

УДК 632.95.024:[631.87:636]:631.147

© 2014

Макаренко Н. А., доктор сільськогосподарських наук,

Бондарь В. І., кандидат сільськогосподарських наук,

Борищ Г. М., кандидат технічних наук,

Сальнікова А. В., аспірант

(науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук Н. А. Макаренко)

Національний університет біоресурсів та природокористування України

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА БІОДОБРІВ (ПРОДУКТІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ) НА ПРЕДМЕТ ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ВИМОГАМ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор В. М. Чайка

Проведено екотоксикологічну оцінку безпечності біодобрива – продукту переробки гною у біогазовій установці – за впливом на мікро- і мезофауну ґрунту та сільськогосподарські рослини. На основі отриманих результатів було обґрунтовано екологічнобезпечні норми застосування біодобрива в органічному виробництві продукції рослинництва. Встановлено, що застосування досліджуваного біодобрива позитивно впливає на урожайність сільськогосподарських культур, а за умов дотримання екологічнобезпечних норм внесення відсутній негативний вплив на агроекосистему.

Ключові слова: *екотоксикологічна оцінка, екологічна безпечність, органічне виробництво, біодобриво, екологічне тестування.*

Постановка проблеми. Згідно з законодавством України, в органічних господарствах заборонено використання хімічно синтезованих речовин для удобрення сільськогосподарських культур. У класичному розумінні таке сільськогосподарське виробництво передбачає використання замкнених циклів, зокрема таких, які об'єднують сектори рослинництва і тваринництва [3, 16]. Прикладом такої практики може бути впровадження біогазових установок, що дають змогу ефективно використовувати відходи тваринництва та отримувати біогаз і біодобрива. Останні можна з успіхом використовувати у галузі рослинництва, проте, як і всі інші добрива природного походження, вони мають пройти екологічне оцінювання для попередження можливих негативних впливів на стан агроекосистеми та якість продукції.

Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. У країнах ЄС застосування добрив в органічному виробництві регламентується Постановами Ради (ЄС) №2092/91 та (ЄС) №834/2007, в Україні – Законом України «Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції

та сировини» [3, 10, 11, 15, 17]. Під час оцінювання біодобрив найважливішими його показниками є наявність небезпечних (токсикологічно значимих) домішок і метаболітів, а також вплив на біологічні об'єкти різних рівнів організації живої речовини [1, 5, 6, 9]. Екотоксикологічні дослідження передбачають широке використання біотестів для встановлення екологічно безпечної норми внесення нових видів добрив [2, 4, 7, 8, 12–14]. Дослідження проводилися з використанням вищезазначених міжнародних вимог, методів і методичних підходів.

Мета дослідження полягала у проведенні екотоксикологічної оцінки біодобрива, отриманого шляхом переробки відходів тваринництва за допомогою біогазової установки та встановлення його придатності для використання в органічному виробництві продукції рослинництва.

Завдання досліджень – провести екотоксикологічну оцінку безпечності біодобрива за впливом на сільськогосподарські рослини, мікро- і мезофауну ґрунту; обґрунтування екологічнобезпечних норм його застосування в органічному виробництві продукції рослинництва.

Матеріали і методи досліджень. Досліджувалося біодобриво (ББУ), отримане шляхом ферментації гною від великої рогатої худоби. Біогазова установка працювала у мезофільному режимі роботи (35 °С), об'єм реактора – 3,5 м³, час повного циклу бродіння – 40 днів (період самозапуску – 15 днів, період виділення газу – 25 днів). Біогазова установка була спроектована і встановлена у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція». У результаті роботи зазначеної біогазової установки було отримано ББУ наступного складу: загальний азот – 3,7±0,30 %; амонійний азот – 3,5±0,35 %; загальний фосфор – 1,6±0,10 %; загальний калій – 20,7±0,10 %; органічна речовина – 12,5±0,80 %; волога – 99,2±0,30 %; сухий залишок – 0,8±0,30 %; рН – 9,0±0,30 ум. од.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Із метою вивчення біологічної ефективності ББУ було проведено польові дослідження кукурудзи (гібрид Дельфін), буряку цукрового (гібрид Настя), вівса (сорт Парламентський). ББУ вносили шляхом прикореневого підживлення кукурудзи і буряка цукрового, а також обприскуванням по вегетації вівса за наступною схемою:

- 1 – контроль (без добрив);
- 2 – норма внесення ББУ 10 т/га (кукурудза, буряк), 40 кг/га (овес);
- 3 – норма внесення ББУ 20 т/га (кукурудза, буряк), 80 кг/га (овес);
- 4 – норма внесення ББУ 30 т/га (кукурудза, буряк), 120 кг/га (овес).

Ґрунт – чорнозем типовий середньосуглинковий. Проби ґрунту відбиралися згідно з ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Догляд за культурами здійснювали за загальноприйнятими для даної зони технологіями. Екотоксикологічні дослідження ББУ проводили з використанням різних тест-об'єктів, а саме: визначення фітотоксичності чорнозему типового середньосуглинкового за методом Гродзинського; визначення гальмівної дії ББУ на ріст вищих рослин за ДСТУ ISO 11269-1:2004; дослідження загальної чисельності ґрунтових (педотрофних) мікроорганізмів та мікроміцетів за методикою Д. Г. Звягінцева; визначення гострої токсичності ББУ на дощових

черв'яків (тест-культура *Eisenia fetida*) із застосуванням штучного субстрату за ДСТУ ISO 11268-1:2003; дослідження нітрифікаційної здатності ґрунту за методом Кравкова; інгібіторної дії на мінералізацію ґрунту – за ДСТУ ISO 14238:2003.

Результати досліджень. Загальновідомо, що першим етапом досліджень нових видів добрив має бути встановлення їх ефективності за впливом на врожайність сільськогосподарських культур. Лише за позитивного результату проводиться подальше вивчення їх властивостей, у тому числі вивчаються екотоксикологічні характеристики. Результати вивчення впливу ББУ на урожайність сільськогосподарських культур засвідчили, що максимальний приріст урожаю спостерігався у разі застосування 40 кг/га для вівса та 10 т/га – для кукурудзи і буряку цукрового: урожайність вівса збільшилася на 45,6 % відносно контролю і склала 4,6 т/га; буряку цукрового – 24,3 % і 51,6 т/га, кукурудзи – 48,6 % і 15,8 т/га відповідно. За умов подальшого підвищення норм застосування ББУ спостерігалася тенденція до зниження врожайності сільськогосподарських культур. Це явище змусило провести більш детальне вивчення явища з використанням методів біотестування для встановлення безпечних норм застосування добрива.

1. Вплив ББУ на проростання насіння редису (ґрунт – чорнозем типовий середньосуглинковий)

Культура	Варіант дослідю	Схожість насіння редису, %	Відхилення від контролю, %	НІР _{0,5}
Овес (сорт Парламентський)	Контроль	79,8	0,0	2,7
	40 кг/га	82,3	3,2	
	80 кг/га	69,0	-13,5	
	120 кг/га	66,9	-16,2	
Цукровий буряк (гібрид Настя)	Контроль	89,4	0,0	4,0
	10 т/га	83,3	-6,8	
	20 т/га	73,6	-17,6	
	30 т/га	64,9	-27,3	
Кукурудза (гібрид Дельфін)	Контроль	83,3	0,0	3,8
	10 т/га	75,7	-9,2	
	20 т/га	72,7	-12,7	
	30 т/га	64,4	-22,8	

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Першим кроком була перевірка ґрунту на фітотоксичність. Для цього було відібрано зразки ґрунту в польових дослідах після застосування ББУ і проведено лабораторні дослідження з пророщування насіння редису (сорт Червоний із білим кінчиком, який вважається досить чутливим до несприятливих ґрунтових умов). Отримані результати підтвердили припущення щодо пригнічення росту і розвитку рослин із підвищенням норм внесення ББУ. За результатами вивчення фітотоксичності ґрунту було визначено, що безпечною нормою ББУ під час підживлення рослин по вегетації буде 40 кг/га, за прикореневого внесення – 10 т/га (табл. 1).

Ці результати було підтверджено даними дослідження гальмівної дії ББУ на ріст вищих рослин, проведеними у відповідності з ДСТУ ISO 11269-1:2004. Норми ББУ збільшували у геометричній прогресії, що дало змогу встанови-

ти чіткі залежності: підвищення норми застосування супроводжувалося уповільненням росту стебла і коріння ячменю. Екологічно безпечною була норма ББУ 10 т/га (табл. 2).

Другий блок екоотоксикологічних досліджень стосувався питань впливу ББУ на процеси, що протікають у ґрунті. Найбільш чутливими тест-організмами вважаються мікроорганізми й окремі їх функціональні групи, в першу чергу ті, які беруть участь у перетворенні сполук азоту і вуглецю. Мікробіологічний аналіз чорнозему типового після внесення ББУ у польовому досліді, безсумнівно, свідчить про пригнічення мікробіологічної діяльності. Істотне зменшення загальної чисельності ґрунтових мікроорганізмів спостерігалось внаслідок прикореневого внесення ББУ під кукурудзу і буряк цукровий: з 11,4–12,0 млн КУО/г сухого ґрунту вона знизилася до рівня 1,4–4,2 млн КУО/г сухого ґрунту (табл. 3).

2. Вплив ББУ на ріст ячменю (*Hordeum vulgare L.*), сорт Тріумф

Норма внесення ББУ	Довжина кореня, мм	Відхилення від контролю, %	Довжина стебла, мм	Відхилення від контролю, %
Без добрив	44	0	118	0
10 т/га	66	+ 50,0	158	+ 33,9
30 т/га	62	+ 40,9	146	+ 23,7
90 т/га	36	- 18,2	138	+ 16,9
270 т/га	34	- 22,7	123	+ 4,2
810 т/га	30	- 31,8	105	-11,0
НІР _{0,5}	4,6		15,9	

3. Вплив ББУ на загальну чисельність мікроорганізмів чорнозему типового середньосушливого (польовий дослід)

Культура	Варіант досліді	Загальна чисельність ґрунтових мікроорганізмів, млн КУО/г сухого ґрунту
Овес (сорт Парламентський)	Контроль (без добрив)	3,0
	40 кг/га	2,4
	80 кг/га	1,8
Цукровий буряк (гібрид Настя)	Контроль (без добрив)	12,0
	10 т/га	2,3
	20 т/га	4,2
	30 т/га	3,2
Кукурудза (гібрид Дельфін)	Контроль (без добрив)	11,4
	10 т/га	1,3
	20 т/га	3,6
	30 т/га	3,1

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

4. Вплив ББУ на нітрифікаційну здатність чорнозему типового середньосуглинкового та інгібіторну дію на процеси мінералізації

Варіант досліду	Нітрифікаційна здатність ґрунту, мг/кг	Інгібіторна дія на мінералізацію (ID)
Контроль (без добрив)	130,8	-
10 т/га	153,5	- 22,6
20 т/га	130,4	+ 0,5
30 т/га	125,4	+ 5,5
40 т/га	122,4	+8,4

НІР_{0,5} = 7,14

5. Екотоксикологічна оцінка ББУ за реакцією ґрунтових черв'яків (*Eisenia fetida*)

Варіант	Відсоток смертності, %	Зміна біомаси, % від початкової маси	Рухливість	Реакція на світлове та механічне подразнення
Контроль (вода)	0	+ 3,3	рухливі	позитивна
10 т/га	0	+ 3,8	рухливі	позитивна
20 т/га	0	+ 5,8	рухливі	позитивна
30 т/га	0	+ 2,0	рухливі	позитивна
40 т/га	0	+ 3,0	рухливі	позитивна

Надзвичайно важливими показниками біологічної активності ґрунту є направленість процесів перетворення сполук азоту, в т. ч. нітрифікації, денітрифікації, амоніфікації тощо. Саме вони визначають рівень ґрунтової родючості, активність синтезу і мінералізації органічних речовин, що є основою забезпечення рослин поживними елементами. Одним із основних показників біологічної активності ґрунту є його нітрифікаційна здатність.

Дослідження впливу ББУ на нітрифікаційну здатність ґрунту показали, що застосування 10 т/га призводить до її підвищення, проте за подальшого збільшення норми відбувається пригнічення активності мікроорганізмів, які забезпечують перетворення азоту до нітратної форми (табл. 4).

Водночас спостерігається підвищення інгібіторної дії ББУ на процеси мінералізації, про що свідчить коефіцієнт ID: під час збільшення норми ББУ з 20 до 40 т/га він збільшився на 0,5–8,4 одиниць (за норми 10 т/га спостерігалось стимулювання на рівні 22,6 одиниць).

Аналіз токсичного впливу на ґрунтову мезофауну за реакцією найбільш чутливих тест-організмів – дощових черв'яків виду *Eisenia fetida* – не виявив токсичного впливу. Підвищен-

ня норми внесення ББУ з 10 до 40 т/га не призвело до збільшення (летальності) смертності, не спричинило зміни рухливості та реакції на світлове й механічне подразнення. Зміни біомаси черв'яків коливалися в межах +3,3...+5,8 %; спостерігалась тенденція до збільшення за внесенням ББУ на рівні 10–20 т/га та зменшення – за збільшенням норми до 30–40 т/га. Проте в цілому пригнічення ББУ дощових черв'яків не спостерігалось (табл. 5).

Середня летальна концентрація LC50 для *Eisenia fetida* в умовах голодного тесту, під час якої кількість загинув особин досягає рівня 10 %, створюється за норми ББУ на рівні 540 т/га і вище.

Висновки:

1. Екотоксикологічна оцінка біодобрива, отриманого в результаті переробки відходів тваринництва за використання біогазової установки, дало змогу встановити його екологічно безпечні норми застосування під сільськогосподарські культури.

2. За реакцією фітотестів, екологічно безпечний рівень забезпечується, якщо норма внесення ББУ не перевищує 10 т/га за прикореневого способу внесення і 40 кг/га – шляхом обприскування рослин по вегетації.

3. За реакцією мікроорганізмів ґрунту, безпечний рівень впливу ББУ може бути забезпечений, якщо норма застосування добрива не перевищуватиме 10 т/га.

4. Встановлено, що ББУ не чинить негативно-го впливу на мезофауну ґрунту, що підтверджено результатами дослідження ґрунтових черв'яків

виду *Eisenia fetida*: середня летальна концентрація LC50 створюється за норми ББУ на рівні 540 т/га і вище.

5. За умов дотримання рекомендованих норм застосування ББУ можна використовувати в органічному виробництві продукції рослинництва.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Агрохімікати. Встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин : ДСТУ 4944:2008. – [Чинний від 2009.01.01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 8 с. – (Національний стандарт України).

2. *Гродзинский А. М.* Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А. М. Гродзинский. – К. : Наукова думка, 1965. – 198 с.

3. Закон України від 03.09.2013 №425-VII «Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції та сировини» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/425-18>.

4. *Лісовал А. Н.* Агрохімія: лабораторний практикум / А. Н. Лісовал, У. М. Давиденко, Б. М. Мойсеєнко. – К. : Вища школа, 1984. – 311 с.

5. *Макаренко Н. А.* Органічна сільськогосподарська продукція : основні вимоги до якості та умов виробництва : науково-методичні рекомендації / [Н. А. Макаренко, М. Д. Мельничук та ін.] ; за ред. д. с.-г. н., проф. Н. А. Макаренко. – К. : НУБіП України, 2013. – 96 с.

6. *Макаренко Н. А.* Органічне виробництво сільськогосподарської продукції: основні передумови впровадження в Україні / Н. А. Макаренко, В. І. Бондарь // Сборник научных трудов Sworld. – Одеса, 2013. – Т. 50. – Вип. 4, (Серия «Сельское хозяйство»). – С. 23–27.

7. Методы почвенной микробиологии и биохимии : [под ред. Д. Г. Звягинцева]. – М. : МГУ, 1991. – 304 с.

8. *Нетрусов А. И.* Практикум по микробиологии / [А. И. Нетрусов, М. А. Егорова и др.] ; под ред. А. И. Нетрусова. – М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 608 с.

9. *Патика В. П.* Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів / [В. П. Патика, Н. А. Макаренко та ін.]. – К. : Основа, 2005. – 300 с.

10. Постанова ЄС №834/2007 від 28 червня 2007 року «Стосовно органічного виробництва і маркування органічних продуктів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : humana.ua/ес_

komisiya_834_2007.pdf.

11. Постанова ЄС № 889/2008 від 5 вересня 2008 року «Детальні правила щодо органічного виробництва і контролю для впровадження постанови 834/2007» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://organicfood.com.ua/organicheskoe_ezaknodatelstvo-es/.

12. Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначення мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT) : ДСТУ ISO 14238:2003. – [Чинний від 2003.11.06]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – С. 12. – (Національний стандарт України).

13. Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на земляних черв'яків (*Eisenia fetida*). Частина 1. Визначення гострої токсичності з використанням штучного субстрату ґрунту (ISO 11268-1:1993, IDT) : ДСТУ ISO 11268-1:2003. – [Чинний від 2004.01.07]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – С. 12. – (Національний стандарт України).

14. Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначення гальмівної дії на ріст коренів (ISO 1269-1:1993, IDT) : ДСТУ ISO 11269-1:2004. – [Чинний від 2004.30.04]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – С. 10. – (Національний стандарт України).

15. Electronic code of federal regulations. Regulations of the department of agriculture (continued). Part 205. National organic program [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&sid=3f34f4c22f9aa8e6d9864cc2683cea02&tpl=/ecfrbrowse/Title07/7cfr205_main_02.tpl.

16. Francis Charles Organic Farming: The Ecological System : monograph / Charles Francis. – South Segoe Road, Madison, 2009. – 365 p.

17. Japanese Agricultural Standard for Organic Plants (Notification №1605 of 2005) (the last revision March, 2012) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.maff.go.jp/e/jas/specific/organic.html>.