تحلیلی بر
فرآیند تجزیه بیهوازی
و
فعالیت میکروارگانیسمهای مؤثر در آن

بیژن بینا - مرضیه وحید دستجردی

تجزیه بیهوازی عبارت است از تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در غیاب اکسیژن آزاد. در طی این فرآیند مواد آلی در غیاب اکسیژن تخریب ، و به متان و دی اکسید کربن و مقداری هم گازهای دیگر تبدیل می‌شوند. بر اساس یک نظر کلی تخریب اساساً در دو فاز صورت می‌گیرد که در فاز اول ماده آلی توسط باکتریهای اسید ساز به اسیدهایی با زنجیر کوتاه تبدیل می‌شود و در فاز دوم اسیدهای حاصل توسط باکتریهای مولد متان ، به متان و دی اکسید کربن تبدیل می‌شوند. لازم به ذکر است که نظریه جدید در رابطه با تخریب مواد آلی شامل چهار مرحله می‌باشد که در مورد آن بحث خواهد شد.

به دلیل حساسیت زیاد باکتریهای مولد متان نسبت به اکسیژن ، در گذشته اشکالات مکرری در عمل هضم بوجود آمده است. لیکن امروزه با توجه به افزایش آگاهی در رابطه با عوامل جلوگیری کننده عمل هضم و نیز کنترل بهتر در رابطه با تخلیه فاضلابهای صنعتی و نیز وجود تکنیکهای عملی و طرح هاضمهای تأیید شده روش تجزیه بیهوازی مورد توجه قرار گرفته است .

هدف از تجزیه بیهوازی

همانطوری که ذکر شد در تصفیه بیهوازی مواد آلی تخریب شده و دی اکسید کربن ،متان و بیوماس توسط باکتریها تولید می‌شود که با ایجاد شرایط صحیح می‌توان فعالیت میکرواورگانیزمهای درگیر را بهینه کرد.

در تصفیه بیهوازی کاراصلی حذف ترکیبات کربنه می‌باشد و این تخریب به منظور دو هدف کلی صورت می‌گیرد:

۱- حفظ سلولهای قابل زیست و سالم

۲- سنتز مواد سلولی جدید(رشد)

بنابراین تخریب مواد آلی نه تنها محصولات حاصل از تخریب شیمیایی را تولید می‌کند بلکه بیوماس هم ایجاد می‌کند که تولید آن در سیستمهای بیهوازی بین ۱۵٪-۱٪ (W/W) کیلوگرم بیوماس بر کیلوگرم سوبسترا (ماده غذایی) متغیر است . تولید هر یک از محصولات مذکور می‌تواند تحت تأثیردرجه حرارت ، زمان ماند ، pH ، نوع و غلظت سوبسترا قرار بگیرد.

مزایای تجزیه بیهوازی عبارتند از:

تشکیل متان بعنوان گاز سوختی ، عدم نیاز به اکسیژن و دستگاههای هواده ، پایین بودن میزان لجن تولیدی ، تثبیت مقدار زیادی از فاضلاب واحتیاج کم به مواد مغذی .

عیوب روش تجزیه بیهوازی عبارتند از:

کنترل عملی و مسایل نگهداری ، نیاز حرارتی ، کیفیت کفآب[1].

تجزیه بیهوازی لجن فاضلاب عموما درکارهای متوسط و بزرگ (بیش از ۳۰۰۰۰نفر) بکار برده می‌شود و اگر بتوان ازگاز تولید شده بعنوان منبع انرژی استفاده نمود، جاذبه این روش بیشتر می‌گردد. علاوه بر این توسعه هاضمهای پیش ساخته امکان تولید نیرو را درکارهای کوچک و حتی روستاها بوجود می‌آورد و بنابراین استفاده از این روش در روستاها هم اقتصادی می‌باشد.

توضیح کلی فرآیند

مطالعات قبلی در زمینه تجزیه بیهوازی به شناخت سه مرحله : هیدرولیز پلیمرهای محلول ، تخمیر محصولات حاصل به اسیدهای آلی فرار و ایجاد متان منتج شده بود ولی اخیراً با مشاهده اینکه باکتریهای متانی قادر به استفاده از طیف محدودی از مواد می‌باشد نظریه چهار مرحله‌ای هضم بیهوازی مطرح شده که در آن در حد فاصل تخمیر و ایجاد متان مرحله تشکیل استات و هیدروژن از اسیدهای آلی فرار (مرحله استوژنیز) وجود دارد و در نتیجه این فرآیند ابتدا مواد آلی تحت عمل آنزیمهای هیدرولیتیک هیدرولیز شده یعنی چربیها به گلیسیرول و اسیدهای چرب با زنجیر بلند، پروتئینها به آمینواسیدها و کربوهیدراتها به منوساکاریدها تبدیل می‌شوند سپس توسط باکتریهای اسید ساز (اختیاری) تخریب بعدی رخ داده و آمونیوم و اسیدهای فرار با زنجیر کوتاه از دآمیناسیون پپتیدها و آمینواسیدها از پروتئینها و اسیدهای فرار با زنجیر کوتاه خصوصاًاسید استیک از مواد دیگر حاصل می‌شوند. انباشته شدن از اسیدهای حاصل در این مرحله باعث پایین رفتن pH از ۷ به ۵ می‌گردد. در مرحله بعد توسط باکتریهای استوژنیک ابتدا اسیدهای فرار با زنجیر کوتاه و الکلها به استات ، دی اکسید کربن ، و هیدروژن تبدیل می‌شوند و سپس استات توسط باکتریهای کاملاً بیهوازی متان سازبه متان،دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌شود. بنابراین برای تخریب بیهوازی ماده آلی می‌توان چهار مرحله زیر را تعریف کرد:

۱- هیدرولیز : عبارت است از تبدیل مواد آلی به واحدهای کوچکتر. این کار عموماً توسط آنزیمهای بیرون سلولی صورت می‌گیرد چون مواد آلی دارای مولکولهای بزرگی می‌باشند که قادر به ورود به داخل سلول نیستند. لازم به ذکر است که بعضی از باکتریها آنزیم تولید کرده (تعداد کمی از آنها) و بقیه مولکولهای شکسته شده را تجزیه می‌کنند.

۲- تخمیر: دراین مرحله واحدهای کوچک ایجاد شده در مرحله قبل به اسیدهای چرب با زنجیر کوتاه(VFA)، گازها، دی اکسید کربن و هیدروژن و مقداری لاکتیک اسید و اتانول تبدیل می‌شوند.(دی اکسید کربن و هیدروژن در مرحله واسطه از تجزیه پیروات به وجود می‌آیند.

۳- تولید استات : دراین مرحله محصولات احیا شده حاصل از مرحله قبل تحت شرایط بیهوازی به اسید

۱- Supernatant

استیک ، دی اکسید کربن هیدروژن اکسیده می‌شوند که ترکیبات حاصل سوبستراهای خوبی برای باکتریهای متانی می‌باشند. باکتریهای انجام دهنده این واکنش را باکتریهای استات ساز[1] می‌گویند.

۴- تولید متان : آخرین مرحله در تصفیه بیهوازی فاضلاب است و در حقیقت در آن دو نوع واکنش رخ می‌دهد که در طی آن دی اکسید کربن و هیدروژن به متان و آب و در دیگری استات به متان و دی اکسید کربن تبدیل می‌گردد.

$$CO_2+4H_2 \longrightarrow CH_4+2H_2O$$

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4+CO_2$$

فرآیند تجزیه بیهوازی به صورت یک زنجیره غذایی میکروبی در نظر گرفته می‌شود که در آن محصولات دفع شده توسط هر دسته از باکتریها، توسط گروه دیگر جذب می‌شود. در هضم بیهوازی ، متان حاصل از استات دو برابر متان تولید شده از احیای دی اکسید کربن است. شرایط عمل مانند pH ، درجه حرارت ، زمان ماند ، غلظت سوبسترا و غیره ...در تجزیه بیهوازی مورد اندازه‌گیری می‌باشند. چون هر تغییر شیمیایی یا بیولوژیکی ، واکنش جمعیتهای میکروبی را در پی خواهد داشت و ممکن است تغییراتی در سوخت و ساز باکتری در خلال تغییر آنزیمی یا رشد یا تخریب متابولیکی فعال بخشهایی از جمعیت ایجاد کند.

میکروبیولوژی هضم بیهوازی

برای تکمیل تبدیل مواد آلی به CO_2 و CH_4 فعالیت متابولیکی هماهنگ یک رآکتور بیهوازی لازم است. سه نوع باکتری در این فرآیند نقش دارند: ۱- باکتریهای هیدرولیز کننده ۲- باکتریهای تخمیر کننده ۳- باکتریهای تولید کننده متان .

از این تعداد باکتری تعدادی بیهوازی اختیاری و تعداد بیشتری بیهوازی هستند .

هدف از مطالعه میکروبیولوژی هضم بیهوازی

هدف از مطالعه میکروبی بیهوازی تثبیت کاربرد های عملی فرآیند برای تصفیه فاضلابهای صنعتی و دیگر فاضلابها می‌باشد.انجام آزمایشات در رابطه با گروههای خاص، روابط پیچیده و فازهای زیادی که در یک سیستم بیهوازی وجود دارد، بینشی در رابطه با مکانیزمهای بیهوازی بدست می‌دهد. لازم به ذکر است که جنبه‌های دیگری از تحقیق برای تفسیر کاملتر سیستمهای تجزیه بیهوازی و مزایای آن هنگامیکه برای تثبیت فاضلابهای سمی بکار برده می‌شوند ، مورد نیاز می‌باشد.

میکرواورگانیزمهای بیهوازی

یکی از دلایل اصلی برای اندک بودن اطلاعات در زمینه مراحل مختلف هضم بیهوازی مشکل بودن کشت میکرواورگانیزمهای مطلقاً بیهوازی می‌باشد .

اکسیژن مولکولی در اثر واکنش با اجزاء سلولی مختلف به فرم خیلی سمی وH_2O_2 و آنیون سوپر اکساید تبدیل می‌شود. هنگامیکه H_2O_2 آنیونهای سوپر اکساید به طور خارج سلولی واکنش می‌دهند، رادیکالهای هیدروکسیل از جمله اکسیدانهایی هستند که تشکیل می‌شوند . اکسیژن تنها[2] یکی دیگراز آسیب زنندگان به سلول است که از واکنش رادیکالهای هیدروکسیل و آنیونهای سوپر اکساید تشکیل می‌گردد. سلول باکتریایی در مقابل این پتانسیل کشنده معرفها بوسیله آنزیمهای Superoxide Dismutase (SOD) ،کاتالاز و پراکسیداز محافظت می‌شوند. زمان بقای تعدادی از میکرواورگانیزمهای بیهوازی مورد بررسی قرارگرفته ومعلوم شده محدوده این زمان از ۴۵ دقیقه برای Peptostre Peptococcus Anaerobius تا بیشتراز

۱ - Acetogen

۲- Single

۷۲ ساعت برای گونه کلستریدیوم پرفرژنس می‌باشد.

موازنه غذایی در هاضمهای بیهوازی

فرآیند هضم نیازمند محیطی مناسب برای رشد میکرواورگانیزمهاست که این محیط باید حاوی منابع انرژی ،کربن ،نیتروژن و عناصر نادر و یونهای دیگری مثل سولفور برای بیوسنتز باکتریایی باشد. معمولاً جریان فاضلاب دارای این مواد غذایی می‌باشد مگر اینکه فاضلاب دارای طبیعت ویژه خاصی باشد. در فاضلاب منبع اصلی نیتروژن ، آمونیاک موجود در فاضلاب یا نیتروژن حاصل از هیدرولیز پروتئینها و آمیناسیون آمینواسیدها و یا نیتروژن حاصل از هیدرولیز ترکیبات نیتروژنه غیر پروتئینی مثل اوره می‌باشد.

کربن لازم از کربوهیدراتها، دی اکسیدکربن و اسیدهای چرب فراهم می‌شود. و در رابطه با نسبت C/N در فاضلابهای حیوانی که مقادیر افزایش N زیاد است این نسبت را باافزایش یک ماده فرعی کنترل می‌کنند(مثلاً با افزایش نشاسته). به نظر میرسد در این سیستم نیاز به فسفر کم باشد بنابراین محتوای فسفات فاضلاب بعضی از کارخانجات ممکن است باعث محدودیت رشد باکتریها شوند. میزان نیاز به سولفور هم در یک رآکتور بیهوازی مانند نیاز به فسفر است . همچنین برای فرآیند هضم بیهوازی عناصری مثل آهن ، نیکل ، منیزیم،کلسیم ، باریم و کبالت لازم است .

طبیعت باکتریهای هضم کننده

جریان فاضلاب معمولاً دارای منبع اولیه میکروبی برای فرآیند هضم می‌باشد که همانگونه که ذکر شد این میکرواورگانیزمها اختیاری و اجباری می‌باشند. در صورتیکه در سیستم به دلایلی از روی بی توجهی اکسیژن ایجاد شود میکرواورگانیزمهای بیهوازی اختیاری آنرا برای مصرف و سبب تثبیت Eh می‌شوند (تنظیم Eh برای فعالیت متانوژنها لازم است برابر ۳۰۰mv-). در فلور موجود در رآکتور در مقایسه باگروه بیهوازی اختیاری تعداد بیشتری از میکرواورگانیزمهای بیهوازی برابر هستند که تعداد آنها ۱۰۰-۱۰ برابرتعداد اختیاریها گزارش شده و علت آن را به پایین بودن Eh نسبت می‌دهند.

در هر صورت میکرواورگانیزمهای یک سیستم بیهوازی تحت تأثیر منبع تغذیه رآکتور می‌باشند و ترکیب جریان ورودی، درجه جمعیتهای میکروبی که در طول سیستم توسعه می‌یابد را مشخص می‌کند و بهر حال در طی‌وقوع یک فرآیند بیهوازی گروههای هتروژنی از میکرواورگانیزمها بطور متوالی ظاهر می‌شوند تا اینکه سیستم به ثبات رسیده و گروههای مختلف به نسبتهای نهایی خود برسند.

باکتریهای هیدرولیز کننده

به علت اینکه پلیمرهای بزرگ و نامحلول نمی‌توانند به داخل سلول باکتری منتقل شوند، عمل هیدرولیز در خارج از سلول انجام می‌گیرد و در نتیجه هیدرولیز لیپیدها،پروتئینها و کربوهیدراتها یک واکنش آنزیمی بیرون سلولی است .همانطورکه ذکر شد در تجزیه بیهوازی بعضی از باکتریها آنزیم تولید می‌کنند و بقیه باکتریها مولکولهای شکسته شده را تجزیه می‌نمایند. بنابراین کار آنزیمهای هیدرولیزکننده مثل لیپازها،پروتئازها و سلولازها تخریب مولکولهای پیچیده به واحدهای قابل استفاده برای سلولهای میکربی دیگراست .

در فاضلابهایی که پلیمرهای آلی جزء تشکیل دهنده اصلی هستند باکتریهای هیدرولیزکننده و آنزیمهای آنها در درجه اول اهمیت قرار دارند چون در اثر فعالیت آنها مواد غذایی ساده‌تر برای مراحل بعدی تخریب تولید می‌شود.

مکانیزم هیدرولیز لیپیدها کاملاً شناخته نشده ولی به نظر می‌رسد آنزیمهای لیپاز مسبب این فرآیند، عمل Micrococci Clostrida باشند که به تری گلیسیریدها حمله کرده و اسیدهای چرب و گلیسیرول تولید

می‌کنند. درکشت مخلوط باکتریها پروتئازها روی بعضی از لیپازها اثر بازدارندگی دارند.

تعداد باکتریهای لیپولیتیک به میزان 10^5-10^4عدد در میلی لیتر هاضم گزارش شده و تکنیکهای غنی سازی منجر به جداسازی میکرواورگانیزمهای لیپولیتیک شده است . همچنین تعداد 10^6- 10^4 باکتری پروتئولیتیک شامل :

Cl.Butricum-Cl.Titasbudrense

Cl.Bifermentas

Cl.Mangentii-Cl.Perfrigens-Peptococcsu

Anaerrobias- Stapjylococcud Aurea

در میلی لیتر هاضم گزارش شده‌اند همچنین وجود باکتریهای دیگری وابسته به گونه‌های

Carcina,Bacteriods,Propioni Bacterium

گزارش شده‌است .آنزیمهای باکتریهای هیدرولیزکننده در محدوده pH= ۵-۱۱ پایدار بوده و دارای فعالیت بهینه متفاوتی می‌باشند. برای مثال آنزیمهای پروتئولیتیک استرپتوکوکسیها(پروتئازها) در pH=۵-۸ فعال می‌باشند. در یک کار تحقیقی بیشتر باکتریهای پروتئولیتیک جدا شده علاوه بر فعالیت اصلی خودشان قادر به هیدرولیز کربوهیدراتها وایجاد اسید بودند که بیانگر وجود تنوعی از باکتریهای هیدرولیزکننده در هاضم بیهوازی می‌باشد که قادرند بیش از یک ماده غذایی را بشکنند و در نتیجه باید یک خاصیت انتخابی از خود نشان دهند.

در مورد هیدرولیز پلی ساکاریدهای فیبری اگر چه روشهای تخریب کاملاً شناخته نشده‌اند ولی وجود یازده نوع باکتری مزوفیل سلولولیتیک [1] در یک هاضم حاوی فاضلاب خوک پیدا شده که همه آنها بجز یکی، گرم منفی و مطلقاً بیهوازی بوده‌اند و تعداد آنها برابر 4×10^5 عدد در میلی لیتر مایع هاضم گزارش شده‌است . همچنین باکتری سلولولیتیک[2] قادر به تبدیل سلولز به اتانول ، اسید استیک و قندهای قابل تخمیر می‌باشد. در هاضم بیهوازی علاوه بر باکتریهای سلولولیتیک ، میکرواورگانیزمهای تخریب کننده سلولز نیز در فاز اول هضم وجود دارند که دو نوع از آنها که در هاضم حاوی خوک پیدا شده عبارتند از :

Rumenbacteria Bacteroides Ruminicola و یک باکتری گرم منفی میله‌ای .

تکنیک غنی سازی محیط کشت به قصد روشن کردن جنبه‌های میکروبیولوژی و بیوشیمیایی فعالیت میکرواورگانیزمها به کار می‌رود.

از دیگر آنزیمهای هیدرولیزکننده آمیلازها هستند که حاصل فعالیت باکتریهای آمیلولیتیک مثل :

C.butyricum,Bacteroides SSP,

Bacillus subtitis, Lacto Bacillus SSP,

B,cereus, B.licheniformis,

می‌باشند. این باکتریها نشاسته ، گلیکوژن و پلی ساکاریدها را از طریق تقسیم هیدرولیتیکی حلقه‌های ۴ و۱- و ۶ و۱-گلوکوساید تجزیه می‌کنند.

تعداد باکتریهای آمیلولیتیک برابر 4×10^4 عدد در میلی لیتر محیط کشت گزارش شده است . از دیگر آنزیمهای هیدرولیز کننده پکتین می‌باشد که توسط بعضی از گونه‌های باسیلوس و کلستریدیم ساخته می‌شود مثل دکسترآنازها که حاصل گونه‌های باسیلوس می‌باشند.

اثربازدارندگی محصول نهایی در خلال هیدرولیز

عقیده بر این است که غلظت محصولات حاصل از هیدرولیز بر آنزیمهای هیدرولیتیک مربوطه اثر می‌گذارد. اگرچه مکانیزم این عمل هنوز شناخته نشده ولیکن معلوم شده که سنتز آمیلاز B.subtilis,B.licheniformis بوسیله گلوکز متوقف شده واگر سنتزآن توسط B.stearotheromphilus صورت بگیرد بوسیله فروکتوز متوقف می‌شود . همچنین سنتز آنزیمهای پروتئولیتیک به وسیله آمینو اسیدها تحت تأثیر قرارگرفته و متوقف می‌شود.

۱- Cellulolytic ۲- Cl. Thermocrllum

باکتریهای تخمیر کننده

همانطور که گفتیم مرحله تخمیر یکی از مراحل مهم فرآیند هضم بیهوازیست که در آن ترکیبات واسطه مهمی مثل استات ، پروپیونات ، بوتیرات ، کاپروات ، کاپریلات و والرات که از اسیدهای چرب با زنجیر کوتاه هستند، تشکیل می‌شود. در مرحله تخمیر، قندها به الکل تبدیل می‌شوند و از آمینواسیدها ابتدا پیروات بوجود می‌آید که در طی مراحل بعدی از پیروات ، لاکتات ، پروپیونات ،بوتیرات ، فرمات و استات و نیز دی اکسید کربن و ئیدروژن حاصل می‌شود که استات مهمترین آنهاست. (پروپیونات توسط معدودی از میکرواورگانیزمها در شرایط بیهوازی تجزیه می‌شود).

شکسته شدن آمینواسیدها در شرایط بیهوازی در اثر فعل و انفعالات بین باکتریهای متانوژن و باکتریهای تجزیه کننده آمینواسیدها صورت می‌گیرد و گزارش شده که آمینو اسیدها دراثر دهیدروژناسیون توسط متانوژنهایی که بعنوان گیرنده الکترون عمل می‌کنند، شکسته می‌شوند(بطور اکسیداتیو).

محصولات نهایی حاصل از آمینواسیدها، اسیدها و الکل می‌باشند که کاتابولیزم آنها توسط تعداد زیادی از میکرواورگانیزمهای بیهوازی اجباری و اختیاری صورت می‌گیرد و در شرایط بیهوازی کلستریدیا، مایکوپلاسما و استرپتوکوکسی مسئول دآمینه کردن آمینو اسیدهای ساده‌تر می‌باشند که توسط آنها آرژنین به آمونیاک CO2و ATP ، نیتین به استات و پروپیونات و بوتیرات و لیزین به استات و بوتیرات متابولیزه می‌شوند.

درجه حرارت ، pH ،ترکیب و کیفیت مواد غذایی جریان ورودی روی محصول نهایی در این مرحله اثر دارد. گونه‌های کلستریدیوم و Butri Bacterium با تخمیرمواد غذایی ایجاد استون ، بوتانول ، بوتیریک اسید و ایزوپروپانول می‌کنند. Cl.butricum ایجاد بوتیرات و Cl.Aceto Bactylicum ایجاد استون و بوتانول می‌کنند. در یک هاضم بیهوازی حاوی فاضلاب حیوانی باکتریهای تخمیر کننده لاکتات درحدود 3×10^{4} عدد در میلی لیتر مایع هاضم گزارش شده که لاکتات حاصل از فعالیت این باکتریها توسط احیاکنندگان سولفات مثل Desulfovibrio مصرف می‌شود. باکتریهای تولیدکننده لاکتات به دو دسته همو و هترو تقسیم می‌شوند که هر گروه بصورت زیر عمل می‌کنند:

$$\text{Glucose} \longrightarrow 2\ \text{Lactate}$$

$$\text{Glucose} \longrightarrow \text{Lactate} + \text{Ethanol} + CO_2$$

گروه همو شامل استرپتوکوکسی و لاکتو باسیل و گروه هترو شامل تعدادی از گونه‌های لاکتو باسیل و Leuconostoc می‌باشند. لازم به ذکر است که توسط بعضی از گونه‌های باکتری بجای اتانول استات تولید می‌شود. همچنین آنزیم سیترات لیاز(حاصل از بعضی باکتریهای لاکتیک اسید) سیترات را به استات و اگزالات تبدیل می‌کند که بعداً این اگزالات به دی اکسید کربن و پیروات تبدیل می‌شود.

$$3\ \text{Citrate} \longrightarrow \text{Lactate} + 3\ \text{Acetate} + 5CO_2 + \text{Diacethyl}$$

که دی استیل بوسیله آنزیم استوئین دهیدروژناز موجود در باکتری سازنده لاکتات به استوئین احیا می‌شود.

باکتریهای b - اکسیداسیون

استات که محصول اصلی تخمیر در هاضم بیهوازیست می‌تواند از طریق اکسیداسیون اسیدهای چرب نیز بوجود آید. اکثر اسیدهای چرب موجود در فاضلابهای حیوانی تری گلیسیریدها هستند که تجزیه آنها با آزادسازی یک مولکول استات و ترکیبات دوکربنه در هر واکنش از طریق b- اکسیداسیون می‌باشد. سیکل b-اکسیداسیون تا تجزیه کامل اسیدهای چرب اشباع ادامه می‌یابد که در این رابطه برای تبدیل اسیدهای چرب زوج کربنه (بوتیرات ، کاپروات ، کاپریلات) به استات و ئیدروژن وجود یک میکروارگانیزم بیهوازی به همراه یک متانوژن مصرف کننده ئیدروژن و یا یک

Desulfovibrio مصرف کننده ئیدروژن گزارش شده است . میکرواورگانیزم مذکور حداقل به تعداد $4/5\times10^{6}$ عدد برگرم هاضم بیهوازی گزارش شده که به همراه باکتری مصرف کننده ئیدروژن تجمع سینتروپیکی دارد.

میکرواورگانیزمهایی که از پروپیونات و بوتیرات و دیگر اسیدهای چرب سنگین اسید استیک تولید می‌کنند گروهی را تحت عنوان باکتریهای OHPA تشکیل می‌دهند. چون متانوژنها نمی‌توانند در مراحل اصلی ، اسیدهای چرب با زنجیر بلند را مصرف کنند، فعالیت باکتریهای OHPA لازم است . تخمین زده شده که ئیدروژن و استاتی که توسط این باکتریها ایجاد می‌شود سوبسترای ۵۴٪ از کل متان ایجاد شده در سیستمهای بیهوازیست . باکتریهای OHPA در برابر تغییرات pH مقاوم می‌باشند اما در pH خنثی بازده بیشتری دارند.

حذف ئیدروژن ایجاد شده توسط باکتریهای OHPA برای تجزیه اسیدهای چرب لازم است . مصرف ئیدروژن در یک سیستم کشت مثل هاضم بیهوازی ، فرآیندهای تخمیر را از تولید اسیدهای احیا شده واتانول به طرف تولید استات و ئیدروژن می‌کشاند و در نتیجه باقیمانده اصلی اسیدی در یک هاضم استات خواهد بود که باقیمانده آن به زمان ماند سیستم بستگی دارد.

$$2CH_3CH_2OH \longrightarrow 2CH_3COOH + CH_4$$

$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2$$

باکتریهای متانوژن

متانوژنیز یعنی تبدیل H_2 و CO_2 به متان توسط باکتریهای متانوژن که حساسترین باکتریها به اکسیژن می‌باشند. جداسازی و کشت باکتریهای متانوژن به روشهایی که تولید شرایط کاملاً بیهوازی می‌کند بستگی دارد. انرژی متانوژنها مستقیماً به سیستمی که متان را بعنوان تنها محصول مهم نهایی تولید می‌کند معطوف می‌شود.وباکتریهای Methanosarcina از متانول و متیل آمین و استات بعنوان الکترون دهنده منحصر بفرد برای رشد و تولید متان استفاده می‌کنند و عمل احیاء دی اکسید کربن توسط متانوژنها در یک روش مرحله‌ای صورت می‌گیرد.

اکثر باکتریهای متانوژن اوتوتروف هستند اما برای متابولیزم بعضی از آنها مواد غذایی آلی مثل استات لازم است در حدود ۶۰٪ کربن سلولی

Ruminantium Methano bactازاستات گرفته می‌شود و عمل تبدیل اسید استیک به CO_2 و CH_4 بوسیله Methano sarcina barkeri و

Methano spirillum hungatti از طریق تبدیل کربن متیل استات بوسیله اتمهای ئیدروژن خودش (استات)، به متان صورت می‌گیرد.

هنگامیکه Co بعنوان منبع منحصر به فرد انرژی مصرف می‌شود باکتریهای ترموفیل

Methano bactو Thermoautotrophicum توسط آنزیم CO دهیدروژنازی که حاوی کروموفور F420 بعنوان الکترون گیرنده است ، از ۴ مول CO، ۳ مول CO_2 و ۱ مول CH_4 تولید می‌کند، بعداً F420 احیا شده در واکنش احیای CO_2 به متان بعنوان الکترون دهنده عمل می‌کند.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در یک جمع بندی کلی می‌توان گفت که با توجه به اینکه در تصفیه بیهوازی :

۱- مقادیر بسیار زیادی از فاضلاب تثبیت می‌شود.

۲- منابع غذایی مورد نیاز میکرواورگانیزمهای سهیم در تجزیه بیهوازی عموماً در خود فاضلاب وجود دارند.

۳- میزان لجن تولید شده کم است .

۴- گاز سوختی حاصل می‌شود.

استفاده از این روش از نظر اقتصادی حتی در محلهای کمتر از ۳۰۰۰ نفر مقرون به صرفه خواهد بود.

همچنین با توجه به اینکه امروزه استفاده از روش تجزیه بیهوازی در تصفیه فاضلاب جنبه جهانی پیدا کرده

است ، از یک طرف برای اپتیمم کردن فعالیت اورگانیزمهای دخیل ، شرایط عمل مانند PH ، درجه حرارت ، مواد غذایی و ....باید همواره تحت کنترل باشند و از طرف دیگر برای توسعه این فرآیند و روشن شدن جنبه‌ها و مکانیزمهای ناشناخته آن باید تحقیقات بیشتری در زمینه‌های مختلف این فرآیند صورت بگیرد.

قسمت زیر پاسخ سئوالات صفحه ٤٤ میباشد .

جوابها :

۱- ب و د . مواد شنی از مواد سنگینی که در سرعت دبی مناسب در کانال شن‌گیری ته‌نشین می‌شوند تشکیل شده است .

۲- مواد شنی را باید جهت پیشگیری از سایش پمپها، انسداد لوله‌ها و اشغال فضا در هاضمها برداشت کرد.

۳- (الف)- تعداد کانالهای سرویس دهنده را افزایش دهید.

(ب)- از سرریزهای تنظیم جریان استفاده کنید.

۴- (الف)- سرعت = ۱۵ سانتیمتر در ثانیه

(ب)- سرعت را افزایش دهید تا جامدات آلی معلق حرکت کنند

۵- لیز خوردن یا آسیب کمر . به هنگام کار در کانالهای شن‌گیری سربسته متوجه گازهای خطرناک باشید.

۶- مساحت سطح مقطع کانال را محاسبه کنید:

مساحت ، m^2 = عمق ، متر × عرض ، متر

متر مربع ۰/۳۶ = ۰/۴ متر × ۰/۹ متر

سرعت را محاسبه کنید :

$$\text{سرعت میانگین ، } m/sec = \frac{\text{دبی ، } m^3/sec}{\text{مساحت ، متر مربع}}$$

$$\frac{۰/۱۲۰۴۷ m^3/sec}{۰/۳۶} = ۰/۳۳۴۶ \ m/sec$$

۷- ۰/۵۶ متر مکعب برای هر ۳۷۸۵ مترمکعب فاضلاب

۸- کمیت = مساحت × سرعت $V \times A = Q$

۹- از اطلاعات سنجش دبی برای تعیین راندمان و میزان بارگذاری تصفیه‌خانه فاضلاب استفاده بعمل می‌آید.

۱۰- علل احتمالی ورود اجسام خارجی به داخل سیستم یا عدم انتخاب محل مناسب می‌تواند باشد. مایع بایستی به آرامی وارد دبی‌سنج شده و تغییر جهت یا موجی در جریان قبل از وسیله اندازه‌گیری دبی رخ ندهد.