

КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВЕРМИКУЛЬТИВУВАННЯ ЗА ВПЛИВУ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

СТЕПЧЕНКО Л.М. – кандидат біологічних наук, професор
orcid.org/0000-0001-8509-7048
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ГАЛУЗІНА Л.І. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0003-0478-0027
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ГЕЙСУН А.А. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-5041-6838
Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Постановка проблеми. У процесі утилізації сільськогосподарських органічних відходів методом вермикультивування утворюється біогумус. Він належить до цінних біодобрив, оскільки містить у своєму складі поживні речовини органічного та неорганічного походження для рослин. Особливе значення мають гумінові речовини, які беруть участь у формуванні рослинного організму. Вони впливають на проростання насіння, активування дихання, а також постачання енергії та будівельного матеріалу рослинам [1]. Крім того, гумінові речовини можуть виконувати захисну функцію, наприклад, зв'язувати токсичні елементи, у тому числі важкі [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що гумінові речовини існують у формі водо-, луго-розчинених та інших фракцій. Водорозчинна фракція складається з низькомолекулярних гумінових сполук. Лугорозчинні є більш складними за структурою та можуть утворювати стійкі комплекси, які існують більш тривалий час у формі гуматів калію або натрію, за рахунок міжмолекулярних зв'язків. До того ж вони можуть бути активною матрицею в утворенні органічного складника ґрунтів [3] та впливати на буферну ємність ґрунтів [4] за рахунок гуматів лужних металів.

Крім того, утворення гумінових речовин у біогумусі у процесі вермикультивування залежить від активності ензимів у кишечнику червоних каліфорнійських черв'яків. Розщеплення біополімерів у кишечнику червоного каліфорнійського черв'яка має особливе біологічне значення, позаяк черв'яки споживають органічні субстрати [5]. Найчастіше для вермикультивування використовують органічні відходи, а саме гній, опале листя, осад стічних вод, що містять у своєму складі велику кількість клітковини, вуглеводів і білкових компонентів. В основі переробки таких субстратів лежать процеси розщеплення їх за допомогою ензиматичних реакцій. Відомо, що черв'яки мають досить великий набір харчових ензимів, у тому числі власну целюлазу [6]. Швидкість розщеплення органічних решток субстрату у разі вермикультивування залежить від співвідношення різних харчових ензимів у кишечнику черв'яків та їх ензиматичної активності.

У зв'язку з цим перспективним може бути пошук нових шляхів підвищення ензиматичної активності

в кишечнику вермикультури та впливу процесів на накопичення гумінових речовин у біодобриві у разі вермикультивування, що може забезпечити більш широке застосування біогумусу в аграрному виробництві.

Одним із таких шляхів є застосування у вермитехнології речовин гумінової природи, що отримані з торфу, оскільки саме вони можуть впливати на процеси утворення нових молекул гумінових речовин.

Відомо, що «Гумілід» (ТУ У 15.7-00493675-004:2009), продукт гідролізу екологічно безпечного торфу України, отриманий у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті, має регуляторні та адаптогенні властивості [7; 8]. Так, доведено, що включення кормової добавки «Гумілід» до основного раціону у молодняку курей-несучок забезпечує зростання протеїназної, амілолітичної та ліполітичної активності ензимів слизової оболонки 12-палої кишки [9], а у страусенят – додатково ще активності целюлозолітичних ензимів у сліпих відростках [10].

Крім того, відомо, що «Гумілід» у складі поживного субстрату в процесі вермикультивування впливає на накопичення біомаси черв'яків [11] та активацію їхньої репродуктивної функції [12]. Проте відомості про кореляційний аналіз показників біотехнологічного процесу вермикультивування, а саме кількісних характеристик вмісту гумінових речовин у біогумусі та рівня ензиматичної активності гомогенату біомаси вермикультури за впливу біологічно активних речовин гумінової природи, на сьогодні відсутні.

Мета. Метою роботи було встановлення кореляційних зв'язків між вмістом гумінових речовин у біогумусі та активністю гідролітичних ензимів у гомогенаті вермикультури за впливу Гуміліду в процесі вермикультивування.

Матеріали та методика досліджень. Промислові дослідження проводили в умовах вермиферми ТОВ «Природні біотехнології» м. Запоріжжя, яка є виробником біогумусу, рідкого гумінового препарату та біомаси вермикультури. Як об'єкт дослідження використовували біогумус та гібрид червоного каліфорнійського черв'яка. Поживним субстратом слугувала суміш з ферментованих гною великої рогатої худоби та відходів виробництва гливи звичайної. Бурти поживного субстрату заселяли вермикультурою з розрахунку 5–7 тис. на 1 м². Свіжий субстрат шаром 7–10 см розподіляли по

всій поверхні бурту один раз на 7–10 днів та зволожували водою. У приміщенні підтримували температуру в діапазоні 21–24°C та вологість субстрату 65–78%, що відповідає технологічним умовам культивування [5]. Виділяли контрольні та дослідні бурти, які відрізнялися тим, що в дослідні вносили біологічно активну добавку «Гумілід» (15 мг/кг) у вигляді розчину один раз на місяць, а в контрольні – тотожний об'єм води. Вермикультивування тривало протягом 6 місяців. Відбір вермикюльтури та біогумусу з контрольних та дослідних буртів, з яких готували середні проби, проводили на 135 та 180 добу дослідження. Середню пробу біогумусу висушували у сушильній шафі за температури $105 \pm 2^\circ\text{C}$, подрібнювали на лабораторному млині та просіювали через сито з діаметром отворів 1 мм. У підготовлених зразках визначали кількість гумінових речовин [13]. Середню пробу біомаси вермикюльтури промивали дистильованою водою, зайву вологу видаляли за допомогою фільтрувального паперу. З червоних каліфорнійських черв'яків з неочищеним кишечником отримували

гомогенат, в якому отримували ензиматичну активність. Протеолітичну активність визначали за методом Вільштеттера і Вальдшміт-Лейця, активність α -амілази визначали за методом Каравея, целюлолітичну – з використанням натрієвої солі карбоксиметилцелюлози [14].

Статистичні розрахунки виконано за допомогою редактора «Microsoft Excel».

Результати дослідження. За результатами проведених досліджень методом кореляційного аналізу виявлено, що майже всі вивчені параметри контрольної та дослідної груп мають кореляційний зв'язок різного ступеня. На 135 добу дослідження коефіцієнт кореляції між показниками гумінових речовин як водорозчинних, так і лугорозчинних та целюлозолітичної активності гомогенату черв'яків контрольної групи показав відсутність зв'язку. Водночас між цими показниками дослідної групи спостерігається слабкий позитивний зв'язок ($r=0,27$ та $r=0,23$), що пояснюється накопиченням гумінових речовин у біогумусі за впливу «Гуміліду» (рис. 1, 2) та ростом ензиматичної активності (табл. 1).

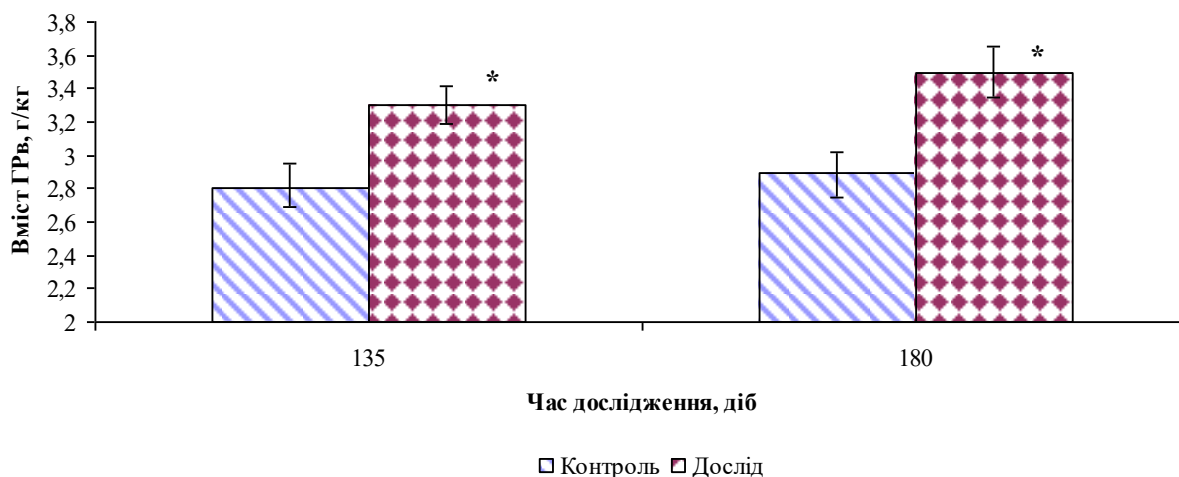


Рис. 1. Вміст водорозчинних гумінових речовин у біогумусі (*– $p < 0,05$ порівняно з контролем)

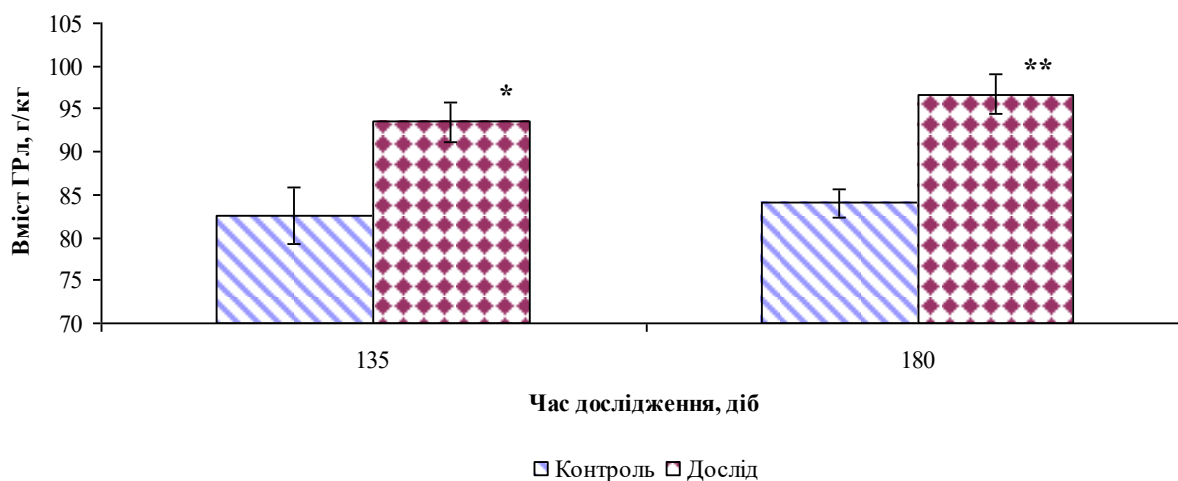


Рис. 2. Вміст лугорозчинних гумінових речовин у біогумусі (*– $p < 0,05$, **– $p < 0,01$ порівняно з контролем)

Таблиця 1

Загальна ензиматична активність гомогенату біомаси вермикультури, отриманої в науково-господарському експерименті

Ензиматична активність	Діб	Контроль	Дослід
Протеолітична активність, од/г	135	9,34±0,717	11,98±0,852*
	180	9,76±0,808	13,14±0,759**
Амілолітична активність, г/(год*г _{біомаси})	135	21,72±0,025	23,64±0,067***
	180	22,70±0,026	22,04±0,021
Целюлозолітична активність КМЦлА, од/г	135	0,024±0,0014	0,028±0,0007**
	180	0,023±0,0012	0,028±0,0006**

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно з даними контрольної групи.

Таблиця 2

Коефіцієнт кореляції між показниками гумінових речовин біогумусу та ензиматичної активності біомаси черв'яків на 135 добу дослідження

Гумінові речовини	Група	Целюлозолітична активність	Протеолітична активність	Амілолітична активність
Водорозчинні	контроль	-0,09	0,21	0
	дослід	0,27	0,21	0,38
Лугорозчинні	контроль	0,09	0,04	0,21
	дослід	0,23	0,43	0,17

Таблиця 3

Коефіцієнт кореляції між показниками гумінових речовин біогумусу та ензиматичної активності біомаси черв'яків на 180 добу дослідження

Гумінові речовини	Група	Целюлозолітична активність	Протеолітична активність	Амілолітична активність
Водорозчинні	контроль	0,96	0,97	0,91
	дослід	0,92	0,84	0,86
Лугорозчинні	контроль	0,77	0,75	0,57
	дослід	0,78	0,68	0,67

Щодо кореляційного зв'язку між показниками вмісту водорозчинних гумінових речовин та показниками протеолітичної активності гомогенату вермикультури, то на 135 добу у всіх групах спостерігався слабкий позитивний зв'язок. У контролі між показниками вмісту лугорозчинних гумінових речовин та протеолітичної ($r=0,04$) активності зв'язок практично не виявлений. У цей період у дослідній групі спостерігається помірний кореляційний зв'язок.

На 135 добу дослідження в контрольній та дослідній групах спостерігається слабкий кореляційний зв'язок ($r=0,21$; $r=0,17$) між показниками вмісту лугорозчинних гумінових речовин та амілолітичної активності гомогенату вермикультури. Однак у контрольній групі між водорозчинними гуміновими речовинами та амілолітичною активністю зв'язок відсутній ($r=0$), у дослідній – помірний ($r=0,38$).

Отже, на 135 добу вермикультивування у дослідній групі спостерігається у середньому слабкий кореляційний зв'язок між показниками вмісту гумінових речовин у біогумусі та ензиматичною активністю гомогенату біомаси вермикультури.

Сила зв'язку між цими показниками свідчить про накопичення гумінових речовин у біогумусі дослідної

групи за впливу біологічно активної добавки «Гумілід» у складі поживного субстрату на 17,9% ($p < 0,05$) – водорозчинних та на 13,3% ($p < 0,05$) – лугорозчинних порівняно з контролем (рис. 1, 2).

У дослідженнях визначали коефіцієнти кореляції залежності гумінових речовин у біогумусі та ензиматичної активності гомогенату біомаси вермикультури з неочищеним кишечником на 135 та 180 добу дослідження (табл. 2, 3).

На 180 добу експерименту спостерігається дуже сильний позитивний кореляційний зв'язок як у контрольній ($r=0,96$), так і у дослідній (0,92) групах між показниками вмісту водорозчинних гумінових речовин у біогумусі та целюлозолітичної активності гомогенату біомаси вермикультури. Стосовно кореляційного зв'язку контрольних ($r=0,77$) та дослідних ($r=0,78$) груп між показниками вмісту лугорозчинних гумінових речовин та показниками целюлозолітичної активності гомогенату червоних каліфорнійських черв'яків на 180 добу експерименту, то він є сильним позитивним.

У цей період у контрольній групі спостерігається дуже сильна тіснота кореляційного зв'язку ($r=0,97$) між показниками вмісту водорозчинних гумінових речовин у біогумусі та протеолітичної активності гомогенату біо-

маси вермикультури, а сильний кореляційний зв'язок ($r=0,84$) між цими показниками був у дослідній групі.

На 180 добу дослідження дуже сильний кореляційний зв'язок ($r=0,91$) спостерігається між показниками вмісту водорозчинних гумінових речовин у біогумусі та амілолітичною активністю гомогенату біомаси вермикультури у контрольній групі, у той час у дослідній зв'язок був сильним ($r=0,86$). У контрольній та дослідній групах у цей період спостерігається значний кореляційний зв'язок між показниками вмісту лугорозчинних гумінових речовин та амілолітичною активністю гомогенату біомаси вермикультури.

Отже, сила кореляційного зв'язку на 180 добу дослідження у всіх групах стала тіснішою, що пов'язано з накопиченням гумінових речовин (рис. 1, 2) у біогумусі на 20,7% ($p<0,05$) – водорозчинних, та 15,1% ($p<0,01$) – лугорозчинних порівняно з контролем.

Висновки. Таким чином, за результатами проведеного кореляційного аналізу вмісту гумінових речовин та enzymaticкої активності гомогенату вермикультури встановлено, що на 135 добу вермикультивування у дослідній групі спостерігався слабкий кореляційний зв'язок, тоді як у контролі зв'язок практично відсутній. На 180 добу дослідження сила кореляційного зв'язку міцнішає як у контрольній, так і у дослідній групах, що пов'язано з накопиченням гумінових речовин у біогумусі та ростом enzymaticкої активності гомогенату біомаси червоного каліфорнійського черв'яка у процесі вермикультивування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере. *Соровский образовательный журнал*. 1997. № 2. С. 56–63.
2. Гейсун А.А., Степченко Л.М. Дослідження впливу Гуміліду на контамінацію важкими металами продуктів вермикультури. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва* : збірник наукових праць Білоцерківського національного аграрного університету. 2016. Вип. 2 (129). С. 68–74.
3. Perminova I.V., Hatfield K. Remediation chemistry of humic substances: theory and implications for technology. Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice / eds. by I.V. Perminova, K. Hatfield, N. Hertkon. V. 52 of *NATO Science Series IV*. Netherlands, 2005. P. 3–36.
4. Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т. Кислотно-основная буферность зональных типов почв Южного Приуралья в агротехногенных условиях. *Вестник Оренбургского гос. ун-та*. 2011. № 6. С. 147–156.
5. Титов И.Н. Дождевые черви: руководство по вермикультуре в двух частях. В 2 ч. Ч. 1. Компостные черви. Москва : ООО «МФК Точка Опоры», 2012. 284 с.
6. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. Москва : Изд-во «Наука», 1980. 245 с.
7. Степченко Л.М. Регуляторні механізми дії біологічно активних речовин гумінової природи на організм продуктивної птиці. *Фізіологічний журнал*. 2010. Т. 56, № 2. С. 306.
8. Stepchenko L., Galuzina L., Mikhaylenko E., Kolyada S., Loseva E. Effect of humic substances on the processes

of adaptation of different kinds agricultural poultry. *18th International Conference of International Humic Substances Society*, Japan. 2016.

9. Островська М.Ю., Гунчак А.В., Степченко Л.М. Активність гідролітичних ферментів та стан мікробіоценозу кишечника в організмі молодняка курей-несучок за дії «Гуміліду». *Біологія тварин*. 2013. Т. 15, № 3. С. 95–104.
10. Коляда С., Степченко Л. Травна система страусенят під дією Гуміліду. *Тваринництво України*. 2014. № 12. С. 30–33.
11. Гейсун А.А., Степченко Л.М. Вплив Гуміліду на накопичення біомаси вермикультури. *Biotechnology for agriculture and environmental protection* : XII International Scientific and Practical Conference daRostim (September 7–10, 2016, Odessa, Ukraine). Odessa, 2016. С. 65–66.
12. Гейсун А.А., Степченко Л.М. Дослідження росту та розвитку вермикультури за впливу Гуміліду. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва* : наук. вісник НУБіП України. 2016. Вип. 236. С. 316–325.
13. ДСТУ 7083:2009. Національний стандарт України. Добрива органічні та органо-мінеральні. Методи визначення гумінових кислот. Чинний від 2011-01-01. Київ, 2011. 14 с. (Інформація та документація).
14. ГОСТ Р 53046-2008. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности целлюлазы. Введ. 2010-01-01. Москва, 2009. 10 с. (Інформація и документація)

REFERENCES:

1. Orlov D.S. (1997). Guminovyye veschestva v biosphere [Humic substances in the biosphere]. *Sorovskiy obrazovatelnyy zhurnal*. 1997. № 2. S. 56–63 [in Russian].
2. Heisun A.A., Stepchenko L.M. (2016). Doslidzhennia vplyvu Humilidu na kontaminatsiyu vazhkymy metalamy produktiv vermytekhnohologii [Investigation of the effect of Humilid on heavy metal contamination of vermiculture products]. *Tekhnologiya vyrobnytstva i pererobky produktiv tvarynnytstva: zbirnyk naukovykh prats Bilotserkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. Vyp. 2 (129). S. 68–74 [in Ukrainian].
3. Perminova I.V., Hatfield K. Remediation chemistry of humic substances: theory and implications for technology. Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice / eds. by I.V. Perminova, K. Hatfield, N. Hertkon. V. 52 of *NATO Science Series IV*. Netherlands, 2005. P. 3–36.
4. Nazyrova F.I., Garipov T.T. (2011). Kislотно-osnovnaya bufernost zonalnykh tipov pochv Yuzhnogo Priuralya v agrotehnogennykh usloviyakh [Acid-base buffering of zonal soil types of the Southern Urals in agro-technogenic conditions]. *Vestnik Orenburgskogo gos. un-ta*. 2011. № 6. S. 147–156 [in Russian].
5. Titov I.N. (2012). Dozhdevyie chervi: rukovodstvo po vermikul'ture v dvuh chastyakh. V 2 ch. Ch. 1. Kompostnyie chervi [Earthworms: a guide to vermiculture in two parts. At 2 p.m. Part 1. Compost worms]. Moskva: ООО "МФК Точка Опоры". 2012. 284 s. [in Russian].
6. Striganova B.R. (1980). Pitanie pochvennykh saprofafov [Nutrition of soil saprophages]. Moskva: Izd-vo "Nauka". 1980. 245 s. [in Russian].
7. Stepchenko L.M. (2010). Rehuliatorni mekhanizmy dii

- biolohichno aktyvnykh rečovyn huminovoï pryrody na orhanizm produktyvnoï ptytsi [Regulatory mechanisms of action of biologically active substances of humic nature on the body of productive birds]. *Fiziolohichniy zhurnal*. 2010. T. 56, № 2. S. 306 [in Ukrainian].
8. Stepchenko L., Galuzina L., Mikhaylenko E., Kolyada S., Loseva E. (2016). Effect of humic substances on the processes of adaptation of different kinds agricultural poultry. 18th International Conference of International Humic Substances Society, Japan. 2016.
 9. Ostrovska M.Yu., Hunchak A.V., Stepchenko L.M. (2013). Aktyvnist hidrolitychnykh fermentiv ta stan mikrobotsenozu kyshechnyku v orhanizmi molodniaku kurei-nesuchok za dii "Humilidu" [Activity of hydrolytic enzymes and the state of intestinal microbiocenosis in the body of young laying hens under the action of "Humilid"]. *Biolohiia tvaryn*. 2013. T. 15, № 3. P. 95–104 [in Ukrainian].
 10. Koliada S., Stepchenko L. (2014). Travna systema strauseniat pid diieiu Humilidu [Digestive system of ostriches under the action of Humilide]. *Tvarynnystvo Ukrainy*. 2014. № 12. P. 30–33 [in Ukrainian].
 11. Heisun A.A., Stepchenko L.M. (2016). Vplyv Humilidu na nakopychennia biomasy vermykultury [Influence of Humilid on the accumulation of vermiculture biomass]. *Biotechnology for agriculture and environmental protection: XII International Scientific and Practical Conference daRostim (September 7–10, 2016. Odessa, Ukraine)*. Odessa, 2016. S. 65–66 [in Ukrainian].
 12. Heisun A.A., Stepchenko L.M. (2016). Doslidzhennia rostu ta rozvytku vermykultury za vplyvu Humilidu [Study of the growth and development of vermiculture under the influence of Humilid]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva: nauk. visnyk NUBiP Ukrainy*. 2016. Vyp. 236. S. 316–325 [in Ukrainian].
 13. DSTU 7083:2009. (2011). Natsionalnyi standart Ukrainy. Dobryva orhanichni ta orhano-mineralni. Metody vyznachennia huminovykh kyslot [National standard of Ukraine. Organic and organo-mineral fertilizers. Methods for determination of humic acids]. *Chynnyi vid 2011-01-01*. Kyiv, 2011. 14 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
 14. GOST R 53046-2008. (2010). Preparaty fermentnyie. Metodyi opredeleniya fermentativnoy aktivnosti tsellyulazyi [Enzyme preparations. Methods for determining the enzymatic activity of cellulase]. *Vved*. 2010-01-01. Moskva, 2009. 10 s. (Informatsiya i dokumentatsiya) [in Russian].

Степченко Л.М., Галузіна Л.І., Гейсун А.А. Кореляційний аналіз показників біотехнологічного процесу вермикюльтування за впливу біологічно активних речовин

У процесі утилізації сільськогосподарських органічних відходів методом вермикюльтування утворюється біогумус. Він належить до цінних біодобрив, оскільки містить у своєму складі поживні речовини органічного та неорганічного походження для рослин. Особливе значення мають гумінові речовини, які беруть участь у формуванні рослинного організму. Перспективним може бути пошук нових шляхів підвищення ензиматичної активності в кишечнику вермикюльтури та впливу процесів на накопичення гумінових речовин у біодо-

бриві у разі вермикюльтування, що може забезпечити більш широке застосування біогумусу в аграрному виробництві.

Мета дослідження – встановлення кореляційних зв'язків між вмістом гумінових речовин у біогумусі та активністю гідролітичних ензимів у гомогенаті вермикюльтури за впливу Гуміліду в процесі вермикюльтування.

Методи. Дослідження проводили в умовах вермиферми ТОВ «Природні біотехнології» м. Запоріжжя. Як об'єкт дослідження використовували біогумус та гібрид червоного каліфорнійського черв'яка. Поживним субстратом слугувала суміш з ферментованих гною великої рогатої худоби та відходів виробництва гливи звичайної. Бурти поживного субстрату заселяли вермикюльтурою з розрахунку 5–7 тис. на 1 м². Виділяли контрольні та дослідні бурти, які відрізнялися тим, що в дослідні вносили біологічно активну добавку «Гумілід» (15 мг/кг) у вигляді розчину один раз на місяць, а в контрольні – тотожний об'єм води. Відбір вермикюльтури та біогумусу з контрольних та дослідних буртів проводили на 135 та 180 добу дослідження. У підготовлених зразках біогумусу визначали кількість гумінових речовин. З червоних каліфорнійських черв'яків з неочищеним кишечником отримували гомогенат, в якому визначали ензиматичну активність. Статистичні розрахунки виконано за допомогою редактора «Microsoft Excel».

Результати. За результатами проведених досліджень методом кореляційного аналізу виявлено, що майже всі вивчені параметри контрольної та дослідної груп мають кореляційний зв'язок різного ступеня. На 135 добу дослідження коефіцієнт кореляції між показниками гумінових речовин як водорозчинних, так і луго-розчинних та целюлозолітичної активності гомогенату біомаси черв'яків контрольної групи показав відсутність зв'язку. Водночас між цими показниками дослідної групи спостерігається слабкий позитивний зв'язок ($r=0,27$ та $r=0,23$), що пояснюється накопиченням гумінових речовин у біогумусі за впливу «Гуміліду» та ростом ензиматичної активності.

На 180 добу експерименту спостерігається дуже сильний позитивний кореляційний зв'язок як у контрольній ($r=0,96$), так і у дослідній (0,92) групах між показниками вмісту водорозчинних гумінових речовин у біогумусі та целюлозолітичної активності гомогенату біомаси вермикюльтури. Стосовно кореляційного зв'язку контрольних ($r=0,77$) та дослідних ($r=0,78$) груп між показниками вмісту луго-розчинних гумінових речовин та показниками целюлозолітичної активності гомогенату червоних каліфорнійських черв'яків на 180 добу експерименту, то він є сильним позитивним.

Висновки. За результатами проведеного кореляційного аналізу вмісту гумінових речовин та ензиматичної активності гомогенату вермикюльтури встановлено, що на 135 добу вермикюльтування у дослідній групі спостерігався слабкий кореляційний зв'язок, тоді як у контролі зв'язок практично відсутній. На 180 добу дослідження сила кореляційного зв'язку міцнішає як у контрольній, так і у дослідній групах, що пов'язано з накопиченням гумінових речовин у біогумусі та ростом ензиматичної активності гомогенату біомаси червоного каліфорнійського черв'яка у процесі вермикюльтування.

Ключові слова: гумінові речовини, Гумілід, біогумус, гуміфікація, вермикюльтування, ензиматична активність, біомаса вермикюльтури.

Stepchenko L.M., Haluzina L.I., Heisun A.A.
Correlation analysis of indicators of biotechnological process of vermiculture under the influence of biologically active substances

In the process of utilization of agricultural organic waste by the method of vermiculture, humus is formed. It is a valuable biofertilizer because it contains nutrients of organic and inorganic origin for plants. Of particular importance are humic substances that are involved in the formation of the plant organism. The search for new ways to increase the enzymatic activity in the intestines of vermiculture and the impact of processes on the accumulation of humic substances in biofertilizers during vermiculture may be promising, which may provide greater use of compost in agricultural production.

The aim of the study was to establish correlations between the content of humic substances in biohumus and the activity of hydrolytic enzymes in the homogenate of vermiculture under the influence of Humilid in the process of vermiculture.

Methods. The research was conducted in the conditions of the vermifery of LLC "Natural Biotechnology" in Zaporizhzhya. Biohumus and a hybrid of the California red worm were used as the object of the study. The nutrient substrate was a mixture of fermented cattle manure and waste oyster mushrooms. Burts of nutrient substrate were populated with vermiculture at the rate of 5–7 thousand per 1 m². Control and experimental burts were distinguished, which differed in that the study was supplemented with the biologically active additive Humilid (15 mg/kg) in the form of a solution once a month, and in the control – the same amount of water. Selection of vermiculture and compost from control and experimental plots was performed on days 135 and 180 of the study. The amount of humic substances was determined in the prepared biohumus samples. Red California worms with an uncleaned intestine were used to obtain a homogenate in which enzymatic activity was

determined. Statistical calculations were performed using the editor "Microsoft Excel".

Results. According to the results of correlation analysis, it was found that almost all the studied parameters of the control and experimental groups have a correlation of varying degrees. At day 135 of the study, the correlation coefficient between the indicators of humic substances, both water-soluble and alkali-soluble, and the cellulolytic activity of the homogenate of the biomass of worms of the control group showed no connection. At the same time, there is a weak positive relationship between these indicators of the experimental group ($r = 0.27$ and $r = 0.23$), which is explained by the accumulation of humic substances in biohumus under the influence of Humilid and the growth of enzymatic activity.

At 180 days of the experiment, a very strong positive correlation was observed in both the control ($r = 0.96$) and experimental (0.92) groups between the indicators of water-soluble humic substances in biohumus and cellulolytic activity of vermiculture biomass homogenate. Regarding the correlation between the control ($r = 0.77$) and experimental ($r = 0.78$) groups between the indicators of alkali-soluble humic substances and the cellulolytic activity of red California worm homogenate for 180 days of the experiment, it is strongly positive.

Conclusions. According to the results of correlation analysis of humic substances content and enzymatic activity of vermiculture homogenate, it was found that on 135 days of vermiculture in the experimental group there was a weak correlation, while in the control connection is almost absent. At 180 days of the study, the strength of the correlation bond is stronger in both control and experimental groups, which is due to the accumulation of humic substances in compost and increased enzymatic activity of red California worm biomass homogenate during vermiculture.

Key words: humic substances, Humilid, biohumus, humification, vermiculture, enzymatic activity, vermiculture biomass.