

УДК 606:620.951:636.5.087.7

Перспективы переработки помета в биогаз при использовании в рационе кур пробиотического препарата «Амилоцин»

© 2020 И.В. МИРОШНИЧЕНКО^{1*}, Н.В. НИКУЛИНА², Д.А. ПЕТРОСОВ³¹ ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Белгородский р-он, п. Майский, 308503² Университет Хоэнхайм, Штутгарт, 70599³ ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Москва, 105187

*e-mail: imiroshnichenko_@mail.ru

Поступила	24.03.2020 г.
После доработки	24.06.2020 г.
Принята в печать	12.09.2020 г.

Изучено влияние пробиотического препарата «Амилоцин» в рационе кур-несушек на биогазовую продуктивность их помета. Проведен лабораторный Batch-эксперимент по анаэробной ферментации помета. Определен валовой и удельный выход биогаза и метана из помета птицы контрольной и подопытных групп. Установлено, что использование препарата «Амилоцин» в рационе кур-несушек способствует снижению биогазовой продуктивности их помета. В среднем удельный выход биогаза и метана из помета кур, которые потребляли добавку, составил соответственно 73,90 и 19,52 мл/г органического вещества, из помета кур, не получавших препарат, — соответственно 120,97 и 46,69 мл/г органического вещества. При этом у лучшей по продуктивности группы птицы помет отличается самым низким выходом биогаза и метана (соответственно 51,56 и 14,05 мл/г органического вещества), что может быть обусловлено лучшей коверсией питательных веществ корма в организме птицы, а также ингибирующим действием пробиотической микрофлоры на метанобразующий консорциум в помете. Концентрация метана в биогазе из помета птицы опытных групп составила в среднем 29,75%, контрольной — 38,60%; горюч лишь биогаз из помета птицы, получавшей наименьшую дозу препарата (46,71% метана). Повысить эффективность переработки в биогаз помета кур-несушек, получавших «Амилоцин», может, вероятно, добавление к нему богатых углеродом косубстратов.

Ключевые слова: биогаз, метан, помет, куры-несушки, «Амилоцин», *Bacillus subtilis*, *Bacillus atyloliquefaciens*

doi: 10.21519/0234-2758-2020-36-5-72-80

В Белгородской области ежегодно производится свыше 1,60 млрд. шт. куриных пищевых яиц. По объемам производства регион входит в пятерку лидеров России [1]. Птицеводство — высоко-рентабельное направление, так как птица начинает производить продукцию быстрее многих видов сельскохозяйственных животных. В регионе сложились благоприятные условия для данной отрасли — здесь достаточно посевных площадей для возделывания зерновых культур, являющихся основой рационов сельскохозяйственной

птицы. Побочная продукция перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса (жмыхи, шроты, кровяная, мясо-костная и рыбная мука и др.) вводится в комбикорма, повышая их питательную ценность и снижая расходы на кормление, на которые может приходиться до 80% всех затрат [2, 3].

Одной из основных проблем отрасли птицеводства является утилизация помета. В Белгородской области ее решают путем сушки, переработки на компостных площадках, рассматривается

Список сокращений: н. у. — нормальные условия (физические условия, определяемые давлением 0,1013 МПа (или 760 мм рт. ст.) и температурой 273,15 К (0 °С), при которых молярный объем газа составляет $2,2414 \cdot 10^{-2}$ м³/моль.), оСВ — массовая доля органического вещества, СВ — массовая доля сухого вещества.

вопрос об использовании куриного помета в качестве субстрата для производства биогаза.

Для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы широко практикуется обогащение основного рациона различными биологически активными веществами. Введение пробиотических препаратов, способствующих восстановлению баланса микрофлоры пищеварительной системы, особенно перспективно в плане поддержания здоровья животных и птицы и повышения качества продукции [4, 5, 6, 7, 8]. Замена антибиотиков пробиотическими препаратами в рационе птицы исключает возможность возникновения устойчивости к антибиотикам у человека, употреблявшего в пищу яйца и мясо птицы. В связи с этим, а также с учетом необходимости в импортозамещении, не теряют актуальности разработка и испытание кормовых добавок отечественного производства. Так, на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» проводятся исследования большого количества кормовых добавок, одной из которых является «Амилоцин» (ООО «Арлен», Россия). В ее состав входит биомасса микроорганизмов *Bacillus subtilis* OZ-2 ВКПМ-11966 и *Bacillus amyloliquefaciens* OZ-3 ВКПМ-11967 в соотношении 1:1 в споровой форме и протектор — пищевая глюкоза. Кормовая добавка предназначена для использования в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы в качестве альтернативы антибиотикам [6]. Одна из основных проблем применения антибиотиков — возникновение устойчивости к ним у микроорганизмов. Бактерии рода *Bacillus* часто используются в качестве пробиотика, они способны продуцировать более 70 различных антибиотиков широкого спектра действия. Клетки *Bacillus* продуцируют антибиотики в минимальных количествах, поэтому местный и системный иммунитет макроорганизма не подавляется, кроме того, исключается развитие дисбактериоза и аллергических реакций. Литические ферменты, продуцируемые клетками *Bacillus*, усиливают их антибактериальную активность [9]. При использовании препарата, включающего *Bacillus*, возбудители к нему не адаптируются, не формируются их устойчивые штаммы.

Установлено, что «Амилоцин» способствует увеличению приростов живой массы телят и мясной птицы, сокращению времени откорма, снижению потребления кормов. Избыток препарата выводится из организма животного или птицы, не оказывая негативного влияния [10].

Несмотря на то, что помет сельскохозяйственной птицы обладает рядом свойств,

затрудняющих его переработку в биогазовых установках, он является весьма перспективным субстратом — главным образом, благодаря большим объемам его образования и высокому биоэнергетическому потенциалу. Состав, а, соответственно, и свойства экскрементов птицы, помимо всего прочего, зависят от потребляемых ей кормов и состояния ее здоровья. От состояния органов пищеварения зависит способность организма к перевариванию и усвоению отдельных компонентов корма. Так как пробиотические добавки направлены на коррекцию микрофлоры кишечника птицы, возникает вопрос об их влиянии на свойства помета как субстрата для получения биогаза. Предположительно, биогазовая продуктивность помета при введении пробиотических добавок может снижаться, потому что они повышают усвояемость питательных веществ в организме птицы, уменьшая таким образом в помете источник для синтеза биогаза. Кроме того, пробиотические микроорганизмы выделяют целый ряд веществ с антимикробной активностью, что может губительно повлиять и на микроорганизмы, участвующие в образовании биогаза. С другой стороны, добавка может сделать выделяемые с пометом вещества более доступными для микробного консорциума биогазовой установки (например, будет способствовать деструкции труднорастворимых соединений).

Цель данной работы — изучение влияния пробиотического препарата «Амилоцин» в рационе кур-несушек на биогазовую продуктивность помета. Для ее достижения была поставлена задача провести анаэробную ферментацию помета кур контрольной и опытных групп и определить основные показатели его биогазовой продуктивности — удельный выход биогаза и удельный выход метана.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проведены на базе лаборатории по изучению биогазовых технологий ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». Для изучения биогазовой продуктивности отобрали бесподстилочный помет кур-несушек кросса Хайсекс браун в возрасте 60 недель. Птица 1-й (контрольной) группы получала основной рацион в течение всего времени эксперимента. Птица 2, 3 и 4-й (опытных) групп дополнительно к основному рациону получала соответственно 0,4, 0,5 и 0,6 г «Амилоцина» на 1 голову в сутки в начале яйцекладки и 0,5, 1,0 и 1,5 г «Амилоцина» на 1 голову в сутки в дальнейшем. Добавка вводилась клинически здоровой птице через систему поения [6].

Загрузка биореакторов, г на 1 биореактор

Bioreactors loading, g per 1 bioreactor

Вариант	Загрузка субстрата (натуральная масса)		Загрузка в пересчете на органическое вещество		
	инокулят	помет	из инокулята	из помета	в сумме
Инокулят	250,00	—	23,29	—	23,29
Группа 1 (контрольная)	213,63	36,37	19,90	9,80	29,70
Группа 2 (опытная)	210,14	39,86	19,57	9,64	29,21
Группа 3 (опытная)	215,90	34,10	20,11	9,91	30,02
Группа 4 (опытная)	213,99	36,01	19,93	9,82	29,75

Основной рацион был представлен полнорационным комбикормом ПК-1-2 (производство ОАО «Белгородский экспериментальный завод рыбных комбикормов»). Куры содержались в клеточных батареях, помет отбирали с ленточных транспортеров под клетками.

Содержание сухого вещества и органических соединений в исходных субстратах определяли согласно [11], выход и динамику образования биогаза и метана изучали путем постановки Batch-эксперимента по методике, описанной в [12].

Лабораторная биогазовая установка состояла из стеклянных конических колб-биореакторов объемом 300 мл каждый, соединенных с пластиковыми мешками-газгольдерами объемом по 5 л. Биореакторы помещены в водяную баню с автоматическим поддержанием температуры. Инкубацию субстратов осуществляли при $+37\pm 0,5^\circ\text{C}$ и перемешивании (1 раз в сутки) в течение 35 сут. Объем образовавшегося биогаза определяли с помощью герметичной стеклянной колбы с поршнем и шкалой, состав биогаза (содержание метана) — с помощью газоанализатора Optima-7 Biogas (Германия); измерения проводили еженедельно.

Для обеспечения сравнимости результатов исследования объем газа приводили к нормальным условиям согласно уравнению 1.

$$V_0 = (P \times V \times T_0) / (T \times P_0), \quad (1)$$

где:

V_0 — объем сухого газа при нормальных условиях, мл,

V — зарегистрированный объем газа, мл,

P — давление газа в момент измерения, мбар,

P_0 — атмосферное давление при н. у.;
 $P_0 = 1013$ мбар,

T_0 — температура воздуха при н. у.;
 $T_0 = 273$ К,

T — температура биогаза, К.

Для ускорения процесса эксперимент проводили с использованием инокулята — жидкой биомассы из реактора действующей производственной биогазовой установки. В качестве «нулевого» варианта в биореакторы был загружен инокулят (СВ = $11,73\pm 0,08\%$, оСВ (от СВ) = $79,43\pm 0,26\%$). В дальнейшем результаты «нулевого» варианта использовали для корректировки полученных значений в остальных вариантах. Нормы загрузки биореакторов рассчитывали, исходя из содержания сухого и органического вещества в субстратах и инокуляте (табл. 1).

Содержание сухого вещества в содержимом реакторов в нашем эксперименте соответствовало принятым нормам при осуществлении «влажной» ферментации и составило 14,8 — 15%.

Соотношение массовой доли органического вещества в субстрате к массовой доле органического вещества инокулята в нашем эксперименте составило порядка 1:2. Согласно [12, 13], для нормализации процесса брожения и для снижения тормозящего действия содержимого реактора количество оСВ субстрата не должно превосходить количество оСВ инокулята; оптимальным считается отношение оСВ субстрата к оСВ инокулята меньше или равное 0,5.

Рабочий объем биореактора считали равным 250 мл. Каждый вариант исследовали в трех повторениях. Полученные данные обработаны методом вариационной статистики с использованием программы Microsoft Excel. Полученные данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выборе способа и режима переработки помета важную роль играет целый ряд факторов. От системы содержания — в клетках или на глубокой подстилке — зависит механический и химический состав помета. Важен

температурно-влажностный режим в помещении и вероятность попадания в пометные массы частиц корма и воды — это влияет на содержание влаги и питательных веществ в удаляемом помете.

Массовая доля сухого вещества, и в частности — органического вещества, является основополагающей для расчетов при проектировании биогазовой станции. От этого показателя во многом зависят количество и состав образующегося биогаза. Содержание сухого вещества в субстрате оказывает влияние на реологические свойства содержимого биореактора, что особенно важно при так называемой влажной ферментации (влажность содержимого биореактора при этом составляет обычно 80–85%). Биогаз образуется исключительно из органических веществ, минеральные же обеспечивают нормальную жизнедеятельность микрофлоры. Массовая доля сухого вещества и органических соединений в помете кур может значительно варьировать также и в зависимости от возраста, рациона птицы и направления ее продуктивности.

В нашем эксперименте массовая доля сухого вещества в субстратах колебалась от $31,79 \pm 0,76$ до $34,19 \pm 0,51\%$ и в среднем составила $33,33 \pm 0,59\%$. Самое высокое значение показателя отмечено в помете кур контрольной группы, самое низкое — 2 опытной. Содержание сухого вещества в помете кур 3 и 4 групп отличалось незначительно и было ниже, чем в контроле соответственно на 0,23 и на 0,82% (значения показателя здесь составили соответственно $33,97 \pm 0,10$ и $33,38 \pm 0,98\%$).

Наименьшее содержание органического вещества (от массовой доли сухого вещества) отмечено также в помете кур 2-й группы ($76,26 \pm 4,10\%$) а наибольшее — 3 опытной ($85,50 \pm 5,76\%$); разница с контролем составила соответственно 2,55 и 6,69%. Массовая доля органического вещества у 4 группы — $81,70 \pm 0,42\%$, что на 2,89% выше, чем у контрольной ($78,81 \pm 0,81\%$). В среднем значение данного показателя в нашем эксперименте составило $80,57 \pm 2,10\%$.

В исследованиях M.R. Miach с соавт. [14] содержание сухого вещества в бесподстильном помете кур составило 22,5%, а органических соединений (от СВ) — 66,72%. В работах других авторов использовался помет кур с массовой долей сухого вещества 78,82; 76,00; 49,62; 6,80 и 3,00% — следовательно, в этих исследованиях использовался либо подсыхший, либо жидкий помет. Массовая доля органического вещества в данном материале составляла соответственно 61,54; 82,48; 55,00 и 60,00% [15, 16, 17, 18, 19]. В экспериментах T. Vöjt с соавт. [20]

использовался высушенный водный раствор куриного помета.

В руководстве по проектированию и эксплуатации биогазовых станций [21], данные из которого берутся за основу при строительстве биогазовых станций в России, в разделе о характеристике субстратов приводится помет с массовой долей сухого вещества 32,00% и органического вещества — 63,00–80,00%. В нашем эксперименте помет кур всех групп, за исключением 2-й опытной, был более сухим. Это, скорее всего, обусловлено технологией удаления помета — из клеток он попадает на пометоуборочную ленту, затем удаляется на поперечный транспортер и далее — в пометохранилище. Поперечный транспортер освобождается от помета раз в сутки; таким образом, экскременты успевают немного подсыхнуть — этому способствует и интенсивный воздухообмен в зоне содержания птицы. Помет от кур из групп 3 и 4 содержал органических соединений больше приведенного в руководстве [21] максимального значения.

По содержанию сухого вещества помет кур в нашем эксперименте занимает промежуточное значение между приведенными в литературных источниках [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22], а по содержанию органических соединений превосходит результаты, полученные другими авторами [14, 15, 17, 18, 19, 20].

Наибольший валовой выход биогаза ($1185,69 \pm 87,74$ мл) отмечен в помете кур контрольной группы (рис. 1). В помете кур 4 опытной группы значение данного показателя на 7,86% ниже ($1092,51 \pm 246,23$ мл). Наименьший выход биогаза ($510,71 \pm 183,63$ мл) — из помета кур 3 опытной группы, что на 56,93% ниже, чем в контроле. У второй группы разница с контролем по данному показателю составила 52,14% ($567,43 \pm 361,80$ мл).

Самый высокий и самый низкий валовой выход метана отмечен у тех же групп — соответственно у контрольной и третьей (на 69,59% ниже контроля). Значение данного показателя у 2 группы на 42,08% ниже, по сравнению с контролем, у 4 — ниже на 63,50% (рис. 1).

Содержание метана в биогазе, полученном из помета кур 2 опытной группы, было наивысшим и составило 46,71%. Несколько ниже значение данного показателя у контрольной группы — 38,60%. Концентрация метана в биогазе из помета кур 3 и 4 опытных групп составила соответственно 27,25 и 15,29%. Таким образом, в среднем при использовании помета кур опытных групп концентрация метана в биогазе составила 29,75%, что на 8,85% ниже, по сравнению с контрольной.

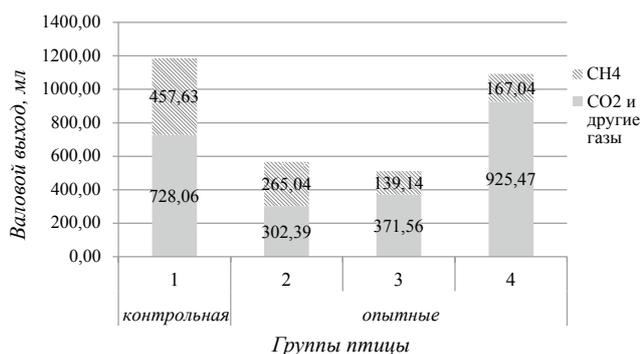


Рис. 1. Валовой выход биогаза и метана

Fig. 1. Total biogas and methane yield

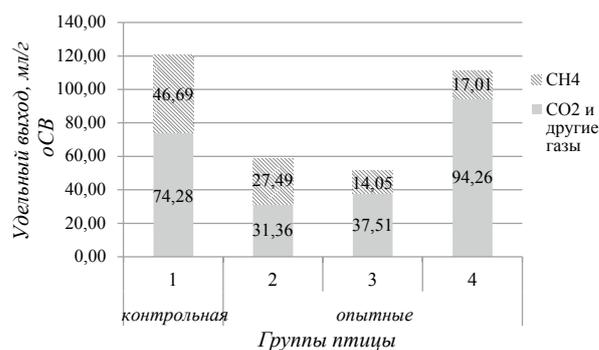


Рис. 2. Удельный выход биогаза и метана

Fig. 2. Specific biogas and methane yield

Наиболее информативным показателем биогазовой продуктивности субстратов является удельный выход биогаза и метана, так как массовая доля сухого вещества и органических соединений, например, в навозе одного вида животных может варьировать — что отмечено и в нашем эксперименте. Поэтому именно удельный выход биогаза или метана дает возможность сравнить полученные результаты с данными других экспериментов.

Самый высокий удельный выход биогаза — из помета кур контрольной группы (120,97±8,95 мл/г оСВ), наименьший — 3 опытной — 51,56±18,54 мл/г оСВ, разница с контролем составила 57,38% (рис. 2). У второй группы данный показатель ниже, чем в контроле, на 51,35%, у 4 — на 8,02% (значения показателя составили соответственно 58,86±37,53 и 111,28±25,08 мл/г оСВ).

Помет кур контрольной группы лидирует и по удельному выходу метана (рис. 3). Наименьшее значение данного показателя — в 3 опытной группе, разница с контролем составила 69,92%. Удельный выход биогаза из помета кур 2 и 4 опытных групп соответственно на 41,12 и 63,56% ниже, чем из помета кур контрольной группы.

В среднем удельный выход биогаза и метана из помета кур опытных групп составил соответственно 73,90 и 19,52 мл/г оСВ, что соответственно на 38,92 и 58,20% ниже, по сравнению с данными, полученными в контрольной группе.

Удельный выход биогаза в нашем эксперименте значительно ниже данных, полученных большинством авторов. Так, в исследованиях М.Р. Міах с соавт. [14] удельный выход биогаза из помета кур с подстилкой составил 263,00 мл/г оСВ, а в исследованиях I.M. Alfa с соавт. — 940,00 мл/г оСВ; концентрация метана составила 71,00 и 61,71% соответственно [15]. В эксперименте Т. Dalkilic с соавт. при переработке субстратов в однофазной системе данный показатель составлял от 459,00 до 517,00 мл/г оСВ,

в двухфазной — от 356,00 до 386,00 мл/г оСВ [17]. При переработке помета в полунепрерывном режиме удельный выход биогаза составил 554,00 мл/г оСВ с концентрацией метана 74% (т.е. удельный выход метана — 410,00 мл/г оСВ) [23]. В биореакторах с рециркуляцией содержимого при соотношении помета и инокулята 1:3 удельный выход биогаза составил 183,0 мл/г оСВ, метана — 74,00 мл/г оСВ [18]. В разработанном А. Gangagni Rao с соавт. многостадийном высокоскоростном режиме ферментации отмечен выход метана, равный 160,00 мл/г оСВ [24]. Удельный выход биогаза из высушенного раствора куриного помета составил 209,50 мл/г оСВ [20]. Лишь в исследованиях К.С. Dornelas с соавт. удельный выход биогаза был ниже, чем средние значения в нашем эксперименте, и составил в разных вариантах от 18,00 до 43,00 мл/г оСВ [22].

Биогаз горюч при концентрации в нем метана не ниже 45%. Следовательно, в нашем эксперименте для производства энергии пригоден лишь газ, полученный из помета кур 2 группы.

Таким образом, даже если сравнивать с данными исследователей из других стран результаты, полученные в контрольной группе нашего эксперимента, можно в очередной раз выявить региональные особенности используемых субстратов: в подавляющем большинстве случаев биогазовая продуктивность отходов животноводства из России ниже, чем продуктивность аналогичных отходов из других стран, в частности — из Германии [25]. Заниженная биогазовая продуктивность в нашем эксперименте может быть обусловлена и некоторым избытком питательных веществ в биореакторах. Кроме того, ингибирующее действие на процесс образования метана оказывает высокая концентрация азотсодержащих соединений. В мире лишь единицы биогазовых станций осуществляют моноферментацию помета сельскохозяйственной птицы — они должны иметь особую конструкцию для предотвращения оседания минеральной

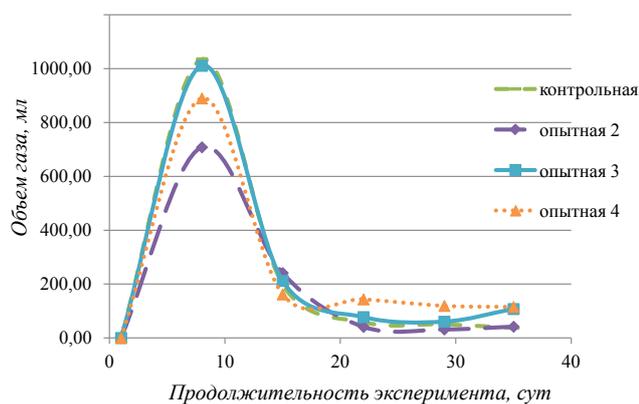


Рис. 3. Динамика образования биогаза

Fig. 3. The dynamic of biogas production

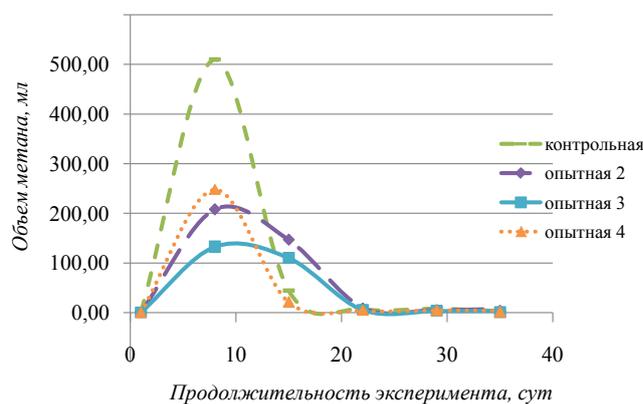


Рис. 4. Динамика образования метана

Fig. 4. The dynamic of methane production

фракции помета и функционировать при температуре не выше +35 °С. В подавляющем большинстве случаев к помету добавляют богатое углеродом сырье; оптимальным считается отношение углерода к азоту в биореакторе от 10 до 30 [21]. Наиболее популярным косубстратом является кукурузный силос. Так, А. Gomes de Oliveira Paranhos с соавт. установили, что при коферментации куриного помета и початков кукурузы удельный выход метана достигает 126,02 мл/г оСВ [26]. Для России более приемлемо использование побочной продукции и отходов (свекловичный жом, отходы переработки фруктов и овощей и др.). Р. Bres с соавт. отмечают, что выход биогаза и метана из смеси куриного помета и фруктовых и овощных отходов соответственно на 31 и 32% выше, чем из чистого помета [27]. Такое сырье можно рассматривать в качестве косубстратов при переработке изученного нами помета в условиях производства. Нормы загрузки всех субстратов при этом должны быть рассчитаны в зависимости от имеющегося в наличии сырья. Растительное сырье, как правило, обладает более высокой биогазовой продуктивностью, чем экскременты, поэтому его использование в целом повысит содержание в биогазе метана и сделает его пригодным к использованию в качестве топлива.

В нашем исследовании пик образования биогаза из помета всех групп птицы пришелся на конец первой недели эксперимента, что свидетельствует о быстрой деградации легкоразлагаемых компонентов; к концу второй недели интенсивность синтеза газа резко снизилась (рис. 3). У помета 4 группы отмечен также небольшой пик в конце третьей недели эксперимента — вероятно, здесь больше веществ, для разложения которых требуется более длительное время (например, жиров, сложных углеводов). Из помета 2 и 3 групп после четвертой недели эксперимента образование биогаза стало незначительно нарастать. Данные заключения основаны на наших предыдущих исследованиях [28].

Для детального анализа деградации той или иной группы веществ в дальнейшем планируется проведение химического анализа субстрата на разных этапах переработки.

Пик образования метана из помета всех групп также пришелся на конец первой недели эксперимента (рис. 4). У помета контрольной и 4 групп к концу второй недели синтез метана резко снизился. У помета 2 и 3 групп снижение синтеза метана проходило плавно, а значительное снижение отмечено только к концу третьей недели эксперимента.

В целом динамика образования метана при переработке помета всех групп свидетельствует о нормальном протекании процесса без каких-либо экстремальных перепадов.

Е.Г. Мартынова с соавт., изучавшие продуктивность кур-несушек, помет которых мы использовали в наших исследованиях, отмечают, что самая высокая продуктивность у кур 3 опытной группы: по яйценоскости, валовому сбору яиц, средней массе яйца, общему количеству яичной массы и др. они превосходят контроль; самая низкая продуктивность у кур контрольной группы [6]. В инструкции по применению препарата «Амилоцин» указано, что он повышает перевариваемость протеина и аминокислот в организме животных и птицы. Вместе с тем помет кур 3 группы отличается самым высоким содержанием органического вещества, однако, биогазовая продуктивность его самая низкая. Вероятно, большая часть органических соединений здесь представлена труднорастворимыми веществами, а легкоразлагаемые усвоены организмом птицы. Самая высокая биогазовая продуктивность — у помета кур контрольной группы, но содержание органического вещества в нем ниже, чем у 3 и 4 групп. Это может свидетельствовать о том, что при введении препарата в рацион птицы повышается усвояемость легкоразлагаемых веществ корма (простых углеводов и протеина), служащих также источником питания для консорциума

биореактора, и с пометом этих веществ выделяется меньше, а балластных и ингибирующих веществ — больше, что также может замедлять синтез газа.

С другой стороны, существует вероятность ингибирования консорциума метанообразующих микроорганизмов со стороны препарата. Входящая в состав препарата Амилоцин *Bacillus subtilis* продуцирует витамины, аминокислоты, иммуноактивные факторы, ферменты (протеазу, липазу, целлюлазу, гемицеллюлазу), а также полипептидные антибиотики (субтилин, микосубтилин, бацилломицин, бацилихин, грамицидин С). Микроорганизм проявляет антагонизм к дрожжевым грибкам, сальмонелле, протею, стрептококкам, стафилококкам, кишечной палочке, в том числе гемолитической, клебсиелле пневмонии, цитробактеру, а также к лактобациллам и бифидобактериям [29, 30], многие из которых являются участниками синтеза биогаза (дрожжи, молочнокислые, уксуснокислые, пропионовокислые бактерии, клостридии, метаногенные археи и др.).

В нашем эксперименте в течение 2 и 3-й недели поверхность содержимого реакторов, содержащих пробы помета кур 3 и 4 опытных групп, покрывалась беловатой тонкой пленкой, а в толще всплывших плотных частиц субстрата появлялось обрастание в виде белесого налета (рис 5). Исходя из информации, приведенной в литературных источниках, можно предположить, что это колонии *Bacillus subtilis* или *Bacillus amyloliquefaciens*. На жидких средах микроорганизмы образуют тонкие беловатые пленки, на плотных средах колонии имеют вид серых, бесцветных или розовых бархатистых образований [31, 32]. Микробиологический анализ для отнесения колоний, образующихся в биореакторе к конкретному роду микроорганизмов, будет включен в задачи наших дальнейших исследований с использованием экскрементов сельскохозяйственных животных и птицы, получавших пробиотические препараты.

Исследования показали, что использование препарата «Амилоцин» в рационе кур-несушек способствует снижению биогазовой продуктивности помета. При этом лучшая по яйценоскости, массе яйца и другим показателям продуктивности группа птицы выделяет помет, биогазовая продуктивность которого самая низкая. Это свидетельствует в пользу гипотезы о лучшей конверсии питательных веществ корма в организме птицы (расходование большего количества питательных веществ корма на производство продукции и меньший выход их с пометом), а также о развитии пробиотической микрофлоры в биореакторах и ее ингибирующем действии на метанообразующий консорциум. Однако, обе гипотезы



Рис. 5. Появление налета в биореакторе (помет 4 опытной группы)

Fig. 5. The appearance of plaque in the bioreactor (litter of experimental group 4)

требуют проведения более детальных исследований. В среднем удельный выход биогаза и метана из помета потреблявших добавку кур составил соответственно 73,90 и 19,52 мл/г оСВ, что соответственно на 38,92 и 58,20% ниже, по сравнению с данными, полученными у контрольной группы (120,97 и 46,69 мл/г оСВ). Концентрация метана в биогазе из помета птицы опытных групп составила в среднем 29,75%, из контрольной — 38,60%; горюч лишь биогаз из помета птицы 2-й опытной группы (46,71% метана), получавшей наименьшую дозу препарата.

Так как из-за особенностей состава куриного помета возможны определенные трудности при переработке его в биогаз, более удачной может стать совместная его ферментация с богатыми углеродом субстратами. Это будет способствовать нормализации соотношения азота и углерода в биореакторе, повышению стабильности процесса синтеза биогаза, и, скорее всего, приведет к увеличению содержания метана в биогазе.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-47-310008 p_a

ЛИТЕРАТУРА

1. Семынин М. Обзор рынка яиц в России. URL: <https://www.openbusiness.ru/biz/business/obzor-rynka-yaits-v-rossii/>
2. Кошаев И.А., Рядинская А.А. Влияние нетрадиционных кормов растительного и животного происхожде-

- ния на мясную продуктивность цыплят-бройлеров. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018, 4(44), 158–164.
3. Себестоимость яйца 1 рубль? Возможно! *Птица и Птицепродукты*. 2017, (6), 53.
 4. Дуборезов В., Дуборезова Т. Пробиотическая кормовая добавка в рационах телят-молочников. *Комбикорма*. 2016, (5), 79–80.
 5. Егоров И.А., Андрианова Е.Н., Присяжная Л.М., Григорьева Е.Н. Применение пробиотика «Амилоцин» в комбикормах для цыплят-бройлеров: отчет о НИР. Москва, Россия: ФГБГНУ ВНИТИП, 2015, 9.
 6. Мартынова Е.Г., Корниенко П.П. Влияние пробиотической кормовой добавки Амилоцин на продуктивность кур-несушек кросса Хайсекс Браун. *Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии*. 2020, 1(15), 60–65.
 7. Орлова Т.Н., Дорофеев Р.В. Пробиотики — перспектива животноводства. *Аграрная наука — сельскому хозяйству: сборник статей*. Барнаул, Россия: Алтайский государственный аграрный университет, 2017, 177–180.
 8. Фисинин В.И. Современные подходы в кормлении высокопродуктивной птицы. *Эффективное животноводство*. 2011, (5), 44–46.
 9. Янгирова З.З. Разработка и изучение иммунобиологических свойств нового лекарственного средства — бактиспоринпласта: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2005.
 10. Дмитриева А.И., Иванова Р.Н., Терентьев М.Г., Ефимова И.О. Использование современных биопрепаратов в птицеводстве. *Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета*. 2017, (10), 126–130.
 11. Pfeiffer D., Dittrich-Zechendorf, M. Messmethodensammlung Biogas: Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. Leipzig, Deutschland: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 2012, 151
 12. VDI 4630. Vergärung organischer Stoffe: Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf, Deutschland: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, 2016, 132.
 13. DIN 38414-8:1985-06 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag GmbH, 1985, 8
 14. Miach M.R., Md. Lutfor Rahman A.K., Akanda M.R. et al. Production of biogas from poultry litter mixed with the co-substrate cow dung. *J. Taibah Univ. Sci.*, 2016, 10(4), 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.jtusc.2015.07.007>
 15. Alfa I.M., Dahunsi S.O., Iorhemen O.T. et al. Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. *Bioresource Technol.*, 2014, 157, 270–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.108>
 16. Carlini M., Castellucci S., Moneti M. Biogas production from poultry manure and cheese whey wastewater under mesophilic conditions in batch reactor. *Energy Procedia*, 2015, (82), 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.817>
 17. Dalkılıç, K., Uğurlu, A. Influence of Hydraulic Retention Time and Reactor Configuration During Fermentation of Diluted Chicken Manure. *Appl Biochem Biotechnol.*, 2017, 181, 157–176. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2205-6>
 18. Marchioro, V, Steinmetz R.L.R., do Amaral A.C. et al. Poultry Litter Solid State Anaerobic Digestion: Effect of Digestate Recirculation Intervals and Substrate/Inoculum Ratios on Process Efficiency. *Front. Sustain. Food Syst.* 2018, 2:46. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00046>
 19. Sun Ch., Cao W., Banks Ch.J. et al. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: A study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion. *Bioresource Technol.*. 2016, 218, 1215–1223 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.082>
 20. Böjt T., Kovács K.L., Kakuk B. et al. Pretreatment of poultry manure for efficient biogas production as monosubstrate or co-fermentation with maize silage and corn stover. *Anaerobe*, 2017, 46, 138–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anaerobe.2017.03.017>
 21. Handreichung. Biogasgewinnung und –nutzung. Gülzow, Deutschland: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2012, 232
 22. Dornelas, K.C., Schneider, R.M., do Amaral, A.G. Biogas from poultry waste — production and energy potential. *Environ Monit Assess.* 2017, 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6054-8>
 23. Dalkılıç K., Uğurlu A. Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system. *J. Biosci. Bioeng.*. 2015 120(3), 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.021>
 24. Gangagni Rao, A., Surya Prakash, S., Johny Joseph et al. Multi stage high rate biomethanation of poultry litter with self mixed anaerobic digester, *Bioresource Technol.*, 2011, 102(2), 729–735. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.069>
 25. Мирошниченко И.В., Оськина А.С. Региональные особенности переработки отходов животноводства в биогаз. *Достижения и перспективы развития животноводства: материалы национальной научно-практической конференции, посвященной памяти В.Я. Горина*. Белгород, Россия: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019, 59–61.
 26. Gomes de Oliveira Paranhos, A., Herrera Adarme, O.F., Fernandes Barreto, G. et al. Methane production by co-digestion of poultry manure and lignocellulosic biomass: Kinetic and energy

- assessment. *Bioresource Technol.*, 2020, 300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122588>
27. Bres, P., Beily, M.E., Young, B.J. et al. Performance of semi-continuous anaerobic co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: A bench scale study. *Waste Management*, 2018, 82, 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.041>
28. Мирошниченко И.В. Перспективы использования растительных субстратов для оптимизации работы биогазовых станций. *Образование. Наука. Производство: материалы X Международного молодежного форума с международным участием*. Белгород, Россия: ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», 2018, 2032–2036.
29. Сидорова Т.М., Асатулова А.М., Хомяк А.И. Биологически активные метаболиты *Bacillus subtilis* и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2018, 53(1), 29–37. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus
30. Савустьяненко А.В. Механизмы действия пробиотиков на основе *Bacillus subtilis* // *Актуальная инфектология*. 2016, 2(11). 35–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizmy-deystviya-probiotikov-na-osnove-bacillus-subtilis>
31. Гатауллин, А.Г. Биологические свойства штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания новых пробиотиков: автореф. ... дисс. канд. биол. наук. М.: ГУ Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова РАМН, 2005.
32. Алексеева В.В., Сверкалова Д.Г. Изучение некоторых биологических свойств культуры вида *Bacillus subtilis* // *Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»*. URL: <http://scienceforum.ru/2017/article/2017034984>

Prospects of Poultry Dung Processing into Biogas when Using the Probiotic Product Amylocin in the Diet of Hens

I.V. MIROSHNICHENKO^{1*}, N.V. NIKULINA² and D.A. PETROSOV³

¹Belgorod state agricultural university named after V. Gorin, Belgorod oblast, Maiskii settl., 308503, Russia

²University of Hohenheim, Stuttgart, 70599, Germany

³Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 105187, Russia

*e-mail: imiroshnichenko_@mail.ru

Received: March 24, 2020

Revised: June 24, 2020

Accepted: September 12, 2020

Abstract—The influence of the probiotic product Amylocin in the diet of laying hens on the biogas production potential of their droppings has been studied. A laboratory batch experiment on litter anaerobic fermentation was carried out. The total and specific biogas and methane yields from poultry droppings in the control and experimental groups were determined. It was found that the use of the probiotic Amylocin in the diet of laying hens reduced the biogas productivity of their dung; the average specific biogas and methane yields from the droppings of hens that received the probiotic was 73.90 and 19.52 ml/g of organic matter, respectively; the corresponding values for hens the diet of which did not contain Amylocin was 120.97 and 46.69 ml/g of organic matter, respectively. At the same time, the litter of the poultry group with the highest productivity was characterized by the lowest yield of biogas and methane (51.56 and 14.05 ml/g organic material, respectively), which may be due to the better conversion of feed nutrients in the poultry body, as well as to the inhibitory effect of probiotic microflora on the methane-forming consortium in the droppings. The methane concentration in the biogas from poultry litter averaged 29.75% in the experimental groups and 38.60% in the control. Only biogas from droppings of poultry that received the lowest dose of the additive contained 46.71% methane and was combustible. The addition of carbon-rich co-substrates can potentially increase the efficiency of converting into biogas of droppings of laying hens fed with Amylocin.

Key words: biogas, methane, poultry litter, laying hens, Amylocin, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*

Funding—The work was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-47-310008 p_a.

doi: 10.21519/0234-2758-2020-36-5-72-80