

УДК: 631.863:636.52:663.142:631.333.92

Особливості деструкції органічних речовин

посліду курей-несучок за різної тривалості процесу анаеробної біоферментації

О.С. ЯРЕМЧУК, кандидат сільськогосподарських наук, професор
Вінницький національний аграрний університет

М.О. ЗАХАРЕНКО, доктор біологічних наук, професор

І.М. КУРБАТОВА, кандидат біологічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Досліджено процеси деструкції органічних речовин посліду курей-несучок промислового стада за анаеробної біоферментації біомаси. Встановлено, що ступінь деструкції вуглеводів, протеїну та жирів посліду курей несучок залежить від тривалості процесу збродження та вмісту органічної речовини у біомасі. Виявлена залежність щодо кількості утвореного в ферментері біогазу від ступеня біодеструкції органічної речовини за анаеробної біоферментації посліду.

Послід, біоферментація, органічні речовини, метан

Процеси анаеробної біоферментації, як відомо, протікають за відсутності кисню під дією мікроорганізмів, які здатні до деструкції високомолекулярних органічних сполук з утворенням більш простих речовин, в тому числі органічних кислот та газу метану. Процес анаеробної біоферментації залежить від хімічного складу та властивостей органічної речовини, її механічних характеристик, дотримання оптимальних фізичних параметрів в біореакторі [1].

На ефективність процесу біоферментації, що призводить до утворення метану, впливають час перебування біомаси в реакторі та пов'язана з ним ступінь біодеструкції органічної речовини (біоконверсія). Максимальна питома продуктивність біореактора пов'язана з його мінімальним робочим об'ємом, що не завжди забезпечує повний розклад органічної речовини [2, 3]. Однак, основним параметром, який впливає на ефективність процесу метанового зародження, є склад та власти-

вості сировини [2, 4].

Збільшення вмісту органічної речовини в одиниці об'єму до 15% підвищує вихід біогазу, але погіршує процеси тепломасообміну, що призводить до зменшення глибини деструкції. Зниження вмісту органічної речовини до 4% потребує додаткової енергії для підтримання процесу метаногенезу на оптимальному рівні [2, 5]. Що стосується змін окремих складових органічної речовини в процесі анаеробної біоферментації, то вони вивчені в значно меншій мірі і потребують додаткових досліджень.

Мета роботи – дослідити хімічний склад та реологічні властивості посліду курей промислового стада за різних термінів анаеробної біоферментації.

Матеріал і методи досліджень. Досліди проведені на підприємстві з виробництва харчових яєць та в лабораторії кафедри гігієни тварин ім. А.К.Скороходька НУБіП України. З цією метою було відібрано 20 проб посліду, в якому досліджували вологість, вміст



сухої та органічної речовини, золи, рівень летких жирних кислот, білків, жирів та вуглеводів, а також кількість вуглецю, азоту та фосфору [6, 7].

При визначенні вмісту білка в посліді його попереднього обробляли для відділення білкового азоту по Барштейну [7]. Жири визначали ваговим методом, після добової екстракції ефіром та спиртово-бензольною сумішшю. При визначенні вмісту вуглеводів в посліді використовували метод, принцип якого полягає на розділенні полісахаридів за ступенем їх гідролізу кисл. отами і визначенні

1. Ступінь біодеструкції органічної речовини посліду за різної тривалості анаеробної біоферментації ($M \pm m, n = 3$)

Термін культивування, діб	Показник		
	органічна речовина, г/л	ступінь біоферментації, % $\frac{S_0 - S_k}{S_0}$	кількість збродженої органічної речовини, г/л за добу
На початку	67,9 ± 0,05	–	–
1	59,5 ± 0,25	12,37 ± 0,15	8,4 ± 0,34
2	52,6 ± 0,44	22,53 ± 0,25	6,9 ± 0,25
3	49,3 ± 0,31	27,39 ± 0,18	3,3 ± 0,14
4	46,6 ± 0,63	31,4 ± 0,34	2,7 ± 0,02
5	47,7 ± 0,25	29,8 ± 0,15	–
6	46,7 ± 0,5	31,22 ± 0,27	1,0 ± 0,04
7	44,8 ± 0,81	34,02 ± 0,44	1,9 ± 0,15
9	40,4 ± 0,5	40,05 ± 0,28	4,4 ± 0,15
11	42,8 ± 0,25	36,97 ± 0,15	–
14	35,9 ± 0,87	47,13 ± 0,53	6,9 ± 0,28
17	33,7 ± 0,63	50,36 ± 0,38	2,2 ± 0,02
21	29,2 ± 0,13	56,99 ± 0,18	4,5 ± 0,15
23	29,1 ± 0,81	57,14 ± 0,49	0,1 ± 0,01
28	30,0 ± 0,15	55,81 ± 1,2	–
35	25,9 ± 0,13	61,8 ± 0,94	0,41 ± 0,02
40	24,8 ± 0,13	63,47 ± 0,15	1,1 ± 0,1
46	23,9 ± 0,09	64,8 ± 1,21	0,9 ± 0,2
50	24,3 ± 0,09	64,21 ± 1,13	–
55	23,9 ± 0,37	64,8 ± 0,29	0,4 ± 0,02
60	23,8 ± 0,25	64,9 ± 0,25	0,1 ± 0,01
65	24,2 ± 0,25	64,35 ± 1,25	–

редуючих цукрів за Бертраном [7]. Леткі жирні кислоти посліду відганяли водяною парою на апараті Парнаса-Вагнера з попереднім підкисленням проб кислотою.

Дослідження процесу анаеробної біоферментації проводили в експерименті, контролюючи вміст основних компонентів та вихід біогазу із одиниці забродженої сировини.

Досліджували вищевказані показники в двох паралельно працюючих ферментерах за температури 32 °С. проби сировини для

досліджень відбирали із першого ферментера через певний проміжок часу. Вихід біогазу контролювали за другим ферментом. Дослід тривав 65 діб.

Видовий склад та кількість мікроорганізмів в біомасі визначали методом граничних розведень. Загальне мікробне число визначали прямим посівом субстрату на м'ясо-пептонний агар з наступною інкубацією при 25 °С. Число бактерій групи кишкової палички контролювали на середовищі Ендо.

Одержані результати оброблено методами варіаційної статистики [8] за допомогою програмного забезпечення в MS Excel.

Результати досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено, що за фізичними показниками нативний послід курей-несучок промислового стада являє собою неоднорідну темну масу напіврідкої консистенції, яка складається із різного розміру часточок сіро-зеленого кольору.

Вивчення хімічного складу посліду показало, що його показники практично не залежать від сезону року, оскільки птиця утримується весь час на однаковому раціоні.

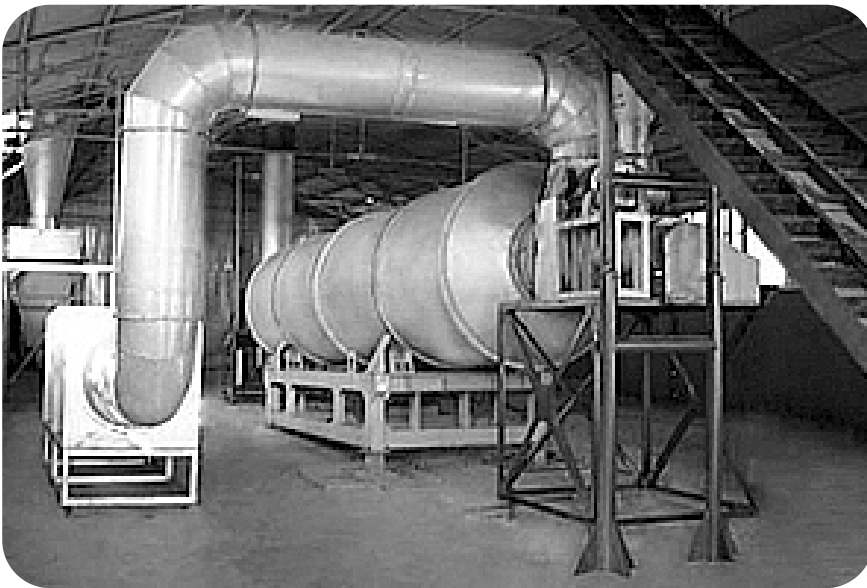
Так, вологість курячого посліду змінювалась в межах 67,9-78,8%, а вміст сирого жиру становив 2,8-4,3%, сирі клітковини 13,2-15,6%, сирого протеїну 24,8-36,7%, сирі золи 16,8-21,5%, рН водного розчину коливалось від 6,8 до 7,4, а щільність складала 1,041-1,15 г/см³.

Встановлено, що кількість і розмір часток у посліді курей-несучок промислового стада змінюється у незначних межах. Виявлено, що основу посліду складають частки із розміром менше 1,0 мм. Частки посліду із розміром від 1,0 мм до 0,5 мм складають 21,3%, 0,5-0,25 мм – 25%, а на частки з величиною 0,1 мм припадає 42% від їх загальної кількості. Слід зазначити, що у посліді доля часток розміром до 2 мм складає 3,0%, а до 1 мм – 8,7%. Дослідження реологічних властивостей посліду дало можливість встановити стійку закономірність залежності вмісту органічної складової посліду від розміру його часток. Тобто, чим більше менших розміром часток містить послід тим вище вміст органічної речовини у ньому.

Встановлено, що загальне мікробне число (ЗМЧ) послідів курей-несучок промислового стада протягом періоду досліджень знаходились в межах 43-85 млн. клітин/г, а коли-титр коливався від 10⁻⁵ до 10⁻³, що вказує на значну контамінацію посліду мікроорганізмами.

2. Хімічний склад посліду курей-несучок за різного терміну анаеробної біоферментації, г/кг
($M \pm m$, $n = 3$)

Термін культивування, діб	Показник								
	вологість, %	зольність, %	АСР, %	ЛЖК, г/кг	жири, г/кг	білки, г/кг	вуглеводи, г/кг	вуглець, г/кг	pH
На початку	91,5 ± 0,2	20,1 ± 0,05	8,5 ± 0,2	3,2 ± 0,01	3,1 ± 0,1	12,14 ± 0,2	23,4 ± 0,4	26,1 ± 0,02	7,6
1	92,4 ± 0,1	21,6 ± 0,25	7,6 ± 0,1	4,31 ± 0,24	2,72 ± 0,41	11,8 ± 0,2	21,9 ± 0,375	23,25 ± 0,4	7,8
2	93,2 ± 0,21	22,65 ± 0,44	6,8 ± 0,21	8,14 ± 0,38	2,1 ± 0,24	11,5 ± 0,24	19,9 ± 0,35	–	7,6
3	93,6 ± 0,12	22,95 ± 0,31	6,4 ± 0,12	9,48 ± 0,27	2,85 ± 0,3	10,4 ± 0,17	17,5 ± 0,42	–	7,4
4	93,97 ± 0,16	22,7 ± 0,63	6,03 ± 0,16	11,6 ± 0,3	3,19 ± 2,14	9,98 ± 0,16	15,6 ± 0,31	19,9 ± 0,75	–
5	93,17 ± 0,22	23,5 ± 0,25	0,23 ± 0,22	11,69 ± 0,25	2,66 ± 0,55	9,23 ± 0,25	13,4 ± 0,25	16,9 ± 5,5	7,2
6	93,88 ± 0,34	23,7 ± 0,5	6,12 ± 0,34	11,7 ± 0,25	2,6 ± 0,45	9,21 ± 0,25	13,6 ± 0,25	16,7 ± 4,5	7,2
7	94,1 ± 0,25	23,95 ± 0,81	5,9 ± 0,25	9,1 ± 0,31	3,1 ± 0,25	8,66 ± 0,17	11,7 ± 0,24	16,6 ± 0,14	7,4
9	94,55 ± 0,3	25,8 ± 0,5	5,45 ± 0,3	5,37 ± 0,25	2,67 ± 0,24	8,37 ± 0,25	8,66 ± 0,25	17,7 ± 4,48	7,6
11	94,22 ± 0,25	25,85 ± 0,25	5,78 ± 0,25	–	2,66 ± 0,25	8,25 ± 0,19	8,21 ± 0,17	14,15 ± 1,25	8,1
14	95, ± 0,4	26,6 ± 0,87	4,9 ± 0,4	4,8 ± 0,38	2,46 ± 0,48	8,15 ± 0,25	8,01 ± 0,25	14,01 ± 2,4	8,2
17	95,27 ± 0,09	28,8 ± 0,63	4,73 ± 0,09	3,46 ± 0,15	2,27 ± 0,78	7,8 ± 0,09	7,68 ± 1,24	14,03 ± 3,8	8,65
21	95,85 ± 0,31	29,6 ± 0,13	4,15 ± 0,31	1,81 ± 0,25	1,75 ± 0,63	7,3 ± 0,38	7,6 ± 0,5	12,9 ± 1,25	9,3
23	95,82 ± 0,34	30,25 ± 0,81	4,18 ± 0,34	0,36 ± 0,02	1,39 ± 0,14	7,03 ± 0,14	6,9 ± 0,25	12,9 ± 0,74	8,8
28	95,85 ± 0,25	33,25 ± 1,56	4,15 ± 0,25	0,62 ± 0,01	1,22 ± 0,18	7,44 ± 0,25	6,7 ± 1,2	11,2 ± 0,5	8,7
35	96,1 ± 0,15	33,5 ± 2,4	3,9 ± 0,15	0,25 ± 0,2	1,06 ± 0,23	6,1 ± 0,4	–	11,05 ± 0,2	8,8
40	96,3 ± 0,13	32,9 ± 0,58	3,7 ± 0,13	0,22 ± 0,1	1,18 ± 0,17	5,38 ± 0,25	–	8,25 ± 0,44	8,7
46	96,33 ± 0,09	34,75 ± 0,81	3,67 ± 0,09	0,19 ± 0,25	1,18 ± 0,26	5,2 ± 0,14	4,4 ± 0,25	9,3 ± 0,02	8,84
50	96,27 ± 0,09	34,8 ± 0,06	3,73 ± 0,09	–	1,17 ± 0,48	4,24 ± 0,25	4,8 ± 0,14	9,6 ± 0,38	8,7
55	96,32 ± 0,15	35,0 ± 0,37	3,68 ± 0,15	–	1,16 ± 0,25	3,64 ± 0,15	4,6 ± 0,84	9,8 ± 0,25	8,7
60	96,35 ± 0,25	34,6 ± 0,25	3,65 ± 0,25	0,11 ± 0,02	–	3,5 ± 0,25	4,6 ± 0,25	10,2 ± 0,48	8,2
65	96,27 ± 0,15	35,0 ± 0,25	3,73 ± 0,15	0,07 ± 0,01	1,18 ± 0,4	3,36 ± 0,14	5,1 ± 0,84	8,5 ± 0,55	7,65



Дослідженнями з вивчення основних процесів біоферментації посліду в біореакторі встановлено, що даний процес за вихідної вологості $91,5 \pm 0,2\%$ протікає за відомою схемою, яка включає кислу і лужну фази.

За даних умов в біореакторі утворюється максимальна кількість газу. У цей період на 4-, 9-, 14- і 23-у добу підвищується і ступінь біоферментації органічної речовини посліду, що становить 31,4; 40,05; 47,13 і 57,14 % від її початкового рівня (табл. 1). Аналогічні результати отримані і іншими авторами при розробці моделі анаеробного бактеріального розкладу твердих субстратів у періодичному режимі [9].

З першої по 6-у добу ферментації швидкість утворення газів в біоферментері перевищує виділення метану. Це пов'язано з тим,

що на початку біоферментації відбувається активація реакцій гідролізу високомолекулярних органічних сполук посліду з утворенням летких жирних кислот, рівень яких збільшується у 3,7 рази і складає 11,6-11,7 г/кг порівняно з вмістом у біомасі на початку процесу (табл. 2). У цей же часовий період спостерігається й інтенсивне виділення диоксиду вуглецю. Так, на третю добу досліду вміст диоксиду вуглецю у біомасі досягає 78-80% від загальної кількості утвореного біогазу. На шосту добу ферментації співвідношення диоксиду вуглецю і метану становить 1:1, але вже на 7-8 добу швидкість утворення метану в біомасі перевищує аналогічний процес виділення диоксиду вуглецю в значній мірі, і на десяту добу ферментації співвідношення цих газів в біомасі складає – 7:3. Починаючи з 14-ї доби швидкість утворення газів в біореакторі знижується, а склад біогазу характеризується співвідношенням $\text{CH}_4:\text{CO}_2 = 6:4$. Встановлено, що процес біоферментації органічної речовини посліду практично завершується на 46-ту добу, про що свідчить зниження швидкості утворення біогазу в реакторі, яка зменшилась до 45-65 мл/добу і протягом 20 днів практично не змінювалась.

Особливий інтерес становлять дослідження хімічного складу посліду курей-несучок в процесі біоферментації. Зареєстровано підвищення вологості зброджуваної біомаси та зростання показника її зольності (табл. 1). Зміни вмісту органічної речовини біомаси в процесі біоферментації тісно пов'язані, як встановлено дослідженнями, із перетвореннями окремих складових посліду – вуглеводів, жирів та білків. Причому в процесі тривалої біоферментації ця закономірність змінюється. Так, якщо за перші 5 днів вміст вуглеводів у біомасі зменшився з 23,4 г/кг до 13,4 г/кг, тобто швидкість їх деструкції складала в середньому 1,74 г за добу, то в наступні п'ять днів (50-65 доба) вона складала лише 0,12-0,093 г за добу (табл. 2).

Подібні за характером зміни встановлено і при дослідженні вмісту вуглецю в процесі зброджування біомаси. Зниження вмісту вуглецю в біомасі протягом всього періоду ферментації біомаси співпадає зі збільшенням сумарної кількості біогазу.

Дослідженнями встановлені особливості розпаду органічних речовин посліду, ступінь їх деградації за різних термінів зброджування біомаси та кількість утвореного біогазу. Ступінь розпаду органічної речовини посліду який піддався зброджуванню у ферментері протягом 46 днів за температури 32 °C, становив 64,8%. При цьому ступінь деструкції жирів досягала 62%, білків – 57,2%, вуглеводів – 81,2%, а вуглецю – 64,4% (табл. 2). Однак за такого високого ступеня зброджування органічної речовини знижується ефективність проце-

су загалом, оскільки це призводить до істотного збільшення терміну біоферментації. Із результатів досліджень, наведених у таблиці 2, видно, що найбільш інтенсивно процес біоферментації при мезофільному режимі відбувається протягом перших 7-9 діб. У подальшому до 20-ї доби цей процес стає незначним. За 20 діб біоферментації ступінь розпаду органічної речовини сягає 57%, при цьому зброджена біомаса не має неприємного запаху, набуває темно-сірого кольору, добре розділяється на фракції. Встановлено, що збродження 1 г органічної речовини дає можливість одержати 1,1-1,2 л біогазу, який складається на 64% із метану і на 36% – діоксиду вуглецю.

Вивчення санітарно-гігієнічних показників вихідного і збродженого курячого посліду свідчить, що за прийнятих умов проведення досліджень відбувається значне зниження загального числа гетеротрофних мікроорганізмів, так на 9 добу ЗМЧ дорівнювало $11 \cdot 10^6$ кл/г, що становить 17% від його вихідного значення. В подальшому, практично до кінця досліджуваного показника не спостерігалось. Так, ЗМЧ на 17-у добу дорівнювало $9 \cdot 10^6$, а на 40-у добу – $6 \cdot 10^6$. При цьому відбувалось збільшення кількості анаеробних мікроорганізмів з $11 \cdot 10^2$ до $13 \cdot 10^4$



кл/л. В той же час, чисельність бактерій групи кишкової палички, які є показником санітарного стану біомаси не змінювалась. Колі-титр біомаси коливався в межах 10^{-4} – 10^{-3} , як і у вихідному посліді.

Висновки

Ступінь деструкції вуглеводів, протеїну та жирів посліду курей-несучок залежить від тривалості процесу збродження та вмісту органічної речовини у біомасі, що, у свою чергу, впливає на кількість утвореного біогазу.

Изучены процессы деструкции органических веществ помета кур-несушек при анаэробной биоферментации биомассы. Показано, что степень деструкции углеводов, протеина и жира помета кур-несушек зависит от продолжительности процесса сбраживания и содер-

жания органического вещества в биомассе. Установлено, что объемные показатели выхода биогаза из ферментера зависят от степени биодеструкции органического вещества.

Помет, биоферментация, органическое вещество, метан

Studied the destruction processes of organic substances from dung of laying hens during anaerobic biofermentation of biomass. It is shown that degree of carbohydrates, protein and fat destruction from dung of laying hens depends on duration of fermentation processes and maintenance of organic substance in biomass. It is set that by volume indexes of exit biogas from a fermenter depends on the degree of biodegradation of organic substance.

Dung, biofermentation, organic substance, methane

Література

1. Козирь В.С. Біогаз – джерело альтернативної енергії / В.С.Козирь, С.Ю.Рубан, О.В.Сокрут та ін. – Дніпропетровськ: Деліта, 2009. – 133 с.
2. Хабибулин Р.Э. Технологические аспекты переработки отходов птицеводства / Р.Э. Хабибулин, Н.И.Крылова, Р.П.Наумова // Биотехнология. – 1995. – №1-2. – С. 43-46.
3. Зінченко М.Г. Моделювання гідроаеродинамічних процесів при анаеробному збродженні відходів тваринництва у біоферментері з іммобілізованою мікрофлорою / М.Г.Зінченко, О.А.Тин-

- да // Механізація сільськогосподарського виробництва. – 2010. – №4 (30). – С.93-95.
4. Волошин М.Д. Дослідження процесів виділення біогазу з осадів стічних вод і свинячого гною / М.Д.Волошин, К.О.Киевцев, Н.В.Киевцева // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – №5. – С.117-120.
5. Дурдыбаев С.Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства / С.Д.Дурдыбаев, В.С.Данилишина, В.П. Рязанцев. – М.: Агропромиздат. – 1989. – 53 с.
6. Лурье Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод. / Ю.Ю.Лурье, А.И.Ря-

- бинникова: изд. 4, перераб. и доп. – М.: Химия, 1974. – 33 с.
7. Практикум по агрохимии / Б.А.Ягодин, И.П.Дерюгин, Ю.П.Жупов и др.; под редакцией Б.А.Ягодина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
8. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников / Н.А.Плохинский. – М.: Колос. – 1969. – 255 с.
9. Цыганков С.П. Модель и метод расчета анаэробной очистки сточных вод / С.П.Цыганков, Т.П.Слюсаренко // Химия и технология воды. – 1986. – Т.8, № 2. – С.19-22.