

Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519-2698 print

ISSN 2707-5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a9918

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

UDC 619:636.087.63:613.67:636.5

## Application of the fermented broiler chickens manure under different aeration regimes during vermiculture cultivation

P. V. Kovtun, S. V. Merzlov✉

Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

### Article info

Received 17.08.2023

Received in revised form

18.09.2023

Accepted 19.09.2023

Bila Tserkva National Agrarian  
University, 8/1 Soborna sq.,  
Bila Tserkva, 09117, Ukraine.  
Tel.: +38-098-660-90-85  
E-mail: 0986609085@ukr.net

**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. doi: 10.32718/nvlvet-a9918**

The growth of poultry population in Ukraine and in the world leads to a number of environmental problems such as concentration and accumulation of large masses of manure without litter and manure mixed with organic litter. A rational way to dispose poultry manure, including broiler chickens' manure, is to produce vermicompost from it by growing there a hybrid of local red worm or *Eisenia fetida*. Unfermented broiler manure contains a high concentration of nitrogen-containing compounds, including ammonia, which has a negative effect on worms. Even at low ammonia concentrations in the organic biomass, the worms die. Traditional methods can take more than 17 months to compost broiler manure. One of the ways to speed up composting is to apply bioprocessing devices and aeration of the manure. The effectiveness of growing vermiculture on the fermented broiler manure with a biodegrader and different aeration regimes remains insufficiently studied. For the experimental cultivation of worms, we used the broiler chicken manure fermented for 160 days, which was enriched with air once every 10 days by mechanical mixing (control), 15 minutes a day using a compressor (I experimental group) and twice a day for 15 minutes using a compressor (II experimental group). The study determined the number of adult and immature worms, their weight, the number of cocoons and their weight. It has been experimentally found that fermented broiler chicken manure under different aeration regimes with litter as part of the vermiculture substrate has an effect on the reproduction and weight of worms and their cocoons. Growing worms on a substrate from fermented broiler chickens' litter with a daily one-time air enrichment with a compressor increases the number of mature worms by 15.7 % compared to the control group. The largest mass of mature worms was recorded in the first experimental group. It was proved that the use of fermented broiler manure with active aeration (experimental group I) as a substrate increased the number and weight of immature worms by 10.3 and 33.3 %, respectively, compared to the control. The largest number of cocoons has been found in the first experimental group.

**Key words:** worm mass, worm cocoons, total protein, substrate, chicken manure, biodestructor.

## Застосування посліду курчат-бройлерів, ферментованого за різних режимів аерації, під час вирощування вермикультури

П. В. Ковтун, С. В. Мерзлов✉

Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

Зростання поголів'я птиці в Україні та світі призводить до виникнення ряду екологічних проблем концентрування та накопичення великої маси посліду без підстилки і посліду, змішаного з підстилкою органічної природи. Раціональним способом утилізації посліду птиці, в тому числі й курчат-бройлерів, є одержання із нього біогумусу за допомогою вирощування на ньому гібрида червоних каліфорнійських або місцевих гнійових черв'яків. Неферментований послід курчат-бройлерів містить велику концентрацію нітрогеновмісних сполук, в тому числі й аміаку, що негативно впливає на черв'яків. Навіть за незначних концентрацій аміаку в органічній біомасі черв'яки гинуть. За традиційних методів період компостування посліду курчат-бройлерів може тривати понад

17 місяців. Одним зі способів прискорення компостування є використання біопрепаратів та аерації посліду. Недостатньо вивченим залишається питання ефективності вирощування вермикультури на посліді курчат-бройлерів, ферментованого за участі біодеструктора та різних режимів аерації. Для експериментального вирощування черв'яків застосовували ферментований упродовж 160 діб послід курчат-бройлерів, який збагачували повітрям один раз на 10 діб способом механічного перемішування (контроль), щодобово по 15 хвилин за допомогою компресора (I дослідна група) і щодобово два рази по 15 хвилин за допомогою компресора (II дослідна група). Під час дослідження визначали кількість дорослих і нестатевозрілих черв'яків, їхню масу, кількість коконів і їх масу в мікроложках. Експериментально було виявлено, що ферментований за різних режимів аерації послід курчат-бройлерів із підстилкою у складі субстрату для вермикультури має вплив на розмноження і масу черв'яків та їх коконів. За вирощування черв'яків на субстраті з посліду курчат-бройлерів ферментованого за щодобового одноразового збагачення повітрям за допомогою компресора збільшується кількість статевозрілих черв'яків на 15,7 % щодо контрольної групи. Найбільша маса статевозрілих черв'яків була зафіксована у I дослідній групі. Доведено, що за використання у складі субстрату посліду бройлерів ферментованого із активною аерацією (I дослідна група), кількість і маса нестатевозрілих черв'яків збільшується відповідно на 10,3 та 33,3 % щодо контролю. Найбільша кількість коконів встановлена у мікроложках із I дослідної групи.

**Ключові слова:** маса черв'яків, кокони черв'яків, загальний білок, субстрат, послід птиці, біодеструктор.

## Вступ

Накопичення великих обсягів посліду птиці має низку господарсько-екологічних проблем. Експлуатація непідготовлених гноєсховищ і надмірне, постійне внесення посліду курчат-бройлерів на невеликих територіях є двома основними причинами забруднення навколишнього середовища (Hepperly et al., 2009; Zekker et al., 2019; Zekker et al., 2021).

Одночасно послід птиці, в тому числі й відходи курчат-бройлерів із підстилкою, є перспективним джерелом поживних речовин (протеїни, вуглеводи та ліпіди), біологічно активних та мінералів, які можливо використовувати ефективно у біоконверсних комплексах, застосовуючи бактерії, мікроводорості, простіші, безхребетних (вермикультура) тощо (Leet & Volz, 2013; Shen et al., 2015).

Ефективними господарсько-екологічними методами утилізації та використання посліду птиці та стічних вод є їх анаеробна ферментація, компостування за активної аерації та дії конгломерату мікроорганізмів з подальшим вирощуванням на ньому біомаси гібрида червоних каліфорнійських черв'яків (Nasiru et al., 2013; Zhang et al., 2016; Zekker et al., 2019, 2021; Osipenko & Merzlov, 2023).

Таким чином, проведення експериментів щодо встановлення ефективності вирощування біомаси вермикультури на субстраті з посліду курчат-бройлерів з вмістом підстилки, компостованого за участі біодеструкторів та активної щодобової аерації, має важливе науково-практичне значення.

Для вирощування вермикультури не допускається використання свіжого гною або посліду сільськогосподарських тварин та птиці. Послід птиці необхідно обов'язково ферментувати. На даний час є велика кількість способів ферментування посліду птиці. Одним із ефективних способів є компостування за допомогою конгломерату мікроорганізмів. Ензими бактерій гідролізують органічну частину посліду, внаслідок чого утворюються доступні сполуки і енергія, необхідні мікроорганізмам для інтенсивного розмноження і росту. За процесу компостування із використанням біодеструкторів проходить підготовка поживних речовин для використання черв'яками і оптимізується вміст аміаку, надмірна концентрація якого є токсичною для вермикультури (Hepperly et al., 2009; Osipenko & Merzlov, 2023).

Під час організації процесу вермикультивування використовують гібрид червоних каліфорнійських черв'яків або гнойових. Такі червяки швидко споживають субстрат і інтенсивно розмножуються (Brown, 2019).

За дії черв'яків і їх сприяння у субстраті здійснюється біоокиснення органічних сполук за мезофільних умов (Nasiru et al., 2013). На даний час промислове ведення вермикультивування поширене у Сполучених Штатах Америки, Країнах Європи, Азії та Далекого Сходу. Основною метою цієї технології є утилізація органічних відходів, одержання біомаси черв'яків та біогумусу. За дії вермикультури на послід птиці прискорюється його мінералізація, внаслідок чого Нітроген, Фосфор, Калій та мікроелементи стають доступними у біогумусі для рослин (Kangmin & Peizhen, 2009; Coyne & Knutzen, 2010; Yadav et al., 2014).

Розміщення черв'яків у свіжий послід птиці призводить до їх швидкої загибелі. Для усунення токсичної концентрації аміаку послід ферментують (компостують). За даними (Haug, 2018) процес ферментування посліду птиці за дії ензимів мікроорганізмів можливо виразити в реакціях: субстрат + O<sub>2</sub> = компост + CO<sub>2</sub> + NH<sub>3</sub> + біомаса. Традиційно без внесення біопрепаратів компостування продовжується 15–19 місяців. Використання біодеструкторів прискорює час ферментування посліду птиці (Blazy et al., 2014). Також додатково можливо інтенсифікувати метаболічні процеси розпаду органічних сполук у посліді птиці за дії ензимів мікроорганізмів, проводячи постійне збагачення біомаси Оксигеном. Дослідження, спрямовані на встановлення ефективності вирощування вермикультури на субстраті з ферментованого посліду птиці за різних режимів збагачення його Оксигеном, мають науково-практичний інтерес.

## Мета дослідження

Метою роботи є встановлення ефективності вирощування вермикультури на субстраті, який містить послід курчат-бройлерів із підстилкою, ферментований за різних режимів аерації.

## Матеріал і методи досліджень

Вплив посліду курчат-бройлерів із підстилкою (солома злакових культур) компостованого із використанням біодеструкторів та за різних режимів аерації

на ріст і розмноження черв'яків проводили в умовах ННДЦ Білоцерківського національного аграрного університету. Із підготовленого посліду птиці з вологістю  $65,5 \pm 0,5$  %. формували по 5 мікролож у кожній групі. У контролі використовували послід, який ферментували за участі суміші біодеструкторів і використанням аерації шляхом переміщення біомаси один раз на 10 діб. У I дослідній групі мікроложу формували із посліду ферментованого за додаткової аерації (нагнітання повітря компресором через барбітажні трубки розміщені в середині бурта один раз на добу впродовж 15 хв). У II дослідній групі для формування мікролож брали послід курчат-бройлерів ферментований за додаткової аерації (нагнітання повітря компресором через барбітажні трубки, розміщені всередині бурта два рази на добу впродовж 15 хв).

Середня маса статевозрілих черв'яків, які вносили у мікроложу на початку експерименту, становила  $0,71 \pm 0,02$  г. Експеримент тривав 120 діб від початку заселення мікролож черв'яками.

По завершенні досліджень підраховували кількість черв'яків, розділяючи їх на статевозрілих і особин, які не досягли статевої зрілості, та кількість і масу коконів.

Температура повітря в цеху, де розміщали мікроложу впродовж експерименту, становила  $24-26$  °С. Один раз на три доби здійснювали аерацію субстрату із черв'яками у мікроложу (табл. 1).

**Таблиця 1**

Схема постановки дослідження

Група	Кількість внесених особин в мікролож, шт	Маса базового субстрату в одному мікроложі, кг	Субстрат
Контрольна	120	17,0	Послід курчат-бройлерів, компостований впродовж 160 діб із використанням суміші біодеструкторів і перемішуванням один раз на 10 діб
I дослідна	120	17,0	Послід курчат-бройлерів, компостований впродовж 160 діб із використанням суміші біодеструкторів і аерацією впродовж 15 хв один раз на добу нагнітанням повітря компресором
II дослідна	120	17,0	Послід курчат-бройлерів, компостований впродовж 160 діб із використанням суміші біодеструкторів і аерацією впродовж 15 хв два рази на добу нагнітанням повітря компресором

Масу коконів та черв'яків зважували, використовуючи техно-хімічні аналітичні ваги.

Отримані експериментальні дані обробляли, використовуючи стандартні методи варіаційної статистики за допомогою програми Statistica.

### Результати досліджень

По завершенні 120 доби експерименту в контрольних мікроложу середньому було виявлено 153 шт. статевозрілих черв'яків. У перший місяць після закладання експерименту в цій групі було утворено по 4-6 коконів, що дало можливість наростити 53 особи-

ни, які досягли статевої зрілості. За вирощування вермикультури на субстраті, який складається із посліду курчат-бройлерів, компостованого за щодобового одноразового додаткового збагачення повітрям, виявлено збільшення кількості статевозрілих черв'яків на 15,7 % щодо контролю ( $P < 0,01$ ). Це підтверджує найкращу адаптацію черв'яків у цьому субстраті і швидкий прояв репродуктивних функцій. У II дослідній групі виявлено збільшення кількості статевозрілих черв'яків на 14,4 % щодо контролю. Різниця була статистично значущою (табл. 2).

**Таблиця 2**

Кількість черв'яків на 120 добу експерименту ( $M \pm m, n = 5$ )

Група	Статевозрілі особини в одному мікроложі		Особини, які не досягли статевої зрілості в мікроложі	
	чисельність, шт.	вага, г	чисельність, шт.	вага, г
Контрольна	$153 \pm 3,2$	$110,5 \pm 0,97$	$5800 \pm 33,2$	$348,9 \pm 12,57$
I дослідна	$177 \pm 3,1^{**}$	$136,3 \pm 0,72^{***}$	$6400 \pm 59,8^{**}$	$512,5 \pm 11,32^{***}$
II дослідна	$175 \pm 3,7^{**}$	$131,7 \pm 0,85^{***}$	$6310 \pm 70,7^{**}$	$442,3 \pm 13,88^{***}$

Примітка: \*\* –  $P < 0,01$ ; \*\*\* –  $P < 0,001$  – щодо контролю

Встановлено вплив субстрату на масу тіла статевозрілих черв'яків. Маса одного черв'яка у контролі була на рівні 0,722 г. У мікроложу із I дослідної групи середня маса одного черв'яка (статевозрілого) була більшою, ніж у контрольній групі, на 6,6 %. Різниця мала статистичну значущість. Маса однієї особини із

II дослідної групи була меншою на 2,5 % щодо I дослідної групи і на 3,8 % більшою, ніж у контролі.

Оцінюючи чисельність черв'яків, які не набули статевої зрілості, було виявлено, що найменша кількість була у мікроложу із контрольної групи. За вирощування черв'яків на субстраті з ферментованого посліду курчат-бройлерів, який аерували щодня про-

довж 15 хв один раз на добу, їхня чисельність була більшою, ніж у контролі, на 10,3 % ( $P < 0,01$ ). Встановлено також зростання чисельності популяції щодо контрольної групи у мікроложах, де вермикультура культивувалась на посліді бройлерів, який аерували щодня впродовж 15 хв два рази на добу. Різниця становила 8,8 % і була статистично значущою.

Маса черв'яків, які не набули статевої зрілості у мікроложах, із контрольної групи була на рівні 0,06 г. За культивування черв'яків на субстраті з ферментованого посліду курчат-бройлерів за додаткового збагачення повітрям (I дослідна група) середня маса однієї особини збільшується на 33,3 %. Дещо нижча середня маса одного статевонезрілого черв'яка була встановлена у II дослідній групі. Різниця із I дослідною групою становила 12,5 %. Проте щодо контролю маса одного черв'яка була вищою на 16,7 %.

Порівнюючи показники кількості і маси черв'яків між I та II дослідною групами, статистично значущої різниці не було виявлено. Доведено, що вирощування вермикультури на субстраті з посліду курчат-бройлерів ферментованого за додаткового збагачення його повітрям можливо виростити більшу кількість і масу черв'яків за рахунок оптимального вмісту і доступності поживних речовин.

Кількість коконів черв'яків є показником інтенсивності їх репродуктивних процесів. Найменша кількість спаровувань черв'яків була у контрольній групі, де як субстрат використовували компостований послід курчат-бройлерів без активної аерації. На 120 добу досліджень кількість коконів становила 180 штук. Виявлено, що за використання посліду птиці ферментованого за активного збагачення повітрям кількість коконів у мікроложах збільшується. У I дослідній групі кількість коконів була вищою на 9,4 % щодо показника у контрольній групі (рис 1).

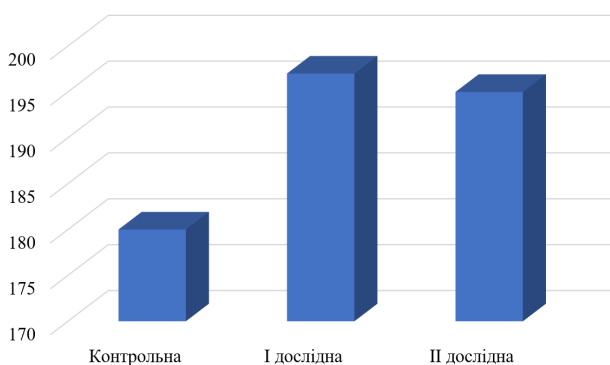


Рис. 1. Кількість коконів, шт

За вирощування вермикультури на компостованому із дворазовим щоденним процесом аерації посліді бройлерів кількість коконів збільшується на 8,3 % щодо контролю. Кількість коконів збільшувалась пропорційно чисельності статевозрілих черв'яків у групах.

Кількість особин, що розвиваються у коконі, впливають на масу останніх. Середня маса коконів у контрольній групі становила 14,7 мг. За вирощування черв'яків на компостованому посліді курчат-бройлерів у I дослідній групі маса утворених ними

коконів була більшою на 10,9 % порівняно з контрольною групою. Різниця мала статистичну значущість (рис. 2).

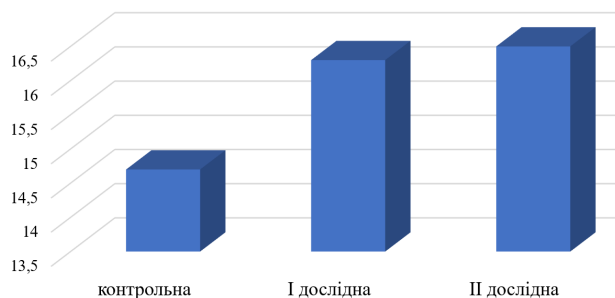


Рис. 2. Маса коконів, мг

У II дослідній групі маса коконів була більшою на 12,2 % щодо контролю ( $P < 0,05$ ). Різниця із I дослідною групою не мала статистичної значущості і становила лише 1,2 %.

## Обговорення

Експериментально доведено вплив посліду курчат-бройлерів, ферментованого за різних режимів аерації, у складі субстрату на розмноження і ріст черв'яків. Під час вирощування вермикультури на посліді бройлерів, який компостували за щодобової додаткової аерації впродовж 15 хвилин, збільшується кількість статевозрілих черв'яків у одному ложі порівняно з варіантом, де субстрат містив послід, який збагачували повітрям шляхом його перемішування один раз на 10 діб. Враховуючи той факт, що дослідний період культивування вермикультури становив 120 діб, а період статевої зрілості у черв'яків настає у 88–92-добовому віці (Mashkin & Merzlov, 2015), то збільшення чисельності таких особин у мікроложі є свідченням швидкої адаптації черв'яків до нового середовища, накопичення поживних речовин у їх організмі та більш раннього спаровування і відкладання коконів. Обґрунтуванням такого явища є те, що за додаткової аерації посліду курчат-бройлерів (збагачення Оксигеном) під час ферментування в останньому мінімізується вміст шкідливих сполук для вермикультури, що дозволяє швидко їй адаптуватись до нового середовища. Дана інформація підтверджується дослідженнями (Nasiru et al., 2013), які стверджують, що збагачення Оксигеном посліду курчат-бройлерів під час його компостування аеробним способом сприяє інтенсифікації деградації органічних сполук (зменшення вмісту аміаку) і прискорення ферментації. За компостування посліду вміст амонійних солей має бути меншим за показник 5 мг/кг субстрату, що дозволяє швидко адаптуватись черв'якам до середовища (Chaoui, 2010).

Окрім збільшення чисельності статевозрілих черв'яків, застосування у складі субстрату посліду курчат-бройлерів, який компостували за щодобової додаткової аерації упродовж 15 хвилин, призводить до збільшення чисельності черв'яків, які не досягли статевої зрілості і їх маси. Поясненням такого явища

може бути те, що за рахунок зміни інтенсивності аерації можливо впливати на інтенсивність діяльності мікробного конгломерату, тим самим регулювати гідроліз поживних речовин у органічній біомасі (Sesay et al., 1997). За такого регульованого гідролізу інтенсифікуються процеси розкладання простих сполук (карбонів кислоти, цукроза) та складних полімерів, у тому числі лігноцелюлози (Epstein, 1997). Також дослідниками (Boulter et al., 2000) стверджується, що позитивний ефект додаткової аерації посліду курчат-бройлерів може пояснюватись збільшенням тривалості підвищення температури до термофільного режиму. Внаслідок чого розвивається більше термофільних мікроорганізмів, які здатні краще гідролізувати більш складні полімери (натуральні та антропогенні) і підвищувати їх доступність для подальшого використання безхребетними. Крім того, збільшення біомаси термофільних мікроорганізмів сприяє більшому акумулюванню амінокислот, доступних джерел Нітрогену та біологічно активних речовин у ферментованій біомасі. Виходячи із цього, включення у субстрат посліду бройлерів ферментованого за додаткової аерації сприяє створенню умови оптимізації вмісту поживних речовин для вермикюльтури і прояву її генетичного потенціалу щодо нарощування маси і розмноження.

Експериментально було встановлено позитивний вплив посліду курчат-бройлерів ферментованого за додаткової аерації у складі субстрату на кількість і масу коконів у ложі. Таким чином, підтверджується закономірність: чим якісніший субстрат за вмістом поживних речовин, тим відтворювальна здатність вермикюльтури є вищою (Herasymenko et al., 2006).

### Висновки

1. Використання субстрату з умістом посліду курчат-бройлерів із підстилкою, компостованого за додаткової аерації по 15 хвилин щодобово, сприяє підвищенню розмноження і росту черв'яків. Кількість статевозрілих черв'яків і статевонезрілих черв'яків та їхня маса була більшою відповідно на 15,6 і 10,3 % та 23,3 і 46,8 % щодо варіанту, де вермикюльтуру вирощували на посліді бройлерів, ферментовану за аерації шляхом її перемішування один раз на 10 діб.

2. Ферментований послід курчат-бройлерів за додаткової аерації по 15 хвилин щодобово у складі субстрату сприяє підвищенню маси і кількості коконів відповідно на 12,2 та 9,4 % щодо контролю.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів у даній роботі.

### References

- Blazy, V., Guardia de, A., Benoist, J. C., Daumoin, M., Lemasl, M., Wolbert, D., & Barrington, S. (2014). Process condition influence on pig slaughter house compost quality under forced aeration. *Waste Biomass Valor*, 5, 451–468. URL: <https://hal.science/hal-02598734>.
- Boulter, J. I., Boland, G. J., & Trevors, J. T. (2000). Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16, 115–134. DOI: 10.1023/A:1008901420646.
- Brown, K. D. (2019). *Earthworm Recorder's Handbook*. Earthworm society of Britain. URL: <https://www.earthwormsoc.org.uk/sites/default/files/2019-09/NERS%20Earthworm%20Recorder%27s%20Handbook%20v8.pdf>.
- Chaoui, H. (2010). Vermicasting (or Vermicomposting): Processing Organic Wastes Through Earthworms. *AGDEX 743/537*. 2-6.
- Coyne, K., & Knutzen, E. (2010). *The Urban Homestead: Your Guide to Self-Sufficient Living in the Heart of the City*. Port Townsend: Process Self Reliance series.
- Epstein, E. (1997) *The Science of Composting*. CRC Press LLC, Florida.
- Haug, R.T. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. Routledge. DOI: 10.1201/9780203736234.
- Hepperly, P. R., Lotter, D., Ulsh, C. Z., Seidel, R., & Reider, C. (2009). Compost, Manure and Synthetic Fertilizer Influences Crop Yields, Soil Properties, Nitrate Leaching and Crop Nutrient Content. *Compost Science & Utilization*, 17, 117–126. DOI: 10.1080/1065657X.2009.10702410.
- Herasymenko, V. H., Herasymenko, M. O., Tsvilikhovskiy, M. I., Kotsiumbas, I. Ia., Zakharenko, M. O., Obrazhei, A. F., & Holovko, A. M. (2006). *Biotechnolohiia*. Kyiv, Firma "INKOS" (in Ukrainian).
- Kangmin, L., & Peizhen, L. (2010). Earthworms helping economy, improving ecology and protecting heals. *International Journal of Global Environmental Issues*, 10(3), 354–365. DOI: 10.1504/IJGENVI.2010.037276.
- Leet, J. K., & Volz, D. C. (2013). Improving waste management strategies for small livestock farms. *Environmental science & technology*, 47(21), 11940–11941. DOI: 10.1021/es404078b.
- Mashkin, Yu. O., & Merzlov, S. V. (2015). Vermykultyvuvannya – alternatyvnyi sposib oderzhannia bilkovo-mineralnoi kormovoi dobavky. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynnytstva*, 2, 132–135 (in Ukrainian).
- Nasiru, A., Ismail, N. & Ibrahim, M. H. (2013). Vermicomposting: Tool for Sustainable Ruminant Manure Management. *Journal of Waste Management*, 2013, 732759. DOI: 10.1155/2013/732759.
- Osipenko, I. S., & Merzlov, S. V. (2023). Biokhimichni ta khimichni sklad biomasy vermykultury, vyroshchenoi na poslidi ptytsi, fermentovanoho pryskorenym metodom. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten DNDKI veterynarykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn*, 24(1), 105–113. DOI: 10.36359/scivp.2023-24-1 (in Ukrainian).
- Sesay, A. A., Lasaridi, K., Stentioford, E., & Budd, T. (1997). Controlled composting of paper sludge using the aerated static pile method. *Compost Science & Utilization*, 5, 82–96. DOI: 10.1080/1065657X.1997.10701866.
- Shen, X., Huang, G., Yang, Z. & Han, L. (2015). Compositional characteristics and energy potential of Chinese animal manure by type and as a whole. *Applied Ener-*

- gy, Elsevier, 160, 108–119. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.09.034.
- Sinha, R., Valani, D., Chauhan, K. A., & Agarwal, S. M. (2010). Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 2(7), 113–128. URL: <https://academicjournals.org/journal/JABSD/article-abstract/7892986625>.
- Yadav, S. K., Miah, Md. F., Makin, A. A., & Khan, Z. K. (2014). Small-Scale Compost Production through vermiculture Biotechnology. *International J. of research in Agriculture and Forestry*, 1(2), 7-12. URL: <http://www.ijraf.org/pdf/v1-i2/2.pdf>.
- Zekker, I., Kivirüüt, A., Rikmann, E., Mandel, A., Jaagura, M., Tenno, T., Artemchuk, O., Rubin, S.d., & Tenno, T. (2019). Enhanced efficiency of nitrifying-anammox sequencing batch reactor achieved at low decrease rates of oxidation–reduction potential. *Environ. Eng. Sci.*, 36(3), 350–360. URL: <https://www.liebertpub.com/doi/epub/10.1089/ees.2018.0225>.
- Zekker, I., Raudkivi, M., Artemchuk, O., Rikmann, E., Priks, H., Jaagura, M., & Tenno, T. (2021). Mainstream-sidestream wastewater switching promotes anammox nitrogen removal rate in organic-rich, low-temperature streams. *Environmental technology*, 42(19), 3073–3082. DOI: 10.1080/09593330.2020.1721566.
- Zhang, H., Li, G., Gu, J., Wang, G., Li, Y., & Zhang, D. (2016). Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH<sub>3</sub> emissions during aerobic composting of kitchen waste. *Waste management (New York, N.Y.)*, 58, 369–375. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.08.022.