



2018

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 24 № 4

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
засновано в 1993 році*

КИЇВ ♦ НУХТ ♦ 2018

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical and economic sciences (Decree of MES of Ukraine # 241 from September 3, 2016), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 1 from 7th of September, 2018

© NUFT, 2018

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних та економічних наук (Наказ МОН України № 241 від 09.03.2016), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 1 від 7 вересня 2018 року

© НУХТ, 2018

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор Editor-in-Chief

Анатолій Українець
Anatoliy Ukrainets

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Заступник головного редактора Deputy chief editor

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар Accountable secretary

Юрій Пенчук
Yuriy Penchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Анатолій Зайнчковський
Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Сайганов
Anatoly Sayganov

д-р екон. наук, проф., Білорусь
Ph. D. Hab., Prof., Institute of System Research in
Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, Belarus

Анжей Ковальський
Anzhey Kowalski

д-р екон. наук, проф., Польща
Ph. D. Hab., Prof., Institute of Agricultural and Food Economics,
Poland

Брайан Мак Кенна
Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія
Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Василь Пасічний
Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віра Оболкіна
Vera Obolkina

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Ємцев
Viktor Yemtsev

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Володимир Зав'ялов
Vladimir Zavialov

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Полішук
Halyna Polishchuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaite	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Іван Малезик Ivan Malezhuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Кристина Сильва Cristina L.M.Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Ширініян Lada Shyrinian	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Прядко Mykola Pryiadko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Гусятинська Natalia Gusyatyńska	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Литвиненко Oleksandr Lytvynenko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Перепелиця Oleksandr Perepelitsa	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Петро Шиян Petro Shyian	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Саверіо Манніно Saverio Mannino	д-р хім. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Milan, Italy
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології
Чаплінський Ю.П. Одна реалізація знаннє-орієнтованої інформаційної системи з безпеки продуктів харчування

Лобок О.П., Савицька Н.М., Гончаренко Б.М., Сич М.А. Задача оптимального мінімаксного граничного керування об'єктами з розподіленими параметрами

Міркевич Р.М., Пупена О.М. Оперативно-календарне планування як основа ефективної діяльності сучасних молочних підприємств

Біотехнологія і мікробіологія

Пирог Т.П., Гершман А.Ю., Пенчук Ю.М. Інтенсифікація синтезу практично важливих мікробних метаболітів на суміші субстратів
Шаповалов Є.Б., Салюк А.І., Котинський А.В. Дослідження стабільності метаногенезу курячого посліду у твердофазових умовах

Економіка і соціальний розвиток

Чигринець О.А. Адаптація як інструмент підвищення стресостійкості персоналу
Романенко В.М. Моделювання оцінки рейтингу університету з використанням математичних методів

Петухова О.М., Журавель Ю.О. Моніторинг стану та перспективи розвитку експортного потенціалу молочної промисловості України
Нікітіна Т.А., Богуславський О.В. Економічні суперечності глобалізації
Страшинська Л.В., Самонова Т.Б. Моделі інтегрованих маркетингових комунікацій туристичних підприємств

Шіринян Л.В., Еш С.М. Міжбюджетні відносини в Україні в сучасних умовах
Зайчківський А.О., Кушніренко А.М. Ринок мінеральної води в Україні: проблеми якості та безпеки

Березянюк Т.В. Стан інноваційної системи України

Охорона праці і цивільний захист

Володченко Н.В. Ідентифікація та оцінювання професійного ризику підприємства методом експлуатаційної безпеки і працездатності

Процеси і апарати харчових виробництв

Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Степанець О.І., Вінніченко І. Анаеробне бродіння в екстремальних режимах

Тепло- і енергопостачання

Вольчин І.А., Гапонич Л.С., Згоран І.П. Вибір технології десульфуризації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій

CONTENTS

Automation and Information Technologies
Chaplinsky Y. Realization of knowledge-oriented informational system of food safety

Lobok O., Savizkaia N., Goncharenko B., Sych M. The problem of the optimal minimax limit control of objects with distributed parameters

Mirkevich R., Pupena A. Planning and scheduling as the basis of effective activity of modern dairy enterprises

Biotechnology and Microbiology

Pirog T., Gershtman A., Penchuk Yu. Intensification of synthesis of practically important microbial metabolites on substrates mixture

Shapovalov Ye., Salyuk A., Kotynsky A. The reaserch of the dry chicken manure methanogenesis stability in solid-phase conditions

Enterprise Economy and Social Development

Chyhrynets O. Adaptation as staff stress resistance increasing tool

Romanenko V. Modeling the evaluation of university's rating by mathematical methods

Pietukhova O., Zhuravel Ju. Monitoring the status and prospects for development of export potential of the dairy industry of Ukraine

Nikitina T., Boguslavskyy A. Economic contradictions of globalization

Strashynska L., Samonova T. Models of integrated marketing communications of tourist enterprises

Shirinyan L., Esh S. inter-budgetary relations in Ukraine in modern conditions

Zainchkovskiy A., Kushnirenko A. Market of mineral water in Ukraine: problems of quality and safety

Berezianko T. State of the innovative system of Ukraine

Occupational Health and Civil Protection

Volodchenkova N. Identification and evaluation of professional risk at the enterprise by method of operation safety and efficiency

Processes and Equipment for Food Industries

Sokolenko A., Shevchenko A., Stepanets O., Vinnichenko I. Anaerobic fermentation at extreme regimes

Heat and Electricity

Volchyn I., Haponych L., Zhoran I. Selection of the technology of desulfurization of flue gases for ukrainian coal-burning thermal power plants

Павелко В.І., Лісовик Д.В., Терепенко М.В. Удосконалення системи технічного водопостачання енергетичного комплексу

Харчові технології

Рідкоус В.В. Визначення бродильної активності дріжджів за спиртом рефрактометричним методом

Носенко Т.Т., Бабенко В.І., Бахмач В.О., Кубайчук О.О. Оптимізація рецептури майонезних емульсій з яєчним білком

Пасічний В.М., Українець А.І., Храпачов О.В., Маринін А.І. Основні аспекти використання багат шарових полімерних матеріалів для пастеризації та стерилізації продукції в м'ясопереробній галузі

Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я та життєзабезпечення організму людини

Заморська І.Л. Зміна кольору консервів з ягід суниці впродовж зберігання

Матяс Д.С., Камбулова Ю.В., Дорохович А.М., Мандзюк І.В. Оптимізація рецептурного складу желейного мармеладу з пониженим вмістом цукру

Дулька О.С., Прибильський В.Л., Куц А.М., Коваленко О.О. Використання природних мінералів та активного вугілля в технології підготовки води при виробництві хлібного квасу

Хімічні науки

Фоменко В.В., Кроніковський О.І. Механохімічний спосіб активації ванадій оксиду (V)

169 Pavelko V., Lisovyk D., Terepenko M. Improvement of the system of technical water supply of the power complex

Food Technology

178 Ridkous V. Determination of fermentative yeast activity by ethanol by refractometric method

185 Nosenko T., Babenko V., Bakhmach V., Kubaychuk O. Optimization of mayonnaise emulsion recipe with egg protein

195 Pasichnyi V., Ukrainets A., Khrapachov O., Marynin A. Main aspects of using multilayer polymeric materials for pasteurization and sterilization of products in the meat processing industry

204 Simakhina G., Naumenko N. Nutrition as the main factor to protect the state of health and the life provision of human organism

214 Zamorska I. Changing of the colour of canned strawberry during the process of storage

221 Matias D., Kambulova J., Dorokhovych A., Mandzyuk I. Optimization of the recipe composition of jelly marmalade with reduced content of sugar

233 Dulka O., Prybylskiy V., Kutz A., Kovalenko O. The use of natural minerals and activated carbon in technology of water treatment during bread kvass manufacturing

Chemical sciences

242 Fomenko V., Kronikovskiy O. Mekhanochemical method for activation of vanadium oxide (V)

THE REASERCH OF THE DRY CHICKEN MANURE METHANOGENESIS STABLILITY IN SOLID-PHASE CONDITIONS

Ye. Shapovalov

National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine"

A. Salyuk, A. Kotynsky

National University of Food Technologies

Key words:

*Methanogenesis
Methane fermentation
Chicken manure
Adaptation
Biogas production
Dry fermentation*

Article history:

Received 09.07.2018
Received in revised form
26.07.2018
Accepted 21.08.2018

Corresponding author:

Ye. Shapovalov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Luck of government standards for fertilizers formed in the methane fermentation process and seasonal functioning of the agricultural sector provide the problem of excess quantities of biofertilizer formation under methanogenesis, that limits its spread. Regulation of their production is possible by conducting dry fermentation or recycling of liquid phase. The paper is devoted to the study of the features of the methane fermentation of chicken manure at high concentrations of dry matter.

The studies were conducted in batch mode thirteen times at humidity of 78, 80, 82 and 84%. To assess the effectiveness of methanogenesis, production of biogas and methane, the concentration of dry matter, dry organic matter, ammonia, volatile fatty acids were measured. The biogas output varied from 294 to 331 cm³/g TS, and methane — from 181 to 208 cm³/g TS in mesophilic conditions. Production of biogas under thermophilic conditions was lower than under mesophilic ones, and it varied from 174.6 to 316 cm³/g TS and methane from 105.3 to 183.2 cm³/g TS. There was no correlation between methane content in biogas and humidity. The content of methane in the produced gas under mesophilic conditions ranged from 61.7 to 62.9%, and under the thermophile conditions from 57.9 to 60.29%. In general, the mesophilic mode was characterized by better performance. The statistical analysis proved a significant difference in the production of biogas, methane and the proportion of methane between the mesophilic and the thermophilic mode at a humidity of 78, 80, and 84%. The coefficient of variation of methane production varied from 14.84% to 35.17% in mesophilic mode and from 14.4% to 78.21% in thermophilic mode. The moisture content had a much greater effect on the stability of the process in the thermophilic regime than in the mesophilic ones. The content of ammonium nitrogen at the end of fermentation was in the range of 599 mg/l to 4277 mg/l. In general, the content of ammonia under thermophilic conditions (from 599 to 3214 mg/l) was lower than under mesophilic ones (from 2171 to 4277 mg/l).

The content of volatile fatty acids was in the range from 0.81 to 15.9 g/l in the thermophilic mode and from 0.58 to 2.68 g/l in mesophilic mode.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-4-7

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ МЕТАНОГЕНЕЗУ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ У ТВЕРДОФАЗОВИХ УМОВАХ

Є.Б. Шаповалов

Національний центр «Мала академія наук України»

А.І. Салюк, А.В. Котинський

Національний університет харчових технологій

В умовах відсутності державних стандартів щодо добрив, утворених у процесі метанової ферментації, та сезонності функціонування аграрного сектору виникає проблема утворення надмірної кількості стоків після метаногенезу, що обмежує його поширення. Регулювання кількості утворення стоків можливе шляхом проведення твердофазової ферментації або рециркуляції рідкої фази. Стаття присвячена дослідженню особливостей процесу метанової ферментації курячого посліду за високих концентрацій сухих речовин.

Дослідження проводили в періодичному режимі у тринадцятикратній повторності при вологостях 78, 80, 82 та 84%. Для оцінки ефективності метаногенезу вимірювали виробництво біогазу та метану, концентрацію сухих речовин, сухих органічних речовин, амонійного Нітрогену, летких жирних кислот. Вихід біогазу варіювався від 294 до 331 см³/г СОР, а метану — від 181 до 208 см³/г СОР у мезофільних умовах. Виробництво біогазу у термофільних умовах було меншим, ніж у мезофільних, та варіювалось від 174,6 до 316 см³/г СОР, а метану — від 105,3 до 183,2 см³/г СОР. Залежності між вмістом метану у біогазі та вологістю не спостерігалось. Вміст метану у виробленому газі у мезофільних умовах варіювався від 61,7 до 62,9%, а у термофільному — від 57,9 до 60,29%. Загалом мезофільний режим характеризувався кращими показниками. Статистичний аналіз вказував на значиму різницю за виробництвом біогазу, метану та часткою метану між мезофільним і термофільним режимом при вологості 78, 80 та 84%. Коефіцієнт варіації виробництва метану варіювався від 14,84% до 35,17% у мезофільному режимі та від 14,4% до 78,21% у термофільному режимі. Вміст води мав значно більший вплив на стабільність процесу у термофільному режимі, ніж у мезофільному режимі. Вміст амонійного Нітрогену наприкінці ферментації був в межах від 599 мг/л до 4277 мг/л. В загальному, вміст амонійного Нітрогену у термофільних умовах (від 599 до 3214 мг/л) був нижчим, ніж у мезофільних (від 2171 до 4277 мг/л).

Вміст ЛЖК знаходився в межах від 0,81 до 15,9 г/л у термофільному режимі та від 0,58 до 2,68 г/л у мезофільному режимі.

Ключові слова: метаногенез, метанова ферментація, курячий послід, адаптація, біогаз, твердофазова ферментація.

Постановка проблеми. Відповідно до європейських тенденцій при поводженні з відходами [7], вони першочергово повинні утилізуватись з виробництвом енергії. Такий підхід може бути забезпечений шляхом метанової

ферментації. Окрім того, стоки з біогазової установки є високоякісним органо-мінеральним добривом. З іншої боку, в умовах відсутності державних стандартів щодо цього виду добрив і сезонності функціонування аграрного сектору, виникає проблема утворення надмірної кількості стоків [2; 13]. Регулювання їх кількості можливе шляхом проведення твердофазової ферментації або рециркуляції рідкої фази. Однак при застосуванні даних методів для відходів птахівництва можуть виникнути проблеми з накопиченням інгібіторів, головним чином амонійного Нітрогену. Попередні дослідження твердофазової ферментації, що проводились на органічній складовій твердих побутових відходів, вказували на існування ряду переваг твердофазової ферментації, зокрема зменшення розмірів біогазової установки, зниження вартості експлуатаційних витрат та вищий об'ємний вихід метану [10; 16]. Твердофазова ферментація курячого посліду є недостатньо дослідженою та актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метанову ферментацію за вмістом вологи поділяють на твердофазова та рідкофазова. Це пов'язано з тим, що при певному вмісті вологи субстрат втрачає текучість. Загальноприйнятої межі розподілу на твердофазова та рідкофазова ферментацію не існує. Однак багато авторів визначають цю межу рівною 85% [7; 11].

Результати наших попередніх досліджень вказували на можливість проведення твердофазової ферментації курячого посліду, однак вона характеризувалась значно нижчими показниками продуктивності, ніж рідкофазова. Деякі повторності твердофазової ферментації характеризувались значно вищим виходом біогазу та метану від середнього значення, що може свідчити про можливість метаногенного консорціуму до адаптації [1; 15; 16].

Інші автори, що проводили експериментальні дослідження в умовах твердофазової ферментації, отримали різні результати виробництва біогазу та метану (табл. 1). Це, ймовірно, також пов'язано з можливістю метаногенного консорціуму до адаптації.

Таблиця 1. Результати попередніх досліджень твердофазової ферментації

Автор	Вологість, %	Температура, °С	Виробництво метану, см ³ /г СОР	Вміст амонію, г/л	Вміст ЛЖК, г/л	Період дослідження/гідравлічний час утримання
1	2	3	4	5	6	7
Салюк [1; 15; 16]	84	35	72	4,96	0,39	50
Салюк [1]	84	50	113	2,12	2,37	50
Сінкора [17]	77	38	247	1,35—2	—	32
Раджагопал [14]	70	20	162	—	—	Безперервний, 26 діб
Абулянін [3]	77.5	37	5	7	—	До припинення виробництва, близько 38 діб
Абулянін [8]	80	35	139,6	2,1	6,1	40
Абулянін [8]	80	55	129	3,99	17,2	40
Абулянін [4]	75	35	8,2	16	72	8
Абулянін [4]	75	45	8,2	16	72	8

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Абулянін [4]	75	55, 65	0	16	48	8
Маркау [12]	85	35	117	8	6,5	Напівбезперевний, 30 діб час обороти, 2 обороти
Маркау [12]	80	35	51	10	16	Напівбезперевний, 30 діб час обороти, 2 обороти
Фероу [8]	80	35	140	10,2	—	65
Фероу [5; 8]	80	35	470*	2,46	—	35

*виробництво біогазу

Метою дослідження є виявлення особливостей метаногенезу курячого посліду за умов твердофазової ферментації.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у пластикових реакторах загальним об'ємом 50 мл у тринадцятикратній повторності. У реакторі розміщали 20 г субстрату з часткою активного мулу 10%. Вологість субстрату становила 78%, 80%, 82% та 84%. Для розбавлення до необхідної вологості використовували водопровідну воду. Реактори розміщувались у сухоповітряному термостаті (ТС 80 М2, Росія), що підтримував температуру 35°C для реакторів, що працювали у мезофільному режимі, та 50°C — для реакторів, що працювали у термофільному режимі. Експеримент проводили у періодичному режимі протягом 160 діб.

Вихід біогазу визначали щоденно, а вміст метану визначали в міру накопичення необхідної кількості біогазу для аналізу. Концентрацію СР, сухих органічних речовин (СОР), амонійного Нітрогену, вільного аміаку, летких жирних кислот, вільних летких жирних кислот субстрату різної вологості визначали на початку і в кінці кожного експерименту. Для статистичної обробки результатів застосовували t-test і тест Манна-Уїтні.

Результати і обговорення. У мезофільних умовах виробництво біогазу з одиниці маси було практично однаковим за всіх вологостей. Вихід біогазу варіювався від 294 до 331 см³/г СОР, а метану — від 181 до 208 см³/г СОР. У мезофільному режимі максимальний вихід біогазу з одиниці маси спостерігався при вологості субстрату 84%. Виробництво метану з одиниці маси у мезофільних умовах показано на рис. 1.

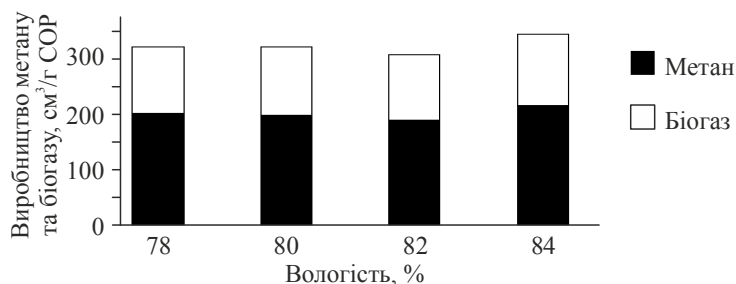


Рис. 1. Виробництво метану з одиниці маси у мезофільних умовах

Виробництво біогазу у нашому попередньому дослідженні при твердофазовій ферментації варіювалось від 66,2 до 175 см³/г СОР, а метану — від 11,9 до 72 см³/г СОР у мезофільних умовах. Максимальний вихід біогазу та метану з одиниці маси був при вологості 84%, що відповідає результатам даного дослідження. Тож виробництво біогазу та метану характеризувалось вищими показниками, ніж у попередньому дослідженні [1].

Інші автори, що проводили дослідження метаногенезу курячого посліду в умовах твердофазової ферментації у мезофільному режимі отримали виробництво метану від 5 до 247 см³/г СОР. Найбільший вихід метану спостерігався у дослідженні Камерона Сінкори і співавт. при 38°C, що є вищим, ніж результати дослідження [16].

Виробництво біогазу в термофільних умовах варіювалось від 174,6 до 316 см³/г СОР, а метану — від 105,3 до 183,2 см³/г СОР. У термофільному режимі максимальний вихід біогазу з одиниці маси був при вологості субстрату 82%. Імовірно, у зв'язку з нестабільністю процесу у цьому дослідженні, спостерігалась тенденція до зростання виробництва біогазу при зростанні вологості лише в діапазоні вологостей 78—82% (рис. 3).

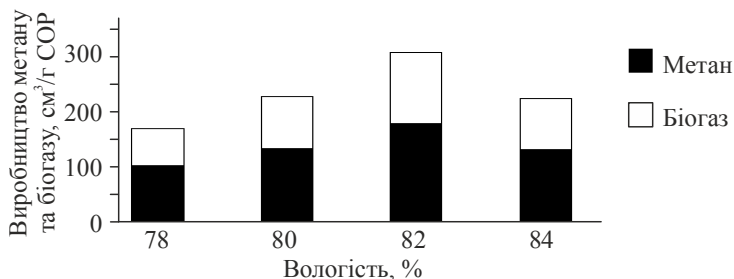


Рис. 2. Виробництво метану з одиниці маси у термофільних умовах

У термофільному режимі у попередніх дослідженнях виробництво біогазу варіювалось від 10 до 230,3 см³/г СОР, а метану — від 1 до 113 см³/г СОР. Максимальний вихід метану та біогазу був характерний для вологості 84%.

Виробництво метану в термофільному режимі було вищим, ніж у попередніх дослідженнях, що пов'язано з більшим періодом проведення процесу. Найвищі показники виробництва метану були отримані Абуляніном та співавт. Так, у їхньому дослідженні виробництво метану при вмісті сухих речовин 20% при 55°C становило 139,6 см³/г СОР [7].

Ефективність метаногенезу у цьому дослідженні зростала зі збільшенням вмісту води, а вплив вологості на метаногенез у термофільному режимі значно більший, що відповідало результатам попереднього дослідження.

Статистичні результати вказують на значиму різницю за виробництвом біогазу та метану між мезофільним і термофільним режимом при вологості 78 (показник Мана-Уїтні, $P = 0,003$ та показник Мана-Уїтні, $P = <0,001$, відповідно), 80 (показник Мана-Уїтні, $P = 0,002$ та t-тест, $P = 0,002$, відповідно) та 84% (показник Мана-Уїтні, $P = 0,001$ та показник Мана-Уїтні, $P = <0,001$ відповідно). Виробництво біогазу та метану при вологості 82% не характеризувалось значимою різницею між мезофільних та термофільних

умовах (показник Мана-Уїтні, $P = 1,000$ та показник Мана-Уїтні, $P = 0,259$ відповідно).

Залежності між вмістом метану у біогазі та вологістю не спостерігалось. Вміст метану у виробленому газі у мезофільних умовах варіювався від 61,7 до 62,9%, а у термофільному — від 57,9 до 60,29%. Відношення виробленого метану до біогазу при вологості 78—84% субстрату в мезофільному і термофільному режимі представлено на рис. 3.

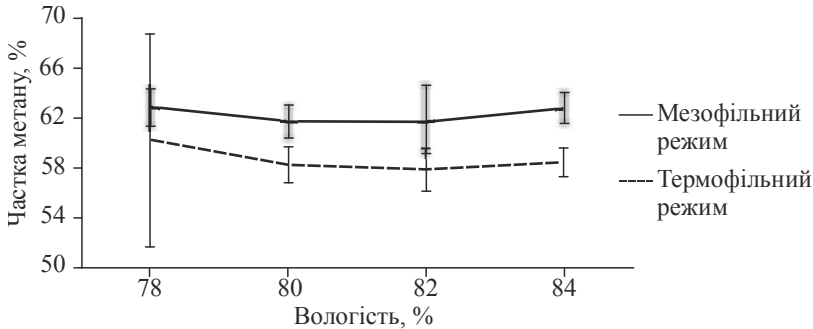


Рис. 3. Відношення виробленого метану до біогазу при вологості субстрату 78—84% в мезофільному і термофільному режимі

Статистичні результати вказують на значиму різницю між мезофільним і термофільним режимом за часткою метану при вологості 78 (показник Мана-Уїтні, $P = <0,001$), 80 (t -тест, $P = <0,001$) та 84% (t -тест, $P = 0,008$). Частка метану при вологості 82% не характеризувалась значимою різницею між мезофільними і термофільними умовами (t -тест, $P = 0,077$).

Для порівняння стабільності процесу було проведено статистичну обробку результатів та використано коефіцієнт варіації виробництва метану для оцінки стабільності процесу. Коефіцієнт варіації виробництва метану варіювався від 14,84% до 35,17% у мезофільному режимі та від 14,4% до 78,21% у термофільному режимі. Доцільно зазначити, що вміст води мав значно більший вплив на стабільність процесу у термофільному режимі, ніж у мезофільному режимі. Коефіцієнт варіації виробництва метану у мезофільному та термофільному режимі представлено на рис. 4.

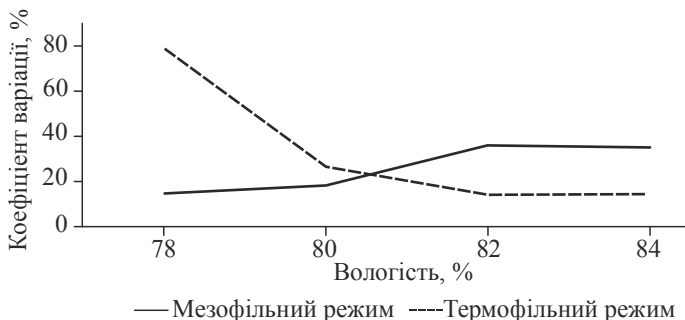


Рис. 4. Коефіцієнт варіації виробництва метану в мезофільному і термофільному режимі

Отже, процес був нестабільним як у термофільних, так і у мезофільних умовах. Окрім того, для виробництва метану та біогазу нормальний розподіл значень не був характерним, що також свідчить про низьку стабільність процесу. Тож твердофазову ферментацію курячого посліду недоцільно застосовувати для зниження водоспоживання при утилізації відходів птахівництва.

Зміни у субстраті. Вміст амонійного Нітрогену наприкінці ферментації був в межах від 599 мг/л до 4277 мг/л. Загалом, вміст амонійного Нітрогену в термофільних умовах (від 599 до 3214 мг/л) був нижчим, ніж у мезофільних (від 2171 до 4277 мг/л).

Вміст ЛЖК знаходився в межах від 0,81 до 15,9 г/л у термофільному режимі та від 0,58 до 2,68 г/л у мезофільному режимі. Тобто вміст ЛЖК був вищим у термофільних умовах. Залежності між вмістом ЛЖК та ефективністю метаногенезу не виявлено.

Висновки

1. Вперше детально досліджено твердофазову ферментацію курячого посліду.

2. Максимальний вихід біогазу та метану спостерігався у мезофільному режимі при вологості субстрату 84% і становив 331 см³/г СОР та 208 см³/г СОР, відповідно, за повний період дослідження.

3. Процес є досить нестабільним як у термофільних, так і мезофільних умовах. У термофільному режимі процес є більш нестабільним, а його стабільність різко знижувалась зі зменшенням вологості. У мезофільному — такої тенденції не простежувалось.

4. Підтверджено, що ефективність процесу зростала зі зростанням вмісту води; термофільний режим характеризувався більшою залежністю від вмісту води.

5. Твердофазову ферментацію курячого посліду недоцільно застосовувати для зниження водоспоживання при утилізації відходів птахівництва.

Література

1. Влияние водопотребления на эффективность метанового брожения куриного помета / А.И. Салюк, С.А. Жадан, Е.Б. Шаповалов, Р.А. Тарасенко // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). — 2015. — № 15—16. — С. 53—58.
2. Якушко С.И. Выбор технологических режимов в установках для производства биогаза / С.И. Якушко // Вісник СумДУ. — 2006. — № 5(89). — С. 102—108.
3. Abouelenien F. Dry mesophilic fermentation of chicken manure for production of methane by repeated batch culture / F. Abouelenien, Y. Nakashimada, N. Nishio // Journal of Bioscience and Bioengineering. — 2009. — № 3. — С. 293—295.
4. Abouelenien F. Dry anaerobic ammonia—methane production from chicken manure / Fatma Abouelenien // Appl Microbiol Biotechnol. — 2009. — № 82. — С. 757—764.
5. Anaerobic Digestion of Poultry Manure: Process Optimization Employing Struvite Precipitation and Novel Digestion Technologies / C. Farrow, A. Crolla, C. Kinsley, E. McBean. // Environmental Progress & Sustainable Energy. — 2016. — С. 1—10.
6. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview / [R. Kothari, A. K. Pandey, S. Kumar та ін.]. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2014. — № 39. — С. 175—192.

7. Directive 2008/98/EC [Електронний ресурс] // eur-lex. — 2008 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/En/TXT/?uri=celex:32008L0098>.
8. Dry Co-Digestion of Poultry Manure with Agriculture Wastes / F.Abouelenien, Y. Namba, N. Nishio, Y. Nakashimada // *Appl Biochem Biotechnol*. — 2015. — № 2015.
9. *Farrow C.* Anaerobic Digestion of Poultry Manure : дис. канд. / Farrow Cameron — Guelph, Ontario, Canada, 2016. — 144 с.
10. *Karaalp D., Caliskan G., Azbar N.* Performance evaluation of a biogas reactor processing chicken manure with high solids content: digital proceeding of the ICOEST Cappadocia 2013. Nevsehir, Turkey, June 18—21, 2013. — P. 768—773.
11. *Li Y.* Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste / Y. Li, S. Park, J. Zhu. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2011. — № 15. — С. 821—826.
12. *Markou G.* Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content/Giorgos Markou. // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. — 2015.
13. Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate / H. Nie, H. Jacobi, K. Strach [et. al.] // *Bioresource Technology*. — 2015. — № 178. — P. 238—246.
14. Rajagopal, R., Start-up of dry anaerobic digestion system for processing solid poultry litter using adapted liquid inoculum, *Process Safety and Environment Protection* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.003>.
15. *Salyuk A.* Thermophilic methane digestion of chicken manure / A. Salyuk, S. Zhadan, E. Shapovalov // *Ukrainian Food Journal*. — 2014. — Vol. 3(4). — P. 587—594.
16. *Salyuk A.* Thermophilic methane fermentation of chicken manure in a wide range of substrate moisture contents / A. Salyuk, S. Zhadan, E. Shapovalov. // *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*. — 2015. — Vol. 4(7). — P. 36—40.
17. *Šinkora M.* Monitoring of dry anaerobic fermentation in experimental facility with use of biofilm reactor / M. Šinkora, M. Havlíček. // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. — 2011. — № 6. — С. 343—354.