Лекция

Биотехнологии утилизации отходов и побочных продуктов животноводства

План лекции

1. Отходы животноводства как угроза экосистеме и ценное вторичное сырье.

2. Биотехнологические методы переработки отходов животноводства .

1. Отходы животноводства как угроза экосистеме и ценное вторичное сырье.

Наибольшую часть отходов сельского хозяйства производит животноводство. В России функционирует более 1800 животноводческих предприятий и птицефабрик. Объемы производства отходов животноводства составляют более 700 млн. тонн в год. Отходы животноводства – это навоз крупного и мелкого рогатого скота, свиней, птичий помет, канализационные стоки. Под отходами животноводства занято 2,4 млн.га. Отходы животноводства загрязняют почву патогеннными микроорганизмами, яйцами гельминтов, антибиотиками и другими токсичными веществами. Хранение навоза и помета сопровождается выделением парниковых газов, в частности метана, который в 21 раза превышает парниковый эффект углекислого газа.

Отходы производства и потребления продуктов животноводства подразделяются на 5 классов опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду (далее — НВОС). Классификация отходов в зависимости от источника их образования и других факторов приводится в Федеральном классификационном каталоге отходов, утвержденном Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (в ред. от 28.11.2017; далее — ФККО). В подтип «Отходы животноводства (включая деятельность по содержанию животных)» ФККО входят следующие группы отходов:

• отходы разведения крупного рогатого скота (1 12 100 00 00 0);

• отходы разведения и содержания лошадей и прочих животных семейства лошадиных отряда непарнокопытных (1 12 200 00 00 0);

• отходы разведения верблюдов и прочих животных семейства верблюжьих (1 12 300 00 00 0);

• отходы разведения овец и коз (1 12 400 00 00 0);

• отходы разведения свиней (1 12 500 00 00 0);

• отходы разведения сельскохозяйственной птицы (1 12 700 00 00 0);

• отходы разведения и содержания животных прочие (1 12 900 00 00 0).

Внутри каждой группы содержатся виды навоза и помета на разных стадиях перепревания: свежий (только что образовавшийся) и перепревший. В процессе перепревания из отхода улетучивается влага, а также происходит естественный процесс микробиологического разложения органических соединений. После перепревания класс опасности отхода снижается. Так, свежий навоз крупного рогатого скота, конский, верблюжий, мелкого рогатого скота, пушных зверей, диких животных после перепревания переходит из IV в V класс опасности, а свежий навоз свиней и птичий помет — из III в IV класс опасности.

Отходы животноводства являются ценным сырьем (таблица 1), которое может быть использовано для производства биогаза, органических удобрений и кормовых добавок.



Химический состав навоза, %

Навоз	Органическое вещество	Вода	Азот общий (N)	Фосфор (P_2O_5)	Калий (K_2O)	Кальций (Ca^{2+})
Крупного рогатого скота	20,6	71,1	0,5	0,25	0,55	0,45
Свиной	23,8	66,5	0,63	0,38	0,61	0,05
Конский	24,0	70,1	0,58	0,27	0,51	0,3
Овечий	29,8	56,1	0,85	0,35	0,77	0,3

Химический состав птичьего помета (%)

Помет	H_2O	N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO	SO_3
Куриный	56	1,6	1,5	0,8	0,7	2,4	0,4
Утиный	70	0,7	0,9	0,6	0,2	1,1	0,3
Гусиный	76	0,5	0,5	0,9	0,2	0,8	0,1

Например, свежий птичий помет содержит 36,0% сухого вещества, 2,1% азота, 1,44% фосфора, 0,64% калия. В пересчете на абсолютно сухое вещество содержит 23-28% сырого протеина, 12-14% клетчатки, 30-37% безазотистых экстрактивных веществ, 3-5% сырого жира, 11-13% золы, 3-9% кальция, до 5% фосфора. Сырой протеин представлен комплексом незаменимых аминокислот, характерным для многих белковых компонентов растительного и животного происхождения (%): глицин 1,1–1,3; аспаргиновая кислота 1,01–1,02; глутаминовая кислота 1,2–1,3; лизин 0,7–0,8; аланин 0,7–0,8; лейцин 0,67–0,85; валин 0,6; серин 0,5–0,7; треонин 0,5–0,6; изолейцин 0,4–0,5; фенилаланин 0,36–0,45; аргинин 0,35–0,42; пролин 0,2–0,3; тирозин 0,17–0,20; гистидин 0,15–0,20. В 100 г сухого вещества помета содержится (мг): железа 367–900; цинка 12–39; марганца 15–38; меди – 0,5; кобальта 1–1,2. Большинство этих элементов находится в водорастворимой, а, следовательно, усвояемой форме.

2. Биотехнологические методы переработки отходов животноводства .

Согласно требованиям РД-АПК 1.10.15.02-08 «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета». Отходы животноводства удаляются механическим способом (транспортерами, бульдозерами и др.) или гидравлическим (самотеком либо прямым смывом водой). До места их сбора, обеззараживания, карантирования и подготовки к

использованию отходы животноводства транспортируются с помощью насосов, трубопроводов (жидкие фракции) либо механическим способом (мобильным транспортом).

По сложившейся практике отходы животноводства складируются в специальных объектах — навозо- и пометохранилищах, лагунах для хранения бесподстилочного навоза, на специальных площадках и др.

Удаленные отходы животноводства могут быть подвергнуты компостированию естественным способом или анаэробному сбраживанию в метатенках. В подготовленных к использованию отходах животноводства должны отсутствовать возбудители болезней, жизнеспособные семена сорных растений; в указанных отходах должно быть нормализовано количество биогенных и других веществ в соответствии с ветеринарно-санитарными, экологическими, агрохимическими требованиями.

Отходы животноводства необходимо карантировать и обеззараживать. Обеззараживание может проводиться химическим или термическим методом в короткие сроки либо естественным путем. Согласно РД-АПК 1.10.15.02-08 естественное биологическое обеззараживание осуществляется путем выдерживания в секционных навозохранилищах или прудах-накопителях в течение 12 месяцев. Кроме того, отходы животноводства подвергаются дезинвазии биологическим, физическим или химическим методом. Сроки выдерживания отходов животноводства при использовании биологического метода:

• в открытых хранилищах:

– навоз крупного рогатого скота — 6 месяцев;

– навоз свиней — 12 месяцев;

• помета в пометохранилищах — 3–6 месяцев.

Таким образом, процесс перепревания отходов животноводства из свежего состояния до состояния, в котором их можно использовать как удобрение, довольно сложный, может осуществляться разными способами и занимать длительное время (до 12 месяцев).

Существует множество способов утилизации и переработки навоза и помета. Однако, технологии переработки помета, навоза путем обезвоживания и дальнейшей стерилизации весьма энергоемки. Термическая обработка жидкой или твердой фракции высокими температурами приводит не только к потерям элементов питания для растений, но и образованию канцерогенов.

Одним из современных и эффективных способов утилизации отходов животноводства является биологическая переработка с использованием микро- и макроорганизмов, позволяющая быстро и эффективно

перерабатывать значительное количество навоза и помета для получения кормов, горючих материалов, удобрений и сырья для химической промышленности. Рациональное использование животноводческих отходов позволяет получить дополнительный урожай, в денежном выражении оценивающийся эквивалентно использованию 650 тыс. т азотных, 300 тыс. т фосфорных и 600 тыс. т калийных удобрений на всей пашне Российской Федерации.

Синтез микробного белка. Существует множество микроорганизмов, способных потреблять вторичные продукты сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности с образованием микробной биомассы. Самыми перспективными являются быстрорастущие микроорганизмы, способные усваивать не гидролизованные отходы. В наибольшей степени этим требованиям соответствуют мицелиальные грибы и дрожжи. Жидкие и плотные отходы могут быть трансформированы в кормовые препараты, обогащенные микробным белком. Известно, что концентрированные стоки являются, по существу, готовой питательной средой для этих микроорганизмов, так как содержат все необходимые компоненты, включая витамины и микроэлементы.

Переработка в органическое удобрение. Компостирование органических отходов с добавлением микроорганизмов, биоферментация помета и навоза при 70—85°С позволяют получать ценное органическое удобрение, необходимое для повышения плодородия почвы и получения экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

Разработаны технологии утилизации отходов сельского хозяйства в специальных установках — биореакторах, биоферментерах (биоферментаторах), модулях, метантенках и т.д. В них, как правило, микробиологическая трансформация отходов осуществляется за счет аэробно-анаэробных процессов. Биотехнологии имеют существенные преимущества перед компостированием за счет снижения потерь питательных веществ в перерабатываемом исходном сырье, значительного повышения экологической чистоты конечных (вторичных) продуктов и сокращения времени переработки сырья.

Получение водорода микробиологическим путем — биотехнологическое решение XXI в. Водород является идеальным химическим носителем энергии. Сжигание его при высоких температурах дает большое количество полезной энергии с высоким КПД.

Микробиологическое получение водорода в настоящее время развивается, хотя прямое биотехнологическое получение водорода на основе процесса, аналогичного фотосинтезу, или анаэробного сбраживания

дискутируется. Уже сейчас кажется, принципиально возможным путем комбинации техники фиксированных биокатализаторов и генной технологии на основе фотосинтезируюших биосистем достичь результатов, аналогичных результатам с фотоклетками. Для получения водорода из органических отходов путем анаэробной ферментации селекционируются новые виды микроорганизмов, способные производить водород вместо метана.

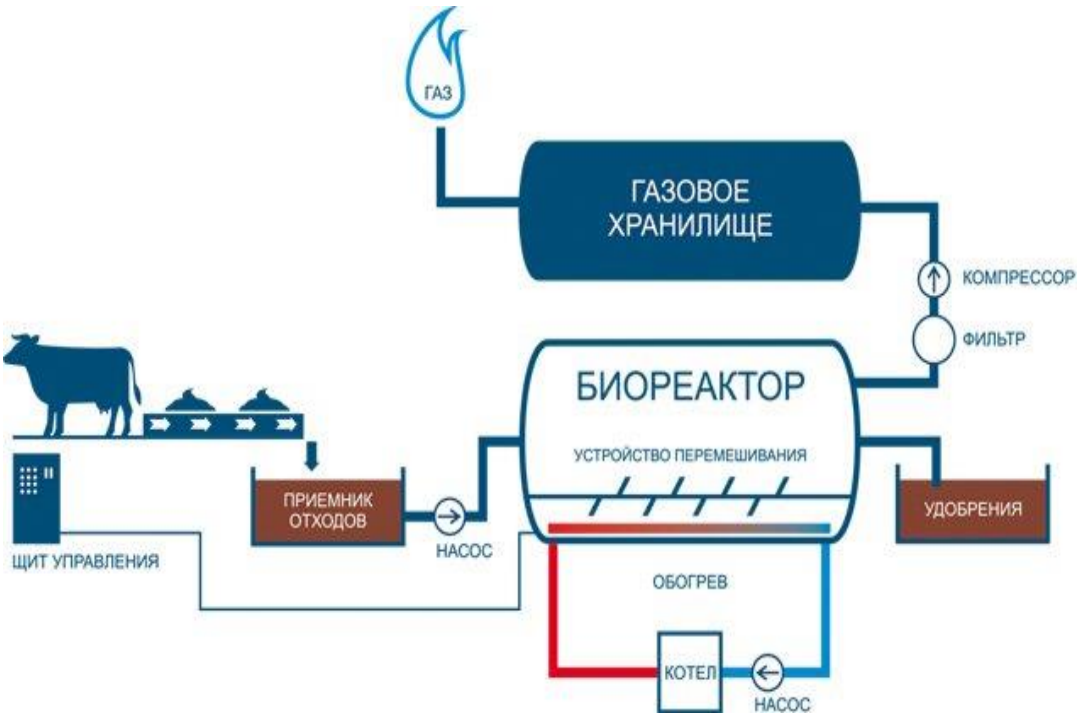
В Японии исследован процесс образования водорода из метана при сбраживании рисовой соломы, кухонных отходов, лошадиного навоза и метанового ила. Исследователи Великобритании изучили процесс образования водорода с помощью использующих метан бактерий *Methylomonas alvus, Methylosinus trichosporium*.

Производство биогаза в процессе метанового брожения широко распространено в мире. За счет конверсии отходов системой метаногенеза может быть получено условное топливо, измеряемое миллиардами тонн. Оставшуюся в результате метановой ферментации биомассу можно использовать как удобрение. Переработка отходов за счет метанового брожения — наиболее экономичный и эффективный метод очистки территорий, прилегающих к животноводческому комплексу. Более 30 лет работают биореакторы на получение очищенного метана. Разрабатываются в основном методы очистки биогаза от примесей.

Для получения газа во Франции городские отходы подвергают ферментации в смеси с водорослями. Производительность таких установок составляет 421 л газа на 1 кг органического вещества. Газ содержит 60% CH_4 и 40% CO_2.

Большой производительностью по метану обладают разработанные в США биореакторы, использующие магнитотаксисные бактерии. В конструкцию биореактора включают устройство для создания внутреннего локального магнитного поля, привлекающего магнитотаксисные бактерии. Бактериальные продуценты биогаза мигрируют в область магнитного поля, концентрируются в окружающей зоне биореактора и не вымываются из него при вводе свежих порций органических отходов и удалении остатков.

Показана целесообразность добавок целлюлозосодержащих материалов в качестве косубстрата при осуществлении анаэробной ферментации свиного навоза в биогаз. Оптимальная концентрация целлюлозы в составе субстрата (навоз с содержанием сухих веществ 2,8—3,0%) — 40 г/л, выход биогаза — 0,6 л на 1г целлюлозы.



Технология получения молочной кислоты разрабатывается в Санкт-Петербургском государственном университете. Используются нетрадиционные источники углерода или отходы и побочные продукты пищевой и перерабатывающей промышленности и сельского хозяйства. Эффективные штаммы бактерий рубца животного ферментируют различные крахмалсодержащие субстраты с выходом молочной кислоты.

Рекомбинантный штамм дрожжей, содержащий ген лактатдегидрогеназы *(ldh*), в больших количествах может продуцировать молочную кислоту. При производстве молочных продуктов (сыра, творога) в процессе получения белкового сгустка из молока выделяется молочная сыворотка, которая содержит 50% сухих веществ молока. Молочная сыворотка — нестойкое сырье, которое необходимо либо немедленно использовать, либо законсервировать. Используют ее для добавления в корма, получения напитков и лактозы, обогащения пищевых продуктов и полуфабрикатов, а также в качестве питательной среды для микроорганизмов при получении молочной кислоты, спирта, кормовых дрожжей и др. По статистическим данным. 48—88% получаемой во всем мире сыворотки идет на корм скоту, 0,5—4,0% — на технические и 7—52% — на пищевые цели.

Состав молочной сыворотки заметно варьирует в зависимости от качества исходного сырья, характера готового продукта, способа отделения белка (сквашивание, ферментный способ). Наличие в сыворотке легкоусвояемых источников углерода (лактоза — молочный сахар, в меньших количествах — глюкоза, галактоза и др.) и ростовых веществ

позволяет считать ее перспективным сырьем в биотехнологических процессах.

На молочной сыворотке можно выращивать поверхностным и глубинным способами микроскопические грибы (*Penicillium rogueforti, Rhizopus oligosporus, Morchella* и др.). В Канаде разработан способ выращивания культуры сморчков с выходом биомассы гриба около 25—26 г/л. Известны способы получения кормовых биомасс на основе смешанной культуры микроскопических грибов и бактерий (*Lactobacterium, Pseudomonas, E. coli, Candida utilis, Brettanomyces anomalis* и др.). При культивировании дрожжевых микроорганизмов на сыворотке необходимо внесение дополнительных источников азота в виде мочевины, сернокислого аммония и аммиака в количестве до 1%, что способствует повышению содержания белка в дрожжах в 2-4 раза.

Получение спирта-сырца из отходов. Просеянные и измельченные отходы в количестве 6—8% сухого вещества от рабочего объема вместе с питательными солями и водой стерилизуют, что позволяет одновременно запарить сырье и деаэрировать питательную среду. Подают засевной материал из инокулятора в количестве 15—20% от рабочего объема. Ферментацию продолжают семь суток при периодическом перемешивании и pH 5,0. В ходе ферментации периодически создают вакуум (46,1 кПа) для отделения и конденсации паров этанола (спирта-сырца). В зависимости от степени конверсии углеводных фракций субстрата предусматривается замкнутый цикл непереработанного сырья. По окончании ферментации твердый осадок отделяют от жидкости и используют в качестве удобрения или структуратора почвы. Культуральную жидкость направляют в инокулятор для дальнейшего наращивания биомассы бактерий. Спирт-сырец отправляют на дальнейшую очистку ректификацией.

Биоконверсия теоретически позволяет получать спирт при рентабельности 65—70%. При ферментации древесных опилок с содержанием лигнина 22% с учетом 86%-ной (минимальной) степени конверсии углеводной части сырья выход этанола составляет 28,7% от исходного количества сырья. Для ферментации соломы теоретический выход этанола — 32,6% от исходного сырья; для пшеничных отрубей — 15,2%. Продолжительность ферментации при этом 7—10 суток (для опилок и древесных отходов).

В ФРГ получают этанол из растительных, сельскохозяйственных и пищевых отходов с помощью катализаторов, потребляя менее 1% энергии. Микроорганизмы полностью перерабатывают исходное сырье, побочные

продукты (витамины, белки, биологические удобрения) разделяют на ионообменниках.

Для обеспечения стабильности ассоциаций микроорганизмов разработаны различные комбинации (например, одна из них: *Clostridium, Thermoanaerobium* и *Thermonaerobacter*) и методы их хранения, выбор рабочей смешанной культуры бактерий в зависимости от вида целлюлозосодержащего сырья и типа целевого продукта.

Кроме того, для ферментации отработаны режимы аэрации, способствующие суспендированию твердой фазы и активизации процесса, а дробная подача исходного субстрата в ферментационный объем повышает степень конверсии сырья на 50%.

Продукты термофильной переработки отходов животноводства кроме биокомпоста или органического удобрения могут быть использованы как бактериальные препараты защитного действия от фитопатогенов, кормовые добавки (премиксы) для пушных зверей, птицы, рыбы и др.