

ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТІВ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ З ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ ЗА МІКРОБІОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Ю.В. Подоба, В.О. Пінчук, О.В. Тертична, І.В. Безноско

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: 2375797@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1000-7946
e-mail: pinchuk_vo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580
e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858
e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2217-5165

Продуктом анаеробної мікробіологічної трансформації пташиного посліду є рідкий суспендований продукт (дігестат), склад якого характеризується набутими завдяки діяльності анаеробних мікроорганізмів новими хімічними особливостями. Цей процес відбувається у біогазових установках, і внаслідок метанового збродження пташиного посліду утворюється біогаз і залишки органічної сировини, що використовується як добриво. Міжнародна практика застосування дігестатів як органічне добриво або поліпшувач ґрунту для власних потреб господарства є аналогічною класичним компостам і не вимагає санітарно-мікробіологічної сертифікації, проте існують норми доброї органічної сертифікації, а також різноманітні галузеві настанови з якості органічних добрив. У роботі проаналізовано міжнародні й національні санітарні мікробіологічні норми щодо дігестатів, продуктів переробки побічної продукції тваринництва і органічних речовин для внесення у ґрунт, зокрема Регламент (ЄС) 2019/1009 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 р. «Про встановлення правил розміщення на ринку добрив ЄС», ДСТУ 7527:2014 «Послід птиці. Технології біологічного перероблення. Загальні вимоги», ДСТУ 7938:2015 «Добрива органічні. Агрономічні вимоги щодо якості добрив для використання в органічному виробництві». Узагальнено інформацію з наукових статей, стандартів окремих країн та настанов міжнародних органів добровільної сертифікації щодо оцінювання дігестату, що вноситься у ґрунт як органічне добриво або покращувач ґрунту. Встановлено, що обов'язковими санітарними мікробіологічними характеристиками для таких речовин є бактерії групи сальмонел (*Salmonellas* spp.) і бактерії групи кишкової палички (*Escherichia* spp.), а також у стандартах деяких країн та у науковій літературі рекомендовано проводити визначення бактерій групи Coliform і бактерій *Streptococcus faecalis*, наявність яких вказує на можливу присутність потенційно небезпечних штамів мікроорганізмів. Із застосуванням лабораторного обладнання оптимально умови гранулювання твердої фракції дігестату для отримання гранульованого органічного добрива із осаду біогазової установки. Мікробіологічний аналіз гранульованого дігестату виявив відсутність бактерій групи сальмонел (*Salmonellas* spp.) і бактерій групи кишкової палички (*Escherichia* spp.) у досліджених зразках, проте відзначено високу чисельність пліснявих грибів $1,2 \cdot 10^4 \pm 7,25 \cdot 10^2$ КУО/г, що може бути наслідком зберігання вологої сировини. Для контролю вторинного бактеріального заміщення органічної сировини у процесі зберігання оцінили ефективність застосування комерційних біопрепаратів. Показано перспективність використання комерційних мікробних препаратів, зокрема МусоНеп (МікоХелп), для контролю пліснявих грибів роду *Penicillium* spp. у технологіях переробки побічної продукції сільського господарства на органічні добрива та запобігання псуванню готової продукції у процесі зберігання.

Ключові слова: ґрунт, добрива, бактерії, мікроміцети, умовно патогенні мікроорганізми, санітарні норми, дігестат, побічні продукти птахівництва, мікробні препарати.

ВСТУП

Розглядаючи вплив галузі тваринництва на довкілля, необхідно констатувати,

що сільськогосподарські підприємства з утримання тварин щороку мають значні обсяги побічних продуктів виробництва.

Практика поводження з побічними продуктами тваринництва переважно ба-

зується на внесенні їх у ґрунт після компостування. Однак останнім часом фермери активно вкладали кошти в будівництво комплексів для отримання біогазу з побічних продуктів агровиробництва. Водночас, проблема поводження з побічними продуктами не втратила актуальності і перейшла на інший рівень — розробка технологій утилізації або поводження з побічними продуктами біогазових станцій. Дігестат, що утворюється після анаеробного зброджування органічної речовини, є продуктом мікробіологічної трансформації сировини, і придатний до внесення у ґрунт як органічне добриво за умови його відповідності санітарно-гігієнічним вимогам, зокрема до мікробіологічного складу.

Тому **метою досліджень** був аналіз вмісту мікроорганізмів у дігестаті з пташиного посліду згідно з міжнародними і українськими санітарно-гігієнічними нормами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Одним із субстратів для отримання органічних добрив є продукти анаеробного мікробіологічного перетворення пташиного посліду, що відбувається у біогазових установках. Внаслідок метанового бродіння пташиного посліду утворюється рідкий суспендований продукт (дігестат), склад якого характеризується набутими завдяки діяльності анаеробних мікроорганізмів новими хімічними особливостями.

Внесення дігестату у ґрунт має бути біологічно безпечним із мінімальними ризиками переносу бактерій, вірусів, паразитів, насіння бур'янів та інших культур, фітопатогенів тощо [1; 2]. У міжнародних настановах і регламентах як основні санітарно-гігієнічні показники щодо дігестатів біогазових комплексів для їх використання як органічні добрива, виділяють мікробіологічні показники і вміст хімічних елементів, які прийнято називати важкими металами [3; 4].

Однак процес анаеробного зброджування органічної сировини детально досліджено у роботах вітчизняних і зарубіж-

них вчених (Seadi, 2012, Захаренко, 2015; Максінко, 2017) [1; 3; 4], інформація з вивчення мікробіологічних аспектів є доволі обмеженою (Govasmark, 2011, Abubaker, 2012) [2; 5], а також залишаються розбіжності під час оцінювання екологічної безпечності продуктів біологічного перероблення гною тварин, і простежується відсутність зв'язку між виробничниками, науковцями й законотворцями.

З огляду на те, що мікробіологічний процес метаноутворення відбувається з виділенням теплоти і його тривалість достатня для пригнічення переважної більшості патогенів і інших біологічних агентів [1; 5], процес контролю якості дігестату має починатися з контролю умов протікання процесу метаноутворення (температура і час), а також запобігання контамінації під час транспортування сировини та інших етапах виробництва.

Серед загальних санітарних норм мікробіологічного стану дігестату, який буде вноситися у ґрунт, у міжнародних джерелах увагу акцентують на чотирьох показниках: бактерії групи сальмонел (*Salmonellas* spp.), бактерії групи кишкової палички (*Escherichia* spp.), бактерії групи *Coliform*, і бактерії *Streptococcus faecalis* [6–9]. За винятком деяких штамів сальмонели, загальна присутність цих бактерій не вказує на безпосередню загрозу санітарному стану ґрунту, а лише характеризує імовірність присутності у субстраті інших штамів бактерій, що викликають захворювання. Наприклад, непатогенний і безпечний *Streptococcus faecalis* є виключно індикаторним штамом стерилізаційного ефекту, оскільки він є більш стійкішим до дії температури порівняно з переважною більшістю інших патогенних бактерій, вірусів і яєць паразитів. Відсутність живих бактерій *Streptococcus faecalis* показує ефективність санітарної дії температури та експозиції у біогазовому тенку. Наприклад, бактерії *Escherichia coli* та *Salmonella typhi* за кімнатної температури залишаються життєздатними до 20 діб, тоді як за 35°C цей час скорочується до 10 діб, а бактерії *Streptococcus faecalis* залишаються життєздатними до

35 діб за кімнатної температури та 15 діб за 35°C [10].

Згідно з останніми законодавчими ініціативами [11], вимоги щодо проведення державної реєстрації пестицидів і агрохімікатів не поширюються на дігестат, що утворюється в біогазових установках, який використовується як органічне добриво чи покращувач ґрунту. Також цей закон [11] містить визначення поняття: «дігестат, що утворюється в біогазових установках, — залишки сировини, побічних продуктів та відходів тваринного або рослинного походження, в суміші або ні, що утворюються в результаті контрольованого процесу анаеробного зброджування з виділенням біогазу, що відповідає вимогам, встановленим Регламентом (ЄС) 2019/1009 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 р. про встановлення правил розміщення на ринку добрив ЄС», який містить вимоги до отримання дігестату, зокрема температурні та експозиційні умови анаеробного бродіння, які впливають на ступінь знезараження субстрату. Що стосується цього Регламенту [6], який встановлює вимоги до якості органічних добрив як до товару з метою їх комерсціалізації та торгівлі у межах Євросоюзу, то в ньому не виділено норми окремо для дігестатів, проте у загальних розділах про органічні добрива і покращувачі ґрунту нормується допустиме мікробіологічне забруднення: *Salmonella* spp. — у 5 досліджених зразках відсутня в 25 г або 25 мл, *Escherichia coli* або *Enterococcaceae* — 1000 в 1 г або 1 мл 5-ти досліджених зразків [6]. Наразі, все зводиться до того, що тільки дігестат високої якості може бути сертифікований як органічне добриво [9; 12].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У лабораторії екології тваринництва Інституту агроєкології і природокористування НААН оптимізовані умови гранулювання твердої фракції дігестату для отримання гранульованого органічного добрива із осаду біогазової установки [13].

Мікробіологічний аналіз дігестату проведено в Українській лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Визначення загальної чисельності сапрофітних мікроорганізмів, наявності патогенних мікроорганізмів роду *Salmonella* і бактерій групи кишкової палички (*colititr*, БГКП) проводилось за методичними вказівками з санітарно-мікробіологічними дослідженнями ґрунту № 1446-76, № 2293-81.

Чисельність мікроорганізмів екологічних та таксономічних груп ґрунтових мікроорганізмів (амоніфікувальні, амілолітичні, оліготрофні, актиноміцети та мікроміцети) проводилась згідно з РМ.УЛ.5.4-23 «Визначення чисельності основних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів».

Для контролю вторинного бактеріального засмічення переробленої сировини у процесі зберігання проведено тест з оцінки ефективності застосування комерційних біопрепаратів для контролю і запобігання росту пліснявих грибів роду *Penicillium* spp., під час зберігання органічної сировини, отриманої з побічної продукції птахівництва.

Для контролю росту пліснявих грибів у органічному добриві використовували комерційні препарати МусоХелп (МікоХелп) і Органік-Баланс (Organic-Balance) українського виробництва [14]. Ці препарати характеризуються високою фунгіцидною дією, завдяки різноманітному складу корисної мікробіоти.

Для дослідження шляхів мікробіологічного контролю пліснявих грибів у органічних добривах проведено низку лабораторних аналізів *in vitro* зі встановлення ступеня пригнічення росту пліснявих грибів за впливу різних комерційних препаратів [15; 16].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Міжнародна практика використання продуктів біогазових станцій після

анаеробного збродження як органічного добрива або поліпшувача ґрунту переважно спрямована на внутрішнє споживання для власних потреб, і є аналогічною класичним компостам, що не передбачає обов'язкові дослідження якості та сертифікацію, якщо власник вносить дигестат на поля в межах свого господарства [17]. Втім, низка настанов якості Європейського Союзу щодо органічних добрив містять норми добровільної сертифікації, де регламентуються бажані показники мікробіологічного і хімічного складу. Також у багатьох країнах світу на основі цих регламентів ISO розробляються державні настанови з якості органічних добрив на основі дигестатів біогазових комплексів [7; 8].

Проаналізовано, що загальна кількість бактерій груп: сальмонел (*Salmonellas* spp.), кишкової палички (*Escherichia* spp.), *Coliform*, і бактерії *Streptococcus faecalis* у дигестаті погіршує його санітарні показники і вказує на можливу присутність потенційно небезпечних штамів мікроорганізмів (табл. 1).

В українських нормативах якості органічних добрив, зокрема з посліду птиці, за санітарно-бактеріологічними показниками органічна суміш має відповідати вимогам ДСТУ 7527:2014 [18]: індекс бактерій групи кишкових паличок (БГКП) не більше 10000 КУО/дм³, наявність патогенної мікрофлори і життєздатних яєць гельмінтів не дозволена.

Щодо норм органічного землеробства, ДСТУ 7938:2015 [19] містить більш жорсткі вимоги щодо наявності бактерій групи кишкових паличок (індекс БГКП) — 3 КУО/г, та ентерококів — 3 КУО/г, а також невизначену з точки зору лабораторного аналізу вимогу відсутності патогенної мікрофлори. Серед інших вимог щодо санітарного стану органічних добрив у ДСТУ 7938:2015 вказано відсутність життєздатних яєць та личинок гельмінтів і цист кишкових патогенних найпростіших.

Мікробіологічним аналізом гранульованого дигестату з пташиного посліду (табл. 2) визначено відсутність небезпечних штамів *Salmonellas* spp., *Escheri-*

Таблиця 1. Узагальнені міжнародні обмеження щодо санітарно-бактеріологічних показників дигестату, що вноситься у ґрунт як органічне добриво або покращувач ґрунту

Мікробіологічний показник або штамп	Нормоване значення
<i>Salmonella</i> spp.	Відсутні у 25 г або 25 мл
<i>Escherichia coli</i> та <i>Enterococcaceae</i>	1000 КУО/г або мл
Загальне число <i>Coliforms</i>	500 КУО/г
<i>Fecal Streptococci</i>	500 КУО/г

chia spp. і його відповідність санітарним нормам щодо органічних добрив, дозволених для застосування в органічному землеробстві.

Гранульований дигестат характеризується наявністю високої концентрації життєздатних бактерій $1,7 \cdot 10^6 \pm 9,59 \cdot 10^2$ КУО/г, переважна більшість яких, ймовірно, брала участь у метаногенезі і розкладі сировини у біогазовій установці та є складовою технологічного процесу отримання біогазу. Ці бактерії не втратили життєдіяльність навіть у термічних умовах гранулювання, де температура матриці підвищується до 80°C.

Таблиця 2. Санітарно-мікробіологічні показники твердої фракції дигестату з біогазової станції ферментації на пташиному посліді

Найменування показників, одиниці вимірювань	Результати випробувань
Загальна кількість бактерій на м'ясо-пептонному агарі, КУО/г	$1,7 \cdot 10^6 \pm 9,59 \cdot 10^2$
Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), <i>coli</i> -титр, в 1 г	Не виявлено
Наявність або відсутність <i>Salmonella</i> spp. у 50 г	Не виявлено
Чисельність дріжджів, КУО/г	Не виявлено
Визначення чисельності пліснявих грибів, КУО/г	$1,2 \cdot 10^4 \pm 7,25 \cdot 10^2$

Таблиця 3. Мікробіологічні показники мулу аеробного розкладу пташиного посліду

Найменування показників, одиниці вимірювань	Результати
Загальна кількість бактерій на м'ясо-пептонному агарі, КУО/см ³	$1,3 \cdot 10^{10} \pm 1,7 \cdot 10^9$
Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), (<i>coli</i> -титр), КУО/см ³	$4 \cdot 10^{-3} \pm 7 \cdot 10^{-5}$

Однак загальна кількість життєздатних мікроорганізмів після анаеробного метанового зброджування значно менша (у 7647 разів) порівняно з даними аеробного розкладу (табл. 3), і характеризується відсутністю бактерій групи кишкових паличок, що є позитивним, оскільки не потрібно застосовувати додаткові методи стерилізації сировини під час отримання добрив.

Також проведений тест на наявність пліснявих грибів (див. табл. 2), який засвідчив достатньо високу концентрацію спор у гранульованому дігестаті, що може бути наслідком росту плісняви і засмічення спорами на одному або обох технологічних етапах:

- 1) під час транспортування і зберігання сировини для біогазової установки — пташиного посліду;
- 2) під час транспортування і зберігання продукту біогазової установки — дігестату.

Зменшити ймовірність мікробної контамінації сировини можливо завдяки її попередній теплової обробки пастеризацією за 70°C упродовж 1 год, або стерилізацією під тиском (2,4 атм.) за 133°C протягом 20 хв [20; 21].

Висока чисельності пліснявих грибів у органічних добривах не є критичним чинником із точки зору санітарних норм, але доводить той факт, що послід і продукти його переробки є поживним субстратом не тільки для рослин, а насамперед для мікроорганізмів. Ймовірність бактеріального засмічення і розвитку мікроорганізмів навіть у гранулах дігестату за умов неналежного зберігання не гарантує повного припинен-

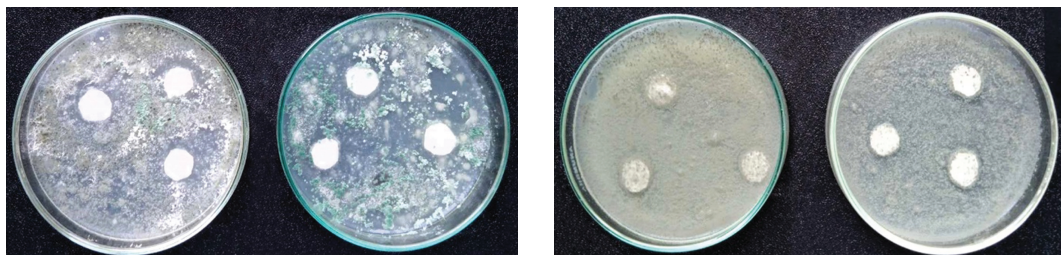
ня біологічних процесів, та можливий повторний розвиток мікроорганізмів, в результаті чого змінюються показники якості продукту [22].

За неналежного зберігання посліду птиці і продуктів його переробки, особливо у вологих умовах, спостерігається інтенсивний ріст пліснявих грибів, як-от *Penicillium* spp. Це створює загрозу псування органічних добрив і підвищує їх мікробіологічну засміченість інфекційними структурами патогенів [23; 24]. Зокрема існують дані, що представники пліснявих грибів роду *Penicillium*, зокрема *Penicillium chrysogenum*, який належить до ґрунтової мікрофлори, здатні продовжувати свою життєдіяльність на субстраті, яким є послід курей, що призводить до мікробного синтезу і накопиченню окремих антибіотиків мікробного походження за тривалого зберігання [25].

Досліджено чутливість грибів роду *Penicillium* spp. до дії препаратів МусоХелп (МікоХелп) і Органік-Баланс (Organic-Balance) за пригніченням росту гриба, що чітко виділяється на фоні суцільного газону росту культури (*pus.*).

За результатами дослідження (див. *pus.*) виявлено істотне пригнічення росту гриба роду *Penicillium* spp. за впливу препарату МусоХелп (МікоХелп), який містить у своєму складі гриби роду *Trichoderma* spp., що здатні швидше колонізувати субстрат і активно конкурувати з патогенною мікобіотою. Водночас, за впливу препарату Органік-Баланс (Organic-Balance), ріст пліснявих грибів *Penicillium* spp. характеризувався незначним пригніченням розвитку (повітряний міцелій був зріджений і слабо розвивався на субстраті). Отже, встановлено перспективність використання комерційних мікробних препаратів для контролю пліснявих грибів роду *Penicillium* spp. у технологіях переробки побічної продукції сільського господарства на органічні добрива та запобігання псуванню готової продукції у процесі зберігання.

Однак будь-які методи біологічного контролю бактеріальної засміченості мають допоміжну функцію, і для запобігання



Тестування антипліснявої дії комерційних мікробних препаратів для органічного субстрату після перероблення пташиного посліду

Примітка: ліворуч – МусоХелп (МікоХелп), праворуч – Органік-Баланс (Organic-Balance).

контамінації мікроорганізмами і псування продуктів переробки органічного походження необхідний належний контроль як органічної сировини, так і технологічних процесів під час отримання та зберігання органічних добрив із продуктів переробки побічної продукції тваринництва.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що 1 г гранульованого дігестату з біогазової установки на пташиному посліді містить 1,7 млн життєздатних бактерій і 12 тис. спор пліснявих грибів. Бактерій групи кишкових паличок і сальмонел не виявлено.

Обов'язковими санітарними мікробіологічними характеристиками для оцінювання органічних речовин, що вносяться у ґрунт, зокрема дігестатів та інших продуктів переробки побічної продукції тваринництва, є бактерії групи сальмонел (*Salmonellas* spp.) і бактерії групи кишкової палички (*Escherichia* spp.).

Мікробіологічні показники продуктів анаеробного розкладу органічної сировини з пташиного посліду, зокрема дігестату

біогазових установок, що працюють на пташиному посліді або гної тварин без підстилки залежить переважно від якості посліду та води. Якість сировини впливає на якість дігестату та зумовлюється санітарно-епідеміологічним станом тварин і приміщень, мікробіологічною засміченістю кормів, попередньою обробкою сировини для завантаження до біогазової установки.

Наявність збудників інфекційних хвороб у посліді птиці та наявність фітопатогенів у зерні, яке використовується для приготування преміксів, підвищує ймовірну їх міграцію до складу органічного добрива за умови неналежного протікання метанового бродіння з порушенням температурних і експозиційних умов.

Для запобігання мікробіологічної контамінації під час зберігання та транспортування сировини й органічних добрив необхідною умовою є дотримання санітарних вимог до всіх технологічних процесів, починаючи від умов утримання та годівлі тварин — до умов зберігання готової продукції і внесення у ґрунт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer / Seadi T. and Lukehurst C. 2012. 39 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2012/05/digestate_quality_web_new.pdf.
2. Abubaker J. Biogas residues as fertilisers — effects on wheat growth and soilmicrobial activities. *Applied Energy*. 2012. Vol. 99. P. 126–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.04.050>.
3. Захаренко М.О., Яремчук О.С., Шевченко Л.В. та ін. Біотехнологія відходів тваринницьких підприємств: моногр. Київ, 2015. 380 с. URL: <http://repository.vsau.org/repository/getfile.php/19557.pdf>.
4. Максішко Л.М. Екобезпечні технології анаеробної переробки й утилізації відходів свинарства і птахівництва: дис. ... канд. с.-г. наук: 13.00.16. Львів, 2017. 200 с. URL: <http://repository.lnau.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/52/1/Maksishko%20L.%20M.pdf>.

5. Govasmark E., Stab J., Holen B. et al. Chemical and microbiological hazards associated with the recycling of anaerobic digested residue intended for use in agriculture. *Waste Management*. 2011. Vol. 12. P. 2577–2583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.025>.
6. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. *Official Journal of the European Union*. 2019. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2023-03-16>.
7. Philippine National Standard. Organic Fertilizer PNS/BAFPS 40: 2013. URL: https://www.researchgate.net/publication/332037765_PHILIPPINE_NATIONAL_STANDARD_PNSBAFPS_40_2013_Organic_Fertilizer?enrichId=rgreq-9523db6749cc88fbc6e6dfa059279572-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWd1OzMzMjAzNzcyNTtBUzo3NDEzNjgzNjY3MjA1MjIAMSUIzZc2NzYzOTg0NA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf.
8. Rwanda Standard. Organic fertilizer – Specification. ICS 65.080. DRS 279: 2020. URL: www.portal.rsb.gov.rw.
9. European quality assurance scheme for compost and digestate: ECN-QAS Quality Manual / Siebert S. and Auweele W.V. European Compost Network. 2018. 134 p. URL: <https://www.compostnetwork.info/ecn-qas/ecn-qas-manual/#>.
10. Kumar R., Gupta M.K. and Kanwar S.S. Fate of bacterial pathogens in cattle dung slurry subjected to anaerobic digestion. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 1999. Vol. 15. P. 335–338. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008906831493>.
11. Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання у сфері поводження з пестицидами і агрохімікатами: Закон України від 16.11.2022. № 2775-IX. *Офіційний вісник України*. 2023 р. № 2. Ст. 80. С. 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2775-20>.
12. Lamolinara B., Pérez-Martínez A. and Guardado-Yordi E. Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*. 2022. Vol. 140. P. 14–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035>.
13. Пінчук В.О., Подоба Ю.В., Тертична О.В. та ін. Екологічно безпечні технології переробки побічної продукції тваринного походження з отриманням органічного добрива: наук.-метод. реком. Київ: ДІА, 2023. 50 с.
14. Перелік пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні в 2023 р. (станом на 4 грудня 2023 р.). URL: <https://data.gov.ua/dataset/389ddb5a-ac73-44bb-9252-f899e4a97588>.
15. Коваленко В.Л., Якубчак О.М., Ященко М.Ф. Методи контролю ефективності дії дезінфектантів на мікроміцети. Київ: «Біг енд смол», 2010. 12 с.
16. Екологічне оцінювання впливу сортів сої на формування фітопатогенного фону в умовах органічного виробництва: метод. реком. / за ред. Парфенюк А.І. та ін. Київ, 2020. 20 с.
17. Drosig B., Fuchs W., Al Seadi T. and Madsen M. Nutrient recovery by biogas digestate processing: International Energy Agency – IEA Bioenergy / 2015. Task 37. 40 с. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/08/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web2.pdf.
18. ДСТУ 7527:2014. Послід птиці. Технології біологічного переробляння. Загальні вимоги. [Чинний від 2015–02–01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 22 с.
19. ДСТУ 7938:2015. Добрива органічні. Агрономічні вимоги щодо якості добрив для використання в органічному виробництві. [Чинний від 2016–09–01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 11 с.
20. Regulation (EC) no 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation). *Official Journal of the European Union*. 2019. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/2019-12-14>.
21. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1605 of 22 May 2023 supplementing Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council as regards the determination of end points in the manufacturing chain of certain organic fertilisers and soil improvers (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2023. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1605/oj.
22. Bagge E., Sahlström L. and Albin A. The effect of hygienic treatment on the microbial flora of bio-waste at biogas plants. *Water Research*. 2005. Vol. 39 (20). P. 4879–4886. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.016>.
23. Asghar W. and Kataoka R. Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic composts on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. *Archives of Microbiology*. 2021. Vol. 203. Iss. 7. P. 4281–4291. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4>.
24. Ameen F. and Al-Homaidan Ali A. Compost Inoculated with Fungi from a Mangrove Habitat Improved the Growth and Disease Defense of Vegetable Plants. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 1. P. 1–13. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/su13010124>.
25. Доброжан Ю.В. Санітарно-гігієнічна оцінка посліду курей за вмістом антибіотиків: автореф. дис. ... канд. вет. наук: 16.00.06. Київ, 2020. 22 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/1_dobrozhan_yuliy_viktorivna.pdf.

REFERENCES

1. Seadi, T. & Lukehurst, C. (2012). Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2012/05/digestate_quality_web_new.pdf [in English].

2. Abubaker, J. (2012). Biogas residues as fertilisers — effects on wheat growth and soilmicrobial activities. *Applied Energy*, 99, 126–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.04.050> [in English].
3. Zakharenko, M.O., Yaremchuk, O.S., Shevchenko, L.V. et al. (2015). *Biotehnologhiia vidkhodiv ivarynytskykh pidpriemstv: monografiia* [Biotechnology of waste from livestock enterprises: monograph]. Kyiv. URL: <http://repository.vsu.org/repository/getfile.php/19557.pdf> [in Ukrainian].
4. Maksishko, L.M. (2017). Ekobezpechni tekhnologii anaerobnoi pererobky y utylizatsii vidkhodiv svynarstva i ptakhivnytstva [Eco-friendly technologies of anaerobic processing and utilization of pig and poultry wastes]. *Candidate's thesis*. Lviv. URL: <http://repository.lnau.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/52/1/Maksishko%20L.%20M.pdf> [in Ukrainian].
5. Govasmark, E., Stab, J., Holen, B. et al. (2011). Chemical and microbiological hazards associated with the recycling of anaerobic digested residue intended for use in agriculture. *Waste Management*, 12, 2577–2583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.025> [in English].
6. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. (2019). *Official Journal of the European Union*. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2023-03-16> [in English].
7. Organic Fertilizer (2013). PNS/BAFPS 40. Philippine National Standard. URL: https://www.researchgate.net/publication/332037765_PHILIPPINE_NATIONAL_STANDARD_PNSBAFPS_40_2013_Organic_Fertilizer?enrichId=rgreq-9523db6749c88fbc6aedfa059279572-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdldOzZmZjAzNzc2NTtBUzo3NDZzNjkzNjY3MjA1MjIAMSU1Mzc2NzYzOTg0NA%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf [in English].
8. Organic fertilizer — Specification. (2020). ICS 65.080. DRS 279. *Rwanda Standard*. URL: www.portal.rsb.gov.rw [in English].
9. Siebert, S. & Auweele, W.V. (2018). European quality assurance scheme for compost and digestate: ECN-QAS Quality Manual. European Compost Network. URL: <https://www.compostnetwork.info/ecn-qas/ecn-qas-manual/#> [in English].
10. Kumar, R., Gupta, M.K. & Kanwar, S.S. (1999). Fate of bacterial pathogens in cattle dung slurry subjected to anaerobic digestion. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15, 335–338. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008906831493> [in English].
11. Pro vnesennia zmin do deiaktykh zakoniv Ukrainy shchodo vdoskonalennia derzhavnogo rehuliuвання u sferi povodzhennia z pestytsydami i ahrokhimikatamy: Zakon Ukrainy vid 16.11.2022 [On amendments to some laws of Ukraine regarding the improvement of state regulation in the field of handling pesticides and agrochemicals: Law of Ukraine from November 16th, 2022]. (2023). *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy — Official Gazette of Ukraine*, 2, art. 80. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2775-20> [in Ukrainian].
12. Lamolinara, B., Pérez-Martínez, A. & Guardado-Yordi, E. (2022). Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*, 140, 14–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035> [in English].
13. Pinchuk, V.O., Podoba, Yu.V., Tertychna, O.V. et al. (2023). *Ekolohichno bezpechni tekhnologii pererobky pobichnoi produktsii ivarynnoho pokhodzhennia z otrymanniam orhanichnoho dobrovya: naukovo-metodychni rekomendatsii* [Environmentally safe technologies for processing by-products of animal origin with obtaining organic fertilizer: scientific and methodological recommendations]. Kyiv: TOV «DIA» [in Ukrainian].
14. Perelik pestytsydiv ta ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia [State register of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine]. (2024). Kyiv. URL: <https://data.gov.ua/dataset/389ddb5a-ac73-44bb-9252-f899e4a97588> [in Ukrainian].
15. Kovalenko, V.L., Yakubchak, O.M. & Yashchenko, M.F. (2010). *Metody kontroliu efektyvnosti dii dezinfektantiv na mikromiseti* [Methods of controlling the effectiveness of disinfectants on micromycetes]. Kyiv [in Ukrainian].
16. Parfeniuk, A.I. (Eds.). (2020). *Ekolohichne otsiniuvannia vplyvu sortiv soi na formuvannia fitopatohennoho fonu v umovakh orhanichnoho vyrobnytstva: metodychni rekomendatsii* [Ecological assessment of the impact of soybean varieties on the formation of phytopathogenic background in organic production conditions: methodological recommendations]. Kyiv: TOV «DIA» [in Ukrainian].
17. Drosig, B., Fuchs, W., Al Seadi, T. & Madsen, M. (2015). Nutrient recovery by biogas digestate processing: International Energy Agency — IEA Bioenergy. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/08/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web2.pdf [in English].
18. Poslid pytysi. Tekhnologii biolohichnoho pererobliannia. Zahalni vymohy [Poultry droppings. Technologies of biological processing. General requirements]. (2015). *DSTU 7527:2014 from January 1st 2014*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
19. Dobryva orhanichni. Ahronomicni vymohy shchodo yakosti dobrovy dlia vykorystannia v orhanichnomu vyrobnytstvi [Organic fertilizers. Agronomic requirements for the quality of fertilizers for use in organic production]. (2016). *DSTU 7938:2015 from September 1st 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
20. Regulation (EC) no 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation). (2019). *Official Journal of the European Union*. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/2019-12-14> [in English].

21. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1605 of 22 May 2023 supplementing Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council as regards the determination of end points in the manufacturing chain of certain organic fertilizers and soil improvers (Text with EEA relevance). (2023). *Official Journal of the European Union*. URL: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1605/oj [in English].
22. Bagge, E., Sahlstrom, L. & Albihn, A. (2005). The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. *Water Research*, 39 (20), 4879–4886. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.016> [in English].
23. Asghar, W. & Kataoka, R. (2021). Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic composts on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. *Archives of Microbiology*, 203, 4281–4291. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4> [in English].
24. Ameen, F. & Al-Homaidan, Ali A. (2021). Compost Inoculated with Fungi from a Mangrove Habitat Improved the Growth and Disease Defense of Vegetable Plants. *Sustainability*, 13, 1–13. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/su13010124> [in English].
25. Dobrozhan, Yu.V. (2020). Sanitarno-hihienichna ot-sinka poslidu kurei za vmistom antybiotyktiv [Sanitary and hygienic evaluation of chicken droppings according to the content of antibiotics]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/1_dobrozhan_yuliya_viktorivna.pdf [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 10.04.2024
