

(¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Республика Казахстан,

²Университет Хоэнхайм, Германия)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Аннотация. Исследована кинетика производства метана из навозной жижи КРС с добавлением отходов виноделия, пищевых и биоотходов. Анализированы кинетические параметры производства метана (P – потенциальный выход метана (Нм³/кг оСВ), R_m – максимальная скорость выхода метана (Нм³/кг оСВ/день), λ – продолжительность (день) лаг-фазы). Самый высокий потенциальный выход метана (P) показало совместное брожение навозной жижи КРС с биоотходами (0,387 Нм³/кг оСВ). Самая высокая скорость производства метана (R_m) была $0,022 \pm 0,003$ Нм³/кг оСВ/день при моно-брожении навозной жижи КРС, самая низкая $0,006$ Нм³/кг оСВ/день метана при совместном брожении с пищевыми отходами. Длительность лаг-фазы (λ) была в пределах 10,17-14,60 дней. Также была изучена продолжительность брожения для получения 95 % потенциального выхода метана и эффективного производства метана.

Ключевые слова: навозная жижа КРС, пищевые отходы, анаэробное брожение, биогаз, производство метана, кинетические параметры.

Тірек сөздер: ірі қара мал қиы, тамақ қалдықтары, анаэробты ашу, биогаз, метан алу, кинетикалық параметрлер.

Keywords: liquid manure from cattle, food waste, anaerobic fermentation, biogas, methane production, kinetic parameters.

При анаэробном сбраживании органических веществ каждая стадия осуществляется различными группами микроорганизмов, которые частично создают между собой синтрофную взаимосвязь и требуют различные условия окружающей среды [1-4].

В настоящее время для увеличения выхода биогаза при брожении биомассы часто практикуется использование отходов в сочетании с другими субстратами [5-9]. Использование в качестве добавки навоза жвачных животных стало наиболее актуальным направлением исследований, так как в навозе КРС содержится высокий уровень микроорганизмов, способных гидролизовать лигнино-целлюлозные материалы [1, 6, 7, 10].

Материалы и методы

Исследования проводились с использованием навозной жижи КРС в качестве основного сырья и добавлением таких отходов, как пищевые отходы, отходы виноделия и биоотходы. В исследованиях основными показателями для оценки количества выхода биогаза, степени разложения органического вещества являются содержание сухого

вещества (СВ) или твердых веществ (ТВ), органического сухого вещества (оСВ) или летучих твердых веществ (ЛТВ), а также золы. Эти показатели исследованы согласно методик АРНА-Стандарт [11].

Результаты определения сухого вещества, органического сухого вещества, золы и влажности протестированных субстратов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа субстратов

Образцы субстратов	Параметры, %			
	СВ (в СМ)	оСВ (в СВ)	Зола (в СМ)	Влажность субстрата
Навозная жижа КРС	3,75 ± 0,09	72,14 ± 0,48	1,04 ± 0,008	96,25
Отходы виноделия	89,9 ± 0,05	96,15 ± 0,11	3,46 ± 0,11	10,1
Пищевые отходы (объедки)	18,94 ± 0,15	91,20 ± 0,023	1,67 ± 0,009	81,06
Биоотходы	95,48 ± 0,05	84,12 ± 0,40	15,16 ± 0,39	4,52

Отходы виноделия и биоотходы использовались в виде сухих твердых субстратов, в которых среднее содержание СВ по 3 образцам субстратов было выше 90% (95,48±0,05 и 89,9%±0,05 соответственно). В навозной жиже КРС содержится 3,75±0,09 СВ. Содержание СВ в пищевом отходе составляет 18,9 ±0,15%, а влажность – 81,06%.

В субстратах из отходов виноделия и пищевых отходов зафиксировано самое высокое содержание оСВ в СВ. В навозной жиже КРС, пищевом отходе, отходах виноделия содержание минеральных веществ (золы) меньше 5%.

При моно-брожении навозной жижи КРС (пробы 1) использовано примерно 40 мл субстрата, а при совместном брожении навозной жижи КРС (пробы 2-4) с другими отходами – 30 мл субстрата. Соотношение тестируемых субстратов в смеси было 70:30 по массе оСВ. Полная характеристика проб показана в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика проб эксперимента

Пробы	Субстраты	Содержание СМ (г)	Среднее содержание СВ (г)	Среднее содержание оСВ (мг)	Влажность субстрата (%)	Соотношение субстратов (по оСВ)
1	Навозная жижа КРС	40,2±0,29 5	1498±0,0 11	1080±0,008	96,27	
2	Навозная жижа КРС + отходы виноделия	30,4±0,04 7	1479±0,0 02	1153±0,001	95,41	70:30

3	Навозная жижа КРС + пищевые отходы	32,1±0,15 0	1483±0,0 18	1138±0,016	95,07	70:30
4	Навозная жижа КРС + биоотходы	30,5±0,18 4	1503±0,0 07	1130±0,005	95,14	70:30

Тестирование выхода биогаза. Исследования по тестированию выхода биогаза из отходов проводились при температуре 37 °С на лабораторной «Хоэнхайм» системе биогазовой лаборатории университета Хоэнхайм, Германия. Данная система тестирования выхода биогаза состоит из ферментеров в виде стеклянных шприцев (колбы для пробоотбора), объемом 100 мл с 1/1 градации и капиллярным удлинителем (рисунок 1), ферментационной камеры – инкубатора (рисунок 2) и датчика газов.



Рисунок 1 – Ферментер, объемом
100 мл
с 1/1 градации



Рисунок 2 – Ферментационная камера
«Хоэнхайм»
системы тестирования выхода биогаза

Содержание метана измерялось с помощью преобразователя газа AGM 10 (датчики Eufore GmbH, Германия) с недисперсионным инфракрасным (NDIR) датчиком, способным обнаружить содержание метана в биогазе в диапазоне от 0 до 100%. Датчик газа был калиброван стандарт-ным газом, содержащим 60,7% (v) метана. Температура инкубатора, давление воздуха, дата и время, при которых были проведены измерения, были также зафиксированы для анализа биогаза. Содержание биогаза в стандартных условиях (273K и 101325 Па) определили в соответствии с *Ludington D* [12].

Моделирование. Исследования кинетики производства метана для описания и оценки процесса метаногенеза проводились путем внесения экспериментальных данных производства метана в уравнение Гомперца [13-15], которое описывает совокупное производство метана в реакторах периодического действия, предполагающее, что производство метана это функция роста бактерий. Модифицированное уравнение Гомперца представлено ниже:

$$M = P t \exp\left(\frac{R_m}{P} e^{-\lambda t}\right) - \frac{R_m}{\lambda} \exp\left(-\lambda t\right) + \frac{R_m}{\lambda} \exp\left(-\lambda t\right) + 1 \frac{P}{R_m} \exp\left(-\lambda t\right) \quad (1)$$

где M – кумулятивное производство метана ($\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}$) в t времени, P – потенциальный выход метана ($\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}$), R_m – максимальная скорость выхода метана ($\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}/\text{день}$), λ – продолжительность лаг-фазы (день), t – время, при котором рассчитывается кумулятивный выход метана M (день).

Анализы и обработку результатов экспериментов проводили в *MS-Excel* с использованием приложения «*Solver*». Параметры P , λ и R_m подсчитывались для каждого набора данных. Также определены значения параметров, минимизирующих сумму квадратов отклонения между необходимыми и экспериментальными данными.

Результаты и их обсуждение

Кинетические параметры производства метана. Результаты анализа кинетических параметров P , R_m и λ показаны в таблице 3 и на рисунке 3. По трем повторениям средний заключительный выход метана (P) в экспериментах со смесью навозной жижи КРС с отходами виноделия (проба 2) составил $0,338 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$ (стандартное отклонение $0,013 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$ метана), $0,288 \pm 0,015 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$ и $0,387 \pm 0,011 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$, соответственно для пробы 3 и 4. В пробе 1 (мо-но-брожение навозной жижи КРС) потенциальный выход метана (P) был равен $0,381 \pm 0,045 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$, т.е. добавление биоотходов в соотношении 70:30 увеличивает потенциал выхода метана, но только на $0,006 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$ метана. Добавление отходов виноделия уменьшает выход метана на $0,043 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$. Самый низкий потенциал выхода метана имеет проба 5 с добавлением пищевых отходов, где данный показатель $0,76$ раз меньше, чем при моно-брожении навозной жижи КРС.

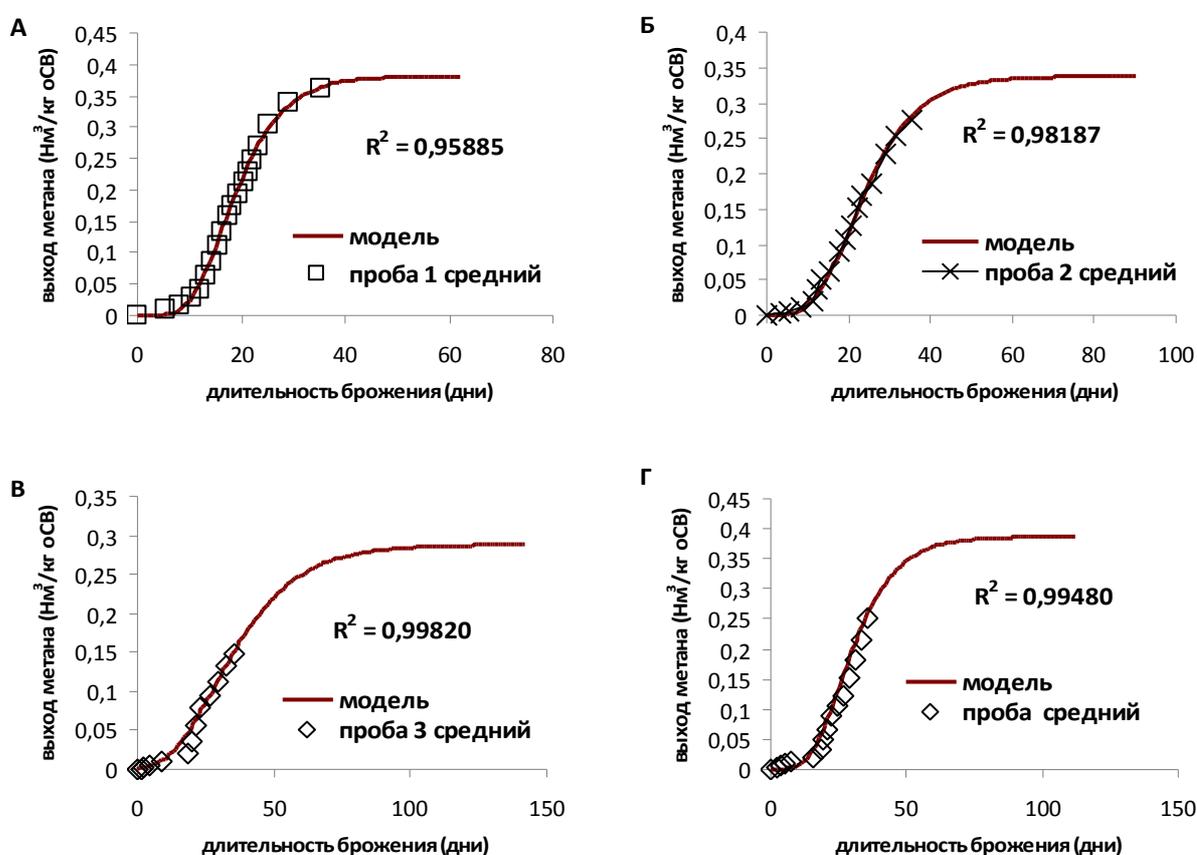
Таблица 3 – Результаты кинетического анализа производства метана (усредненные данные)

Пробы	Кумулятивный выход метана, $\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}$	Параметры Гомперца (модель)			Продолжительность для получения 95% потенциального выхода метана, дни
		P , $\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}$	R_m , $\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}/\text{день}$	λ , дни	
1	$0,330 \pm 0,038$	$0,381 \pm 0,045$	$0,022 \pm 0,003$	$10,17 \pm 0,34$	$34,71 \pm 1,55$
2	$0,277 \pm 0,041$	$0,338 \pm 0,013$	$0,014 \pm 0,002$	$11,58 \pm 2,96$	$46,35 \pm 6,82$
3	$0,148 \pm 0,013$	$0,288 \pm 0,015$	$0,006 \pm 0,0004$	$11,8 \pm 1,21$	$76,43 \pm 4,72$
4	$0,250 \pm 0,025$	$0,387 \pm 0,011$	$0,013 \pm 0,002$	$14,60 \pm 0,83$	$58,7 \pm 5,78$

Потенциальный выход метана для проб 2-4, согласно модели Гомперца, превышает кумулятивный экспериментальный выход метана на 0,061 Нм³/кг оСВ (18%), 0,140 Нм³/кг оСВ (48,6%) и 0,137 Нм³/кг оСВ (35,4%) метана.

Длительность лаг-фазы (λ) для проб 2-4 равна 11,58±2,96, 11,8±1,21 и 14,60±0,83 дней, соответственно. Во всех трех смесях минимальное время для производства метана (λ) длиннее, чем в пробе 1, обнаружено продление лаг-фазы на 1,41 дней в пробе 2, на 1,61 дней в пробе 3 и в пробе 4, несмотря на высокий окончательный выход метана, лаг-фаза длиннее на 4,43 дней.

Максимальная скорость выхода метана (R_m) для проб 2-4 были ниже, чем в пробе 1. Для пробы 2 максимальная скорость выхода метана R_m была равна 0,014 Нм³/кг оСВ в день в 0,64 раза ниже, чем в пробе 1. Проба 3 показала самое низкое значение максимальной скорости производства метана, равное 0,006±0,0004 Нм³/кг оСВ в день, значит, производство метана протекает почти в 4 раза медленнее по сравнению с пробой 1. Самая высокая скорость образования метана в пробе



А – проба 1; Б – проба 2; В – проба 3; Г – проба 4

Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных, используя кинетической модели уравнения Гомперца

4 равна 0,013±0,002 Нм³/кг оСВ в день, повышена в 2 раза по сравнению с пробой 3, понижена на 0,009 Нм³/кг оСВ в день, чем в пробе 1.

Время, необходимое для достижения 95%-го потенциала метана, для пробы 2 было 46,35±6,82 дней. Продолжительность для достижения 95%-го потенциала метана для пробы 3 была 76,43 дней со стандартным отклонением 4,72 дня, на 30 дней дольше, чем в пробе 2. Эксперименты со смесью навозной жижи КРС с биоотходами показали 58,7±5,78 дней для получения 95% потенциала метана. Соответственно уравнению Гомперца,

вычисленная эффективная длительность производства метана была 34,77; 64,63 и 44,1 дней. Эти значения показывают на то, что время брожения смешанных субстратов навозной жижи КРС дольше на 7,35; 37,09 и 16,56 дней, чем при моно-брожении навозной жижи КРС.

Кинетические модели уравнения Гомперца для пробы из навозной жижи КРС с добавкой отходов виноделия показывают сходство в графиках с экспериментальным графиком кумулятивного выхода метана. Величина достоверности аппроксимации равна в среднем $R^2=0,9928$, со стандартной ошибкой 0,01406, то есть достоверность между значениями функции регрессии и фактическим значениям равна 99% (рисунок 3).

Как видно из рисунка 3, в пробе 4 между графиками экспериментальных и расчетных данных наблюдается отклонение, что связано с нестабильностью процесса сбраживания. Модель кумулятивного выхода метана для пробы 3, основанная на уравнении Гомперца, с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9982$ (стандартная ошибка = 0,00208), показывает ингибирование и непостоянство метаногенеза с 10-го дня по 25-ые дни. Это связано с добавлением пищевых отходов в навозную жижу КРС, так как в пищевых отходах преобладают быстро разлагаемые органические вещества (лактоза, сахароза, жирные кислоты), которые стремительно расщепляются во время гидролиза и ацидогенеза, приводя к интенсивному накоплению кислот. Высокое содержание кислот во время метаногенеза приводит к ингибированию процесса.

Если сравнить графики экспериментальных и расчетных данных, полученных для пробы 4, то можно обнаружить неравномерное протекание производства метана. Модель выхода метана для пробы 4 показывает достоверность аппроксимации $R^2=0,9948$, стандартную ошибку 0,00635. Не-стабильность во время сбраживания вызвана также изменением pH среды, так как в составе биоотходов встречаются легко разлагаемые органические субстраты, фруктовые и пищевые отходы.

Во всех пробах со смесью пищевых отходов и биоотходов наблюдается неравномерное производство метана. Это объясняется тем, что содержание быстроразлагаемых органических веществ приведет к возрастанию содержания аммиака, которое является одним из основных причин ингибирования сбраживания.

По моделям, основанным на расчетных данных кинетической модели уравнения Гомперца, можно обнаружить асимптотическое приближение кривой кумулятивного производства метана только в пробах 1 и 2. Поэтому для остальных проб на основании кинетических параметров был смоделирован процесс анаэробного сбраживания. При этом для проб 2-4 длительность брожения в течение 35 дней недостаточна, поэтому требуется продлить ее.

Расщепление субстрата зависит от структуры его компонентов. Имеющие простую структуру сахар и крахмал расщепляются очень быстро и требуют лишь короткого времени пребывания в ферментере. Чем сложнее структура субстрата, тем дольше длится расщепление. Целлюлоза и гемицеллюлоза имеют широко разветвленную структуру и разлагаются медленно. Лигнин разлагается бактериями очень плохо, поскольку он проявляет стойкость даже к кислотам. Поэтому смесь жидкого навоза КРС с отходами виноделия показала медленное ежедневное образование метана и более позднюю инициацию образования метана, чем в метаногенезе пробы 1 в связи с низкой концентрацией бактерий и адаптацией метаногенных бактерий на новую среду. Известно, выжимка винограда состоит из кожицы – 37-39% (от общей массы); частичек мякоти 15-34%; остатков гребней 1,0-3,3%; семян 23-39%, и содержится 5,4-8,3% пектиновых веществ к массе сухих веществ [16].

В биоотходах содержатся отходы растительного происхождения, отходы продуктов питания, бумажные и другие отходы. Поэтому в составе биоотходов содержатся легко- и трудноразлагаемые органические вещества с содержанием до 84% оСВ. А в пищевых отходах больше легкоразлагаемых веществ (сахароза, фруктоза, жирные кислоты и т.д.). В первые фазы метаногенерации – гидролизе и ацидогенезе, легкоразлагаемые вещества

быстро преобразуются в мономеры, поэтому общее содержание кислот в среде возрастает, за счет этого снижается рН. Снижение рН приводит к накоплению кислот и торможению метаногенеза. Гидролизующие и кислотообразующие бактерии достигают оптимума своей активности в кислой среде с уровнем рН 4,5-6,3; бактерии, образующие уксусную кислоту и метан, могут жить только при нейтральном или слабощелочном уровне рН 6,8-8. Значение рН нормальной и здоровой анаэробной системы брожения должно находиться в интервале 6,5-8,5 [17]. Для всех бактерий действительным является следующее: если уровень рН превышает оптимальный, то они становятся медленнее в своей жизнедеятельности, что замедляет образование биогаза.

В экспериментах с добавлением пищевых отходов (объедки) и биоотходов производство биогаза и метана меньше, чем в других пробах за счет быстрого протекания гидролиза и ацидогенеза и состава добавок. В результате накопления кислот инициация метаногенеза тормозится и требует дальнейшего брожения этих субстратов, т.е. дольше, чем 35 дней.

Заключение. Проведенные опыты показали, что повышение выхода метана зависит от биохимических процессов ферментации в анаэробных условиях и стадии брожения биомассы. Метанообразование осуществляется с участием метаногенных архей (*Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii*, *Methanosarcina*), образующих метан из ацетата и CO_2 на 5-16 день ферментации.

Кинетические константы по Гомперцу для моно-брожения навозной жижи КРС были $0,381 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}(P)$, $0,022 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}/\text{день} (R_m)$ и 10,17 дней (λ), при совместном брожении навозной жижи КРС с отходами виноделия $0,338 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}(P)$, $0,014 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}/\text{день} (R_m)$ и 11,58 дней (λ). Потенциальный выход метана был 0,288 и 0,387 $\text{Нм}^3/\text{кг оСВ}$, соответственно, для совместного брожения навозной жижи КРС с пищевыми отходами и биоотходами. Совместное брожение навозной жижи КРС с пищевыми отходами показало самую низкую максимальную скорость выхода метана ($0,006 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}/\text{день}$) и потребовалось 76,43 дня для достижения 95%-го потенциального выхода метана и 11,8 дней для лаг-фазы. При совместном брожении навозной жижи КРС с биоотходами длительность лаг-фазы была 14,6 дней, максимальная скорость производства метана – $0,013 \text{ Нм}^3/\text{кг оСВ}$ в день и для достижения 95% потенциального выхода метана потребовалось 58,7 дней.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Deublein D., Steinhauser A. Biogas from Waste and Renewable Resources. – Germany, 2008. – 423 p.
- 2 Parawira W. Anaerobic Treatment of agricultural residues and wastewater. Application of high-rate reactors: Doctoral Dissertation. – Sweden, 2004. – 53 p.
- 3 Seadi T.A., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. Biogas. Handbook. – Denmark, 2008. – 125 p.
- 4 Ziemiński K., Fraç M. Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms // African Journal of Biotechnology. – 2012. – 11(18). – P. 4127-4139.
- 5 Schulz H. Biogas – Praxis, Ökobuch, 1. Auflage. Germany. ISBN 3 - 922964 - 59 - 1, 1996.
- 6 Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources // Bioresour. Technol. – 2008. – 99. – P. 7928-7940.

7 Liu Y., Miller S.A., Safferman S.I. Screening co-digestion of food waste water with manure for biogas production // *Biofuels, Bioprod. Bioref.* – 2009. – 3. – P. 11-19.

8 Labatut R.A., Scott N.R. Experimental and Predicted Methane Yields from the Anaerobic Co-Digestion of Animal Manure with Complex Organic Substrates // *An ASABE Meeting Presentation.* – USA, 2008. – Vol. 08. – 19 p.

9 Alatrisme-Mondragon F., Samar, P., Cox, H.H.J., Ahring, B.K., Iranpour, R. Anaerobic codigestion of municipal, farm and industrial organic wastes: A survey of recent literature // *Water Environment Research.* – 2006. – 78. – P. 607-636.

10 Malik R.K., Tauro P., Dahiya D. S. Effect of Delignification Pretreatment and Selective Enrichment on Methane Production from Cattle Waste // *Biotechnology and Bioengineering.* – 1989. – 33. – P. 924-926.

11 APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. – Washington DC, 1995. – 53 p.

12 Ludington D. Calculating the Heating Value of Biogas; DLtech, Inc. Ithaca NY, 2006. – Available from. – www.dairyfarmenergy.com.

13 Lay J.J., Li Y.Y., Noike T. Mathematical Model for methane production from landfill bioreactor // *J. Environ. Engng.* – 1998. – 124 (8). – P. 730-736.

14 Koppar A., Pullammanappallil P. Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp // *Bioresource Technology.* – 2007. – 99. – P. 2831-2839.

15 Lo H.M, Kurniawan T.A., Sillanp M.E.T., Pai T.Y., Chiang C.F., Chao K.P., Liu M.H., Chuang S.H., Banks C.J., Wang S.C., Lin K.C., Lin C.Y., Liu W.F., Cheng P.H., Chen C.K., Chiu H.Y., Wua H.Y. Modeling biogas production from organic fraction of MSW co-digested with MSWI ashes in anaerobic bioreactors // [Bioresour Technol.](http://www.bioreactor.com) – 2010. – 101(16). – P. 6329-6335.

16 Пономарев А. Ф. Технология переработки винограда. – М.: Изд-во МСХА, 1997. – 115 с.

17 Ahn H. K., Smith M. C., Kondrad S. L., White J. W. Evaluation of Biogas Production Potential by Dry Anaerobic Digestion of Switchgrass – Animal Manure Mixtures // *Appl Biochem Biotechnol.* – 2010. – 160. – P. 965-975.

REFERENCES

- 1 Deublein D., Steinhauser A. Germany, **2008**, 423p.
- 2 Parawira W. Doctoral Dissertation. Sweden, **2004**, 53p.
- 3 Seadi T.A., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. Denmark, **2008**, 125p.
- 4 Ziemiński K., Fraç M. *African Journal of Biotechnology*, **2012**, 11(18), P.4127-4139.

- 5 Schulz H. Germany. ISBN 3 - 922964 - 59 - 1, **1996**.
- 6 Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L. Bioresour. Technol, **2008**, 99, P.7928–7940.
- 7 Liu Y., Miller S.A., Safferman S.I. Biofuels, Bioprod. Bioref, **2009**, 3, P.11–19.
- 8 Labatut R.A., Scott N.R. USA, **2008**, Vol.08, 19 p.
- 9 Alatrisme-Mondragon F., Samar, P., Cox, H.H.J., Ahring, B.K., Iranpour, R. Water Environment Research, **2006**, 78, P.607-636.
- 10 Malik R.K., Tauro P., Dahiya D. S. Biotech. and Bioengin., **1989**, 33, P.924-926.
- 11 APHA. Washington DC, **1995**, 53 p.
- 12 Ludington D. Ithaca NY, **2006**, Available from. - www.dairyfarmenergy.com.
- 13 Lay J.J., Li Y.Y., Noike T. J. Environ. Engng, **1998**, 124 (8), P.730–736.
- 14 Koppa A., Pullamannappallil P. Bioresource Technology. **2007**, 99, P.2831–2839.
- 15 Lo H.M, Kurniawan T.A., Sillanp M.E.T., Pai T.Y., Chiang C.F., Chao K.P., Liu M.H., Chuang S.H., Banks C.J., Wang S.C., Lin K.C., Lin C.Y., Liu W.F., Cheng P.H., Chen C.K., Chiu H.Y., Wua H.Y. [Bioresour Technol](http://www.dairyfarmenergy.com), **2010**, 101(16), P.6329-6335.
- 16 Ponomarev A. F. M.: Izd-vo MSHA, 1997, 115s.
- 17 Ahn H. K., Smith M. C., Kondrad S. L., White J. W. Appl Biochem Biotechnol, **2010**, 160, P.965–975.

Резюме

К. У. Қоразбекова¹, Ж. К. Бахов¹, А. Леммер²

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан Республикасы,

²Хоэнхайм университеті, Германия)

ОРГАНИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ӨНДЕУДЕ МЕТАН ӨНДІРУДІҢ КИНЕТИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

Шарап өндірісі қалдықтары, тамақ және биоқалдықтарды ірі қара мал қиына қосу арқылы метан өндірудің кинетикасы зерттелді. Метан өндірудің кинетикалық параметрлері (P – метанның потенциалдық өндірілуі ($\text{Нм}^3/\text{кг оҚЗ}$ (органикалық құрғақ зат)⁻¹), R_m – метан алудың максималды жылдамдығы ($\text{Нм}^3/\text{кг оҚЗ}^{-1}$ күніне⁻¹) және λ – лаг-фаза ұзақтығы (күн)) талданды. Ең жоғары потенциалды метанның шығуын (P) ірі қара мал қиының биоқалдықпен бірге ашуы көрсетті ($0,387 \text{ Нм}^3/\text{кг оҚЗ}^{-1}$). Ең жоғарғы метан өндіру жылдамдығы (R_m) $0,022 \pm 0,003 \text{ Нм}^3/\text{кг оҚЗ}^{-1}$ күніне⁻¹ ірі қара мал қиының жеке ашуында, ең төменгі $0,006 \text{ Нм}^3/\text{кг оҚЗ}^{-1}$ күніне⁻¹ метан тамақ қалдықтарымен бірге ашуында анықталды. Лаг-фаза ұзақтығы $10,17-14,60$ күн шегінде болды.

Сонымен қатар, 95% потенциалды метан алуға қажетті және метанды тиімді өндіру ұзақтығы зерттелді.

Тірек сөздер: ірі қара мал қиы, тамақ қалдықтары, анаэробты ашу, биогаз, метан алу, кинетикалық параметрлер.

Summary

K. U. Korazbekova¹, Zh. K. Bakhov¹, A. Lemmer²

¹South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Republic of Kazakhstan,

²University of Hohenheim, Germany)

INVESTIGATION OF KINETIC PARAMETERS FOR METHANE PRODUCTION IN ORGANIC WASTE TREATMENT

The kinetics of methane production from liquid manure of cattle waste with the addition of wine industry waste, food and bio-waste were investigated. The kinetic parameters of methane production (P - potential yield of methane ($\text{Nm}^3/\text{kg oDM}^{-1}$), R_m - the maximum methane yield rate ($\text{Nm}^3/\text{kg oDM}^{-1} \text{ day}^{-1}$), λ – duration of lag-phase (day)) were analyzed. The highest potential yield of methane (P) showed co-fermentation of liquid manure from cattle with biowaste ($0,387 \text{ Nm}^3/\text{kg oDM}^{-1}$). The highest rate of methane production (R_m) was $0,022 \pm 0,003 \text{ Nm}^3/\text{kg oDM}^{-1} \text{ day}^{-1}$ for mono-fermentation of cattle slurry, the lowest $0,006 \text{ Nm}^3/\text{kg oDM}^{-1} \text{ day}^{-1}$ of methane in co-fermentation with food waste. Duration of lag phase (λ) was within 10,17-14,60 days. Also the duration of fermentation to produce 95% of the potential yield of methane and efficient production of methane was studied.

Keywords: liquid manure from cattle, food waste, anaerobic fermentation, biogas, methane production, kinetic parameters.

Поступила 20.11.2013 г.