

ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У СОЛОМІ ЗЛАКОВИХ І БОБОВИХ ЗА БІОТЕХНОЛОГІЇ ЇЇ КОМПОСТУВАННЯ

Л. В. Мітіогло, канд. с.-г. наук,
С. В. Мерзлов, д-р с.-г. наук,
Г. В. Мерзлова, канд. с.-г. наук,
С. П. Бабенко, канд. с.-г. наук

Білоцерківський національний аграрний університет
Соборна площа 8/1, Біла Церква, 09117, Україна
merzlovagv@ukr.net

За порушення умов збирання та зберігання соломи злакових чи бобових культур, значна частина її стає непридатною для використання як підстилки чи компонента раціону для ряду сільськогосподарських тварин. Виходячи з того, що у господарствах може накопичуватися значна маса непридатної соломи, виникає проблема ефективної утилізації цієї зіпсованої біомаси. Ефективним із господарсько-екологічної точки зору є спосіб утилізації зіпсованої соломи різного походження у біодобриво шляхом ферментування, за використання різних симбіотичних конгломератів мікроорганізмів. За регламентованої ферментації покращується мінералізація органічних відходів і підвищується ефективність використання соломи у біоконверсних ланках. Не досить вивченим є питання дії різних доз вітчизняного біодеструктора на вміст мікроелементів у компостованій соломі вівса, пшениці та гороху. Для експериментів відбирали проби зіпсованої соломи, яку ферментували у контролі (без внесення мікробіологічного препарату) та із внесенням препарату у дозах 7,0; 14,0 та 28,0 см³/т. У соломі ферментованих злакових та бобових визначали вміст Мангану, Феруму, Купруму, Цинку та Кобальту. Внаслідок компостування соломи горохової виявлено збільшення вмісту Феруму у біомасі. За використання найбільшої дози біодеструктора встановлено збільшення вмісту Феруму на 9,1 % відносно контролю. Використання біодеструктора впливає на зростання вмісту Цинку у соломі гороховій. Ферментування цієї біомаси, за доз біодеструктора 14,0 та 28,0 см³/т, сприяє збільшенню у ній вмісту Цинку, відповідно, на 20,9 та 25,5 % відносно контролю. Із підвищенням дози біодеструктора у соломі під час її компостування вміст Мангану зростає у порівнянні із показником у контролі. На вміст Купруму у соломі гороху впливає доза біодеструктора під час компостування. Використання біодеструктора у дозі 28,0 см³/т призводить до підвищення, в межах статистичної значущості, вмісту Купруму у соломі гороху. Встановлено, що у I, II та III дослідних групах вміст Кобальту у ферментованій соломі гороху був вищим, ніж у контролі, відповідно, на 5,5, 16,6 та 27,7 %.

За використання біодеструктора у дозах 14,0 та 28,0 см³/т встановлено тенденцію до збільшення вмісту Феруму у соломі пшениці. На статистично значущу величину збільшився вміст Цинку у компостованій біомасі із соломи пшениці із II та III дослідної групи відносно контролю та показника у неферментованій пшеничній соломі. Ферментування за участі біодеструктора сприяло збільшенню Мангану у соломі пшениці. На статистично значущу величину збільшився вміст Мангану у ферментованій пшеничній соломі, відносно показника у контролі. Досліджуючи вміст Купруму, виявлено, що ферментування призводить до підвищення у дослідних групах цього елемента відповідно, на 5,5; 16,6 та 27,7 %, у порівнянні із контролем. У варіантах, де для компостування використовували біодеструктор у дозах 14,0 та 28,0 см³/т, підвищення Кобальту у соломі пшениці відносно контролю було

статистично значущим. Найвищий вміст Феруму був встановлений у ферментованій масі зіпсованої соломи вівсяної у III дослідної групи, де для ферментації використовували біодеструктор у дозі 28,0 см³/т. За компостування соломи вівсяної виявлено, що чим більшу дозу використовували біодеструктора тим вміст Цинку та Мангану у біомасі був вищим. У II та III дослідних групах за рахунок ферментації концентрація Купруму у соломі вівсяній зростала, відповідно, на 18,5 та 37,0 % відносно показників контролю. Застосування біодеструктора супроводжується тенденцією щодо підвищення вмісту Кобальту у соломі вівсяній стосовно варіанту де компостування проходило без біодеструктора. Таким чином встановлено, що компостування соломи вівся, пшениці та гороху за використання біодеструктора сприяє інтенсивності її мінералізації.

Ключові слова: ФЕРМЕНТУВАННЯ, ФЕРУМ, КУПРУМ, МАНГАН, КОБАЛЬТ, ЦИНК.

CONTENT OF MICRO ELEMENTS IN CEREAL AND LEGUME STRAW UNDER THE BIOTECHNOLOGY OF ITS COMPOSTING

L. V. Mitiohlo, S. V. Merzlov, H. V. Merzlova, S. P. Babenko

Bila Tserkva National Agrarian University,
Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09100, Ukraine
merzlovagv@ukr.net

In case the conditions for collecting and storing cereal or leguminous straw are violated, a large part of it becomes unsuitable for use as bedding or a component of the diet for a number of farm animals. Based on the fact that farms can accumulate a significant amount of unusable straw, the problem of effective utilization of this spoiled biomass arises. From an economic and ecological point of view, the method of recycling spoiled straw of various origins into biofertilizer by fermentation using various symbiotic conglomerates of microorganisms is effective. Regulated fermentation improves the mineralization of organic waste and increases the efficiency of straw use in bioconversion units. The problem of the effect of different doses of the domestic biodestructor on the content of microelements in composted oat, wheat and pea straw is not sufficiently studied. Samples of spoiled straw were taken for the experiments, which were fermented in the control group (without introduction of the microbiological preparation) and with introduction of the preparation in doses of 7.0; 14.0 and 28.0 cm³/t. The content of Manganese, Ferrum, Copper, Zinc, and Cobalt was determined in the straw of fermented cereals and legumes. As a result of composting of pea straw, an increase in the content of Ferrum in the biomass was found. With the use of the largest dose of the biodestructor, an increase in the Ferrum content by 9.1% compared to the control one was established. The use of a biodestructor affects the growth of Zinc content in pea straw. Fermentation of this biomass at biodestructor doses of 14.0 and 28.0 cm³/t contributes to an increase in its Zinc content, respectively, by 20.9 and 25.5 % relative to the control group. With an increase in the dose of the biodestructor in the straw during its composting, the Manganese content increases in comparison with the indicator in the control group. The content of Cuprum in pea straw is affected by the dose of biodestructor during composting. The use of a biodestructor at a dose of 28.0 cm³/t leads to an increase within the limits of statistical significance in the content of Cuprum in pea straw. It was established that in experimental groups I, II and III, the Cobalt content in fermented pea straw was higher than in the control one by 5.5, 16.6 and 27.7%, respectively.

With the use of biodestructor in doses of 14.0 and 28.0 cm³/t, a tendency to increase the Ferrum content in wheat straw has been established. The content of Zinc in composted wheat straw biomass from II and III experimental groups increased by a statistically significant value compared to the control one and the indicator in unfermented wheat straw. Fermentation with the participation

of a biodestructor contributed to the increase of Manganese in wheat straw. Manganese content in fermented wheat straw has been increased by a statistically significant value relative to the indicator in the control one. Investigating the content of Copper, it has been found that fermentation leads to an increase in the experimental groups of this element, respectively, by 5.5; 16.6 and 27.7 % compared to the control one. In the variants where a biodestructor was used for composting in doses of 14.0 and 28.0 cm³/t, the increase in Cobalt in wheat straw relative to the control one was statistically significant. The highest Ferrum content was found in the fermented mass of spoiled oat straw in the III experimental group where a biodestructor at a dose of 28.0 cm³/t was used for fermentation. During the composting of oat straw, it has been found that the higher the dose of biodestructor, the higher the content of Zinc and Manganese in the biomass. In the II and III research groups due to fermentation, the concentration of Copper in oat straw increased by 18.5 and 37.0 %, respectively, compared to the control indicators. The use of a biodestructor is accompanied by a tendency to increase the content of Cobalt in oat straw compared to the option where composting took place without a biodestructor. Thus, it has been established that composting oat, wheat, and pea straw with the use of a biodestructor contributes to the intensity of its mineralization.

Keywords: FERMENTATION, FERRUM, CUPRUM, MANGANESE, COBALT, ZINC.

Значна частина соломи злакових та бобових за неналежних умов зберігання і використання за дії зовнішніх чинників псується і стає непридатною для використання у складі раціонів тварин та підстилки для них. Крім того, за довготривалого зберігання соломи у тюках в плівці за дії ультрафіолету плівка псується і солома у них псується (Tuuytens, 2005). Неконтрольоване гниття соломи у окремих купках або у складі гнойової біомаси має ряд екологічних та господарських недоліків. Ефективним методом утилізації соломи з одержанням органічного добрива є її ферментація за використання мікробіологічних препаратів (Zhahg et al., 2016). Невивченим залишається питання впливу біодеструктора під час компостування соломи злакових і бобових, ступеня їх мінералізації та вмісту у одиниці сухої ферментованій біомаси мінеральних речовин.

Солома злакових (вівсяна, пшенична) та бобових (горохова) культур у тваринництві використовується як грубий корм у раціонах сільськогосподарських тварин. Також вважається, що використання подрібненої соломи як підстилкового матеріалу в системах тваринництва є корисним для утримання сільськогосподарських тварин та птиці.

Якісна солома має багато позитивних впливів на добробут молодняка жуйних і свиней. Підстилка оптимізує фізичний комфорт підлоги, і, коли температура повітря в приміщенні не висока, солома дозволяє тваринам певною мірою контролювати мікроклімат для себе, тим самим підвищуючи температурний комфорт (Tuuytens, 2005; Skånberg et al., 2021).

Господарства із значним поголів'ям сільськогосподарських тварин та птиці заготовляють велику масу соломи. Проте за порушення технологічних процесів заготівлі та зберігання соломи значна частина її може псуватись і бути не придатною. Включення у склад раціонів пошкодженої соломи може призводити до негативних наслідків для здоров'я тварин та продуктивності (Westin et al., 2013; Westin et al., 2014; Westin et al., 2014).

Щороку в аграрних підприємствах з'являється значна маса соломи, непридатної для використання, що потребує витрат для її ефективного екологічно-господарського використання. Утилізація соломи методом традиційного перегнивання автономно або із гнойовою біомасою є пролонгованою, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Перспективним методом утилізації органічних відходів в тому числі зіпсованої соломи є ферментування (компостування) із застосуванням біодеструкторів (мікробіологічних препаратів) (Mitiohlo et al., 2022).

Компостування здійснюють екстенсивним і інтенсивним способом. Екстенсивний спосіб компостування полягає у ферментуванні органічних відходів у буртах під відкритим небом без внесення мікробіологічних препаратів і насичення (без перемішування) їх

Оксигеном. Інтенсивні способи включають аерування різними способами органічних відходів із внесенням у них біодеструкторів. За екстенсивного способу час компостування значно збільшується, що призводить до втрат поживних речовин і зростання забруднення зовнішнього середовища. Використання біодеструкторів під час ферментування органічних решток дозволяє у короткий проміжок часу ефективно провести їх мінералізацію. Ферментування рослинних рештків є ефективним природним способом їх утилізації, яке базується на біотехнологічних методах внаслідок чого проходять ферментативні процеси за доступу або без доступу Оксигену. (Khan et al., 2014; Shen, et al., 2015; Mitiohlo et al., 2022). За дії ензимів синтезованих бактеріями, грибами та простішими мікроорганізмами. Під час таких біохімічних процесів вуглеводи, білки та ліпіди, які містяться у органічних відходах гідролізуються, відповідно, до моноцукрів, амінокислот, карбонових кислот та спирту гліцерину з подальшим застосуванням їх у метаболічні процеси. Внаслідок біохімічних процесів активно виділяється енергія, гази, звільняється вода і синтезуються нові органічні речовини (Tiquia, 2002; Raut et al., 2008).

На перших етапах компостування проходить розігрів органічної маси до мезофільних (29-39 °C) чи термофільних (понад 40 °C) рівнів (Hwang et al., 2020, Amir, et al., 2008). За термофільного компостування найшвидше розкладаються органічні рештки, також швидше гідролізуються поліцукри в тому числі і лігнін. За такого режиму прискорюється мінералізація і гумусоутворення (Boulter et al., 2000, Nakasaki et al., 2011, Blazy et al., 2014).

За інтенсивного процесу компостування із використанням біодеструкторів відходів рослинних рештків вирішуються господарсько-економічні проблеми. Де від рівня мінералізації залежить забруднення навколишнього середовища та вміст макро-мікроелементів на одиницю сухої речовини компостованої маси і їх доступ для рослин (Raut et al., 2008; Cholilie et al., 2019; Mitiohlo et al., 2023).

Виходячи із цього? метою досліджень є встановлення експериментальним шляхом впливу компостування за використання різних доз біодеструктора БТУ-ЦЕНТР на вміст Феруму, Цинку, Мангану, Купруму та Кобальту у зіпсованій соломі вівса, пшениці та гороху.

Матеріали і методи. Для виконання досліджень відбирали проби зіпсованої горохової, вівсяної та пшеничної соломи та ферментовану біодеструктором БТУ-ЦЕНТР біомасу зіпсованої соломи пшениці, вівса та гороху. У контролі 150,0 кг соломи злакових і бобових культур ферментували без додавання біодеструктора. У I дослідній групі соломі кожного виду компостували за внесення біодеструктора у дозі 7 см³/т. У II та III групах у соломі вносили біодеструктор у кількості, відповідно, 14,0 та 28,0 см³/т. Час компостування зіпсованої соломи тривав 110 діб (табл.).

Таблиця

Схема досліді

Групи	Кількість проб соломи, шт.	Маса зіпсованої соломи, кг	Доза внесення біодеструктора, см ³ /т
Контрольна	4	150,0	-
I дослідна	4	150,0	7,0
II дослідна	4	150,0	14,0
III дослідна	4	150,0	28,0

Середній вміст вологи зіпсованої соломи злакових та соломи гороху перед ферментування становив, відповідно, 45,3-46,8 та 52,2 %. Переміщування зіпсованої соломи під час ферментування проводили один раз продовж 8 діб.

Вміст мікроелементів у ферментованій вівсяній, пшеничній та гороховій соломі визначали згідно із ДСТУ 7965:2015.

Отримані результати хімічних досліджень визначення вмісту мінеральних речовин обробляли застосовуючи стандартні методи статистики за допомогою програми Statistica.

Результати й обговорення. За компостування соломи горохової без використання біодеструктора вміст Феруму був на рівні 437 мг/кг сухої речовини. За внесення

біодеструктора у кількості $7,0 \text{ см}^3/\text{т}$ спостерігалось зростання вмісту Феруму у компостованій масі соломи гороху на $2,9 \%$ відносно контролю. У II дослідній групі виявлено статистично значуще збільшення вмісту Феруму після компостування у порівнянні із вмістом елемента у соломі до компостування. Внесення найбільшої дози біодеструктора у зіпсовану солому гороху призводить до зростання вмісту Феруму відносно контролю і показника до ферментування, відповідно, на $9,1$ та $13,0 \%$. показники були статистично значущими (рис. 1).

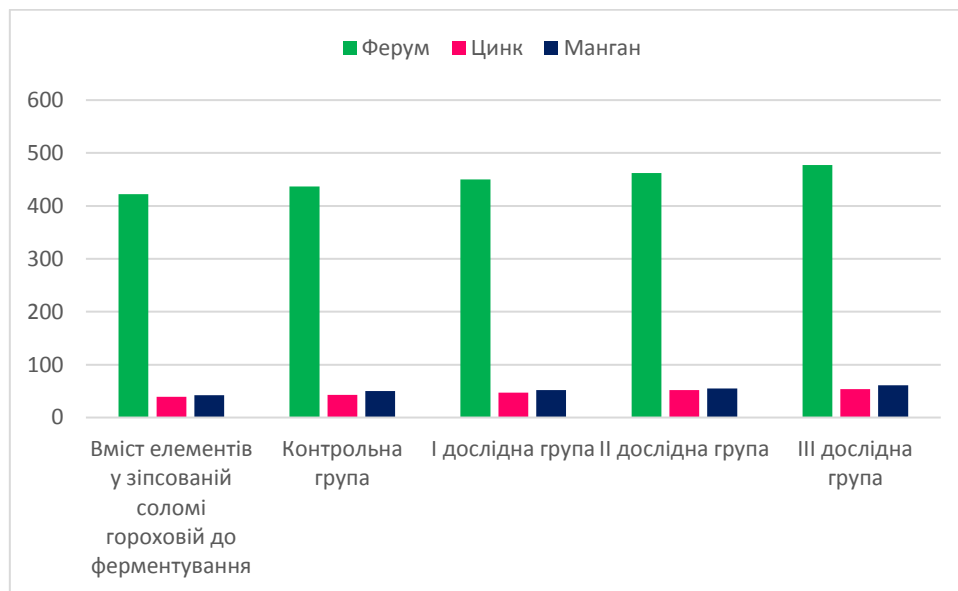


Рис. 1. Показники вмісту Феруму, Цинку та Мангану у соломі гороху до і після її компостування

Ферментування соломи горохової впливає на підвищення вмісту Цинку в останній. Порівнюючи із вмістом металу-біотику до ферментування у I дослідній групі показник збільшився на $20,5 \%$. Компостування соломи за доз біодеструктора $14,0$ та $28,0 \text{ см}^3/\text{т}$ сприяє збільшенню у ній вмісту Цинку, відповідно, на $20,9$ та $25,5 \%$ відносно контролю. Різниця у III дослідній групі мала статистичну значущість.

Від ступеня мінералізації залежав вміст Мангану у ферментованій гороховій соломі. Із підвищенням дози біодеструктора у соломі під час компостування вміст мікроелемента зростає, у порівнянні із показником у контролі. Найбільше відхилення вмісту Мангану від контролю було встановлено у III дослідній групі. Різниця із контролем становила $22,0 \%$.

Виявлено, що на вміст Купруму у соломі гороху впливає доза біодеструктра під час компостування. У контрольній групі за період компостування вміст Купруму збільшився на $1,8 \%$ відносно показника до ферментування. У I і II дослідних групах встановлено збільшення Купруму відносно контролю, відповідно, на $5,4$ та $9,0 \%$. Додавання під час компостування біодеструктора у дозі $28,0 \text{ см}^3/\text{т}$ призводить до підвищення в межах статистичної значущості вмісту Купруму у соломі гороху. Різниця із контролем становила $18,1 \%$ (рис. 2).

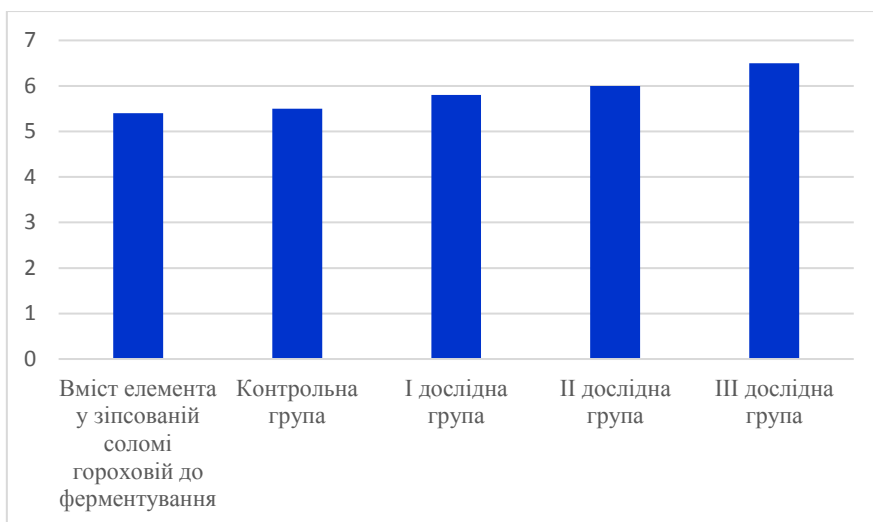


Рис. 2. Показники вмісту Купруму у соломі гороховій

Найменший вміст мікроелементів у неферментованій і ферментованій соломі гороховій належала Кобальту. У контрольній групі компостування природнім конгломератом мікроорганізмів соломи призводить до підвищення вмісту металу-біотику на 5,8 %. У дослідних групах вміст Кобальту був вищим ніж у контролі, відповідно, на 5,5, 16,6 та 27,7 %. Різниця, щодо вмісту Кобальту між III дослідною та контрольною групою мала статистичну значущість (рис. 3).

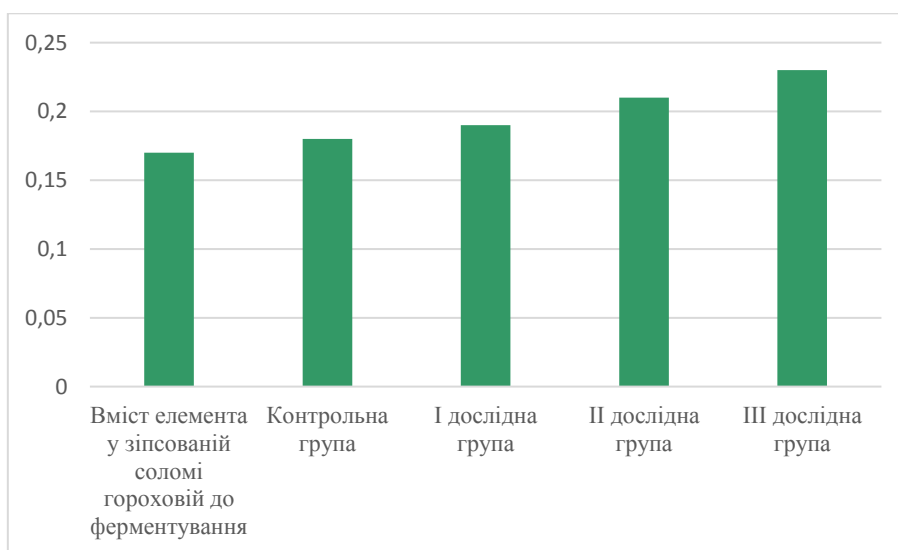


Рис. 3. Вміст Кобальту у гороховій соломі до і після компостування

За вмістом мінеральних речовин у пшеничній соломі виявлено вплив біодеструктора на її мінералізацію. Із збільшенням вмісту біодеструктора у компостованій біомасі вміст мікроелементів у ній зростає.

Досліджуючи вміст Феруму виявлено, що у контрольній групі солома після компостування містила цього елемента 400,0 мг/кг сухої речовини. Застосування біодеструктора у дозі 7,0 см³/т не мало суттєвого впливу на збільшення вмісту Феруму у компостованій біомасі. Різниця із контролем була на рівні 2,5 %. За підвищених доз біодеструктора (14,0 та 28,0 см³/т) встановлено тенденцію до збільшення вмісту Феруму у соломі після ферментування. Відхилення від контролю було на рівні, відповідно, 5,0 та 9,0 % (рис. 4).

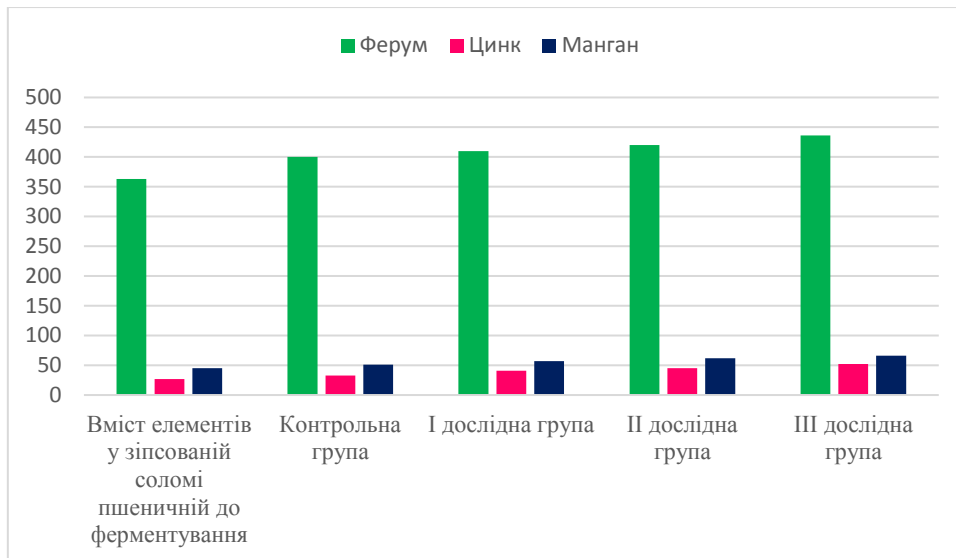


Рис. 4. Показники вмісту Феруму, Цинку та Мангану у соломі пшениці до і після її компостування

Ферментування соломи мало позитивний вплив на збільшення в останній Цинку. Вміст елемента у I дослідній групі був вищим ніж у контролі на 24,2 %. На статистично значущу величину збільшився вміст металу у компостованій біомасі із II та III дослідної групи відносно контролю та показника у неферментованій пшеничній соломі.

Компостування біодеструктором сприяло збільшенню Мангану у соломі пшениці. Без внесення біодеструктора у компостованій масі вміст Мангану збільшився на 13,3 % відносно показника у соломі до ферментування. У I дослідній групі вміст металу-біотику збільшився на 11,7 % відносно контролю. На статистично значущу величину збільшився вміст Мангану у ферментованій пшеничній соломі відносно показника у контролі.

Досліджуючи вміст Купруму у соломі пшениці до і після компостування виявлено, що внаслідок мінералізації органічної складової вміст металу-біотику із розрахунку на одиницю маси сухої речовини збільшується. У дослідних групах ферментована біодеструктором солома пшениці мала вищий вміст Купруму, відповідно, на 5,5; 16,6 та 27,7 %, у порівнянні з контролем. У II та III групах різниця мала характер тенденції (рис. 5).

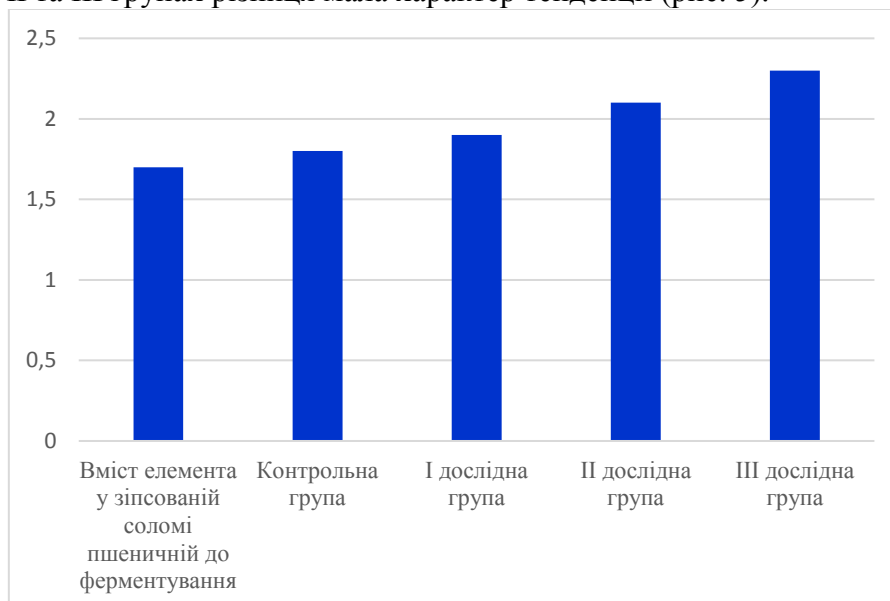


Рис. 5. Показники вмісту Купруму у соломі пшеничній

У контрольній групі ферментування соломи пшениці сприяло підвищенню вмісту Кобальту на 6,8 % відносно цього показника у неферментованій соломі. У I дослідній групі збільшення вмісту металу-біотику у ферментованій біомасі відносно показника до ферментації було на рівні 13,8 %. У дослідних групах де для ферментації застосовували 14,0 та 28,0 см³/т підвищення Кобальту у соломі відносно контролю було статистично значущим (рис. 6).

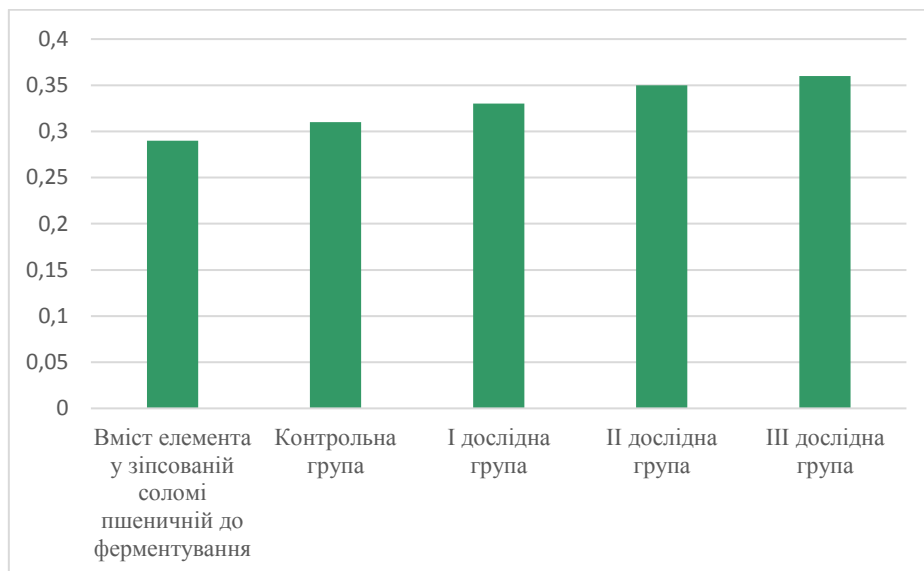


Рис. 6. Вміст Кобальту у пшеничній соломі до і після компостування

Ферментування продовж 110 діб зіпсованої вівсяної соломи призводить до мінералізації її органічної частини. Вміст мінеральних речовин у ферментованій біомасі залежав від дози використаного біодеструктора.

Найвищий вміст у неферментованій соломі був Феруму. Ферментування природнім конгломератом мікроорганізмів забезпечує збільшення вмісту Феруму у вівсяній соломі на 8,0 % відносно показника до ферментування. Застосування біодеструктора у дозі 7,0 % сприяло збільшенню вмісту Феруму на 5,9 % відносно контролю. У II дослідній групі вміст металу у компостованій соломі збільшився на 11,9 %. На статистично значущу величину підвищився вміст Феруму у ферментованій біомасі за використання найбільшої дози біодеструктора (рис. 7).

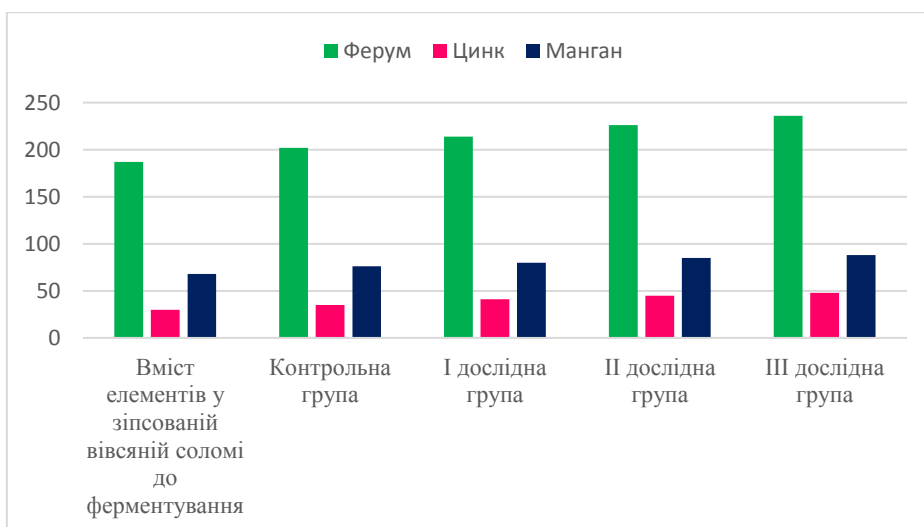


Рис. 7. Показники вмісту Феруму, Цинку та Мангану у соломі вівса до і після її компостування

Встановлено підвищення вмісту Цинку у вівсяній соломі після ферментування. Чим більшу дозу використовували біодеструктора, тим вміст металу був вищим. У II та III дослідних групах збільшення вмісту мікроелементу було в межах 28,5 та 37,1 % відносно контролю.

За дії біодеструктора виявлено підвищення Мангану у ферментованій вівсяній соломі. За самої нижчої дози біодеструктра (I дослідна група) вміст металу збільшився на 5,2 % відносно контролю. Найвищий вміст Мангану у ферментованій біомасі був виявлений у III дослідній групі.

Вміст Купруму у зіпсованій вівсяній соломі до ферментації був на рівні 2,5 мг/кг сухої речовини. Ферментація продовж 110 діб у контрольній групі дозволяє збільшити вміст металу на 8,0 %. У II та III дослідних групах за рахунок компостування концентрація Купруму зростала, відповідно, на 18,5 та 37,0 % відносно контролю (рис. 8).

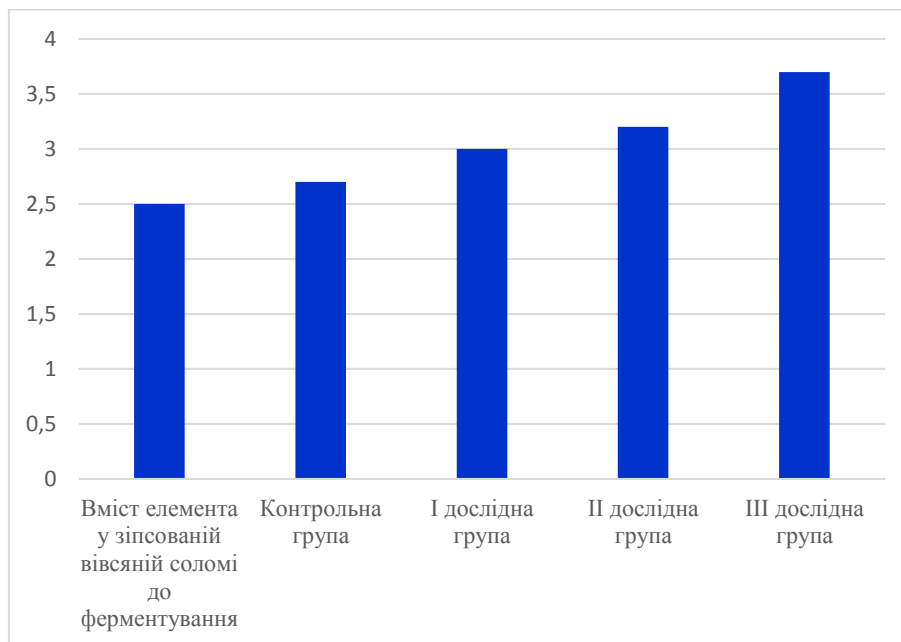


Рис. 8. Показники вмісту Купруму у вівсяній соломі

За вмістом Кобальту також можна судити про ступінь мінералізації вівсяної соломи. У контрольній групі збільшення вмісту Кобальту відносно показника у неферментованій соломі було на рівні 5,7 %. У I дослідній групі застосування біодеструктора під час ферментування дозволяє підвищити вміст металу у соломі на 3,6 % відносно контролю. Виявлено тенденцію щодо збільшення вмісту Кобальту у ферментованій соломі із II та III дослідної групи (рис. 9).



Рис. 9. Вміст Кобальту у вівсяній соломі до і після компостування

Таким чином, ферментування соломи вівса, гороху та пшениці за використання вітчизняного біодеструктора продовж 110 діб сприяє їх мінералізації, що підтверджується збільшенням вмісту Феруму, Мангану, Цинку, Купруму та Кобальту у їх сухій речовині.

ВИСНОВКИ

1. Ферментування зіпсованої соломи пшениці продовж 110 діб із використанням біодеструктора БТУ-ЦЕНТР у дозі 28,0 см³/т призводить до підвищення вмісту Кобальту, Цинку, Мангану, Купруму та Феруму, відповідно, на 16,1; 57,7; 29,4; 27,7 та 9,0 % відносно контрольного варіанта.

2. За компостування зіпсованої соломи гороху дія біодеструктору призводить до підвищення вмісту Кобальту, Цинку, Мангану, Купруму та Феруму, відповідно, на 27,7; 25,5; 22,0; 18,1 та 9,1 % у порівнянні із соломою, яку компостували без внесення біодеструктора.

3. Застосування найбільшої дози біодеструктора БТУ-ЦЕНТР сприяє зростанню концентрації Кобальту, Цинку, Мангану, Купруму та Феруму у ферментованій біомасі вівсяної соломи, відповідно, на 25,4; 37,2 ; 15,7; 37,0 та 16,8 % відносно даних, отриманих у контролі.

4. Із збільшенням вмісту біодеструктора під час ферментування вівсяної, горохової та пшеничної соломи вміст мікроелементів у біомасі після 110 діб компостування зростає.

Перспективи досліджень. Наукового-господарське значення представляють подальші дослідження впливу компостування із використанням біодеструктора БТУ-ЦЕНТР на вміст макроелементів у вівсяній, гороховій та пшеничній соломі.

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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.062>

Blazy, V., Guardia de A., Benoist, J.C., Daumoin, M., Lemasle, M., Wolbert, D. & Barrington, S. (2014). Process condition influence on pig slaughter house compost quality under forced aeration. *Waste Biomass Valor.* 5, 451-468.

Boulter, J.I., Boland G.J. & Trevor J.T. (2000). Compost: a study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 16(2), 115-134. DOI:10.1023/A:1008901420646

Cholilie, I.A., Sari, T.R., & Nurhermawati, R. (2019). Production of compost and worm casting organic fertiliser from lumbricus rubellus and its application to growth of red spinach plant (*Altenanthera amoena* V.). *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*. 2(1), 30-38. <https://doi.org/10.21776/ub.afssaae.2019.002.01.5>

DSTU 7965:2015 (2015). Kormy dlia tvaryn, syrovyna dlia vyhotovlennia povnoratsionnykh sumishei, vydilennia tvaryn. Vyznachannia vmistu kadmiu, kobaltu, molibdenu, nikeliu ta khromu metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii z elektrotermichnoiu atomizatsiieiu. vid 22 chervnia 2015 r. № 61 z 2017-01-01 [in Ukrainian].

Tuytens, F.A.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

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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.123>

Mitiohlo L., Merzlov S., Merzlova H., Osipenko I. (2022). Application of mineral carriers for immobilization of *Trichoderma viride*. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2022. № 2. PP. 58–63. doi: 10.33245/2310-9289-2022-175-2-58-63

Mitiohlo, L. ., Merzlov, S.V., Merzlova, H.V., & Babenko, S.P. (2023). Vmist mikroelementiv u fermentovanomu sylosi kukurudzy i sinazhi liutserny. Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn, 24(1), 88-97. <https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.13> [in Ukrainian].

Mitiohlo, L., Merzlov S., Merzlova, H., Dudnyk, O., & Rozputnii, O. (2022). Growth intensity of *Trichoderma Viride* at different doses and sources of copper in the medium. *Scientific Horizons*, 25(10), 79-86. DOI: 10.48077/scihor.25(10).2022.79-86

Nakasaki, K., Ohtaki, A., Takemoto, M. & Fujiwara, S. (2011). Production of well-matured compost from night-soil sludge by an extremely short period of thermophilic composting. *Waste management (New York, N.Y.)*, 31(3), 495–501. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.11.011>

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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.030>

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 Energy*, Elsevier, 160, 108-119. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.09.034

Skånberg, L., Kjærsgaard Nielsen, C.B., & Keeling, L.J. (2021). Litter and perch type matter already from the start: exploring preferences and perch balance in laying hen chicks. *Poultry science*, 100(2), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.041>

Tiquia S.M. (2002). Evolution of extracellular enzyme activities during manure composting. *Journal of applied microbiology*, 92(4), 764–775. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01582.x>

Westin, R., Holmgren, N., Hultgren, J., & Algers, B. (2014). Large quantities of straw at farrowing prevents bruising and increases weight gain in piglets. *Preventive veterinary medicine*, 115(3-4), 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.04.004>

Westin, R., Holmgren, N., Mattsson, B. & Algers, B. (2013). Throughput capacity of large quantities of chopped straw in partly slatted farrowing pens for loose housed sows. *Acta Agrarica Scandinavica Section A - Animal Science*, 1-10. DOI:10.1080/09064702.2013.780633

Westin, R., Hultgren, J. & Algers, B. (2014). Strategic use of straw increases nest-building in loose housed farrowing sows. *Applied Animal Behaviour Science*, 66(1). DOI:10.1016/j.applanim.2015.02.010

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 Manag.* 58. 369-375. doi:10.1016/j.wasman.2016.08.022