

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-a9919
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 63:631.872:633.1:625

Physical and chemical indicators of wheat straw fermented with a biodestructor of domestic production

L. V. Mitiohlo¹, S. V. Merzlov², H. V. Merzlova²✉

¹State enterprise “Experimental Farm “Niva” of the M. V. Zubets Institute of Animal Breeding and Genetics of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, Hrystynivka village, Cherkasy region, Ukraine

²Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Article info

Received 21.08.2023
Received in revised form
25.09.2023
Accepted 26.09.2023

Mitiohlo, L. V., Merzlov, S. V., & Merzlova, H. V. (2023). Physical and chemical indicators of wheat straw fermented with a biodestructor of domestic production. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 25(99), 114–119. doi: 10.32718/nvlvet-a9919

State enterprise “Experimental Farm “Niva” of the M. V. Zubets Institute of Animal Breeding and Genetics of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, Hrystynivka village, Cherkasy region, 20009, Ukraine

Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna sq., Bila Tserkva, 09117, Ukraine.
Tel.: +38-096-901-31-99
E-mail: merzlovagv@ukr.net

Cereal straw, including wheat one, is widely used in animal husbandry. Wheat straw is used as bedding and a component of rations. Violation of storage conditions and excessive volumes of harvesting causes a large mass of straw to deteriorate every year, which has a negative impact on the environment. Uncontrolled rotting of straw increases the amount of gas emissions into the air. An effective way of disposing of spoiled wheat straw is its fermentation using biological preparations to obtain biocompost. The problem of the effectiveness of composting spoiled wheat straw using the domestic biodestructor BTU-CENTER remains unexplored. The aim of the work was to determine the effect of different doses of the BTU-CENTER biodestructor on the physical and chemical parameters of fermented wheat straw. For the experiment, 4 groups of piles were formed. In the piles from the control group, straw composting was carried out without the use of a biodestructor. A biodestructor was added to the straw from the 1st experimental group at the rate of 7.0 cm³/t of biomass with a moisture content of 65.5 %. Spoiled straw in the II and III experimental groups was treated with a biodestructor solution, providing its doses in the range of 14.0 and 28.0 cm³/t. Aeration of the piles was carried out by stirring the straw periodically every 8 days. During composting, the temperature of the straw biomass in the middle of the piles was determined. The content of crude protein, Phosphorus, Calcium and Nitrogen was determined in the fermented straw. It has been established that the heating of straw in the piles started from the second day of composting. An increase in the temperature of the biomass in the experimental piles was observed up to the 12th day, and in the control group up to the 14th day of composting. It was found that the higher the dose of the biodestructor used during straw processing, the higher the temperature in the middle of the piles. In the III experimental group, on the 12th day of composting, the highest straw temperature was established in the middle of the piles. The difference with control, I and II experimental groups was 21.4; 15.9 and 4.1 % respectively. The longest fermentation of wheat straw under the thermophilic regime was established in the group where the highest dose of biodestructor was used – 18 days. It has been proved that the use of high doses of the biodestructor increases the content of crude protein, Nitrogen, Phosphorus and Calcium in the fermented wheat straw biomass relatively to the control one.

Key words: biological preparation, macro elements, biomass, temperature, composting, Phosphorus, Nitrogen, Calcium.

Фізико-хімічні показники соломи пшениці, ферментованої біодеструктором вітчизняного виробництва

Л. В. Мітіюгло¹, С. В. Мерзлов², Г. В. Мерзлова²✉

¹Державне підприємство “Дослідне господарство “Нива” Інституту розведення і генетики тварин імені М. В. Зубця Національної академії аграрних наук України, село Христинівка, Черкаська обл., Україна

²Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

Солома злакових, у тому числі пшениці, широко використовується в тваринництві. Солому пшениці застосовують як підстилку і складову раціонів. За порушення умов зберігання та надмірних об'ємів заготовівці щороку псується велика маса соломи, що негативно впливає на навколишнє середовище. За неконтрольованого гниття соломи збільшується кількість викидів газів у повітря. Ефективним способом утилізації зіпсованої соломи пшениці є її ферментування за використання біопрепаратів для одержання біокомпосту. Невивченим залишається питання ефективності компостування зіпсованої соломи пшениці за використання вітчизняного біодеструктора БТУ-ЦЕНТР. Метою роботи було встановлення впливу різних доз біодеструктора БТУ-ЦЕНТР на фізико-хімічні показники ферментованої соломи пшениці. Для експерименту було сформовано 4 групи буртів. У буртах із контрольної групи компостування соломи проводили без використання біодеструктора. До соломи із I дослідної групи додавали біодеструктор із розрахунку 7,0 см³/т біомаси із вологістю 65,5 %. Зіпсовану солому у II та III дослідних групах обробляли розчином біодеструктора, забезпечуючи його дози в межах 14,0 та 28,0 см³/т. Аерацію буртів проводили шляхом перемішування соломи періодично через кожних 8 діб. Упродовж компостування визначали температуру біомаси соломи всередині буртів. У ферментованій соломі визначали вміст сирого протеїну, Фосфору, Кальцію та Нітрогену. Встановлено, що розігрів соломи у буртах розпочинався із другої доби компостування. Зростання температури біомаси у дослідних буртах відмічалось до 12 доби, а у контрольній групі – до 14 доби компостування. Виявлено, що чим більшу дозу біодеструктора використовували під час обробки соломи, тим температура всередині буртів була більшою. У III дослідній групі на 12 добу компостування встановлена найбільша температура соломи всередині буртів. Різниця із контролем, I та II дослідними групами була відповідно – 21,4; 15,9 та 4,1 %. Найдовше ферментування соломи пшениці за термофільного режиму було встановлено у групі, де застосовували найвищу дозу біодеструктора – 18 діб. Доведено, що за використання високих доз біодеструктора підвищується вміст сирого протеїну, Нітрогену, Фосфору та Кальцію у ферментованій біомасі соломи пшениці щодо контролю.

Ключові слова: біопрепарат, макроелементи, біомаса, температура, компостування, Фосфор, Нітроген, Кальцій.

Вступ

За сучасних технологій ведення тваринництва застосовують значні обсяги соломи злакових культур, у тому числі й соломи пшениці. У раціонах жуйних тварин, безпосередньо сухостійних і лактуючих корів, широко використовують солому пшениці (Havekes et al., 2020). Солому за додаткового подрібнення використовують як підстилку для птиці (Kovtun & Merzlov, 2023) та сільськогосподарських тварин (André & Tuytens, 2005).

Для зберігання і мобільності використання солому злакових тують у тюки різних розмірів і ваги. В багатьох господарствах за наявності значних земельних площ і невеликої кількості тварин заготовлена солома протягом сезону не використовується і значна маса соломи залежується впродовж 3–4 років і з часом псується. Виникають питання щодо пошуку способів утилізації зіпсованої соломи злакових.

Таким чином, господарська корисність соломи витрачається даремно і зіпсована солома у великих об'ємах може становити серйозну проблему забруднення середовища. Щоб вирішити проблеми щодо зниження забруднення навколишнього середовища та ефективно використати зіпсовану солому, проводиться пошук нових способів її утилізації (Gao et al., 2008).

Привабливою технологією утилізації соломи пшениці є виробництво біоетанолу. Проте технологія є досить затратною з економічної точки зору, що не дає можливості широкого впровадження у виробництво (Talebniya et al., 2010).

Для одержання із зіпсованої соломи злакових цінного продукту для агропромислового сектору доцільно застосовувати біоконверсійні технології із залученням біопрепаратів (Zhang et al., 2016). Для ферментування соломи рису використовують інокулянти, які містять один (переважно *L. plantarum*) або декілька видів (*L. plantarum* у поєднанні з *Pediococcus*, *Enterococcus* або *Lactococcus* spp.), (*L. fermentum*, *L. plantarum* і *L. paracasei*) бактерій (Gao et al., 2008). У

доступній літературі недостатньо інформації щодо впливу біопрепаратів БТУ-ЦЕНТР, які містять бактерії *Bacillus* spp. для одержання компосту на фізико-хімічні показники ферментованої соломи пшениці.

У процесі компостування ензими мікроорганізмів різної природи гідролізують поживні речовини, в тому числі вуглеводи та білки, у зіпсованій соломі. Для інтенсивного протікання цих процесів проводиться оптимізація біомаси за вологою та вмістом есенціальних факторів живлення. Обробка соломи таким чином прискорює перегнивання, одержання біодобрива і є ефективним способом зменшення забруднення зовнішнього середовища.

Перегнивання соломи пшениці без використання біопрепаратів пролонгує процес викидів шкідливих газів у зовнішнє середовище, погіршується якість одержаних добрив (Raut et al., 2008; Amir et al., 2008; Khan et al., 2014; Blazy et al., 2014).

Використання біодеструкторів призводить до значного скорочення часу компостування відходів рослинництва (Chattopadhyay, 2012; Nasiru et al., 2013; Zhang et al., 2016).

Немає достатньої, вичерпної інформації у першоджерелах щодо технологічних і хімічних показників рослинних відходів за їх компостування вітчизняними біопрепаратами для виготовлення компостів.

Мета дослідження

Метою досліджень є встановлення фізико-хімічних показників соломи пшеничної після ферментування її різними дозами біопрепарату для приготування компосту вітчизняного виробництва.

Матеріал і методи досліджень

Під час ферментування зіпсованої соломи пшениці за рідних доз біодеструктора виробництва БТУ-ЦЕНТР проводили визначення температури всередині буртів. Ферментування зіпсованої соломи пшениці із вмістом вологи 65,5 % проводили у буртах із масою

по 250 кг. Солому пшениці у контролі компостували, не використовуючи біодеструктора. У I дослідній групі солому ферментували, використовуючи біопрепарат у дозі 7,0 см³/т. У біомасу в буртах II дослідної групи вносили біодеструктор у дозі 14,0 см³/т. Зіпсовану солому в III дослідній групі обробляли розчином біодеструктора, забезпечуючи його вміст на рівні 28,0 см³/т. Переміщування соломи пшениці у буртах здійснювали періодично через кожних 8 діб (табл. 1).

вану солому в III дослідній групі обробляли розчином біодеструктора, забезпечуючи його вміст на рівні 28,0 см³/т. Переміщування соломи пшениці у буртах здійснювали періодично через кожних 8 діб (табл. 1).

Таблиця 1

Схема дослідю

Група	Кількість буртів у групі, шт	Маса зіпсованої соломи пшениці у бурті, кг	Доза біодеструктора, см ³ /т
Контрольна	4	250,0	-
I дослідна	4	250,0	7,0
II дослідна	4	250,0	14,0
III дослідна	4	250,0	28,0

Хімічні дослідження проводили у зіпсованій соломі пшениці до компостування і соломі, яку компостували 110 діб. Проводили визначення вмісту Фосфору, загального Нітрогену, Кальцію та масової частки сирого протеїну. Нітроген визначали, керуючись методикою (Bremner, 1996).

За використання методики К'ельдаля (Liu et al., 2015) визначали масову частку сирого протеїну в біомасі соломи пшениці. Макроелементи Фосфор і Кальцій досліджували методикою, описаною у (Wolf et al., 2003).

Значення температури всередині буртів ферментованої соломи пшениці визначали, застосовуючи термометри за вимогами ДСТУ OIML R 133:2019. Показники одержували на глибині 32–38 см.

Статистичні обрахунки одержаних даних здійснювали за використання стандартних методів програми Statistica.

Результати досліджень

Температура зіпсованої соломи пшениці у добу закладання експерименту становила 19,0 °С. На 2 добу компостування у контрольній групі температура в буртах зросла до 20,0 °С. У цей самий період за дода-

вання до соломи пшениці біодеструктора у дозі 7,0 см³/т зростає температура у компостованій масі на 10,0 % порівняно з контролем. Підвищення дози біопрепарату до 14,0 та 28,0 см³/т сприяло зростанню температури соломи щодо контрольної групи відповідно на 20,0 та 25,0 %.

Температура соломи всередині буртів на 4 добу ферментування у дослідних групах зросла відповідно – у 2,0; 2,3 та 2,4 раза щодо температури біомаси на початку експерименту. У контролі температура на 4 добу зросла на 42,1 % щодо цього показника у першу добу компостування. Найвища температура соломи пшениці на 4 добу була у III дослідній групі. Показник був вищим на 70,3 % порівняно з контрольною групою.

Всередині буртів температура соломи пшениці у дослідних групах зростала до 12 доби, а в контрольній групі – до 14 доби ферментування. Доведено, що чим більше у зіпсовану солому пшениці вносили біодеструктора, тим температура всередині буртів була більшою. На 12 добу найбільша температура соломи виявлена у III дослідній групі. Різниця із контролем, I та II дослідними групами була відповідно – 21,4; 15,9 та 4,1 % (рис. 1).

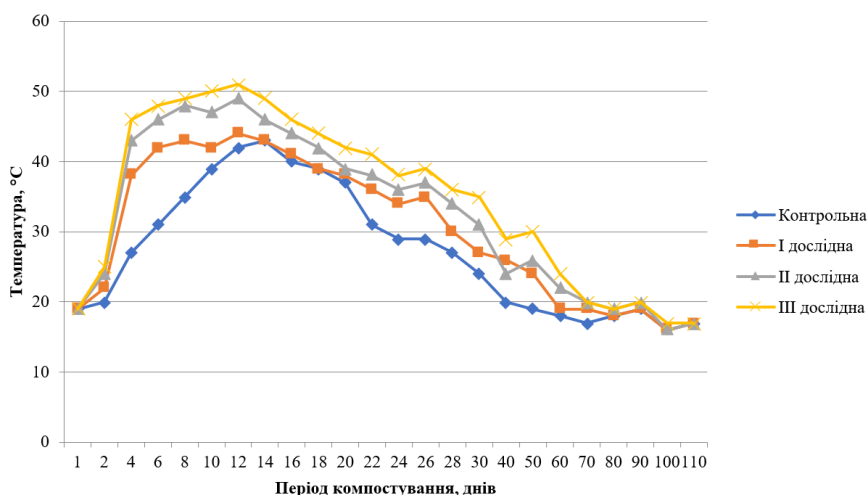


Рис. 1. Динаміка температури компосту

У дослідних групах температура соломи пшениці на 14 добу знизилась відповідно на 2,3; 6,1 та 3,9 % щодо показника на 12 добу компостування. Із 14 до 80

доби залишалась тенденція – чим більшу дозу біодеструктора вносили у солому, тим температура була вищою.

У контролі температура компостування соломи пшениці в термофільному режимі була із 12 по 16 добу. За внесення біопрепарату в дозі 7,0 см³/т тривалість термофільного режиму пролонгується на 6 діб (із 6 до 16 доби). Найтриваліше компостування соломи пшениці у термофільному режимі було виявлено у варіанті, де застосовували найвищу дозу біодеструктора – 18 діб.

На кінець другого місяця ферментування температура соломи пшениці із III дослідної групи була вищою щодо контролю, I та II дослідної групи відповідно на 33,3; 26,3 та 9,1 %. Після 90 доби компостування помітної різниці за температурою всередині буртів соломи між дослідними і контрольною групами не було встановлено. Температура ферментованої маси відповідала температурі повітря.

Під час дослідження низки хімічних показників соломи пшениці до і після компостування встановлено вплив різних доз біодеструктора на їх значення. В зіпсованій соломі до ферментування вміст сирого протеїну становив 2,3 %. За ферментування соломи без використання біопрепарату вміст сирого протеїну

зменшився у 2,34 раза щодо вмісту протеїну до компостування. За внесення найменшої дози біодеструктора за компостування у соломі вмісту сирого протеїну знижується у 2,07 раза. Різниця мала статистичну значущість. У III дослідній групі вміст сирого протеїну в кінці ферментування знизився щодо показника до компостування у 1,88 раза. Виявлено вплив дії біодеструктора на підвищення збереження сирого протеїну у ферментованій соломі. За внесення біодеструктора у дозі 7,0 см³/т вміст сирого протеїну у компостованій соломі був більшим на 0,13 % порівняно з контрольною групою. У III дослідній групі вміст сирого протеїну у ферментованій біомасі був більшим щодо контролю на 0,24 %.

Найбільший вміст сирого протеїну серед дослідних груп у соломі пшениці після компостування був у групі де використовували дозу біодеструктора 28,0 см³/т. Різниця була статистично значущою порівняно з контролем. Зростання вмісту сирого протеїну в соломі пшениці після компостування пояснюється кількістю мікроорганізмів, яку трансформували протеїн і Нітроген у свою біомасу (табл. 2).

Таблиця 2

Хімічні показники соломи пшениці до і після компостування, n = 5

Показник	Зіпсована солома пшениці до ферментації	Група			
		контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
Сирий протеїн, %	2,30 ± 0,110	0,98 ± 0,077 ^{2***}	1,11 ± 0,085 ^{2**}	1,14 ± 0,106 ^{2**}	1,22 ± 0,087 ^{1*2**}
Уміст Кальцію, г/кг	2,90 ± 0,171	4,93 ± 0,231 ^{2**}	5,02 ± 0,121 ^{2***}	5,11 ± 0,109 ^{2***}	5,20 ± 0,137 ^{2***}
Уміст Фосфору, г/кг	0,91 ± 0,043	0,43 ± 0,021 ^{2**}	0,51 ± 0,019 ^{1*2***}	0,55 ± 0,017 ^{1*2**}	0,59 ± 0,020 ^{1*2**}
Уміст Нітрогену, г/кг	3,68 ± 0,234	1,57 ± 0,143	1,78 ± 0,065	1,82 ± 0,054	1,95 ± 0,043

Примітка: ^{1*} – P < 0,05; ^{1**} – P < 0,01 – щодо контролю; ^{2**} – P < 0,01; ^{2***} – P < 0,001 – щодо неферментованої соломи пшениці

Внаслідок процесу мінералізації та зниження вмісту сухої речовини виявлено зміни вмісту Кальцію у ферментованій масі соломи. На кінець ферментування вміст Кальцію у компостованій біомасі збільшується. У контрольній групі за компостування підвищився вміст Кальцію у соломі пшениці на 70,0 % (P < 0,01) щодо показника до ферментування. У II та III дослідних групах вміст Кальцію збільшився відповідно на 73,1 та 76,2 % порівняно з умістом цього елемента у соломі до компостування. Різниця була статистично значущою (Sparks et al., 1996).

Встановлено збільшення вмісту Кальцію у соломі, ферментованій за використання біодеструктора у дозі 28,0 см³/т на 5,4 % щодо контрольної групи. Зі збільшенням дози біодеструктора у зіпсованій соломі вміст Кальцію за компостування зростає. У II та III дослідних групах зростання цього елемента у ферментованій соломі було більшим, ніж у контрольній групі, відповідно на 1,8 та 3,6 %.

Вміст Нітрогену за процесу компостування біомаси соломи пшениці значно знижується. У контролі вміст Нітрогену в соломі був на рівні 1,57 г/кг. Зменшення вмісту Нітрогену за ферментування щодо показника у зіпсованій соломі до компостування було в 2,34 раза. Досліджуючи вміст елемента у біомасі соломи із дослідних груп, виявлено, що за дії різних доз

біодеструктора вміст Нітрогену був більшим відповідно на 13,3; 15,9 та 24,2 % щод контролю.

Доведено, що за деградації органічних сполук у зіпсованій соломі за дії біокатализаторів бактеріального походження паралельно знижується вміст Фосфору. За використання біодеструктора втрати Фосфору у ферментованій біомасі соломи зменшуються. Чим більше до зіпсованої соломи пшениці вносили біодеструктора, тим вміст Фосфору був вищим.

Обговорення

Нами за допомогою досліджень було встановлено, що під час компостування температура зіпсованої соломи пшениці всередині буртів залежала від часу ферментації. Наші дослідження мають підтвердження у працях (Liu et al., 2011; Khan et al., 2014), де стверджується, що компостування гною тварин та рослинних відходів проходить у три фази: мезофільну – протягом якої збільшується активність мезофільних мікроорганізмів і збільшується температура до 40,0 °C всередині біомаси. Процес триває декілька діб. Термофільний період (високотемпературний) триває від 5 до 65 діб (залежно від маси і природи органічних відходів). За такої температури основними продуцентами гідролітичних ензимів є термофільні бактерії. На третій фазі настає поступове охолодження біомаси і

дозрівання. Під час цієї фази домінуючу роль відіграють термофільні бактерії. Нами підтверджено, що під час компостування зіпсованої соломи пшениці за дози біодеструктора БТУ-ЦЕНТР 28,0 см³/т на першій фазі мезофільний режим тривав 3 доби, високотемпературна фаза тривала 18 діб, період охолодження у мезофільному режимі становив 48 діб.

Короткий період високотемпературної фази можливо обґрунтувати тим, що біомаса соломи пшениці має порівняно низький вміст Нітрогену. Дане явище має підтвердження у працях (Tiquia et al., 1996; Romero-Yam et al., 2015), де стверджується, що від співвідношення Карбону до Нітрогену (C:N) в органічних рештках залежить розвиток мікроорганізмів та динаміка температури.

Одержані нами дані щодо збільшення температури компостування залежності від чисельності конгломерату мікроорганізмів збігаються з результатами досліджень (Hwang, 2020). Hwang H. Y. із авторами стверджують, що за компостування курячого посліду із різними органічними відходами виділення тепла залежало від деградації органічної речовини у відходах. У свою чергу деградація органічних відходів залежала від діяльності мезофільних і термофільних мікроорганізмів.

Доведено, що процес компостування соломи пшениці призводить до втрат сирого протеїну та Нітрогену у ферментованій біомасі порівняно із зіпсованою соломою до компостування. Пояснюється це тим, що мікроорганізми за дії своїх ензимів швидко розщеплюють органічні сполуки соломи у мезофільній та особливо термофільній фазі. За гідролізу білків утворюється велика кількість аміаку, який з часом елімінується у навколишнє середовище. Ці дослідження узгоджуються даними, описаними (Yang et al., 2019). Від 40,0 до 75,0 % аміаку утворюється на перших етапах компостування органічних відходів (Hwang et al., 2020). За нашими даними, зменшення Нітрогену у ферментованій соломі пшениці за рахунок елімінації аміаку впродовж 110 діб ферментування становило від 2,3 рази до 47,1 %.

Згідно з результатами досліджень доведено, що за збільшення дози біодеструктора вміст Нітрогену та Фосфору у ферментованій біомасі соломи збільшується. Даний процес обґрунтовується тим, що чим більше мікроорганізмів у компості, тим відсоток трансформації елемента із органічних відходів у біомасу конгломерату мікроорганізмів є більшим (Sommer, 2001).

За дії компостування проходить біохімічна мінералізація органічних сполук. За розпаду білків та вуглеводів соломи пшениці Кальцій не утворює летючих сполук і не елімінується у навколишнє середовище. Тому можливо вважати, чим більший вміст Кальцію у ферментованій біомасі соломи, тим мінералізація останнього є ефективнішою. Із підвищенням дози біодеструктора вміст Кальцію у ферментованій біомасі зростає.

Отже, результати наших досліджень не розбігаються з даними інших дослідників і є доповненням до них.

Висновки

Встановлено, що температура під час компостування зіпсованої соломи пшениці змінювалася залежно від дози додавання у неї мікробіологічного препарату. Чим більшу дозу біодеструктора вносили у біомасу, тим температура компостування була вищою. За використання біодеструктора у дозі 28,0 см³/т на 12 добу компостування температура соломи була вищою на 21,4 %.

За використання біодеструктора у дозі 28,0 см³/т прискорюється мінералізація соломи пшениці, знижується елімінація у навколишнє середовище із біомаси Нітрогену та Фосфору відповідно на 26,7 та 37,2 щодо контрольного варіанту.

Перспективи подальших досліджень. Науково-практичне значення має висвітлення подальших досліджень мікробіологічних показників у компостованій біомасі зіпсованої соломи пшениці за дії вітчизняного біодеструктора БТУ-ЦЕНТР.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів у даній роботі.

References

- Amir, S., Merlina, G., Pinelli, E., Winterton, P., Revel, J. C., & Hafidi, M. (2008). Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. *Journal of hazardous materials*, 159(2-3), 593–601. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.062.
- André, F., & Tuytens, M. (2005). The importance of straw for pig and cattle welfare: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, 92(3), 261–282. DOI: 10.1016/j.applanim.2005.05.007.
- Blazy, V., de Guardia, A., Benoist, J. C., Daumoin, M., Lemasle, M., Wolbert, D., & Barrington, S. (2014). Process conditions influence on pig slaughter house compost quality under forced aeration. *Waste and Biomass Valorization*, 5(3), 451–468. URL: <https://hal.science/hal-02598734>.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen – total. In: Sparks DL, editor. *Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical methods*. Madison, WI:SSSA Inc. 1085-121.
- Chattopadhyay, G. N. (2012). Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1, 1–6. DOI: 10.1186/2251-7715-1-8.
- DSTU OIML R 133:2019 Termometry ridynni sklani (OIML R 133:2002, IDT) (in Ukrainian).
- Gao, L., Yang, H., Wang, X., Huang, Z., Ishii, M., Igarashi, Y., & Cui, Z. (2008). Rice straw fermentation using lactic acid bacteria. *Bioresour technol*, 99(8), 2742–2748. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.07.001.
- Havekes, C. D., Duffield, T. F., Carpenter, A. J., & DeVries, T. J. (2020). Effects of wheat straw chop length in high-straw dry cow diets on intake, health, and performance of dairy cows across the transition

- period. *Journal of dairy science*, 103(1), 254–271. DOI: 10.3168/jds.2019-17033.
- Havekes, C. D., Duffield, T. F., Carpenter, A. J., & DeVries, T. J. (2020). Effects of molasses-based liquid feed supplementation to a high-straw dry cow diet on feed intake, health, and performance of dairy cows across the transition period. *Journal of dairy science*, 103(6), 5070–5089. DOI: 10.3168/jds.2019-18085.
- Havekes, C. D., Duffield, T. F., Carpenter, A. J., & DeVries, T. J. (2020). Moisture content of high-straw dry cow diets affects intake, health, and performance of transition dairy cows. *Journal of dairy science*, 103(2), 1500–1515. DOI: 10.3168/jds.2019-17557.
- Hwang, H. Y., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. J., & Lee, C. H. (2020). Co-composting of chicken manure with organic wastes: characterization of gases emissions and compost quality. *Applied Biological Chemistry*, 63, 3. DOI: 10.1186/s13765-019-0483-8.
- Khan, N., Clark, I., Sánchez-Monedero, M. A., Shea, S., Meier, S. & Bolan, N. (2014). Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. *Bioresource technology*, 168, 245–251. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.02.123.
- Kovtun, P. V., & Merzlov, S.V. (2023). Pokaznyky mikrobiolohichnoho skladu poslidu kurchat-broileriv iz pidstylkoiu za riznoho chasu zberihannia. *Naukovotekhnichniyi biuletyn DNDKI veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok*, 24(1), 48–55 (in Ukrainian).
- Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., & Shen, Q. (2011). Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource technology*, 102(19), 9040–9049. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.07.052.
- Liu, Z., Gonzalez, J. S., Wang, H., Gunasekaran, S., & Runge, T. (2015). Dairy manure protein analysis using UV-vis based on the Bradford method. *Analytical Methods*, 7, 2645–2652. DOI: 10.1039/C4AY03006K.
- 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.
- Raut, M. P., Prince William, S. P., Bhattacharyya, J. K., Chakrabarti, T., & Devotta, S. (2008). Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste - a compost maturity analysis perspective. *Bioresource technology*, 99(14), 6512–6519. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.11.030.
- Romero-Yam, L. A., Almaraz-Suárez, J. J., Velasco-Velasco, J., Galvis-Spinola, A., Gavi-Reyes, F. (2015). Microbial dynamic during composting of filter cake reactivated with chicken manure. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(1) 21–31. DOI: 10.5154/r.rchsh.2013.09.032.
- Sommer, S. G. (2001). Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 123–133. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00087-3.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis. Part 3 – chemical methods*. DOI: 10.2136/sssabookser5.3.
- Talebna, F., Karakashev, D., & Angelidaki, I. (2010). Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource technology*, 101(13), 4744–4753. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.080.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F., & Hodgkiss, I. J. (1996). Microbial activities during composting of spent pigmanure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource Technology*, 55(6), 201–206. DOI: 10.1016/0960-8524(95)00195-6.
- Wolf, A., Watson, M., & Wolf, N. (2003). Digestion and Dissolution Methods for P, K, Ca, Mg and Trace Elements. In: Peters, J., Ed., *Recommended Methods of Manure Analysis*. University of Wisconsin-Extension, Madison, 30–38.
- Yang, F., Li, Y., Han, Y., Qian, W., Li, G., & Luo, W. (2019). Performance of mature compost to control gaseous emissions in kitchen waste composting. *The Science of the total environment*, 657, 262–269. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.030.
- Zhang, H., Li, G., Gu, J., Wang, G., Li, Y., & Zhang, D. (2016). Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH₃ emissions during aerobic composting of kitchen waste. *Waste management*, 58, 369–375. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.08.022.