середньому від 84 – 98 \pm 3%, табл. 2) підвищувався за рахунок структури субстрату, а саме вологості та аерації. Отримані нами результати досліджень свідчать, що раціон до складу, якого входять пшеничні висівки, підтримував оптимальні гідротермічні умови, що спричинювало безперешкодне линяння личинок, заляльковування з подальшим відродження імаго.

Типи субстратів, на яких вирощували личинки, суттєво впливають на їх біохімічний склад. Наші спостереження показали, що личинки вирощені на зернопродуктах краще накопичували вміст білків та ліпідів, ніж личинки які споживали овочі та фрукти. Ми спостерігали негативну динаміку росту біомаси у субстратах відходів тваринництва, зокрема ріст та розвиток уповільнювався, що у свою чергу спричинювало низький відсоток накопичення білків та ліпідів, що становило 9,05 – 12,15 % та 12,11 – 14,36 % відповідно. Незважаючи на таку різноманітність, усі значення вказують, що муха вважається хорошим джерелом білків і жирів, при цьому, за оптимального субстрату в середньому накопичується 16,82 \pm 1,29% білка та 20,38 \pm 0,78% жиру. За вмістом вологи, яка становить 55,91-75,30%, спостерігаємо різні значення в личинках, які мають таку тенденцію зумовлену використанням субстратів при годуванні. Позитивну динаміку показує вміст золи, який коливається в межах 2,55-6,89%, що свідчить про високий вміст мінеральних

речовин в живій біомасі личинки. Отримані дані констатують, що личинки мухи серед інших комах теж є досить непоганою альтернативою джерела поживних речовин в харчових технологія.

Таблиця 1
Застосування штучного поживного середовища в залежності від адаптивних особливостей живлення та травної системи личинок *Hermetia Illucens L.*

Показники які, досліджуються		**Групи поживних середовищ для виховання личинок мухи						
		Корма тварин		Харчові відходи (побутові, безпечні відходи)			Відходи тваринництва	
		ЖЦ	ПВ	КВ	ОФ	МВ	ПП	ГС
Маса свіжої личинки у різний проміжок часу розвитку, г	*I	9,31±0,4a	9,80±0,2a	6,33±0,76	8,65±0,3a	7,3±0,46	6,52±0,26	6,10±0,36
	II	12,30±0,1a	13,7±0,4a	9,50±0,56	12,7±0,2a	11,0±0,5a	8,70±0,36	7,93±0,56
	III	16,32±0,3a	18,4±0,6a	12,0±0,36	15,5±0,5a	14,3±0,6a	9,14±0,26	8,98±0,46
	IV	19,5±0,2a	20,7±0,3a	16,3±0,46	17,8±0,6a	16,0±0,26	12,80±0,76	11,13±0,26
Середній приріст маси личинок за весь період споживання харчового раціону, г		10,52±1,2		9,27±1,1			5,65±1,4	
Життєздатність личинок, %		98±1		92±2			84±1	
Рівень скорочення відходів за весь період розвитку личинок, %		45,7±0,9		57,3±1,1			42,3±1,3	

Замітка. *Періоди розвитку: I – на 6-й день, II – на 9-й день, III – на 12-й день, IV – на 15-й день.

**Групи поживного середовища: ЖЦ – жом цукрових буряків, ПВ – пшеничні висівки, КВ – кондитерські вироби, ОФ – обрізки овочів, фруктів та зелені, МВ – м'ясні відходи, ПП – птишиний послід, ГС – гній свинячий. Результати повторних вимірювань отримані в умовах збіжності (в межах повторюваності 5 %, довірна ймовірність $P=0,95$).

** *Значення, відмічене однією і тією ж літерою, достовірно не відрізняється при $P < 0,05$.

Личинки *Hermetia Illucens* є перспективними харчовими інгредієнтами, оскільки вони містять не тільки цінні поживні речовини, але й мають додаткові речовини, що несуть користь для здоров'я людей порівняно зі звичайними джерелами надходження органічних сполук. Незважаючи на те, що виробництво білка з комах знаходиться на початковому етапі, експериментальні дослідження показали вагомий позитивні результати.

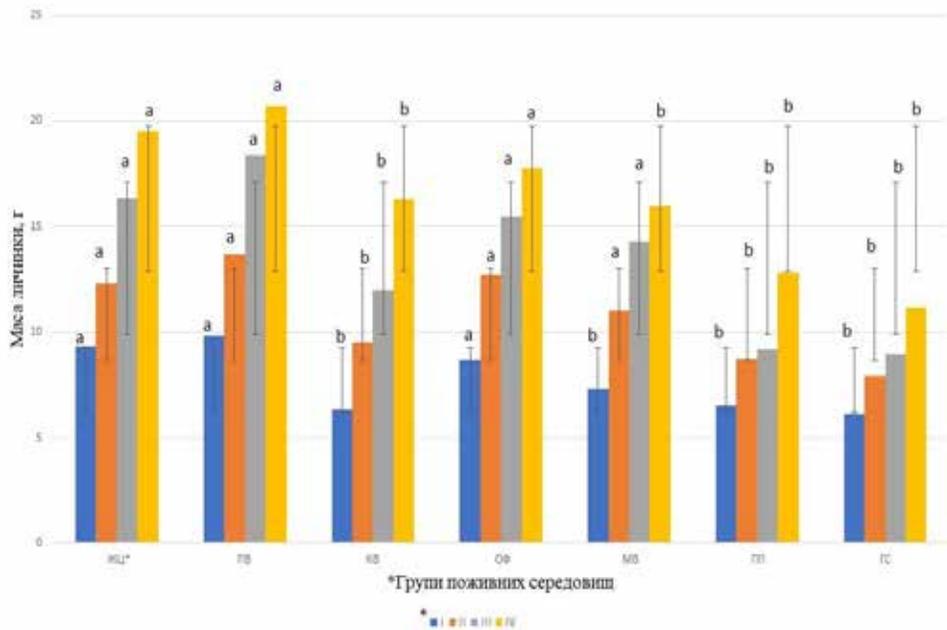


Рис 4. Вплив штучного поживного середовища на приріст маси личинки у різних проміжках часу розвитку (с)

*Групи поживного середовища: ЖЦ – жом цукрових буряків, ПВ – пшеничні висівки, КВ – кондитерські вироби, ОФ – обрізки овочів, фруктів та зелені, МВ – м'ясні відходи, ПП – птишиний послід, ГС – гній свинячий.

У результаті досліджень встановлено, що жива біомаса личинки *Hermetia Illucens*, залежно від стадії розвитку і субстрату містять корисні органічні сполуки, які мають комерційну та промислову цінність: 9-16,82 % білка, 12-20,38% жиру, 55-75,3 % вологи, 3-6,9 % золи (рис. 5).

Личинки мухи *Hermetia Illucens* L., як джерело білка та жирних кислот є одними з найбільш спеціалізованих харчових добавок для харчової промисловості в майбутньому, з метою покращення якісних та поживних характеристик кінцевої продукції.

Обговорення. Муха *Hermetia Illucens* L. є одним із майже 2000 видів комах яку можна споживати у дієтичному та геродієтичному харчуванні людини [26-30]. Наразі відомі багаточисленні дослідження використання біомаси личинок як кормового інгредієнту для вигодовлі тварин [31-33]. Проте, наші дослідження показали принципову можливість лабораторного розведення популяції мухи *Hermetia Illucens* L. у цілях накопичення цінного білку личинок мухи та використання його харчових технологіях для людства. У ході випробовувань з точки зору поживності біомаси личинок, встановлено, що комаха *Hermetia Illucens* L. може мати важливе значення для продовольства та маркетингу як здорової альтернативи м'ясу тварин. Власне йде мова про використання личинок як часткова заміна м'ясопродуктів. Найбільша перевага такої сировини у харчовій промисловості, полягає в їх меншому впливі на навколишнє середовище, зокрема, зменшення в рази викидів парникових газів та скорочує надмірне використання природних ресурсів (земля, вода та ін.) [16].

Таблиця 2

Хімічний склад живої біомаси личинок *H. Шусенс*, ($n = 5, p \leq 0,05$)

Показники які, досліджуються, %		Групи поживних середовищ для відгодівлі личинок мухи		
		Корма тварин	Харчові відходи (побутові, безпечні відходи)	Відходи тваринництва
Вміст вологи	*I	64,06±0,81a**	69,23±1,4a	75,30±1,8б
	II	61,47±1,12a	66,83±0,89a	74,11±0,45б
	III	59,34±2,56a	63,33±0,35a	70,13±0,28б
	IV	55,91±1,41a	60,18±0,13a	68,81±0,36б
Вміст білка	*I	14,06±0,21a	11,82±0,39б	9,05±0,57б
	II	15,12±3,47a	12,12±0,24a	10,14±0,41б
	III	15,23±4,87a	13,16±0,68a	12,03±0,12a
	IV	16,82±1,29a	14,23±0,74a	12,15±0,48a
Вміст жиру	*I	16,21±3,14a	15,41±0,18a	12,11±0,89б
	II	17,29±0,78a	16,79±0,45a	12,09±0,65б
	III	18,78±0,56a	18,53±0,63a	13,59±0,87б
	IV	20,38±0,78a	19,44±0,51a	14,36±0,21б
Вміст золи	*I	5,67±0,15a	3,54±0,23б	2,55±0,33б
	II	6,12±0,63a	4,26±0,46a	3,66±0,50a
	III	6,65±0,46a	4,98±0,65a	4,25±0,44a
	IV	6,89±0,65a	6,15±0,15a	4,68±0,37б

Замітка. *Періоди розвитку: I – на 6-й день, II- на 9-й день, III – на 12-й день, IV – на 15-й день.

Результати повторних вимірювань отримані в умовах збіжності (в межах повторюваності 5 %, довірча ймовірність $P=0,95$)

**Значення, відмічене однією і тією ж літерою, достовірно не відрізняється при $P < 0,05$.

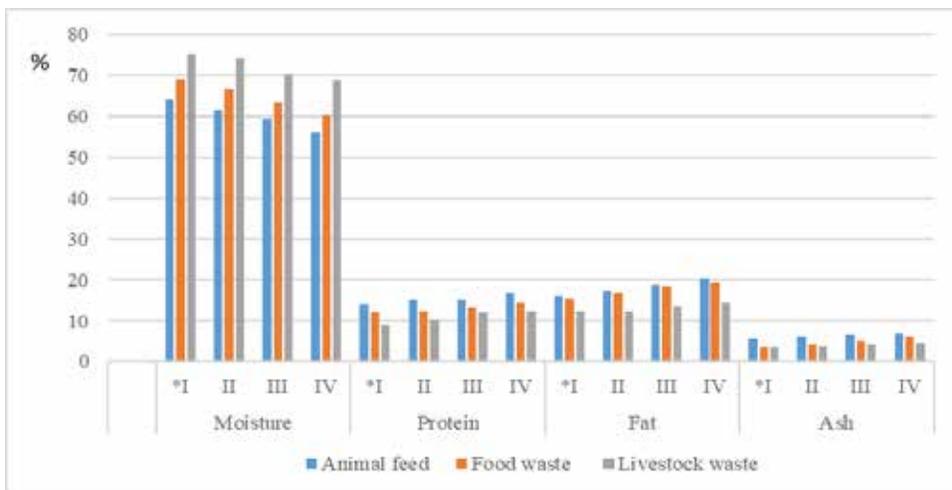


Рис. 5. Розподіл поживних речовин у личинках мухи в залежності від харчового раціону

Замітка. *Періоди розвитку: I – на 6-й день, II- на 9-й день, III – на 12-й день, IV – на 15-й день.

Комахи, які містять велику кількість білка, сприймаються як потенційна заміна м'яса [34, 35, 17]. У дослідницькій літературі вказаний широкий діапазон інформації про ряд видів комах та їх застосування в їжу [17]. *H. illucens* залишається поза діапазоном досліджень [31]. Незважаючи на велике висвітлення тем, пов'язаних з комахами у літературі, існуючим дослідженням все ще бракує інформації в промислових масштабах.

Акцентуємо увагу на тому, що отримані нами результати досліджень не спостерігають статистичної достовірної різниці по показниках біохімічного складу личинок мухи. Зокрема, спостереження показали, що *H. illucens* відзначається високим рівнем протеїну (37–63% від сухої речовини) і жирів (до 49%), а також кількома макро- і мікроелементами, важливими для розвитку тварин і харчування людини. У літературних даних також вказано, що біомаса комах може мати специфічні антимікробні властивості [35, 36]. Відсутність таких відмінностей з нашими дослідженнями свідчать про те, що запропоновані нами види раціонів вигодівлі личинок не призводить до негативних наслідків втрати енергетичних ресурсів і дозволяють накопичувати живу біомасу личинок з високим вмістом поживних речовин.

Повідомляється багато прикладів запропонованих поживних середовищ для лабораторного утримання популяції мухи *Hermetia Illucens* L. [24, 36]. Проте, ми адаптували сапрофага саме на широковідомих субстратах котрі притаманні для нашого регіону. Наші дослідження показали, загальні закономірності засвоєння поживних речовин у популяції мухи. Власне личинки сапрофага на запропонованих нами субстратах характеризувалися високою життєздатність, цей показник коливався в межах 84 – 98 %, що свідчить про здатність виду розвиватись на дієтах з низьким вмістом поживних речовин. Проте, спостерігались зміни у тривалості розвитку та накопичені маси личинок у порівнянні зі збалансованим субстратом. Так, найбільший приріст біомаси визначався у субстраті із зернових культур (висівки, шроти, комбікорма), ймовірно, такий ефект спричинив комбінований вміст білку та вологи (згідно даних дієта ПВ містить 15,6 г/100г білок).

Проте, безпечність харчових продуктів у всьому світі регулюється правовими нормами. Прикладом, країни ЄС у цьому відношенні мають більш суворі правила щодо комах в якості нових харчових ресурсів. За їхнім регламентом сировина має бути досліджена у всіх аспектах і тільки тоді комаха може використовуватись у харчовому раціоні людини [37-40].

У подальшому наші дослідження будуть направлені на більш детальні та глибокі дослідження безпечності та ризиків щодо споживання біомаси личинок як дієтичної добавки до харчового раціону людей. А саме, санітарні показники (мезофільні аеробні та факультативно-анаеробні організми), умовно-патогенні, патогенні, плісняві гриби та дріжджі, організми, які провокують псування продуктів, а також органолептичні показники та ін. Мікробіологічне аналізування дасть змогу оцінити якість біоматеріалу як сировини у харчових технологіях, а також виявити мікробіологічні чинники, які можуть негативно впливати на здоров'я людського організму.

Висновок. Підводячи підсумок можна констатувати, що популяції чорної львінки успішно адаптується та вирощується у країнах з помірно-континентальним кліматом, що дозволить її потенційно використовувати як джерело білку у харчових технологія людини. Біохімічний склад біомаси личинок наближається до показників м'ясних продуктів, це дає змогу використовувати її як дієтичну добавку. Не зважаючи, що на законодавчому рівні використання цієї сировини

у харчових раціонах людини не передбачено, проте саме наші подальші дослідження направлені вирішені цієї проблеми, адже сільськогосподарський сектор значно виріс за останні два десятиліття, як у землекористуванні, так і у виробництві продуктів харчування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Vovkotrub, V., Iakubchak, O., Vovkotrub, N., Shevchenko, L., Lebedenko, T., Holembovska, N., Pylypchuk, O., & Omelian, A. Quality and safety of pork meat after cooling and treatment with lactic starters. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 2024. 439–452. <https://doi.org/10.5219/1954>
2. Statkevych, O. I., Kolomiets, Y. V., Holembovska, N. V., Israelian, V. M., Babycho A., Slobodyanyuk, N. M., Babytskiy, A. I., & Statkevych, A. O. Effects of nutrient medium on various-age larvae of *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(4), 2024. 907-911. <https://doi.org/10.15421/0224131>
3. Kruk, O., Ugnivenko, A., Nosevych, D., Antoniuk, T., Slobodyanyuk, N., Israelian, V., ... & Naumenko, T. Beef quality and sensory traits in relation to subcutaneous fat color in dairy bulls. *Scifood*, 19, 2025. 327-342. <https://doi.org/10.5219/scifood.35>
4. Holembovska, N., Volkhova, T., Israelian, V., Statkevych, O., Dorozhko, V., Drozd, P., ... & Tverezovska, N. Optimization of the recipe of cooked sausage products with the addition of cuttlefish liver, red caviar, and spelt flour. *Scifood*, 19, 2025. 376-393. <https://doi.org/10.5219/scifood.46>
5. Razanova, O. P., & Beznosyuk, A. M. Prospects for the use of meal from black lionfish larvae in pig feeding. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University (Animal Husbandry)*. Issue 1 (56). 2024. Pp. 91-99. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v22i1.2390>
6. Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 2015. 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>
7. Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., & Ding, W. F., Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect science*, 25(2), 2018. 184-198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>
8. Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., & Roos, N. Edible insects in sustainable food systems. Vol. 10, 2018. pp. 978-3. Cham: Springer. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214823>
9. Metlitska, O.I., Melnychuk, S.D., Spiridonov, V.G. Insects – a source of nutrients and biologically active substances. *Bulletin of Agrarian Science. Series: Livestock, Veterinary Medicine*, 2017. pp. 29-35.
10. Salomone, R.; Saija, G.; Mondello, G.; Giannetto, A.; Fasulo, S.; Savastano, D. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of life cycle assessment to process using *Hermetia illucens*. *J. Clean. Prod.* 2017. pp. 890–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>
11. Cickova, H., Newton, G. L., Lacy, R. C. & Kozanek, M. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Manag.* 35, 2015. 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>
12. Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A., Savage, S. A value-added manure management-system using the black soldier fly. *Bioresour. Technol.* 50, 1994. pp. 275–279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)
13. Spranghers, T.; Noyez, A.; Schildermans, K.; De Clercq, P. Cold hardiness of the black soldier fly (diptera: Stratiomyidae). *J. Econ. Entomol.* 2017, 110, pp. 1501–1507. <https://doi.org/10.1093/jee/tox142>
14. Cullere, M.; Tasoniero, G.; Giaccone, V.; Acuti, G.; Marangon, A.; Dalle Zotte, A. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal*, 2017. 1–8. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001860>

15. Evenhuis, N. L., & PAPE, T. *Systema Dipteroorum* (version Nov 2024). In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, D. R. Hernández Robles, C. A. Plata Corredor, T. Stjernegaard Jeppesen, A. Örn, T. Pape, D. Hobern, S. Garnett, H. Little, R. E. DeWalt, K. Ma, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, C. Aedo, et al., *Catalogue of Life* (Version 2024-12-19). Catalogue of Life, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.48580/dglq4-3bz>
16. Judith, L. Capper, Sustainability and greenhouse gas emissions from beef production, Editor(s): Michael Dikeman, *Encyclopedia of Meat Sciences* (Third Edition), Elsevier, 2024. Pages 675-687b <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00172-1>.
17. Van Huis, A.; Van Itterbeeck, J.; Klunder, H.; Mertens, E.; Halloran, A.; Muir, G.; Vantomme, P. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy. 2013. p. 171.
18. Mlcek, J., Rop, J., Borkovcova, J. A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – a review. *V. 64. № 3. 2014. P. 147–157.* <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0099-8>
19. Fayaz, B., Fayaz, H. Prospectus of cultured meat – advancing meat alternatives. *J. Food Sci. Technol. V. 48. 2011. P. 125–140.*
20. Katayama, N., Ishikawa, Y., Takaoki, M. Entomophagy: A key to space agriculture. *Adv. Space Res. V. 41. 2008. pp. 701–705.* <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.01.027>
21. Paoletti, M.G. *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails.* Enfield. 2010. Science. 648 p.
22. Anankware, P.J., Fening, K.O., Osekre, E., Obeng-ofori, D. Insects as food and feed. *International J. of Agricultural Research and Review. V. 3. № 1. 2015. pp. 143–151.*
23. Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. Development of black soldier fly larvae fed dairy manure. *Environmental entomology, 37(1), 2008. pp. 11-15.* <https://doi.org/10.1093/ee/37.1.11>
24. Scala, A., Cammack, J.A., Salvia, R. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Sci Rep 10, 2020. 19448.* <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76571-8>
25. Слободянюк Н.М., Голембовська Н.В., Менчинська А.А., Андрощук О.С., Тулуб Д.О. *Технологія переробки риби.* К.: ЦП «Компринт», 2018. – 264 с.
26. Tomberlin, J.K.; Van Huis, A.; Benbow, M.E.; Jordan, H.; Astuti, D.A.; Azzollini, D.; Banks, I.; Bava, V.; Borgemeister, C.; Cammack, J.A. Protecting the environment through insect farming as a means to produce protein for use as livestock, poultry, and aquaculture feed. *J. Insects Food Feed, 1, 2015. pp. 307–309.* <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0098>
27. Meyer-Rochow, V.B.; Chakravorty, J. Notes on entomophagy and entomotherapy generally and information on the situation in India in particular. *Appl. Entomol. Zool, 48, 2013. pp. 105–112.*
28. Hanboonsong, Y. Edible insects and associated food habits in Thailand. *Forest insects as food: humans bite back, 173, 2010. pp. 182.*
29. Defoliart, G.R.; Dunkel, F.V.; Gracer, D. *The Food Insects Newsletter Volumes 1–13, 1988 through 2000: Chronicle of a Changing Culture Unabridged Collection of the Food Insects Newsletter;* Aardvark Global Publishing Company, L.L.C.: Salt Lake City, UT, USA. 2009. p. 414.
30. Megido, R.C.; Sablon, L.; Geuens, M.; Brostaux, Y.; Alabi, T.; Blecker, C.; Drugmand, D.; Haubruge, É.; Francis, F. Edible insects acceptance by belgian consumers: Promising attitude for entomophagy development. *J. Sens. Stud. 2014. 29, pp. 14–20.* <https://doi.org/10.1111/joss.12077>
31. Wang, Y. S., & Shelomi, M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods, 6(10), 2017. p. 91.* <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

32. Shelomi, M. The meat of affliction: Insects and the future of food as seen in expo 2015. *Trends Food Sci. Technol*, 56, 2016. pp. 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.004>
33. Veldkamp, T.; Bosch, G. Insects: A protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Anim. Front.* 5, 2015. pp. 45–50. <https://doi:10.2527/af.2015-0019>
34. Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., Heinz, V. Sustainability of insect use for feed and food: life cycle assessment perspective *J. Clean. Prod.*, 137, 2016. pp. 741–751, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>
35. Smetana, S., Mathys, A., Knoch, Heinz V. Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 20, 2015. pp. 1254–1267, <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
36. Elhag, O., Zhou, D., Song, Q., Soomro, A. A., Cai, M., Zheng, L., ... & Zhang, J. Screening, expression, purification and functional characterization of novel antimicrobial peptide genes from *Hermetia illucens* (L.). *PloS one*, 2017. 12(1), e0169582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169582>
37. Makkar, H, Tran, G, Heuzé, V and Ankers, P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197. 2014. pp. 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
38. Gowe, C. Review on potential use of fruit and vegetables by-products as a valuable source of natural food additives. *Food Sci. Qual. Manag.* 45, 2015. pp. 47–61.
39. Knowles, T.; Moody, R.; Mceachern, M.G. European food scares and their impact on EU food policy. *Br. Food J.*109, 2007. pp. 43–67. <https://doi.org/10.1108/00070700710718507>
40. Siegrist, M. Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products. *Trends Food Sci. Technol.* 2008. 19, pp. 603–608. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.017>
41. European Commission. Regulation (EU) 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. 2017. Available online: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2017.138.01.0092.01.ENG&toc=OJ:L:2017:138:TOC (accessed on 12 May 2024).

Дата першого надходження рукопису до видання: 21.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 22.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025