УДК 613.2:546.3:595.7
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.151.38

МІНЕРАЛЬНА ЦІННІСТЬ ТА БЕЗПЕЧНІСТЬ ЛИЧИНОК ЧОРНОЇ ЛЬВИНКИ (*HERMETIA ILLUCENS*)

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
Статкевич О.І. *– доктор філософії (PhD),*
старший викладач кафедри ентомології, інтегрованого захисту та карантину рослин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-7157-4912
Коломієць Ю.В. *– д.с.-г.н.,*
професор кафедри екобіотехнології та біорізноманіття,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-1919-6336
Баль І.М. *– доктор філософії (PhD),*
асистент кафедри аквакультури,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0007-1608-5263
Кононенко Р.В. *– к.вет.н.,*
доцент кафедри гідробіології та іхтіології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-7818-2583

У статті обґрунтовано перспективність використання їстівних комах як альтернативного джерела поживних і біологічно активних речовин у виробництві харчових продуктів. Метою дослідження було комплексне оцінювання мінерального складу личинок чорної львинки (Hermetia illucens), визначення вмісту макро- та мікроелементів, а також оцінювання показників безпечності за концентраціями токсичних елементів і радіонуклідів. Досліджували зразки чорної львинки китайського походження та сировину, вирощену в умовах Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Визначення мінеральних елементів проводили методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії після попереднього сухого озолення. Виявлено суттєві відмінності мінерального профілю між зразками різного походження. Зокрема, у власноруч вирощеній сировині відзначено підвищений вміст магнію та цинку, тоді як концентрації кальцію, міді, марганцю та хрому були нижчими порівняно з китайським зразком.

Встановлено, що за окремими мінеральними елементами 100 г сировини може забезпечувати понад 100 % розрахункової 10 % добової потреби дорослого населення. Оцінювання безпечності показало відсутність виявленого миш'яку та низький рівень стронцію. Водночас встановлено необхідність контролю вмісту свинцю та кадмію перед використанням ентомологічної сировини у харчовому виробництві.

Порівняння з літературними даними підтвердило значну залежність мінерального складу H. illucens L. від виду, кормового субстрату, умов вирощування, стадії розвитку та способу підготовки сировини. Отримані результати підтверджують перспективність

© Голембовська Н.В., Статкевич О.І., Коломієць Ю.В., Баль І.М., Кононенко Р.В., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

чорної львинки як альтернативного джерела мінеральних речовин і сировини для створення функціональних харчових продуктів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення біодоступності мінеральних елементів, амінокислотного та жирнокислотного складу, вмісту біоактивних сполук і впливу технологічних способів оброблення на харчову цінність та безпечність ентомологічної сировини.

Ключові слова: *їстівні комахи, Hermetia illucens L., ентомологічна сировина, мінеральний склад, макроелементи, мікроелементи, токсичні елементи, радіонукліди.*

Holembovska N.V., Statkevych O.I., Kolomiiets Yu.V., Bal I.M., Kononenko R.V. Mineral value and safety of Hermetia illucens larvae

The article substantiates the prospects for using edible insects as an alternative source of nutrients and bioactive substances in the production of food products. The aim of the study was a comprehensive assessment of the mineral composition of Hermetia illucens larvae, determination of the content of macro- and microelements, and assessment of safety indicators in terms of concentrations of toxic elements and radionuclides. Samples of the black lionfish of Chinese origin and raw materials grown in the conditions of the National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine were studied.

Determination of mineral elements was performed using atomic absorption spectrophotometry after preliminary dry ashing. Significant differences in the mineral profile between samples of different origins were found. In particular, in the home-grown raw materials, an increased content of magnesium and zinc was noted, while the concentrations of calcium, copper, manganese and chromium were lower compared to the Chinese sample.

It was found that for individual mineral elements, 100 g of raw material can provide more than 100% of the estimated 10% daily requirement of the adult population. The safety assessment showed no detected arsenic and a low level of strontium. At the same time, the need to control lead and cadmium content before using entomological raw materials in food production was established.

Comparison with literature data confirmed the significant dependence of the mineral composition of H. illucens L. on the species, feed substrate, growing conditions, development stage and method of preparation of raw materials. The results confirm the potential of black lionfish as an alternative source of minerals and raw materials for the development of functional food products.

Further research should be directed to determining the bioavailability of mineral elements, amino acid and fatty acid composition, content of bioactive compounds and the influence of technological processing methods on the nutritional value and safety of entomological raw materials.

Key words: *edible insects, Hermetia illucens L., entomological raw materials, mineral composition, macroelements, microelements, toxic elements, radionuclides.*

Актуальність теми дослідження. Проблема гарантування продовольчої безпеки та переходу до принципів сталого сільськогосподарського виробництва набуває дедалі більшого значення у глобальному масштабі [1]. Традиційні моделі отримання харчової продукції характеризуються значним ресурсним навантаженням і можуть негативно впливати на навколишнє середовище через високий рівень викидів парникових газів, значне споживання води та використання земельних ресурсів. У зв'язку з цим особливу увагу дослідників і представників харчової промисловості привертають альтернативні джерела білка, які розглядаються як один із перспективних напрямів формування більш стійких продовольчих систем [2].

Історично склалося так, що багато культур у різних частинах світу зробили комах частиною свого раціону. Найдавніші зафіксовані згадки про людей, які їли комах, датуються VIII століттям до нашої ери на Близькому Сході. За останніми оцінками, приблизно 2111 видів комах споживається приблизно у 140 країнах [3], а ентомофагія задокументована по всьому світу: в Азії та Австралії, а також в Африці та Америці [4, 5].

Проблеми продовольчої безпеки стимулюють дослідження різних альтернативних джерел їжі для людей (комахи, гриби, культивоване м'ясо, мікро- та макроводорості) та кормів для тварин (комахи, побічні продукти харчового виробництва,

біопаливні побічні продукти), які є поживними та можуть бути отримані сталим шляхом [6]. Комахи дедалі ширше розглядаються як перспективне джерело харчового білка та кормової сировини, а їх промислове масове культивування інтенсивно розвивається та набуває широкого поширення у світовій біоекономіці.

Членистоногі характеризуються вирізняються високою ефективністю конверсії корму, швидкими темпами росту та низьким екологічним слідом, що робить їх перспективною альтернативою традиційному тваринництву. Крім того, харчова цінність комах, зокрема високий вміст білка, жирних кислот, вітамінів і мінералів, підтверджує доцільність їх інтеграції у раціон людини та використання як кормової бази для тварин. Це відкриває можливості для вирішення проблеми забезпечення населення якісними продуктами харчування без шкоди для екології.

Промислове культивування їстівних комах характеризується значно вищою ефективністю використання земельних ресурсів у порівнянні з традиційними джерелами білка [7]. Для отримання 1 кг білка з комах потрібно у 2–10 разів менше сільськогосподарських угідь, ніж для виробництва такої ж кількості білка зі свинини чи великої рогатої худоби [8].

Крім того, викиди парникових газів від вирощування комах є значно нижчими, ніж у випадку традиційного тваринництва [9]. Наприклад, свині продукують у 10–100 разів більше парникових газів на 1 кг маси, ніж борошняні черв'яки (FAO, 2013) [10].

Комахи як стійке джерело білка, яких можна вирощувати цілий рік. Більша частина їхнього тіла їстівна, вони мають високу плодючість та темпи росту, і вони ефективно перетворюють свої субстрати на масу тіла. Приблизно 80 % маси цвіркуна придатне для споживання, тоді як у курей та свиней цей показник становить близько 55 %, а у великої рогатої худоби – лише 40 %. За даними Imathiu [11], цвіркуни удвічі ефективніше перетворюють корми на білок, ніж свійська птиця, та значно переважають свиней і велику рогату худобу – у чотири та дванадцять разів відповідно. Важливо й те, що розведення комах не потребує великих площ, що забезпечує гнучкість їхнього вирощування як у сільських, так і в міських умовах [12].

Отже, ентомологічна харчова сировина є перспективним альтернативним джерелом білка та важливим компонентом сталих продовольчих систем. Вони характеризуються високою ефективністю конверсії корму, швидким ростом, значною часткою їстівної біомаси та меншим використанням земельних ресурсів порівняно з традиційним тваринництвом. Висока харчова цінність комах, зокрема вміст білка, жирних кислот, вітамінів і мінеральних речовин, обумовлює доцільність їх використання у харчуванні людини. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінювання поживної цінності, безпечності та можливостей застосування ентомологічної сировини у виробництві харчових продуктів.

Постановка проблеми. Однією з найбільш значущих проблем сучасного світу залишається гарантування населення достатніми обсягами продовольства та зменшення масштабів голоду. Загострення цієї проблеми пов'язане передусім із постійним збільшенням світової чисельності населення, нерівномірністю забезпечення регіонів природними ресурсами та істотними відмінностями в рівні доступу до харчових продуктів у різних частинах світу [13]. Недостатнє харчування, спричинене зокрема бідністю та воєнними конфліктами, серйозно погіршує стан здоров'я мільйонів людей [14]. Водночас інша крайність – надмірне або незбалансоване споживання їжі – призводить до ожиріння та розвитку неінфекційних захворювань.

Комплексне вирішення цих викликів потребує не лише зростання обсягів виробництва продуктів харчування, а й просування ідей здорового харчування та

раціональної дієти [15]. У цьому контексті пошук нових, нетрадиційних джерел білка набуває надзвичайної актуальності – це вже не лише перспективний науковий напрям, а вимога часу [16].

Науковці розглядають комах [17], як потенційно важливе джерело білку, жирів, амінокислот, жирних кислот і харчових волокон для використання у виробництві харчових продуктах та отримання з них різних видів порошків, паст, борошна, рослинної олії [18].

Аналіз літературних джерел показав, що борошно з комах є сировиною, яка на даний час найширше використовується у харчовій промисловості [17–20]. Борошно із цвіркунів (переклад з анг. – *Cricketflour*) – це сировина з підвищеним вмістом білку, яка має колір від сіруватого до коричневого та ніжно-горіховий смак.

Розробкою борошна із цвіркунів займаються вчені з Америки [19], Киргизстану, Азії, Африки, на разі в Україні вирощування цвіркунів відбувається на фермі в місті Запоріжжя. В світовій практиці для борошна із цвіркунів зазвичай використовується домашній цвіркун (*Achetadomesticus*). Цвіркуни вирощують на так званих фермах. Так, компанія Aspire (США) вирощує цвіркунів на фермах великих за площею; всі способи вирощування є автоматизовані [21]. Цвіркуни вирощують на вертикальних фермах, яка оснащені сенсорами та автоматичними системами. За допомогою роботизованого модуля цвіркуни отримають ідеально розраховані обсяги їжі.

Перед виготовленням борошна та визначенням його реологічних властивостей автори RaquelLucas-González [18], Dorothy K. Murugu [19], Zieli´nska, E [22] зазначають, що цвіркуни попередньо заморожуються при температурі -20°C, протягом 48 годин і ліофілізуються. Далі комах подрібнюють за допомогою млина, і отримане борошно просіюють через сито з отворами не менше 20 мм.

У роботі Геліха А. О. проведено оцінювання якісних характеристик соусів, рецептури яких передбачають використання альтернативних джерел білка з урахуванням специфічних потреб військового харчування. У дослідженні розглянуто вплив білкових компонентів рослинного та нетрадиційного походження, серед яких білки комах і білкові інградієнти. Основним напрямом роботи було створення емульсійного соусу типу айолі на основі гарбузової олії та білкового ізоляту, отриманого зі шроту насіння гарбуза, з подальшим визначенням його якісних і безпекових характеристик [23].

Накопичення токсичних металів у їстівних комах залежить від ряду чинників: виду металу, біологічних особливостей комах, стадії їх розвитку, складу субстрату та рівня забруднення довкілля [24–26]. Дослідження показали, що чорна львинка і польовий цвіркун (*Gryllus assimilis*), які мають значний комерційний потенціал, здатні накопичувати кадмій [27, 28]. Крім того, личинки чорної львинки можуть акумулювати свинець за вирощування на субстратах із високим його вмістом [29], а підвищені концентрації цього металу виявлено також у сушених коніках із мексиканського штату Оахака.

Щодо миш'яку, експериментальні дані свідчать про різні механізми його метаболізму: чорна львинка виводить більшу частину спожитого елемента, тоді як личинки хрущака борошняного (*Tenebrio molitor*) схильні його накопичувати, що становить потенційний ризик для безпеки харчових продуктів [30].

Стадія личинки охоплює значну частину різноманіття видів їстівних комах, які використовуються людиною в різних регіонах світу. Личинки є цінним джерелом високоякісного білка, ліпідів, вітамінів і мінеральних речовин, а їх вирощування та споживання відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та

засобів до існування населення в багатьох регіонах. Серед відомих прикладів можна назвати лялечки шовкопряду, що традиційно споживаються в Австралії та бамбуковий хробак (*Omphisa fuscidentalis*), популярну в Таїланді та Лаосі [31].

У харчуванні населення окремих регіонів світу використовують різні форми термітів, зокрема статевозрілих крилатих особин (імаго). Така практика, зокрема, зафіксована в Центральноафриканській Республіці, Демократичній Республіці Конго, Венесуелі та Зімбабве [32]. Їх зазвичай смажать або використовують у подрібненому вигляді для приготування коржів.

У науковій роботі Бондаренко Л. проаналізовано санітарно-гігієнічні та біобезпекові аспекти застосування личинок *H. illucens* як складника корму для креветок в умовах аквакультурного виробництва. Авторка дослідила мікробіологічні характеристики ентомологічної сировини, її вплив на стан здоров'я гідробіонтів, а також оцінила екологічні переваги цього виду білка порівняно з традиційними кормовими компонентами [33].

Ван і Шеломі провели огляд наукових досліджень щодо використання личинок чорної львинки (*Hermetia illucens L.*) як корму для тварин та потенційного джерела білка для людей. Автори досліджують харчовий склад личинок, підкреслюючи високий рівень білка, жирів, вітамінів і мінералів, а також їх здатність ефективно переробляти органічні відходи у цінну біомасу. Авторами зроблено висновок, що чорна львинка має значний потенціал для сталого розвитку як кормова база і альтернативне джерело білка, особливо з урахуванням зростаючого світового попиту на білкову продукцію [34].

Садикова та ін. досліджували харчову та біологічну цінність біомаси личинок чорної львинки (*Hermetia illucens L.*). Автори провели аналіз основних поживних речовин, включно з вмістом білків, жирів, амінокислотним складом, а також мікро- і макроелементів. Отримані результати підтверджують перспективність застосування чорної львинки у харчовій та кормовій промисловості як екологічно сталого джерела білка [35].

Метою даного дослідження є комплексна оцінка мінерального складу чорної львинки (*Hermetia illucens L.*), визначення вмісту макро- та мікроелементів, а також аналіз показників їх безпечності за вмістом токсичних елементів і радіонуклідів з метою обґрунтування доцільності використання цієї сировини у виробництві харчових продуктів.

Методика досліджень. Об'єктом дослідження була чорна львінка (*Hermetia illucens L.*) з Китаю та власне вирощена упродовж тривалого терміну часу в Національному університеті біоресурсів і природокористування України за відомими технологіями у авторській модифікації на кафедрі ентомології, інтегрованого захисту та карантину рослин.

Визначення концентрації мінеральних елементів проводили після попередньої мінералізації досліджуваного матеріалу методом сухого озолення відповідно до вимог ДСТУ 7670:2014 [36]. Зразки піддавали озоленню в муфельній печі за температури 450–550°С до отримання однорідного світло-сірого зольного залишку. Після завершення мінералізації отриману золу розчиняли в азотній кислоті, після чого об'єм розчину доводили до необхідного значення за допомогою дистильованої води.

Визначення кількісного вмісту макроелементів, зокрема кальцію, магнію та калію, а також мікроелементів – заліза, цинку, міді, нікелю, алюмінію, кобальту, арсену, хрому, молібдену та марганцю – здійснювали за допомогою методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Дослідження проводили відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 7980:2022 [37] та ДСТУ EN 14082:2019 [38].

Для характеристики безпечності досліджуваної сировини проводили визначення рівнів токсичних елементів із використанням фізико-хімічних методів аналізу, регламентованих ДСТУ EN 14082:2019 [38] і ДСТУ EN 13806:2022 [39]. Оцінювання радіологічної безпечності зразків здійснювали за показниками вмісту радіонуклідів цезію та стронцію. Визначення проводили відповідно до методичних вказівок МВ 5778 та МВ 5779, затверджених Міністерством охорони здоров'я України [40, 41].

Результати досліджень. Результати досліджень мінерального складу комах дозволяють комплексно оцінити їхню харчову та біологічну цінність як перспективної рослинної сировини для виробництва функціональних харчових продуктів. Отримані дані свідчать про наявність у комахах широкого спектра макро- та мікроелементів, які відіграють важливу роль у забезпеченні фізіологічних потреб організму людини.

Основні результати щодо вмісту макро- та мікроелементів у комахах наведені в таблиці 1, де показники подано у перерахунку на 100 г їстівної частини продукту.

Таблиця 1

Мінеральний склад чорної львинки (*Hermetia illucens*)

Показник	Вміст, мг/100 г		Адекватний рівень споживання, мг; 10% добової потреби [42]	
	Чорна львинка	Чорна львинка*		
Макроелементи			Жінки	Чоловіки
Калій	896,9	1351,38	-	
Кальцій	295,1	247,21	110	120
Магній	180,6	306,26	50	40
Фосфор	-	505,19		
Срібло	-	0,0015		
Мікроелементи				
Мідь	0,77	0,51	0,1	
Залізо	42,9	3,89	1,7	1,5
Цинк	4,78	6,78	1,2	1,5
Нікель	0,05	0,01	-	
Марганець	5,27	4,77	0,2	
Алюміній	17,35	0,35	-	
Хром	0,18	0,003	0,005	
Молібден	0,03	0,03	0,007	
Кобальт	0,004	0,003		
Селен	-	0,01		
Ванадій	-	0,02		
Силіцій	-	39,55		

*власне вирощування

Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Для візуального представлення рівня забезпечення організму мінеральними елементами в обсязі 10 % від адекватної добової потреби результати доцільно відобразити графічно (рис. 1, 2).

Найнижчий серед представлених показників рівень забезпечення зафіксовано для кальцію – 268,3 % у жінок та 245,9 % у чоловіків. Загалом отримані дані свідчать, що 100 г досліджуваної ентомологічної сировини потенційно забезпечують

понад 100 % від встановленої 10 % частки добової потреби за більшістю досліджених мінеральних елементів, причому найбільш виражений внесок характерний для хрому, марганцю та заліза.

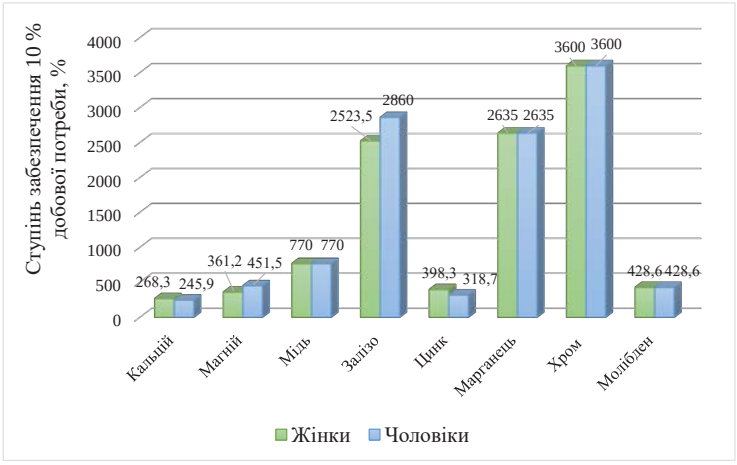


Рис. 1. Ступінь забезпечення 10 % добової потреби дорослого населення в мінеральних речовинах (Чорна львинка, Китай)

Джерело: розроблено автором

Порівняння отриманих результатів показує, що мінеральний профіль чорної львинки, власне вирощеної (рис. 2), суттєво відрізняється від попередньо дослідженого зразка, придбаного в Китаї. Найбільш виражене зростання встановлено для магнію: рівень забезпечення 10 % добової потреби підвищився з 361,2 до 612,5 % у жінок та з 451,5 до 765,7 % у чоловіків. Також вищим став показник забезпечення цинком – з 398,3 до 565,0 % у жінок та з 318,7 до 452,0 % у чоловіків.

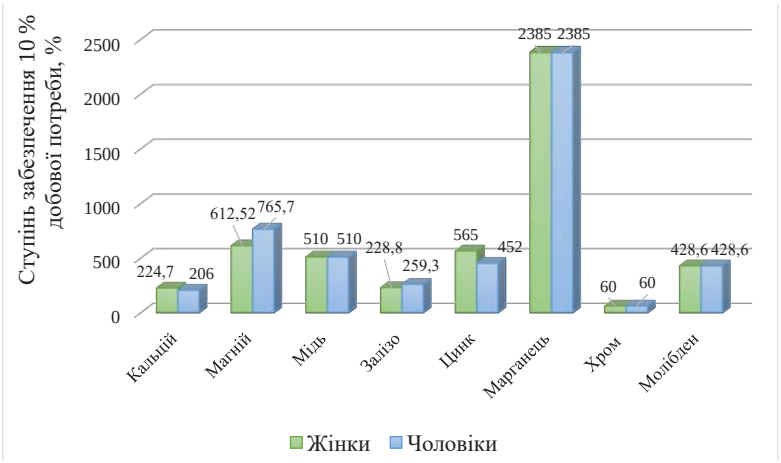


Рис. 2. Ступінь забезпечення 10 % добової потреби дорослого населення в мінеральних речовинах (Чорна львинка, власне вирощування)

Джерело: розроблено автором

Водночас для кальцію спостерігається помірне зниження показників – з 268,3 до 224,7 % у жінок та з 245,9 до 206,0 % у чоловіків. Рівень забезпечення міддю також зменшився з 770 до 510 %, а марганцем – з 2635 до 2385 %.

Найбільш суттєві відмінності зафіксовано щодо заліза та хрому. Забезпечення хромом зменшилося з 3600 до 60 %. Це означає, що у другому зразку вміст цих елементів був значно нижчим.

Виявлені відмінності можуть бути пов'язані з видовими або технологічними особливостями сировини, складом субстрату та умовами вирощування.

У межах дослідження проведено оцінювання безпечності ентомологічної сировини шляхом визначення вмісту токсичних елементів і радіонуклідів. Отримані значення зіставлено з гранично допустимими рівнями, регламентованими чинними нормативними документами. Результати проведеної оцінки наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст важких металів та радіонуклідів у чорній львинці (*Hermetia illucens*)

Показник	Гранично допустимі рівні, мг/кг (для радіонуклідів Бк/кг), не більше [43, 44]					Вміст, мг/кг	
	молоко	м'ясо	риба	рис	дієтична добавка	Чорна львинка	Чорна львинка*
Токсичні елементи							
Свинець	0,02	0,1	0,3	0,2	3,0	1,1	0,36
Кадмій	-	0,05	0,05	0,2	1,0	0,18	0,076
Миш'як	-	-	-	0,2	-	-	-
Барій	-	-	-	-	-	1,23	1,85
Радіонукліди							
Стронцій	20	20	35	-	200	-	10,83

Джерело: розроблено автором

Отримані результати свідчать, що личинки чорної львинки (*Hermetia illucens L.*) містять низькі концентрації більшості досліджуваних токсичних елементів і радіонуклідів. Вміст миш'яку не виявлено. Вміст свинцю власного виробництва значно нижчий. Водночас концентрації свинцю та кадмію перевищували нормативи, встановлені для окремих традиційних харчових продуктів, але були нижчими за наведені рівні для дієтичних добавок. Отже, отримані дані характеризують досліджувану ентомологічну сировину як таку, що потребує контролю вмісту важких металів перед використанням у харчових або кормових цілях.

Lu та співавт. узагальнили дані щодо мінерального складу личинок чорної львинки (*Hermetia illucens L.*) та встановили різний вміст концентрацій мінеральних елементів залежно від умов вирощування, складу субстрату та способу підготовки сировини. За даними авторів, вміст кальцію у личинках становив 1200–35 700 мг/кг, магнію – 1000–3500 мг/кг, калію – 1700–15 400 мг/кг, міді – 100–15 000 мг/кг, заліза – 100–191 000 мг/кг, марганцю – 200–166 000 мг/кг, а цинку – 700–103 000 мг/кг.

У наших зразках чорної львинки вміст калію та магнію перебував у межах діапазонів, наведених Lu та співавт. При цьому концентрація калію у зразку власного вирощування була близькою до верхньої частини літературного діапазону. Вміст цинку (47,8 та 67,8 мг/кг), міді (7,7 та 5,1 мг/кг) та марганцю (52,7 та 47,7 мг/кг) у наших зразках був нижчим за наведені авторами узагальнені діапазони [45].

Загалом результати підтверджують, що досліджені види комах є перспективними джерелами мінеральних речовин, проте вид комах, кормовий субстрат,

умови вирощування, стадія розвитку та методика аналізу можуть істотно впливати на їхній мінеральний профіль. Це необхідно враховувати під час оцінювання харчової цінності ентомологічної сировини та визначення її потенціалу для використання у функціональних харчових продуктах.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження підтвердило перспективність личинок чорної львинки (*Hermetia illucens L.*) як джерела мінеральних речовин для харчових продуктів. Встановлено наявність широкого спектра макро- та мікроелементів, серед яких найбільш вагомий внесок у мінеральну цінність сировини забезпечують калій, кальцій, магній, фосфор, залізо, цинк, мідь і марганець. Вміст окремих елементів забезпечував понад 100 % від розрахункової 10 % добової потреби дорослого населення.

Порівняння з літературними даними показало, що мінеральний склад *H. illucens L.* може суттєво відрізнятися залежно від походження сировини, кормового субстрату, умов вирощування, стадії розвитку та способу підготовки зразків. У досліджених зразках вміст калію та магнію відповідав діапазонам, наведеним у літературі, тоді як за окремими мікроелементами спостерігалися суттєві відмінності.

Оцінювання безпечності показало, що рівні свинцю та кадмію свідчать про необхідність постійного контролю безпечності ентомологічної сировини перед її використанням у харчовому виробництві.

Отже, результати дослідження підтверджують доцільність подальшого вивчення *H. illucens L.* як альтернативної сировини для створення функціональних харчових продуктів. Перспективними напрямами подальших досліджень є оцінювання біодоступності мінеральних елементів, визначення вмісту біоактивних сполук, амінокислотного та жирнокислотного складу, а також встановлення впливу кормових субстратів і технологічних способів оброблення на харчову цінність та безпечність ентомологічної сировини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Голембовська Н. В. Використання альтернативних джерел білка для розробки нових харчових продуктів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2025. 2(4), 26-38. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.3

2. Голембовська Н.В., Ісраелян В.М., Статкевич О.І., Баль-Прилипко Л.В., Коломієць Ю.В. Потенціал їстівних комах як нового джерела біоактивних сполук *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2025. Вип. 146. Ч. 1. с. 235-238. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.25

3. Van Itterbeeck J., & Pelozuelo L. How many edible insect species are there? A not so simple question. *Diversity*, 2022. *14*(2), 143. https://doi.org/10.3390/ d14020143

4. van Huis A. Insects as food in sub-Saharan Africa. *Insect Science and its Application*, 2022. 23, pp. 163–185. https://doi.org/10.1017/S1742758400023572

5. Costa-Neto, E.M. Edible insects in Latin America: old challenges, new opportunities. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2016. 2, pp. 1–2. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.x001

6. Parodi A., Leip A., De Boer I.J.M., Slegers P.M., Ziegler F., Temme E.H.M., Herrero M., Tuomisto H., Valin H., van Middelaar C.E., van Loon J.J.A. & van Zanten H.H.E. The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nature Sustainability*, 2018. Vol. 1, pp. 782–789. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0189-7

7. Alexander P., Brown C., Arneth A., Dias C., Finnigan J., Moran D. & Rounsevell M.D.A. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 2017. 15, pp. 22–32. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001

8. Oonincx D. G., De Boer I. J. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans–a life cycle assessment. *PloS one*, 2012. Vol. *7*(12), e51145. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145

9. Oonincx D. G., Van Itterbeeck J., Heetkamp M. J., Van Den Brand H., Van Loon J. J., Van Huis A. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 2010. *5*(12), e14445. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445

10. Van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H. et al. Edible insects: future prospects for food and feed security. Rome: FAO, 2013. 201 p. URL: https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf (дата звернення: 07.09.2026).

11. Imathiu S. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS journal*, 2020. 18, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002

12. Statkevych O. I., Kolomiiets Y. V., Holembovska N. V., Israelian V. M., Babych O. 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*, 2024. 15(4), 907-911. https://doi.org/10.15421/0224131

13. Barrett C. B. Food Security and Sociopolitical Stability. *Annual Review of Resource Economics*, 2013. Vol. 16(1). https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102722-025202

14. Popkin B. M., Corvalan C., & Grummer-Strawn L. M. Dynamics of the double burden of malnutrition and the changing nutrition reality. *The Lancet*, 2020. 403(10421), 42-55. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01871-4

15. Willett W., Rockström J., Loken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., ... & Jonell M. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet,* 2019. 403(10426), 447-492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02139-2

16. van Huis A. Insectsas food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2024. Vol. 10(1), 1-18. https://doi.org/10.3920/JIFF2023.0056

17. Govorushko S. Global status of insects as food and feed source: a review. *Trends in food science & technology*, 2019. Vol. 91, 436-445. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032

18. Lucas-González R., Fernández-López J., Pérez-Álvarez J. A., Viuda-Martos M. Effect of drying processes in the chemical, physico-chemical, techno functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (Acheta domesticus). European Food Research and Technology. 2019. https://doi.org/10.1007/s00217-019-03301-4.

19. Murugu D. K., Onyango A. N., Ndiritu A. K., Osuga I. M., Xavier C., Nakimbugwe D., Tanga C. M. From farm to fork: crickets as alternative source of protein, minerals, and vitamins. *Frontiers in Nutrition*, 2021. 8, 704002. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.704002

20. Messina C. M., Gaglio R., Morghese M., Tolone M., Arena R., Moschetti G., ... & Settanni L. Microbiological profile and bioactive properties of insect powders used in food and feed formulations. *Foods*, 2019. *8*(9), 400. https://doi.org/10.3390/foods8090400

21. Цвіркуни проти яловичини: що будемо їсти через 5 років. Landlord. 2017. URL: https://landlord.ua/news/tsvirkuni-proti-yalovichini-shho-budemo-yisti-cherez-5-rokiv/ (дата звернення: 07.09.2026).

22. Biró B., Sipos M. A., Kovács A., Badak-Kerti K., Pásztor-Huszár K., Gere A. Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysisand Sensory Evaluation. Foods. 2020. Vol. 9, No. 11. Art. 1561. https://doi.org/10.3390/foods9111561

23. Геліх А. О. Дослідження показників якості соусів з використанням альтернативних білків для військового харчування. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки,* 2025. (1), 294-303. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.29

24. Vijver M., Jager T., Posthuma L., & Peijnenburg W. Metal uptake from soils and soil–sediment mixtures by larvae of Tenebrio molitor (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003. 54(3), 277-289. https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00027-1

25. Zhang Z. S., Lu X. G., Wang Q. C., & Zheng D. M. Mercury, cadmium and lead biogeochemistry in the soil–plant–insect system in Huludao City. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2009. 83(2), 255-259. https://doi.org/10.1007/s00128-009-9688-6

26. Greenfield R., Akala N., & Van Der Bank F. H. Heavy metal concentrations in two populations of mopane worms (Imbrasia belina) in the Kruger National Park pose a potential human health risk. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2014. 93(3), 316-321.

27. Diener S., Zurbrügg C., Tockner K. Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, Hermetia illucens and effects on its life cycle. *Journal of insects as food and feed*, 2015. Vol. 1(4), 261-270.

28. Bednarska A. J., Opyd M., Żurawicz E., Laskowski R. Regulation of body metal concentrations: Toxicokinetics of cadmium and zinc in crickets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015. 119, 9-14.

29. Purschke B., Scheibelberger R., Axmann S., Adler A., Jäger H. Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on the growth performance and composition of black soldier fly larvae (Hermetia illucens) for use in the feed and food value chain. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2017. *34*(8), 1410-1420. https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1299946

30. Van der Fels-Klerx H. J., Camenzuli L., Van Der Lee M. K., & Oonincx D. G. A. B. Uptake of cadmium, lead and arsenic by Tenebrio molitor and Hermetia illucens from contaminated substrates. *PloS one*, 2016. 11(11), e0166186. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166186

31. Yhoung-Aree J., Viwatpanich K. Edible insects in the Lao PDR, Myanmar, Thailand, and Vietnam. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails / ed. by M. G. Paoletti. Enfield: Science Publishers, 2005. P. 415–440.

32. Paoletti M.G., Buscardo E., Vanderjagt D.J., Pastuszyn A., Pizzoferrato L., Huang Y.S., Chuang L.T., Glew R.H., Millson M., Cerda H. Nutrient content of termites (Syntermes soldiers) consumed by Makiritare Amerindians of the Alto Orinoco of Venezuela. *Ecology of Food and Nutrition,* 2003. 42(2), 177–191.

33. Бондаренко Л. В. Біобезпека та санітарно-гігієнічні характеристики використання Hermetia illucens у аквакультурі креветок. Всеукраїнська науково-практична конференція науковців, викладачів та аспірантів, 22–23 квітня 2025 р. Харків, 2025. С. 166.

34. Wang Y. S., & Shelomi M. Review of black soldier fly (Hermetia illucens) as animal feed and human food. *Foods*. 2017. *6*(10), 91.

35. Zulkifli N. F. N. M., Seok-Kian A. Y., Seng L. L., Mustafa S., Kim Y. S., Shapawi R. Nutritional value of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae processed by different methods. *PloS one*, 2022. 17(2), 1-14. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924

36. ДСТУ 7670:2014. Сировина і продукти харчові. Готування проб. Мінералізація для визначення вмісту токсичних елементів. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2014. 14 с..

37. ДСТУ EN ISO 7980:2022. Якість води. Визначення кальцію та магнію. Атомно-абсорбційний спектрометричний метод. [Чинний від 2023-12-31]. Київ. 2022. 14 с. (Інформація та документація).

38. ДСТУ EN 14082:2019. Продукти харчові. Визначення вмісту свинцю, кадмію, цинку, міді, заліза та хрому методом атомно-абсорбційної спектрометрії після сухого озолення. [Чинний від 2019-09-01]. Київ. 16 с. (Інформація та документація).

39. ДСТУ EN 13806:2022. Харчові продукти. Визначення мікроелементів. Визначення ртуті атомно-абсорбційної спектрометрії з холодною парою після бродіння під тиском. [Чинний від 2023-12-31]. Київ. 22 с. (Інформація та документація).

40. Міністерство охорони здоров'я України. Методичні вказівки № 5778-91. Визначення вмісту стронцію-90 у харчових продуктах. 1991. К.: МОЗ України. 12 с.

41. Міністерство охорони здоров'я України. Методичні вказівки № 5779-91. Визначення вмісту цезію-137 у харчових продуктах.1991. К.: МОЗ . – 12 с.

42. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії: наказ МОЗ України від 03.09.2017 № 1073. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17#Text (дата звернення: 07.09.2026).

43. Міністерство охорони здоров'я України. Державні гігієнічні нормативи. Допустимі рівні радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах та питній воді. 2006. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text (дата звернення: 08.04.2025).

44. Про внесення змін до Державних гігієнічних правил і норм «Положення про максимальні рівні певних забруднюючих речовин у харчових продуктах». 2020. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0684-20#Text (дата звернення: 04.02.2021).

45. Lu S., Taethaisong N., Meethip W., Surakhunthod J., Sinpru B., Sroichak T., ... & Paengkoum P. Nutritional composition of black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review. *Insects*, 2022. 13(9), 831.

Дата першого надходження статті до видання: 08.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026