

ПРОИЗВОДСТВО НА ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ МИКРООРГАНИЗМИ

Хиляди години човекът е използвал естествено регенерираща се енергия. Тази енергия произхожда от слънчевата радиация . От 178 000 тера вата (TWa) - енергия на слънчевата радиация, която идва годишно върху Земята, само 475TWa е потенциално използваема. Частта на тази използваема енергия, която се съдържа в падащите чрез изпарение и рекондензация валежи, т. е. в течащи потоци и реки, възлиза годишно на 5TWa , а други 370TWa се падат на вятъра, вълните и морските течения. Освен това 100 T W а от слънчевата енергия се пренасят чрез фотосинтеза в органичното вещество на висшите растения, водораслите и бактериите. Много малко от употребимата от човечеството енергия, произлиза от споменатите възобновими източници. Останалите потребности се покриват от невъзстановими източници, т. е. от въглища, нефт, природен газ или ядрена енергия. Получаването на енергия чрез изгаряне от първите три първични енергоносители е свързано с познатите последствия: повишаване концентрацията на CO₂ в земната атмосфера и нейното загряване, изменения в климата, стопяване на много големи запаси от лед на Земята (28.10 6 km³) и повишаване морското равнище на океаните с 60 м. На фона на тези последствия, както и на трудностите да се замени получаването на енергия от фосилни източници с ядрена или слънчева енергия, биотехнологичното получаване на енергия от растения или водорасли придобива нарастващо значение. Накратко следва да се отбележи, че необходимият органичен материал за биотехнологичното добиване на енергия, доколкото той се създава чрез фотосинтезата при висшите растения, може да се осъществи на селскостопанската обработваема площ на –

Енергийни потоци върху нашата планета

Земята само в конкуренция с производството на хранителни продукти. Това важи също и за разширяване на използваните от селското стопанство площи, които са ограничени по своя капацитет и следва да бъдат съхранени за средата на следващото столетие, за изхранването на вероятно 10 милиарда население. С енергийни стопанства, в които този органичен материал трябва да бъде произведен с бързо растящи растения, могат да се произведат енергийни източници, като метан, етанол. За общата консумация на енергия от човечеството, биотехнологичната продукция на енергия може да даде една малка, но вероятно важна част. Прякото използване на слънчевата енергия по биотехнологичен път, се основава върху предимствата на отработените от десетилетия и овладени технологии за етанолова и метанова ферментация.

1. АНАЕРОБНО ПРОИЗВОДСГВО НА ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ МЕТАНОВА ФЕРМЕНТАЦИЯ

Процесът на минерализиране, свързан с метановата ферментация, е важен етап от кръговрата на веществата в природата. Участващите в процеса бактерии се намират в слоевете от тиня на реки, езера и морета, в блата и мочурища, както и в търбуха на преживните животни. В бележките на Роберт Бойл и Денис Папен (1682) е описано образуването на газ, което се наблюдава при всяко анаеробно разграждане на органичен материал. Един век по-късно (1776) Алесандро Волта откри, че отделящият се от блатата газ гори. Измина още един век, докато стана известно, че микроорганизмите са причината за образуване на газ (Бекамп, 1868).

Чрез метановата ферментация органичният материал е подложен на минерализиране, при което се получава метан и въглероден диоксид. Само една малка част от енергийното съдържание на разграждащото се органично вещество се употребява за растежа на клетъчната маса на участващите в процеса микроорганизми, по-голямата част от енергията

остава запазена в метана. Поради това биотехнологично произвежданият метан е точно като природния газ - един газообразен носител на енергия, чието енергийно съдържание може да се направи използваемо чрез изгаряне, както при дървата, въглищата или нефта.

1. 1. Микробиология и биохимия на метановата ферментация

Съобразно опитите на различни учени (1906) ферментацията на органичен материал, като целулоза, до метан е едностъпален процес. Процесът според тях е катализиран от един единствен бактериален вид, който бе наречен *Bacillus methagement*. Баркър (1956) извежда от своите опити, провеждани от 1940 г., двустъпален модел на метанова, ферментация. Съгласно този модел въглехидратите, мазнините или белтъците се разграждат в един първи етап от неметанови бактерии до алкохоли, мастни киселини, CO_2 и H_2 . От своя страна, през втория етап те се преобразуват от метановите бактерии до метан. Един от изолираните бактериални видове, който катализира втория етап на ферментацията, Баркър назова *Methanobacterium omelianski*.

Въз основа на по-късно откритие, че този вид е в действителност смесена култура от бактерии, образуващи водород, и от бактерии, консумиращи водород и произвеждащи

метан, Браянт (1977) постулира тристъпален модел, при който вторият етап от модела на Баркър бе разделен на два.

Според представения от Браянт модел в първия етап на разграждане хидролитичните бактерии разграждат изходния субстрат до мастни киселини и алкохоли. Във втория етап ацетогенните бактерии довеждат продуктите от първия етап до използвана форма за метановите бактерии. В хода на втория етап, от една страна, участват облигатни водородобразуващи ацетогенни бактерии, които образуват водород и въглероден диоксид, а успоредно с това и оцетна киселина. От друга страна, във втория етап участват и хомо-ацетогенни бактерии, които свързват образуваните от облигатните водородобразуващи ацетогенни бактерии продукти H_2 и CO_2 отново в оцетна киселина. Включените в третия етап метанови бактерии образуват метан от H_2 и CO_2 или от оцетна киселина.

Предложението от Баркър и разширен от Браянт модел на метанова ферментация (по Braun, 1982)

В първия случай, CO_2 действа като водороден акцептор на метановата ферментация, в последния - CO_2 се отделя от оцетната киселина, а оставащият CH_2 -радикал е акцептор за водорода.

Протичащите в първата степен на метановата ферментация хидролитични процеси се катализират от широк спектър бактерии. При разграждане на скорбялата изглежда, че участват видове от *Clostridium*, но също така и представители на родовете *Bacteroides*, *Bacillus*, *Pseudomonas*

и
Micrococcus.

Протеолизата се осъществява от

Bifidobacterium,
Staphylococcus

, *Bacillus*,

но предимно от видове на

Clostridium.

Липо литичните бактерии могат да се идентифицират като видове от

Bacillus, *Alcaligenes*,

и
Pseudomonas.

Хомоацетогенните бактерии са между другите видове

Acetobacterium woodii

и

Clostridium acetii

.Самите метанови бактерии са подразделени въз основа на секвенцията на базите на РНК в 16 S-рибозомите в три групи, към които принадлежат общо 13 вида. Необходимите за редуцията на CO₂ редуциращи еквиваленти от мравчена киселина се доставят с участието на коензим F₄₂₀ (Co-F₄₂₀). Този коензим, намиращ се само при метановите бактерии, се редуцира чрез формиадехидрогеназата и в неговата редуцирана форма служи като субстрат за редукция на НАДФ⁺. CO₂ е свързан като карбоксилна група с един хипотетичен носител X и се редуцира в алдехидна група. При по-нататъшно редуциране до алкохолна група съединението се пренася върху специфичен за метановите бактерии коензим M (CoM) и се редуцира по-нататък до метилова група. От коензим M метиловата група се прехвърля върху метилкобаламин, структурно близък до витамин B₁₂, редуцира се до CH₄ и като такъв се освобождава. В случай на образуване на метан от ацетат, метиловият остатък (CH₃-) след декарбоксилиране се свързва директно за метил-кобаламин и се превръща в CH₄.

1. 2. Технология на метановата ферментация

Използването на метановата ферментация за производството на биогаз се развива в тясна зависимост от пречистването на отпадните води. Първите инсталации за биогаз са построени преди повече от 100 години, като са служили предимно за стабилизиране суспендирането на твърдите вещества, без да е бил използван полученият газ. Използването на получения метан започна през 1922 г. в Германия.

От 1927 г. започва използването на биогаз за задвижване на неподвижно фиксирани мотори, а от 1937 г. също за мотори на превозни средства. През 1939 г. в Германия е имало осем станции за зареждане с биогаз. Днес произвежданият в пречиствателните съоръжения метан, доколкото той не се употребява непосредствено за отопление на биогазови реактори и за повишаване температурата на процеса, в повечето случаи се изгаря. Излишен газ се получава всъщност главно в топлиите сезони на годината, в които той не се продава като употребим носител на енергия.

Различават се нехомогенни и хомогенни биогазови реактори. Нехомогенният биогазов реактор наподобява гниещ, органичен пласт, покрит от анаеробен воден пласт, който може това да се види на дъното на силно еутрофизирани езера.

Типично китайско малко газово съоръжение с включен газов резервоар, вградено в земята.

Метанообразуващото съоръжението се зарежда в промеждутъци от половин година със смес от човешки и животински екскременти, съдържащи целулозни отпадъци, трева и вода. Ако през време на ферментацията налягането на газа се понижи, тогава се добавя субстрат в промеждутъци от няколко дни. Образуването на метан протича в гниещия слой на дъното на реактора (нехомогенен биогазов реактор). В хомогенните биореактори системата се разбърква чрез механично, пневматично или хидродинамично внасяне на енергия и с това се предизвиква много по-силна продукция на газ.

Нехомогенните биогазови реактори от много прост тип се използват в голямо количество в Китай . Само между 1975 и 1978 в Китай са били изградени приблизително около 7 милиона такива малки биогазови съоръжения, които са служили за снабдяване с газ на отделни семейства. Тъй като такива реактори се обслужват лесно и се повреждат малко, те са особено подходящи за приложение в развиващите се страни.

В Индия има също така изградени голям брой биогазови инсталации с по-напреднала технология . В студените области на Индия за повишаване на газовата продукция тези съоръжения са снабдени с приспособление за отопление, вкл. за разбъркване и рецикулация. Времето за престояване на ежедневно добавяния субстрат възлиза на 25 дни, а продукцията на газа е 0,4 m³ биогаз дневно на всеки m³ работещо реакторно пространство.

Типично индийско биогазово съоръжение.

Освен усъвършенстваните за почистване на отпадни води класически биогазреактори в западните индустриални държави има съоръжения, които са предназначени за получаване на оптимална продукция от биогаз. Оптимизиране на продукцията на биогаз се постига на първо място чрез съкращаване времето за престояване на субстрата в биореактора. Колкото по-дълго е времето за престояване, толкова по-голям следва да бъде обемът на използвания биогазреактор който се употребява за разграждане на дадено количество органичен материал. Времетраенето на субстрата в биореактора и рентабилността на метода се отнасят помежду си обратнопропорционално. Съкращаването на престоя на субстрата в реактора се

постига на първо място чрез повишаване концентрацията на действащите организми.

Изхождайки от пречистващото гниене на органичните отпадъци, днес до метан ферментират предимно селскостопански отпадъци. Докато преди органичните отпадъци се използваша за наторяване на селскостопански площи, днес това повече не е възможно, тъй като чрез интензивното животновъдство съществува неправилно съотношение между животновъдството и площите, използвани за нуждите на селското стопанство. Различният произход на естествения оборски тор вследствие различното съдържание на въглерод и азот е причина той да бъде нееднакво подходящ за ферментиране до метан. Съотношението на въглерода и азота в субстрата (C/ N -съотношение) не бива да бъде по-ниско от 16/1 и не по-високо от 45/1. Едно твърде ниско съотношение C/ N означава високо съдържание на азот, от излишъка на азота се получава амоняк. При твърде високо съотношение на C/N, което е равнозначно на недостиг на азот, наличният въглерод не може да бъде пълноценно използван. Съотношението C/ N при свинските фекалии е 10/1, при естествения тор - 20-40/1 (в зависимост от вида на тора е количеството на сламата). За да се осигури оптимално съотношение на C/ N на ферментационния субстрат, е необходимо да се смесват изпражненията със слама, което е невъзможно за предприятия с интензивно животновъдство, произвеждащи само един от тези субстрати (твърд или течен тор).

Свинските фекалии са по правило добър субстрат, който се използва от 40 години за ферментация до метан. Говеждите изпражнения са проблематичен субстрат, тъй като са инокулирани от метаногенната микрофлора на търбуха в преживните и са вече частично разградени. Една част от потенциалния въглерод е ферментирала до метан преди ферментацията в биореактора.

Отпадните води и утайката, останали след метановата ферментация като отпадък, могат да се използват за наторяване на селскостопански обработваеми площи..

Освен селскостопанските отпадъци в бъдеще на метанова ферментация ще се подлагат бързорастящи полезни растения, ако се налага производството на метан като енергоносител в енергийни ферми. По отношение ферментирането до алкохол ,метановата ферментация е енергетично по-благоприятна, тъй като енергоносителят метан се отделя от биотехнологичния процес непосредствено като готов продукт, без да е необходима допълнителна енергия за дестилация, както трябва при етаноловата ферментация . Освен това практически е възможно всеки растителен суровина или отпадъчен материал да бъде подложен на метанова ферментация, докато за етаноловата ферментация могат да се използват само съдържащи захар или скорбяла

субстрати, т.е. много високо стойностни и скъпи материали.

2. АЕРОБНО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ КОМПСТИРАНЕ

За анаеробно протичащата метанова ферментация се използват като субстрати отпадни продукти от селското стопанство, битови или промишлени отпадни води. Твърдите битови отпадъци биха могли също така да бъдат подложени на метанова ферментация. При това раздробените отпадъци следва да бъдат смесени със значителни количества вода. Проблемът за отстраняване на твърдите отпадъци става проблем за отстраняване на отпадни води. Поради това се предпочита биотехнологично преработване на твърдите отпадъци, съдържащи средно 47 % органични съставки, но не като метанизиране, а под формата на компостиране на тези отпадъци на определени места.

Във Германия през 1985 г. е трябвало да бъдат отстранени 29. 10 6 т отпадъци (битови и промишлени). Само 2% от тях са компостирани, 28 % са били изгорени и 70 % са складиращи в сметища. Основанията за въздържане от компостиране на големи количества отпадъци се обясняват с големите разходи (50 до 150 €/t.). Рентабилността на компостирането на отпадъци би могла да се подобри, ако се използва не само крайният продукт компост, а и топлинната енергия, получена при процеса.

В Южна Франция фермерът Жан Пен произвежда цялото количество енергия за неговата ферма с помощта на биотехнологията.

От естествен извор докарва до средата на компоста вода, която напуска компоста с температура 60-80 °C. По този начин се покрива потребността от топла вода за къщата и оборите. Средата на компоста се зарежда предимно с дървен материал от граничните гори. Една част от материала се подлага на анаеробна ферментация до метан, който се използва за отопление и движение на трактора и леката кола. По подобен начин при компостиране на отпадъци в Дания получената топлина се използва за загряване на оранжерии. С тези примери са обхванати възможностите за приложение на такова „биоотопление“. Тъй като получената топлинна енергия може да се транспортира само при значителни технически средства, получената чрез компостиране топлина трябва да бъде употребена на самото място.

Компостирането е аеробно протичащ екзотермичен процес, при които високомолекулни органични вещества (целулоза, скорбяла, лигнин, белтъци, мазнини) се минерализират, т.е. разграждат се до CO_2 и H_2O и отчасти амоняк

Образуване на енергия и отделяне на топлина при разграждане на глюкоза

Освободената при това енергия се използва в малка част за запазване клетъчните функции на микрофлората на компоста, в т.ч. и за изграждане на нови клетъчни вещества. По-голямата част от освободената енергия се отделя като топлина наоколо. Поради това компостирането се придружава винаги от самозагриване на струпания материал. Например при разграждане на глюкозата до CO_2 и H_2O 70 % от освободената енергия може да се превърне в топлина. Глюкозата се получава при хидролиза на целулозата и скорбялата.

ПРОИЗВОДСТВО НА ВЪГЛЕВОДОРОДИ

От 1978 г. се изследва наличието в сока на някои видове растения (по-точно млечкови) на въгледороди, които могат да заместят нефта като източник на суровини за нефто-химичната промишленост. Концентрацията на тези въгледороди обаче е ниска в сравнение с теглото на цялото растение и използването им се оказва нерентабилно; няма и достатъчно насаждения от тези растения.

Един вид едноклетъчно водорасло — *Botryococcus braunii*, обаче предлага интересни перспективи: въгледородите представяват 15 — 75% от теглото на сухото му вещество. Това сладководно или слабосоленоводно водорасло се среща в области с умерен и тропичен климат, където размножаването му във водните площи може да бъде изключително голямо. То съществува в две форми, които се различават по пигментацията (зелена и червена) и по строежа на синтезираните въгледороди. Зелената форма съдържа линейни въгледороди с нечетен брой въглеродни атоми (25—31), бедни на двойни връзки; в червената форма въгледородите са с 34—38 въглеродни атома и имат много двойни връзки. Въгледородите се натрупват в клетъчната стена по време на фазата на растеж. Те могат да се извличат чрез центрофугиране, без да се унищожават клетките, които могат да бъдат поставени обратно в културалната среда. Чрез променяне на условията за култивиране (температура, осветяване) и състава на средата (минерални соли) френски учени успяха да удвоят количеството водораслова биомаса за два вместо за седем дни; 35% от

сухото вещество на клетките беше съставено от въглеродороди. Това се равнява на 0,09 г въглеродороди от 1 дм³ културална среда дневно или на 60 тона от хектар годишно от водораслова култура, отглеждана в условията на естествена или изкуствена водна площ.

Съставът на произвежданите от *V. braunii* въглеродороди е такъв, че те могат да се използват като енергиен източник или като суровини за нефтохимията (направо или след преработване).

Трябва да се решат още много проблеми, преди да се премине към използването на тези въглеродороди в промишлен мащаб; изясняване ролята на бактериите, които съжителствуват с водораслото, като някои от тях подпомагат получаването на въглеродо-родите; борба срещу конкурентните видове водорасли и срещу паразитите в естествени условия. Съществени са също така и затрудненията от икономически характер и френските учени смятат, че въглеродородите от водорасли трябва да се използват при получаването на вещества, за които цената на суровината не е решаваща (напр. фармацевтични или козметични продукти) .