

## ВАЛОРИЗАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛИЧИНОК МУХИ ЧОРНА ЛЬВИНКА (*HERMETIA ILLUCENS*) В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

**Анотація.** У роботі розглянуто валоризацію органічних відходів за допомогою личинок мухи чорна львинка (*Hermetia illucens*) як перспективний напрям екологічної біотехнології. Показано, що біоконверсія дає змогу зменшувати обсяги органічних відходів і отримувати цінні продукти – білково-ліпідну біомасу та фрас. Узагальнено переваги технології та її значення для циркулярної економіки і сталого розвитку.

**Ключові слова:** екологічна біотехнологія, муха чорна львинка, біоконверсія органічних відходів, сталий розвиток.

Глобальна проблема управління органічними відходами є одним із ключових викликів сталого розвитку. Неналежне поводження з цією фракцією відходів супроводжується викидами парникових газів і негативними екологічними наслідками. Щорічні обсяги утворення твердих муніципальних відходів сягають мільярдів тонн, причому органічна складова часто становить від 40% до 60% загальної маси [1], що свідчить про її колосальний невикористаний потенціал. Традиційні методи переробки, зокрема компостування та анаеробне зброджування, залишаються важливими, однак потребують часу, контролю умов процесу та належного сортування субстратів. У цьому контексті зростає нагальна потреба в розробці та впровадженні інноваційних, економічно ефективних та екологічно стійких рішень, серед яких біоконверсія за допомогою комах виділяється як особливо перспективний напрямок [2, 3].

Личинки мухи чорна львинка (*Hermetia illucens*) є унікальними біологічними інструментами для валоризації органічних відходів. Їхня виняткова здатність до швидкого росту та ефективного споживання різноманітних органічних субстратів робить їх ідеальними біоконверторами. Ці комахи здатні утилізувати широкий спектр органічних відходів, починаючи від побутових відходів, які часто становлять значну проблему для муніципальних систем, до відходів сільськогосподарського виробництва, таких як рослинні залишки та тваринні екскременти. Крім того, вони ефективно переробляють відходи харчової промисловості, що відкриває широкі можливості для зменшення промислових відходів [2, 3]. Для оптимального функціонування личинок ідеальний субстрат повинен мати високу вологість, зазвичай у діапазоні 70 – 80%, та збалансоване співвідношення вуглецю до азоту, що сприяє ефективному розкладанню органічної речовини [3].

Процес деградації органічних відходів личинками *H. Illucens* є комплексним і включає як механічне подрібнення, так і потужну ферментативну дію. Личинки оснащені міцними щелепами, що дозволяють їм подрібнювати великі фрагменти

органіки, збільшуючи площу поверхні для подальшої ферментативної атаки. Одночасно, їхній травний тракт виробляє широкий спектр гідролітичних ферментів, включаючи хітиназу, амілазу, ліпазу та протеазу. Ферменти каталізують розщеплення складних полімерів, таких як вуглеводи, білки та жири, на простіші сполуки, які можуть бути засвоєні личинками. Важливу роль у цьому процесі відіграє також мікрофлора кишечника личинок, що складається з різноманітних видів бактерій, які синергічно працюють з ферментами господаря, посилюючи розкладання органічних речовин та сприяючи нейтралізації потенційних патогенів, що можуть міститися у відходах [2].

Основним продуктом деградації органічних відходів за допомогою мухи чорна львинка є біомаса предялячок. Вона характеризується високим вмістом протеїну та ліпідів, хоча конкретний склад залежить від типу субстрату [3, 4]. Завдяки такому багатому поживному складу предялячки можуть слугувати ефективним та стійким джерелом білка у кормах для тварин, включаючи рибу, птицю та свиней [2, 3]. Це дозволяє замінити традиційні, часто дорогі та екологічно навантажені компоненти кормів, такі як рибне борошно або соєвий шрот. Крім того, біомаса личинок містить цінні біоактивні сполуки, зокрема хітин та антимікробні пептиди, які мають додаткову цінність для фармацевтичної та інших галузей промисловості [5]. Залишковий матеріал після годування личинок – фрас, складається з їхніх екскрементів та неперетравлених частинок органіки. Фрас є високоефективним органічним добривом, яке містить азот, фосфор та активну мікробіоту, що робить його цінним для сільського господарства, сприяючи закриттю циклу поживних речовин та підвищенню родючості ґрунту [6].

На продуктивність біоконверсії суттєво впливають кілька ключових факторів: тип та якість органічного субстрату, щільність посадки личинок, а також параметри навколишнього середовища, такі як температура та вологість. Оптимізація цих параметрів дозволяє максимізувати швидкість зниження маси відходів та ефективність виробництва біомаси личинок. Дослідження показують, що личинки також здатні до певної міри зменшувати концентрацію важких металів у субстраті, а також ефективно знищувати небезпечні патогени, що підвищує безпеку кінцевих продуктів і знижує ризики для здоров'я [2, 3].

Екологічні та економічні переваги використання личинок мухи чорна львинка є значними та багатогранними. Така технологія дозволяє суттєво зменшити обсяг органічних відходів, що надходять на полігони, тим самим знижуючи викиди парникових газів та мінімізуючи екологічний слід. Технологія відповідає принципам циркулярної економіки, перетворюючи відходи з проблеми на цінний ресурс. З економічної точки зору, використання *H. Illucens* дозволяє знизити витрати на управління відходами для муніципалітетів та підприємств, а також створити нові джерела доходу від продажу біомаси личинок (для кормової промисловості) та органічного добрива (для сільського господарства), відкриваючи нові бізнес-моделі, зокрема для малих підприємств [2, 3, 5].

Незважаючи на значний потенціал, впровадження та масштабування технології біоконверсії за допомогою мухи чорна львинка стикається з певними викликами. До них належать необхідність подальшої оптимізації великомасштабних виробничих систем, розробку та стандартизацію технологічних процесів, подолання регуляторних бар'єрів, а також підвищення споживчої прийнятності

продуктів з комах [3]. Майбутні дослідження мають зосередитися на генетичному покращенні штамів личинок для підвищення їхньої продуктивності та стійкості, розробці автоматизованих систем для ефективного управління процесами, а також на проведенні повного аналізу життєвого циклу продукції для всебічної оцінки її екологічного сліду. У підсумку, технологія переробки органічних відходів за допомогою *H. Illucens* є одним з найбільш перспективних, стійких, економічно життєздатних та екологічно обґрунтованих рішень у галузі управління відходами, що є ключовим елементом для переходу до циркулярної економіки та сталого майбутнього.

### Список використаної літератури

1. Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
2. Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Yuwono, N. W., Nisa', K., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A., & Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. *Waste Management*, 140, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>
3. Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L.-H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58–80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>
4. Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovynd, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
5. Xia, J., Ge, C., & Yao, H. (2021). Antimicrobial peptides from black soldier fly (*Hermetia illucens*) as potential antimicrobial factors representing an alternative to antibiotics in livestock farming. *Animals*, 11(7), Article 1937. <https://doi.org/10.3390/ani11071937>
6. Lopes, I. G., Yong, J. W. H., & Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes: A critical review and future perspectives. *Waste Management*, 142, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>