



Nigel Horan, Abu Zahrim Yaser, Newati Wid

فرایندهای هضم بی‌هوازی و راهکارهای کاربردی تیمار پساب

مترجمین:

ترحم مصری گندشمین

فرید حقیقت‌شعار

سمیرا نعمت‌زاده کرکرق



فرایندهای هضم بی‌هوازی

و راهکارهای کاربردی تیمار پساب



Nigel Horan
Abu Zahrim Yaser
Newati Wid

مترجمین:

ترجم مصری گندشمین

فرید حقیقت شعار

سمیرا نعمت‌زاده کرکرق

عنوان و نام پدیدآور	: فرایندهای هضم بی‌هوازی و راهکارهای کاربردی تیمار پساب / اویراستاران ان. ج. هورن، ابوزهریم یاسر، نیواتی وید؛ مترجمین ترجم مصری‌گندشمین، فرید حقیقت‌شعار، سمیرا نعمت‌زاده کرکوق.
مشخصات نشر	: اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۸ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-622-7258-65-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Anaerobic digestion processes : applications and effluent treatment, 2018
موضوع	: فاضلاب -- تصفیه بی‌هوازی Sewage -- Purification -- Anaerobic treatment
موضوع	:
شناسه افزوده	: هورن، ان. ج.، یاسر، ابوزهریم، وید، نیواتی، ویراستار
شناسه افزوده	: Horan, N. J; Yaser, Abu Zahrim; Wid, Newati
شناسه افزوده	: مصری‌گندشمین، ترجم، ۱۳۵۷ - مترجم
شناسه افزوده	: حقیقت‌شعار، فرید، ۱۳۷۲ - مترجم
شناسه افزوده	: نعمت‌زاده کرکوق، سمیرا، ۱۳۷۲ - مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه محقق اردبیلی University of Mohaghegh Ardabili
رده بندی کنگره	: TD ۴۵/۷۵۶
رده بندی دیویی	: ۶۲۸/۳۵۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۴۹۹۳۵۰



فرایندهای هضم بی‌هوازی - راهکارهای کاربردی تیمار پساب

مترجمین دکتر ترجم مصری‌گندشمین، مهندس فرید حقیقت‌شعار، مهندس سمیرا نعمت‌زاده کرکوق ویراستار: دکتر غلامحسین شاهقلی؛ صفحه‌آرا: فرشته خدایاری؛ طراح جلد: رضا رسول‌زاده

✦ چاپ اول ۱۴۰۰ ✦ قیمت ۵۰ هزار تومان

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مولف است»

«حق چاپ محفوظ است»

اردبیل، انتهای خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، صندوق پستی ۱۷۹

www.UMA.ac.ir/press

press@uma.ac.ir



مراقب باشید؛ گاهی جملات زیبا و دلفریب درباره زندگی،
معنای زندگی را پوچ نشان میدهند.

علامه محمدتقی جعفری

پیشگفتار

بحران انرژی و محیط‌زیست مهمترین چالش پیش روی بشر در هزاره سوم است. سوخت‌های فسیلی به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین انرژی، هر چند رو به پایان هستند ولی قبل از اتمام به یک تهدید زیست‌محیطی بزرگی تبدیل شده‌اند. برای رهایی از این مشکلات، محققین و صاحب نظران استفاده از منابع تجدیدپذیر و زیستی را توصیه می‌کنند. استفاده از فرایند هضم بی‌هوازی به‌عنوان یک روش مفید برای مدیریت پسماند، کاهش مشکلات زیست‌محیطی و تولید انرژی پاک است. در این راستا در این کتاب فرایندهای هضم بی‌هوازی با تمرکز بر برنامه های کاربردی و تیمار پساب در یازده فصل بررسی شده است. در فصل اول مروری بر فرایندهای هضم بی‌هوازی شده است و در فصول بعدی نیز توسعه سلول‌های سوخت میکروبی (MFC) در سیستم هضم بی‌هوازی؛ سلول سوخت میکروبی (MFC)؛ آنزیم‌های موثر در هضم بی‌هوازی؛ شبیه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی؛ هضم بی‌هوازی پسماندهای جامد فاضلاب؛ هضم بی‌هوازی مواد غذایی؛ تکنولوژی جذب پسماندهای رنگی، هضم بی‌هوازی جلبک دریایی و در نهایت بازیابی فسفر از لجن هاضم مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه بر روی فرایند هضم بی‌هوازی و اصلاح آن در جهت تولید حداکثر بیوگاز، ازجمله تلاش‌های غالب پژوهشگران است که برای رسیدن به آن انجام تحقیقات مختلفی در زمینه به‌کارگیری تجهیزات مختلف هاضم‌ها، مراحل مختلف هضم بی‌هوازی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی فرایند و نیز روش‌های نوینی مانند پیش‌تیمار کردن مواد را به دنبال داشته است. کتاب حاضر جزئیات بسیار دقیق و روش‌های نوینی برای رسیدن به اهداف مذکور را به خوبی ارائه داده است که می‌تواند مورد استفاده پژوهشگران این حوزه مهم و کاربردی باشد.

ترجم مصری

بهار ۱۴۰۰

فهرست مطالب



پیشگفتار	۴
فرایندهای هضم بی‌هوازی: تیمار پساب	۱۱
خلاصه	۱۱
۱- مقدمه	۱۱
۲- مواد اولیه	۱۳
۳- محصولات نهایی	۱۷
۴- مزایای زیست‌محیطی	۱۸
۵- مدل اقتصادی	۱۹
۶- نتیجه‌گیری	۲۰
توسعه سلول‌های سوخت میکروبی از سیستم هضم بی‌هوازی	۲۳
خلاصه	۲۳
۱- مقدمه	۲۴
۲- سیستم سلول سوخت میکروبی	۲۵
۱-۲- مفهوم بیولوژیکی در MFC	۲۶
۲-۲- مفهوم شیمیایی در سلول‌های سوخت میکروبی (MFC)	۲۷
۲-۳- مشخصه باکتری‌های تنفسی آند در MFC	۲۹
۲-۴- گیرنده الکترون	۳۳
۳- نوع MFC	۳۵
۱-۳- MFC کاتد آبی با PEM	۳۵
۲-۳- کاتد هوایی MFC فاقد PEM	۳۶
۴- طراحی MFC	۳۷
۵- اندازه‌گیری دانسیته توان	۳۸
۱-۵- ستانده توان نرمال شده بر حسب مساحت سطح الکتروود	۳۹
۲-۵- توان نرمال شده بر حسب سطح غشا	۳۹

۳۹	۳-۵ - نرمال‌سازی توان بر حسب حجم
۴۰	۶ - متغیر محیطی مؤثر بر تولید جریان الکتریسیته
۴۰	۶-۱ - pH
۴۰	۶-۲ - فاصله الکترودها
۴۱	۶-۳ - درجه حرارت
۴۱	۷ - راهکارهای آینده برای استفاده از MFC
۴۱	۷-۱ - تصفیه فاضلاب
۴۳	۷-۲ - تولید انرژی تجدیدپذیر از زیست توده
۴۳	۷-۳ - سنسور محیطی
۴۴	۷-۴ - بازیافت مواد
۴۷	۸ - نتیجه گیری
۴۷	منابع
۵۱	سلول‌های سوخت میکروبی رسوبی و هضم بی‌هوازی
۵۱	خلاصه
۵۲	۱- مقدمه
۵۳	۲ - طراحی SMFC بی‌هوازی
۵۵	۳ - انواع SMFC بی‌هوازی
۵۵	۳-۱ - SMFC بی‌هوازی برانگیخته نشده
۵۶	۳-۲ - SMFC برانگیخته شده بی‌هوازی
۵۶	۴ - بستر مورد استفاده در SMFC های بی‌هوازی
۵۸	۵ - مکانیسم تولید برق از SMFC
۵۹	۵-۱ - انتقال الکترون کوتاه برد
۶۰	۵-۲ - انتقال الکترون از طریق پروتئین فعال ردوکس
۶۰	۵-۳ - انتقال الکترون با برد طولانی از طریق پیل رسانا
۶۱	۵-۴ - انتقال الکترون بین گونه‌ای مستقیم
۶۱	۶ - دفع آلاینده‌ها
۶۱	۶-۱ - دفع آلاینده‌های آلی
۶۳	۶-۲ - دفع آلاینده‌های غیرآلی
۶۵	۷ - مکانیسم حذف آلاینده‌ها
۶۷	۸ - کاربرد SMFC بی‌هوازی
۶۷	۸-۱ - بیو هیدروژن
۶۸	۸-۲ - بیوسنسور

۶۸.....	۳-۸- زیست فناوری.....
۶۹.....	۹- مسیر آینده.....
۶۹.....	۱-۹- مدل سازی.....
۶۹.....	۲-۹- پایش.....
۶۹.....	۳-۹- انتخاب مواد الکترودی.....
۷۰.....	۴-۹- الکترومیکروبیولوژی.....
۷۰.....	۵-۹- آب مورد استفاده.....
۷۰.....	۶-۹- مقیاس بندی SMFC.....
۷۰.....	۱۰- نتیجه گیری.....
۷۱.....	منابع.....
۷۷.....	مروری بر آنزیم‌های فعال در سیستم هضم بی‌هوازی.....
۷۷.....	خلاصه.....
۷۷.....	۱- معرفی.....
۷۹.....	۲- نقش آنزیم‌ها در هضم بی‌هوازی.....
۸۱.....	۳- استفاده از آنزیم‌ها در مرحله هیدرولیز هاضم‌های بی‌هوازی.....
۸۲.....	۱-۳- هیدرولیز آنزیمی مواد لیگنوسلولوزی در هاضم‌های بی‌هوازی.....
۸۵.....	۲-۳- هیدرولیز آنزیمی پسماندهای مواد غذایی در هاضم بی‌هوازی.....
۸۷.....	۳-۳- هیدرولیز آنزیمی هضم بی‌هوازی لجن فاضلاب.....
۸۹.....	۴- پیش‌تیمار آنزیمی همراه با دیگر پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی.....
۹۲.....	۵- نتیجه گیری.....
۹۳.....	منابع.....
۹۷.....	شبیه‌سازی هضم بی‌هوازی پسماند جامد شهری.....
۹۷.....	چکیده.....
۹۸.....	۱- معرفی.....
۱۰۱.....	۲- مواد و روش‌ها.....
۱۰۱.....	۱-۲- ویژگی متدها.....
۱۰۲.....	۲-۲- فهرست اجزای واکنش.....
۱۰۳.....	۲-۳- فهرست واکنش‌ها.....
۱۰۴.....	۲-۴- مراحل جریان فرایند هضم بی‌هوازی.....
۱۰۹.....	۳- بحث.....
۱۱۲.....	۴- نتیجه گیری.....

۱۱۲	منابع.....
۱۱۵	استحصال بیوگاز از پسماندهای سرد
۱۱۵	چکیده.....
۱۱۶	۱- معرفی.....
۱۱۷	۲- سرد و غربالگری.....
۱۱۷	۱-۲- کنترل و تخلیه سرد.....
۱۱۹	۲-۲- مشخصات و ترکیب سوبستراهای مایع.....
۱۲۲	۳- فرایند هضم بی‌هوازی.....
۱۲۳	۱-۳- هیدرولیز.....
۱۲۴	۲-۳- تخمیر.....
۱۲۵	۳-۳- متان‌زایی.....
۱۲۶	۴- نوع هضم بی‌هوازی.....
۱۲۶	۱-۴- هضم تک مرحله.....
۱۲۶	۲-۴- راکتور دو مرحله‌ای.....
۱۲۸	۵- نقش AD در بازیافت بیوگاز.....
۱۲۸	۱-۵- پتانسیل بیوشیمیایی متان (BMP).....
۱۳۰	۲-۵- فاز هضم متان (MPD).....
۱۳۱	۶- تولید بیوگاز از مواد غربال فاضلاب.....
۱۳۱	۱-۶- مقدمه.....
۱۳۱	۲-۶- مواد و روش‌ها.....
۱۳۳	۳-۶- نتایج و بحث.....
۱۳۵	۴-۶- نتیجه‌گیری.....
۱۳۶	منابع.....
۱۴۱	هضم بی‌هوازی پسماندهای غذایی.....
۱۴۱	چکیده.....
۱۴۲	۱- معرفی.....
۱۴۵	۲- پتانسیل فرایند هضم بی‌هوازی.....
۱۴۶	۳- انرژی.....
۱۴۷	۱-۳- پتانسیل منابع انرژی.....
۱۴۸	۲-۳- منابع انرژی بیومس.....
۱۵۱	۳-۳- بیومس و بیوگاز.....

۱۵۳	۳-۴- اصول هضم بی‌هوازی
۱۵۶	۳-۵- بیوراکتورهای بی‌هوازی
۱۶۰	۳-۶- زباله‌های مواد غذایی
۱۶۱	۳-۷- بیوراکتورها برای مواد زائد غذایی
۱۶۱	۳-۸- نتیجه‌گیری و آینده‌نگری
۱۶۳	منابع

۱۶۷	تصفیه شیرابه هاضم بیولوژیکی با استفاده از جذب
۱۶۷	چکیده
۱۶۷	۱- مقدمه
۱۷۰	۲- تیمار شیرابه
۱۷۲	۳- تیمار فیزیکی - شیمیایی شیرابه
۱۸۰	۴- تیمار بیولوژیکی شیرابه
۱۸۶	۵- ترکیب تیمار فیزیکی شیمیایی با تیمار بیولوژیکی
۱۸۸	۶- جذب بیولوژیکی به شکل پساتیمار شیرابه هضم شده
۱۹۴	۷- نتیجه‌گیری و اقدامات آینده

پیشرفت‌های اخیر در زمینه حذف رنگدانه نامحلول از لجن تیمار شده به صورت بی‌هوازی با روش انعقاد لخته‌سازی

۲۰۵	چکیده
۲۰۶	مقدمه
۲۰۹	۲- هضم بی‌هوازی فاضلاب کارخانه روغن نخل
۲۱۰	۳- ترکیبات رنگی
۲۱۱	۴- فرایند انعقاد و لخته‌سازی
۲۱۳	۴-۱- کمک لخته‌ساز- منعقد کننده‌های غیر آلی بر پایه پلیمر
۲۱۵	۴-۲- کمک منعقد کننده و لخته‌سازهای طبیعی
۲۱۷	۴-۳- مدلسازی و بهینه‌سازی
۲۱۸	۴-۴- استفاده از لجن تیمار شده به‌عنوان بهبود دهنده خاک
۲۲۰	۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده
۲۲۰	منابع

تأثیر خصوصیات فیزیکی جلبک‌های دریایی بر تولید بیوگاز

۲۲۷	چکیده
۲۲۸	۱- مقدمه

۲۳۰	.....	۲- مواد و روش‌ها
۲۳۰	.....	۲-۱- سوبسترا و مواد تلقیح
۲۳۱	.....	۲-۲ راکتورها و عملیات
۲۳۳	.....	۳- بحث و نتایج
۲۳۳	.....	۳-۱- تاثیر دما و pH بر فرایند
۲۳۶	.....	۳-۲- تاثیر سوبسترای جلبک دریایی تازه و پسماند آن بر تولید بیوگاز
۲۳۸	.....	۴- نتیجه‌گیری
۲۴۱	.....	بازیابی فسفر از لجن هاضم بی‌هوازی
۲۴۱	.....	چکیده
۲۴۲	.....	۱- مقدمه
۲۴۳	.....	۲- مواد و روش‌ها
۲۴۳	.....	۲-۱- هضم بی‌هوازی
۲۴۴	.....	۲-۲- پتانسیل استرویت برای بازیافت فسفر
۲۴۵	.....	۳- بحث و نتیجه‌گیری
۲۴۶	.....	۴- نتیجه‌گیری

فهرست شکل‌ها



- شکل ۱ - شماتیک سلول سوخت میکروبی MFC معمولی [۱۴]..... ۲۷
- شکل ۲- چرخه گلیکولیز و اسیدسیتریک که حامل‌های الکترون ($FADH_2$ و $NADH$) تشکیل می‌دهند [۱۸]..... ۲۸
- شکل ۳- شماتیک تنفس غشای باکتریایی و اجزای زنجیره جابجایی الکترون با گونه‌های متفاوت [۱۸]..... ۲۸
- شکل ۴- زنجیره اتصال و پتانسیل استاندارد [۲۱]..... ۳۰
- شکل ۵ - تبادل الکترون در سلول‌های سوخت میکروبی..... ۳۲
- شکل ۶- انواع سلول‌های سوخت میکروبی متداول [۴۱]..... ۳۸
- شکل ۷ - تبدیل انرژی در MFC [۲۵]..... ۴۵
- شکل ۸ - سلول سوختی میکروبی رسوبی به نام ژنراتور خودسامانده بتیک (BUG)..... ۴۵
- شکل ۱ - مدل شماتیک SMFC بی‌هوازی..... ۵۴
- شکل ۲- مدل آزمایشگاهی SMFC بی‌هوازی [۶]..... ۵۵
- شکل ۳- مکانیزم‌های انتقال توان در اگزوالکتروژن‌ها..... ۵۹
- شکل ۴- شماتیک واکنش دی نیتریفیکاسیون..... ۶۳
- شکل ۵ - بازیابی شماتیک فسفر در SMFC بی‌هوازی..... ۶۴
- شکل ۶ - نمایش شماتیک الکتروتروف‌ها..... ۶۶
- شکل ۱- مراحل اصلی در هضم بی‌هوازی..... ۷۸
- شکل ۲ - نوع آنزیم‌های شرکت کننده در تخریب سوپسترا..... ۸۰
- شکل ۱- جریان و فرایندهای هضم بی‌هوازی در مدل Aspen Plus..... ۱۰۶
- شکل ۲- محلول زیستی تولیدی در زمان‌های ماند مختلف..... ۱۱۱
- شکل ۱- خردکردن مواد جامد سرند قبل از استفاده یا تیمار [9]..... ۱۱۸
- شکل ۲- مواد بهداشتی جدا شده از فاضلاب [۹]..... ۱۲۱
- شکل ۳- شماتیک واکنش هضم بی‌هوازی فاضلاب خانگی [۲۵-۲۶]..... ۱۲۳
- شکل ۴- فاز دوم همزنی [۹]..... ۱۲۷
- شکل ۵- راکتور هضم بی‌هوازی آزمایش BMP در مقیاس آزمایشگاهی (۴۰۰ میلیلیتر) [۹].... ۱۲۹
- شکل ۶- نمونه همگن [۹]..... ۱۳۲

- شکل ۷- مجموع بیوگازهای تولیدی با در نظر گرفتن غلظت‌های کل مواد جامد [16] ۱۳۵
- شکل ۱- هاضم نمونه برای تولید بیوگاز ۱۴۳
- شکل ۲- تبدیل بیومس به منبع انرژی ۱۴۹
- شکل ۳- احتراق سوخت بیومس و سیکل کربنی ۱۵۱
- شکل ۴- مراحل هضم بی‌هوازی ۱۵۳
- شکل ۵- هاضم گنبدی ثابت ۱۵۸
- شکل ۶- هاضم گنبدی شناور ۱۵۹
- شکل ۷- هاضم جریان پلاگ ۱۵۹
- شکل ۱- POME خام (a) و تیمار شده به روش بی‌هوازی (b) ۲۰۸
- شکل ۲- تصاویر SEM از ذرات و مواد هاضم بی‌هوازی (a) و حوضچه هوازی (b) در بزرگنمایی ۲۰۸
- شکل ۳- شاخص جوانه‌زنی (GI%) دانه‌های کاهو در محتوای آبکی نمونه‌های با محتوای مواد جامدات خشک (۵۰ درصد خاک رایج + ۵۰ درصد جامدات) [۳۹] ۲۱۹
- شکل ۱- جلبک *Eucheuma cottonii* پس از سه روز (a) و پسماند سه ماهه (b) ۲۳۱
- شکل ۲- طرح کلی هاضم بی‌هوازی جلبک دریایی ۲۳۲
- شکل ۳- تغییرات درجه حرارت در طول فرایند هضم بی‌هوازی ۲۳۳
- شکل ۴- تغییرات pH در روزهای مختلف هضم a: جلبک دریایی تازه b: پسماند جلبک دریایی ۲۳۵
- شکل ۵- COD در روزهای مختلف هضم a: جلبک دریایی تازه b: پسماند جلبک دریایی ۲۳۵
- شکل ۶- حجم بیوگاز تولیدی تابعی از زمان و اندازه سوبسترا a: جلبک دریایی تازه b: پسماند جلبک ۲۳۷
- شکل ۷- ترکیب درصد متان تولیدشده توسط پسماند جلبک دریایی ۲۳۸
- شکل ۱- مایع حاصل از هضم بی‌هوازی ۲۴۴

فهرست جداول



- جدول ۱ - واکنش الکتروود MFC و پتانسیل گونه‌های Rhodofexax مربوطه [۲۱]..... ۳۱
- جدول ۲- مروری بر باکتری‌های کاهنده فلز استفاده شده در سلول سوخت میکروبی..... ۳۲
- جدول ۳- بررسی اجمالی توان تولیدی MFC با استفاده از روش کشت خالص و مختلط [۳۲].... ۳۴
- جدول ۴- مؤلفه‌های اصلی MFC [۱۱]..... ۳۹
- جدول ۵- ظرفیت و کارایی معمولی فناوری انرژی پاک برای بازیابی فاضلاب [۵۰]..... ۴۴
- جدول ۶- بسترهای مختلف MFC و حداکثر جریان تولیدی [۳۲]..... ۴۶
- جدول ۱- اجزای اصلی دستگاه SMFC بی‌هوازی ۵۳
- جدول ۲- بسترهای مورد استفاده در سلول‌های سوختی میکروبی (SMFC) و حداکثر تولید توان ۵۸
- جدول ۳- انواع واسطه‌های انتقال الکترون در اگزوالکتروژن‌های مختلف ۶۰
- جدول ۴- مکانیسم واکنش‌ها به شکل دهنده الکترونی (گاز هیدروژن)..... ۶۲
- جدول ۵ - فهرست میکروب‌ها به همراه حذف آلاینده‌ها..... ۶۵
- جدول ۱- جزئیات فرایند هضم بی‌هوازی ۷۹
- جدول ۲- هیدرولیز آنزیمی برای چندین نوع سوبسترا در یک فرایند هضم بی‌هوازی..... ۸۴
- جدول ۳ - پیش تیمارهای ترکیبی با پیش تیمار آنزیمی ۹۱
- جدول ۱- فهرست واکنش‌های هیدرولیزی [15] ۱۰۵
- جدول ۲- فهرست واکنش‌های آمینواسید، اسیدوژنیک و استوژنیک ۱۰۷
- جدول ۳- کسر جرمی از جریان ورودی ۱۰۸
- جدول ۴- ورودی جریان ۵ کیلومول بر ساعت ۱۰۹
- جدول ۵- مقایسه شبیه ساز Aspen Plus و نتایج حاصل از NADNO..... ۱۱۰
- جدول ۶- نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Aspen Plus..... ۱۱۱
- جدول ۱- ترکیب مواد جامد غریبال شده از فاضلاب..... ۱۲۰
- جدول ۲- فاز اول (سیستم مرسوم) نتیجه مطالعه موردی ۱۲۱
- جدول ۳- مشخصات فیزیکی نمونه‌ها ۱۳۳
- جدول ۴- تاثیر مواد جامد خشک بر روی متان تولیدی [16]..... ۱۳۵
- جدول ۱- مزایا و معایب بیوراکتورهای گنبد ثابت، گنبد شناور و جریان پلاگ ۱۵۹
- جدول ۲- خلاصه‌ای از بیوهاضم‌های پسماند مواد غذایی..... ۱۶۲

- جدول ۱- محدوده تخلیه قابل قبول شیرابه در چندین کشور [۳-۵] ۱۶۸
- جدول ۲- طبقه‌بندی شیرابه لندفیل بر اساس سن [۹، ۱۰، ۱۲] ۱۷۰
- جدول ۳- ویژگی‌های شیرابه لندفیل نمونه‌برداری شده از کشورهای مختلف ۱۷۱
- جدول ۴- روش‌های متداول تیمار شیرابه لندفیل ۱۷۱
- جدول ۵- تیمارهای کارآمد هضم بی‌هوازی پساب با روش جذب ۱۹۲
- جدول ۱- ویژگی‌های POME و AnPOME خام ۲۰۶
- جدول ۱- وضعیت سوبسترا و ویژگی هاضم‌ها ۲۳۲
- جدول ۱- فهرست مطالعات بازیافت فسفر به شکل استرویت ۲۴۳
- جدول ۲- بازیافت فسفر در غلظت‌های مختلف جامدات خشک ۲۴۵

فرایندهای هضم بی‌هوازی: تیمار پساب

N. J. Horan

خلاصه

میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی به کمک رویه‌های بیوشیمیایی و اکسیداسیون بی‌هوازی قسمت ارگانیک مواد زائد آلی را برای تولید محصولات پایدار و باارزش مورد استفاده قرار می‌دهند. در این بخش خلاصه‌ای از روش‌های پایدار فرآوری پسماندهای زیستی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

کلمات کلیدی: میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی، پسماند زیستی، مالزی و هضم بی‌هوازی

۱- مقدمه

میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی مسیرهای بیوشیمیایی متعددی را طی می‌کنند که آن‌ها را برای اکسیداسیون مواد ارگانیک در فقدان اکسیژن توانمند ساخته است که نتیجه آن مصرف منبع کربنی و دستیابی به انرژی پایدار، تضمین بقا و تولید مثل این میکروارگانیزم‌ها است. مهندسين بیوسیستم از این مسیرها و الگوها برای تولید محصولات مفید استفاده کرده‌اند. این مهارت‌ها به‌طور فزاینده، در راستای حل مشکلات ناشی از پسماندهای آلی نیز بکار گرفته شده است. هنگامی که موضوع به صورت ذهنی و مناسب مطرح شود، با توجه به جنبه‌ی اقتصادی فرایند، سیستم‌های بی‌هوازی می‌توانند توده زباله‌های زیستی را حذف کرده و تاثیرات سوء

توسعه سلول‌های سوخت میکروبی از سیستم هضم بی‌هوازی

Muaz Mohd Zaini Makhtar, Mashitah Mat Don and Husnul Azan Tajarudin

خلاصه

فناوری‌های جایگزین انرژی در آینده بیشتر مورد توجه قرار خواهند گرفت؛ چون که قیمت انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی گران‌تر خواهد شد و نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف آن‌ها را نیز در پی خواهد داشت. سلول سوخت میکروبی (MFC) یک فناوری انرژی تجدیدپذیر نوآورانه است که با تصفیه فاضلاب از طریق اکسیداسیون باکتری‌های حاوی بسترهای آلی حاصل می‌شود. الکترون‌های حاصل از اکسیداسیون بسترهای آلی، جریان الکتریکی از آند به کاتد را شکل داده و جریان الکتریکی تولید می‌کنند. تنها پسماند (محصول فرعی) این فرایند آلودگی حاصل به شکل آب و دی‌اکسیدکربن است. اگرچه سلول‌های سوخت میکروبی با استفاده از اصول مختلفی قابل حصول است ولی در حال حاضر، بیشتر با استفاده از روش‌های ساده تولید می‌شود. تجزیه و تحلیل‌های جمعیت میکروارگانیسم‌های موجود در سلول‌های سوخت میکروبی بیانگر تنوع بالایی در ترکیب خود است. سلول‌های سوخت میکروبی با استفاده از انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها و با تنظیمات متنوع محیطی ساخته می‌شوند. این سیستم‌ها در طیف وسیعی از شرایط محیطی کار می‌کنند که علاوه بر تفاوت در مقدار pH شامل تفاوت فاصله الکتروود، میزان رطوبت و دما نیز هستند. اعتقاد بر این است که سلول‌های سوخت میکروبی یک فناوری امیدوارکننده‌ای است که علاوه بر تصفیه فاضلاب، روش تولید انرژی از

42. Liu H, Logan BE (2004) Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane. *Environ Sci Technol* 38:4040–4046.
43. Kiely PD, Cusick R, Call DF, Selembo PA, Regan JM, Logan BE (2011) Anode microbial communities produced by changing from microbial fuel cell to microbial electrolysis cell operation using two different wastewaters. *Bioresour Technol* 102:388–394
44. Jang JK, Pham TH, Chang IS, Kang KH, Moon H, Cho KS, Kim BH (2004) Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell. *Process Biochem* 39:1007–1012
45. Min B, Logan BE (2004) Continuous electricity generation from domestic wastewater and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell. *Environ Sci Technol* 38:5809–5814
46. Langergraber G, Muellegger E (2005) Ecological sanitation—a way to solve global sanitation problems? *Environ Int* 31:433–444
47. Klingel F, Montangero A, Koné D, and Strauss M (2002) Fecal sludge management in developing countries. In: *A planning manual*, 1st edn. Duebendorf/Accra
48. Shizas I, Bagley D (2004) Experimental determination of energy content of unknown organics in municipal wastewater streams. *J Energy Eng* 130:45–53
49. Choudhury P, Uday USP, Mahata N, Nath Tiwari O, Narayan Ray R, Kanti Bandyopadhyay T, Bhunia B (2017) Performance improvement of microbial fuel cells for waste water treatment along with value addition: a review on past achievements and recent perspectives. *Renew Sustain Energy Rev* 79:372–389
50. Oh ST, Kim JR, Premier GC, Lee TH, Kim C, Sloan WT (2010) Sustainable wastewater treatment: how might microbial fuel cells contribute. *Biotechnol Adv* 28:871–881
51. Sun Y, Cheng J (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour Technol* 83:1–11
52. Catal T, Li K, Bermek H, Liu H (2008) Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cells. *J Power Sources* 175:196–200
53. Zuo Y, Maness P-C, Logan BE (2006) Electricity production from steam-exploded corn stover biomass. *Energy Fuels* 20:1716–1721
54. Reimers CE, Tender LM, Fertig S, Wang W (2000) Harvesting energy from the marine sediment–water interface. *Environ Sci Technol* 35:192–195
55. Fischer F, Bastian C, Happe M, Mabillard E, Schmidt N (2011) Microbial fuel cell enables phosphate recovery from digested sewage sludge as struvite. *Bioresour Technol* 102:5824–5830
56. Heijne AT, Liu F, van der Weijden R, Weijma J, Buisman CJN, Hamelers HVM (2010) Copper recovery combined with electricity production in a microbial fuel cell. *Environ Sci Technol* 44:4376–4381
57. Choi C, Hu N (2013) The modeling of gold recovery from tetrachloroaurate wastewater using a microbial fuel cell. *Bioresour Technol* 133:589–598
58. Choi C, Cui Y (2012) Recovery of silver from wastewater coupled with power generation using a microbial fuel cell. *Bioresour Technol* 107:522–525.

سلول‌های سوخت میکروبی رسوبی و هضم بی‌هوازی

Syed Zaghum Abbas and Mohd Rafatullah

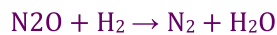
خلاصه

سلول‌های سوخت میکروبی رسوبی¹ (SMFC) راهکاری است که با کمک فعالیت کاتالیزورهای میکروبی، همزمان ضمن رفع آلاینده‌های زیستی انرژی شیمیایی را نیز به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کند. به دلیل شرایط کارکرد آسان SMFC توجه بسیاری از محققان به این راهکار جلب شده است. در عملیات SMFC، اگزوالکتروژن‌ها و الکتروتروفی‌ها بیشتر دخیل هستند. اگرچه SMFC به‌عنوان یک منبع انرژی جایگزین، کاهنده آلاینده‌ها و سیستم جدید تصفیه فاضلاب می‌تواند ظرفیت بسیار خوبی را فراهم کند، ولی دستیابی به حداکثر پتانسیل میکروبی نیازمند بهینه‌سازی و مطالعات زیادی است. توان ستانده و کارایی به شدت متأثر از تنوع میکروب‌ها در محفظه آندی SMFC، طراحی SMFC و شرایط عملیاتی آن هستند. تاکنون کاربردهای SMFC در دنیای واقعی به دلیل دانسیته توان ناچیز قابل حصول آن (چند وات در مترمربع) محدود است. تلاش‌هایی برای بهبود این عملکرد و کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری SMFC از آن‌ها نیز انجام شده است. تا به امروز، بیشتر SMFC‌ها در مقیاس آزمایشگاهی

¹ sediment microbial fuel cell



کاهش اکسید نیتریک

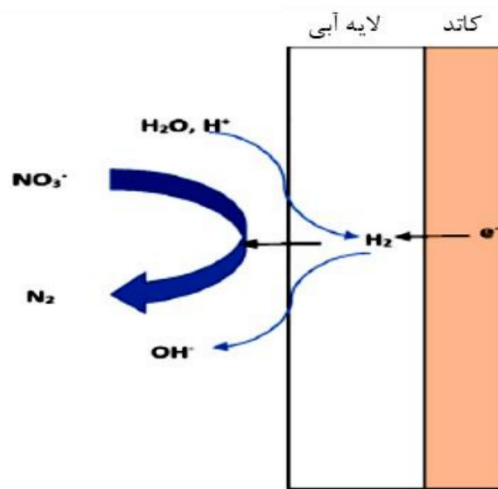


کاهش اکسید نیتریک



نیتروژن زدایی کلی

نیترات به NO_2^- کاهش می‌یابد و با هیدروژن ترکیب شده، اکسید نیتریک (NO) تولید می‌کند. سپس، این ترکیب به اکسید نیتروژن (N_2O) تبدیل می‌گردد و در نهایت به صورت گاز نیتروژن (N_2) آزاد می‌شود [۵۰]. مکانیسم واکنش در جدول ۴ به اختصار آمده است و واکنش شماتیک آن نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- شماتیک واکنش دی نیتریفیکاسیون

۲-۶- دفع آلاینده‌های غیرآلی

SMFC همچنین می‌تواند آلاینده‌های غیر آلی را نیز از بین ببرد. فسفر یک ترکیب معدنی است و با استفاده از فرایند شیمیایی و بیولوژیکی قابل حذف است. فرایندهای بیولوژیکی به دلیل هزینه پایین توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. در SMFC بی‌هوازی، میکروب‌ها به‌طور معمول فسفر را درون سلول بیش از نیاز رشد عادی خود جمع می‌کنند و در نهایت در لجن ته‌نشین و دفع می‌شوند (شکل ۵).

62. Yates MD, Cusick RD, Logan BE (2013) Extracellular palladium nanoparticle production using *Geobacter sulfurreducens*. *ACS Sustain Chem Eng* 1(9):1165–1171
63. Deplanche K, Merroun ML, Casadesus M, Tran DT, Mikheenko IP, Bennett JA, Zhu J, Jones IP, Attard GA, Wood J (2012) Microbial synthesis of core/shell gold/palladium nanoparticles for applications in green chemistry. *J R Soc Interface* 9(72):1705–1712
64. Lengke MF, Fleet ME, Southam G (2007) Biosynthesis of silver nanoparticles by filamentous cyanobacteria from a silver (I) nitrate complex. *Langmuir* 23(5):2694–2699
65. Gauthier D, Søbberg LS, Jensen KM, Lindhardt AT, Bunge M, Finster K, Meyer RL, Skrydstrup T (2010) Environmentally benign recovery and reactivation of palladium from industrial waste by using gram-negative bacteria. *ChemSusChem* 3(9):1036–1039
66. Shukor M, Rahman M, Suhaili Z, Shamaan N, Syed M (2010) Hexavalent molybdenum reduction to Mo-blue by *Acinetobacter calcoaceticus*. *Folia Microbiol* 55(2):137–143
67. Nevin KP, Holmes DE, Woodard TL, Hinlein ES, Ostendorf DW, Lovley DR (2005) *Geobacter bemidjensis* sp. nov. and *Geobacter psychrophilus* sp. nov., two novel Fe (III)-reducing subsurface isolates. *Int J Syst Evol Microbiol* 55(4):1667–1674
68. Lim H, Syed M, Shukor M (2012) Reduction of molybdate to molybdenum blue by *Klebsiella* sp. strain hkeem. *J Basic Microbiol* 52(3):296–305
69. Kritee K, Blum JD, Barkay T (2008) Mercury stable isotope fractionation during reduction of Hg (II) by different microbial pathways. *Environ Sci Technol* 42(24):9171–9177
70. Rahman M, Shukor M, Suhaili Z, Mustafa S, Shamaan N, Syed M (2009) Reduction of Mo (VI) by the bacterium *Serratia* sp. strain DRY5. *J Environ Biol* 30(1):65–72
71. Moscoviz R, De Fouchécour F, Santa-Catalina G, Bernet N, Trably E (2017) Cooperative growth of *Geobacter sulfurreducens* and *Clostridium pasteurianum* with subsequent metabolic shift in glycerol fermentation. *Sci Rep.* <https://doi.org/10.1038/srep44334>
72. Hartline RM, Call DF (2016) Substrate and electrode potential affect electro-trophic activity of inverted bioanodes. *Bioelectrochemistry* 110:13–18
73. Dumas C, Mollica A, Féron D, Basséguy R, Etcheverry L, Bergel A (2007) Marine microbial fuel cell: use of stainless steel electrodes as anode and cathode materials. *Electrochim Acta* 53 (2):468–473
74. He Z, Angenent LT (2006) Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells. *Electroanalysis* 18(19–20):2009–2015
75. Abbas S, Rafatullah M, Hossain K, Ismail N, Tajarudin H, Abdul Khalil HPS (2017) A review on mechanism and future perspectives of cadmium-resistant bacteria. *Int J Environ Sci Technol.* <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1400-5>.

مروری بر آنزیم‌های فعال در سیستم هضم بی‌هوازی

Mariani Rajin

خلاصه

اگرچه فرایندهای هضم بی‌هوازی به‌طور گسترده موضوع پژوهش و مدیریت پسماند است ولی مرحله هیدرولیز در روند انجام هضم بی‌هوازی خیلی مهم است و می‌تواند نرخ تولید متان را به شدت تحت تاثیر قرار داده و آن را محدود کند. آنزیم‌های موجود در سوبسترا، طی فرایند هیدرولیز به‌عنوان جایگزین امیدوار کننده برای غلبه بر این محدودیت می‌توانند بکار گرفته شوند. در این فصل به اجمال آنزیم‌های موثر و تسهیل کننده فرایند هیدرولیز انواع از سوبستراها در فرایند هضم بی‌هوازی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کلمات کلیدی: آنزیم، پیش‌تیمار هضم بی‌هوازی، هضم بی‌هوازی، هیدرولیز

۱- معرفی

هضم بی‌هوازی یک فرایند میکروبی است که در طول آن مواد آلی زیستی تخمیر می‌شوند، مواد در غیاب اکسیژن به سایر اشکال مانند بیوگاز، مواد تخریب‌شده و پسماندهای آلی تبدیل می‌شوند [۱]. این تکنولوژی به‌طور گسترده‌ای در مدیریت پسماند سپتیک حاوی مواد آلوده، هاضم‌های لجن، سایر محصولات کشاورزی و محصولات حاوی انرژی، تصفیه فاضلاب،

متانوزئیک خاص تولید و جمع‌آوری می‌شوند را تحقیق و مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که فعالیت آنزیمی سبب بهبود میزان تولید و افزایش تولید بیوگاز می‌گردد.

جدول ۲- هیدرولیز آنزیمی برای چندین نوع سوبسترا در یک فرایند هضم بی‌هوازی

ماده خام	نوع راکتور	آنزیم‌ها	رفرنس
بقایای گندم Jose Tall	تک مرحله و دومرحله	Novozyme N342, Celluclast C15L, and Novozyme N188 (cellulase, hemicellulase and b-glucosidase)	[17]
چاودار، ذرت سیلویی، چمن، بقایای خوراکی و کود گاوی جامد	تک مرحله	Fungal hydrolytic enzyme mixture (cellulase, hemicellulase, xylanase, pectinase, xylan esterase, pectinesterase, lipase, amylase glucosidase and protease)	[10]
زباله جامد شهری	تک مرحله	Lignin peroxidase and manganese peroxidase	[9]
کنف، کتان، ذرت ذرت، بید، خاردار، ذرت، کاه <i>Miscanthus</i> ، گندم	ناپیوسته	Laccase from <i>Trametes versicolor</i> , peroxidase from <i>Bjerkandera adusta</i>	[18]
علوفه سیلویی		Cellulolytic enzymes from methanogenic microbial community	[19]
تفاله صنایع نوشابه	دومرحله	Lyticase, α -amylase, cellulase, β -glucosidase, β -glucanase, lipase, protease and papain	[20]
پسماند غذایی کافه تریا	لجن پوشانده شده Upflow	Carbohydrase from <i>Aspergillus</i> and <i>Aculeatus</i> Protease from <i>Aspergillus oryzae</i> Lipase from <i>Candida rugosa</i>	[21]
پسماند غذای خانگی پسماند مواد	دومرحله	پودر قارچ غنی از هیدرولیتیک	[22]
غذایی و لجن فعال	دومرحله	پودر قارچ غنی از آنزیم های هیدرولیتیک	[23]
پسماند غذای چینی	دومرحله	Lipases from <i>Aspergillus</i> , <i>Candida</i> and Porcine pancreatic	[24]

پسماند لیگنوسلولزیکی

پسماند مواد غذایی

منابع

1. Pilli S, More TT, Yan S, Tyagi RD, Surampalli RY, Zhang TC (2016) Anaerobic digestion or co-digestion for sustainable solid waste treatment/management. In: Sustainable solid wastemanagement, pp 187–232. <https://doi.org/10.1061/9780784414101.ch08>
2. Merlin Christy P, Gopinath LR, Divya D (2014) A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renew Sustain Energy Rev* 34:167–173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.010>
3. Michalska K, Bizukojć M, Ledakowicz S (2015) Pretreatment of energy crops with sodium hydroxide and cellulolytic enzymes to increase biogas production. *Biomass Bioenergy* 80:213–221. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.022>
4. Madsen M, Holm-Nielsen JB, Esbensen KH (2011) Monitoring of anaerobic digestion processes: a review perspective. *Renew Sustain Energy Rev* 15(6):3141–3155. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.026>
5. Parawira W (2012) Enzyme research and applications in biotechnological intensification of biogas production. *Crit Rev Biotechnol* 32(2):172–186. <https://doi.org/10.3109/07388551.2011.595384>
6. Quiñones TS, Plöchl M, Pätzolt K, Budde J, Kausmann R, Nettmann E, Heiermann M (2012) Hydrolytic enzymes enhancing anaerobic digestion. In: *Biogas production: pretreatment methods in anaerobic digestion*, pp 157–198. <https://doi.org/10.1002/9781118404089.ch6>
7. Burgess JE, Pletschke BI (2008) Hydrolytic enzymes in sewage sludge treatment: a mini-review. *Water SA* 34(3):343–349
8. Diak J, Örmeci B, Kennedy KJ (2012) Effect of enzymes on anaerobic digestion of primary sludge and septic tank performance. *Bioprocess Biosyst Eng* 35(9):1577–1589. <https://doi.org/10.1007/s00449-012-0748-7>
9. Hettiaratchi JPA, Jayasinghe PA, Bartholameuz EM, Kumar S (2014) Waste degradation and gas production with enzymatic enhancement in anaerobic and aerobic landfill bioreactors. *Bioresour Technol* 159:433–436. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.026>
10. Quiñones TS, Plöchl M, Budde J, Heiermann M (2012) Results of batch anaerobic digestion test - effect of enzyme addition. *Agricult Eng Int: CIGR J* 14(1):38–50
11. Donoso-Bravo A, Fdz-Polanco M (2013) Anaerobic co-digestion of sewage sludge and grease trap: assessment of enzyme addition. *Process Biochem* 48(5–6):936–940. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.04.005>
12. Romero-Güiza MS, Vila J, Mata-Alvarez J, Chimenos JM, Astals S (2016) The role of additives on anaerobic digestion: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 58:1486–1499. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.094>

شبیه‌سازی هضم بی‌هوازی پسماند جامد شهری

Noorlisa Harun, Wan Hanisah W. Ibrahim, Muhamad Faez Lukman, Muhammad Hafizuddin Mat Yusoff, Nur Fathin Shamirah Daud and Norazwina Zainol

چکیده

شبیه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی پسماند جامدات شهری (MSW) با استفاده از نرم‌افزار Aspen Plus انجام شد. طی فرایند هضم بی‌هوازی از پیش‌تیمار آنزیم برای تحلیل مواد آلی استفاده شد که طی این فرایند مواد بی‌اثر مانند پلاستیک، فلزات و منسوجات از جریان اصلی تفکیک شد. ساختارهای پیچیده آلی مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها به مونومرهای مربوطه، مانند اسیدهای آمینه، گلوکز و اسیدهای چرب هیدرولیز می‌شوند. سپس این مونومرهای هیدرولیز شده به اسیدهای چرب فرار مختلف (VFAs) تبدیل می‌شوند؛ سپس VFAها به دی‌اکسیدکربن، اسید استیک و هیدروژن تبدیل می‌شوند. فرایند هضم بی‌هوازی در نرم‌افزار Aspen Plus در رآکتورهای RSTOIC و RCSTR شبیه‌سازی شده است. واکنش هیدرولیز در رآکتور RSTOIC شبیه‌سازی شد؛ تجزیه آمینو اسید، واکنش اسیدوژن و استوژن نیز در رآکتور RCSTR بررسی شده است. مقدار ماده خشک محلول زیستی¹ ۲۰٪wt بود که عمدتاً از VFA تشکیل شده است. تحلیل حساسیت جهت مطالعه تاثیر زمان اقامت بر میزان ماده آلی محلول زیستی انجام شد. با افزایش زمان ماند، میزان تولید محلول زیستی نیز افزایش یافت.

¹ Bioliquid

استحصال بیوگاز از پسماندهای سرنده

N. Wid and N. J. Horan

چکیده

در فرایند تصفیه فاضلاب در ابتدای کار، مواد جامد توسط سرنده از جریان فاضلاب جدا می‌شود. این مواد با استفاده از یک واحد فیلتر در ورودی فاضلاب حذف می‌شوند و به دفن‌گاه زباله منتقل می‌شوند. این مواد، اگر تفکیک نشوند به ادوات و تجهیزات مکانیکی آسیب زده و کیفیت فرایند تیمار، قابلیت اطمینان و اثر بخشی آن را کاهش می‌دهند. به همین دلیل از ورود آن‌ها به سیستم تصفیه‌خانه جلوگیری می‌شود. طی این فرایند و غربالگری مقدار قابل توجهی مواد آلی تجزیه‌پذیر نیز در سرنده باقی می‌مانند که پس از دفن این زباله‌ها در طول فرایند تجزیه زیستی، مقدار قابل توجهی گاز گلخانه‌ای منتشر می‌شود. آزاد شدن مواد مغذی پسماندها و در نتیجه اتروفیکاسیون¹ یک مشکل جدی دیگری برای آب‌های زیرزمینی و آزاد ایجاد می‌نماید و سبب افت کیفیت آب می‌گردد. دفن زباله مشکل دیگری را نیز که ناشی از انتشار بوی بد را نیز به دلیل ماهیت قابل توجه برخی از مواد ایجاد کند. با توجه به محتوای زیاد مواد آلی غربال شده، هضم بی‌هوازی نه تنها توان بالقوه بازیابی انرژی را دارد، بلکه امکان بازیافت و استفاده مجدد مواد مغذی را نیز به دنبال دارد. در این مطالعه، هضم بی‌هوازی به مدت ۳۰ روز با pH و درجه

¹ eutrophication

هضم بی‌هوازی پسماندهای غذایی

Md. Mizanur Rahman, Yeoh Shir Lee, Fadzlita Mohd Tamiri and Melvin Gan Jet Hong

چکیده

این مطالعه بر روی جزئیات و اصول کار سیستم‌های هضم بی‌هوازی و مدیریت زباله‌های جامد شهری به‌طور عمده زباله‌های آشپزخانه‌ای و تولید متان از آن انجام شد. در تحقیقات پیشین محققین در مورد طراحی انواع مختلف بیوراکتورها و تئوری‌های تولید گاز متان از پسماندهای مواد غذایی پژوهش‌هایی انجام داده‌اند. پارامترهای عملیاتی فیزیکی و شیمیایی برای فرایند تولید گاز متان در این فصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است؛ زیرا از بخش‌های مهمی است که باید در هنگام طراحی بیوراکتورهای بی‌هوازی مورد توجه قرار گیرد. عوامل محیطی متعددی بر میزان تولید گاز متان از زائدات مواد غذایی تاثیر عمده‌ای دارند که در برخی از پژوهش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. اساس این مطالعه پرداختن به موضوع طراحی و توسعه بیوراکتورهای قابل حمل هضم زباله‌های خانگی می‌باشد.

کلمات کلیدی: هضم بی‌هوازی، پسماندهای مواد غذایی، بیومس

موثری برای مدیریت زباله‌های مواد غذایی در تلاش هستند. بسیاری از محققان در دنیا تلاش خود را برای یافتن یک راه‌حل و تکنولوژی پایدار برای مدیریت این زباله‌ها بکار بسته‌اند. اجزای اصلی پسماندهای غذایی حاوی پروتئین، چربی، کربوهیدرات و سلولز هستند. راه‌های مختلفی برای دفع زباله وجود دارد که به مدیریت آن‌ها کمک می‌کنند. در میان روش‌های مدیریتی، فرایند هضم بی‌هوازی یکی از گزینه‌های معتبر و قابل توجهی است که می‌تواند علاوه بر مدیریت موثر زباله‌ها به تولید یک محصول جانبی (بیوگاز) نیز منجر شود که از آن می‌توان به‌عنوان منبع انرژی استفاده کرد. طی فرایند هضم بی‌هوازی، میکروارگانیسم‌ها در غیاب اکسیژن به‌طور موثر مواد زیست توده و زائدات غذایی را تجزیه می‌کنند که محصول جانبی آن بیوگاز و عمدتاً متان است. گاز متان راه‌حل مناسبی برای تامین انرژی خانوار روستایی است که می‌توانند از آن برای پخت و پز و گرمایش استفاده کنند. گاز متان را می‌توان به‌عنوان منبع سوخت ژنراتورها برای تولید برق یا به‌عنوان یک سوخت خودروها نیز استفاده نمود، البته برای این منظور بیوگاز باید شرایط و استانداردهای خاصی را برآورد کند.

جدول ۲- خلاصه‌ای از بیوهاضم‌های پسماند مواد غذایی

نوع پسماند مواد غذایی	نوع بیوهاضم	رفرنس
پسماند مواد غذایی	گنبد ثابت	[۳۵]
پسماند مواد غذایی	گنبد ثابت	[۴۰]
پسماند مواد غذایی و انسانی	گنبد ثابت	[۴۲]
پسماند آشپزخانه‌ای غیرپخته	گنبد ثابت	[۳]
پسماندهای سبزیجات خام، برنج و سبزیجات پخته	گنبد ثابت	[۴۴]
پسماند مواد غذایی (پیش‌تیمار شده با کود گاوی)	گنبد شناور	[۴۳]
پسماند مواد غذایی	گنبد شناور	[۴۱]

عملکرد هضم بی‌هوازی را می‌توان با اعمال پیش‌تیمارهای فیزیکی، ترموشیمیایی، بیولوژیکی یا ترکیبی به‌طور قابل توجهی بهبود داد. عملکرد هضم مواد نیز به سرعت واکنش در هاضم و فرایند هیدرولیز بستگی دارد. ترکیب پسماندهای مواد غذایی با سایر مواد زیست توده، به‌طور قابل توجهی تولید بیوگاز و متان را بهبود می‌بخشد. محصول سیستم هضم بی‌هوازی،

تصفیه شیرابه هاضم بیولوژیکی با استفاده از جذب

I. Azreen and A. Y. Zahrim

چکیده

تیمار مواد آلی زیست تخریب‌پذیر موجود در شیرابه هاضم با استفاده از فرایندهای بیولوژیکی یک روش قابل قبول و مورد توجه پژوهشگران است. با این حال مقدار قابل توجهی آمونیاک، فلزات سنگین و ترکیبات آلی سخت همچنان در شیرابه هاضم باقی می‌ماند. روش‌ها و فرایندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی به منظور حذف آلودگی‌های باقی‌مانده تیمار مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های انعقاد، اکسیداسیون و جذب اشاره کرد. جذب از فرایندهای غالب مورد استفاده در تیمار پساب است که امکان حذف ترکیبات آلی سخت را افزایش می‌دهد. این فصل بر روی فعالیت‌های مربوط به جذب به‌عنوان یکی از روش‌های معمول مورد استفاده برای تیمار شیرابه زیستی هاضم تمرکز دارد و تا حد ممکن روش‌های حل این مشکل را بررسی می‌کند.

۱- مقدمه

مایعی که از لندفیل‌های سرپوشیده خارج می‌شود را شیرابه می‌نامند که عمدتاً آب بارش نفوذی از سرپوش لندفیل که از میان زباله عبور کرده و از لندفیل خارج می‌شود. به‌طور خاص،

مواد معدنی و ترکیبات آلی محلولی که هنگام نفوذ آب به لایه‌های زباله در آن حل شده و آلودگی‌ها را در هنگام عبور جریان آب جذب می‌کند. فعل و انفعالات پیچیده و واکنش‌های بیوژئوشیمیایی و هیدرولوژیکی تولید ماده مرطوبی می‌کند که منجر به جریان شیرابه می‌شود [۱].

شیرابه‌ها معمولاً حاوی مقادیر زیادی آلاینده‌های آلی هستند که می‌توان شدت آلاینده‌گی آن را با روش‌های تقاضای شیمیایی اکسیژن (COD) و نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD)، مقدار جامدات معلق، هیدروکربن‌های هالوژنی، نیتروژن آمونیاکی، نمک‌های معدنی و انواع مختلف فلزات سنگین موجود در آن‌ها اندازه‌گیری کرد.

جدول ۱- محدوده تخلیه قابل قبول شیرابه در چندین کشور [۳-۵]

پارامترها	محدوده تخلیه (mg/L)						
	مالزی	آمریکا	هنگ کنگ	فرانسه	آلمان	چین	کره جنوبی
COD	۴۰۰	NA	۲۰۰	۱۲۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰
BOD ₅	۲۰	NA	۸۰۰	۳۰	۲۰	۳۰	NA
NH ₃ -N	۵	NA	۵	NA	NA	۲۵	۵۰
کل فسفر	NA	NA	۲۵	NA	۳	۳	NA
کل نیتروژن	NA	NA	۱۰۰	۳۰	۷۰	۴۰	۱۵۰
کادمیوم (II)	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	NA	۰/۱	۰/۰۱	NA
کروم (III)	۰/۲	NA	۰/۱	NA	۰/۵	-	NA
کروم (VI)	۰/۰۵	۰/۰۵	NA	NA	۰/۱	۰/۰۵	NA
مس (II)	۰/۲	۰/۰۷	۱	NA	۰/۵	-	NA
روی (II)	۲	۰/۳	۰/۶	NA	۲	-	NA
نیکل (II)	۰/۲	۰/۰۱۳	۰/۶	NA	۱	-	NA
سرب (II)	۰/۱	۰/۰۳	NA	NA	۰/۵	۰/۱	NA
نقره (II)	۰/۱	۰/۰۵	۰/۶	NA	NA	-	NA

نگرانی عمده از شیرابه‌ها مربوط به تیمار این آلاینده‌هاست، زیرا میزان این آلاینده‌ها به‌عنوان پارامترهای محدود کننده در تخلیه شیرابه تلقی می‌شوند که توسط اپراتورهای لندفیل مطرح می‌شوند. جدول ۱، استانداردهای تخلیه سختگیرانه را در چندین کشور نشان می‌دهد. شیرابه لندفیل اگر به درستی تیمار نشوند و با اطمینان خاطر از بین نروند، تهدید قابل ملاحظه‌ای

افزایش می‌دهد. مطالعات پیش رو در جهت جستجوی برای نوع بهتری از جاذب‌ها مانند بیو سوربنت‌ها^۱ می‌باشند؛ که دوست‌دار محیط‌زیست، مؤثر، کم هزینه و در دسترس هستند.

منابع

1. Aziz HA, Adlan MN, Zahari MSM, Alias S (2004) Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH₃) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limestone. *Waste Manage Res* 22(5):371–375
2. Li W, Hua T, Zhou Q, Zhang S, Li F (2010) Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption. *Desalination* 264(1):56–62. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.004>
3. Gao J, Oloibiri V, Chys M, Audenaert W, Decostere B, He Y, Van Langenhove H, Demeestere K, Van Hulle SWH (2015) The present status of landfill leachate treatment and its development trend from a technological point of view. *Rev Environ Sci Bio/Technol* 14 (1):93–122. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9349-z>
4. Kurniawan TA, W-h Lo, Chan GYS (2006) Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *J Hazard Mater* 129(1):80–100. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>
5. Bashir MJK, Xian TM, Shehzad A, Sethupathi S, Choon Aun N, Abu Amr S (2017) Sequential treatment for landfill leachate by applying coagulation-adsorption process. *Geosyst Eng* 20(1):9–20. <https://doi.org/10.1080/12269328.2016.1217798>
6. Rui LM, Daud Z, Latif AAA (2012) Treatment of Leachate by coagulation-flocculation using different coagulants and polymer: a review. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol* 2(2):114–117
7. Moody CM, Townsend TG (2017) A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Manage* 63:267–274. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.020>
8. Rafizul IM, Alamgir M (2012) Characterization and tropical seasonal variation of leachate: results from landfill lysimeter studied. *Waste Manage* 32(11):2080–2095. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.020>
9. Peng Y (2017) Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arab J Chem* 10: S2567–S2574. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>
10. Foo KY, Hameed BH (2009) An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *J Hazard Mater* 171(1):54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.038>
11. Alvarez-Vazquez H, Jefferson B, Judd SJ (2004) Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review. *J Chem Technol Biotechnol* 79 (10):1043–1049
12. Chian ESK, DeWalle FB (1976) Sanitary landfill leachates and their treatment. *ASCE J Environ Eng Div* 2(2):411–431

¹ biosorbent

پیشرفت‌های اخیر در زمینه حذف رنگدانه نامحلول از لجن تیمار شده به صورت بی‌هوازی با روش انعقاد لخته‌سازی

A. Y. Zahrim

چکیده

از مهمترین صنایع مالزی، صنعت روغن‌گیری از درخت نخل است و بیشتر کارخانه‌ها از روش هضم بی‌هوازی به‌عنوان روش اصلی و کارآمد برای تصفیه پسماندهای کارخانه‌های روغن نخل (POME) استفاده می‌کنند. به صورت متداول، رنگ‌زدایی از POME به روش بی‌هوازی (AnPOME) انجام می‌شود و فرایند مذکور در حال تبدیل شدن به یک نگرانی بزرگ است. وجود ذرات رنگی نامحلول و پایدار، به‌عنوان مانعی برای فرایندهای بیولوژیکی عمل می‌کنند؛ روش انعقاد و لخته‌سازی ممکن است بخشی از این ذرات رنگی را حذف کند. انواع مختلفی از مواد غیرآلی و پلیمری انعقادی و لخته‌ساز که به انعقاد و لخته‌سازی AnPOME کمک می‌کند، مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر محققان در حال حاضر علاقه‌مند به استفاده از مواد طبیعی منعقد کننده و لخته‌ساز هستند. اصلاح ویژگی‌های مواد طبیعی لخته‌ساز و انعقاد کننده باعث بهبود عملکرد فرایند انعقاد و لخته‌سازی می‌شود. مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند انعقاد-لخته‌سازی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. لجن شیمیایی دارای پتانسیل کافی برای رشد گیاه نیز است که آزمایش‌های گلخانه‌ای برای بررسی سمیت آن در حال ارزیابی است.

تأثیر خصوصیات فیزیکی جلبک‌های دریایی بر تولید بیوگاز

N. Bolong, H. A. Asri, N. M. Ismail and I. Saad

چکیده

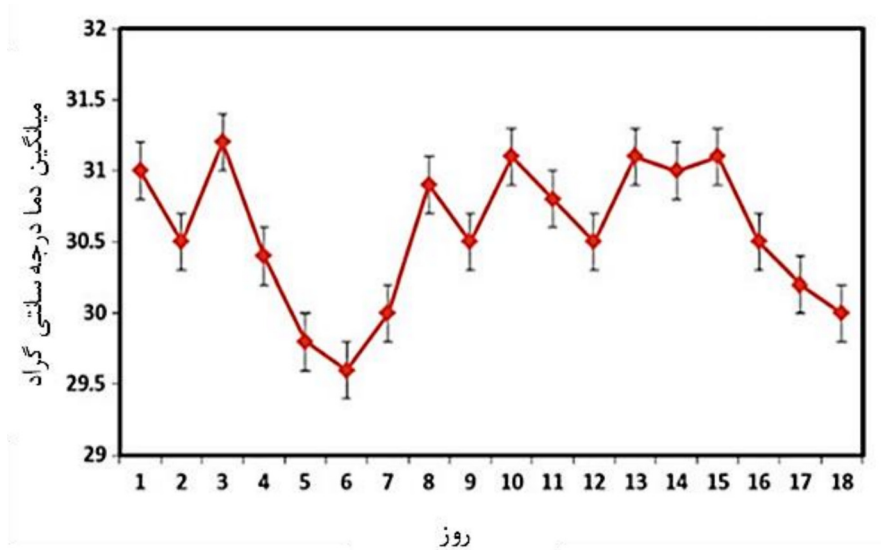
افزایش تقاضا برای حفاظت از محیط‌زیست و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باعث شده است تا فناوری‌های انرژی زیستی مانند هضم بی‌هوازی به‌طور قابل توجهی مورد پسند واقع شوند. هدف اصلی از این مطالعه تعیین عملکرد بیوگاز جلبک دریایی خام *Eucheuma cottonii* و بررسی مواد زائدی است که طی فرایند هضم بی‌هوازی و در انتهای فرایند باقی می‌مانند. جلبک دریایی از تنه (مانند برگ) و گاهی ساقه و پایه (نگهدارنده) تشکیل می‌شود. جلبک دریایی پتانسیل لازم برای تبدیل شدن به مواد اولیه بیوگاز را دارد، پسماند آن به دلیل نرخ رشد بالا، بازده تولید بیشتر و نرخ تثبیت کربن بالا، نسبت به سایر محصولات زراعی بازده تولید بیوگاز بالایی دارد. جلبک دریایی دارای ۳۹-۴ درصد کربوهیدرات و محتوای رطوبت زیاد با لیگنین کم در مقایسه با سایر گیاهان خاکی است، بنابراین تجزیه آن ساده‌تر است. ادغام این یافته‌ها می‌تواند تاییدی بر استفاده از پسماندهای جلبک دریایی باشد، این منبع برای تأمین انرژی پایدار و تجدیدپذیر بسیار مؤثر و مقرون‌به‌صرفه است. در این مطالعه از ۱/۵ لیتر لجن فعال بی‌هوازی تازه

تقاضای شیمیایی اکسیژن (COD) با استفاده از روش اصلاح آزید^۱ انجام شد (DR890 Colorimeter).

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تاثیر دما و pH بر فرایند

گونه جلبک دریایی *Solieriaceae*; *E. Cottonii*، برای تولید بیوگاز در هاضم بی‌هوازی مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات دمایی در طول هضم بی‌هوازی در محدوده ۲۹-۳۱ درجه سانتی‌گراد در شرایط مزوفیلیک نگهداشته شد، که تغییرات دمایی در طول فرایند در شکل ۳ نشان داده شده است. بالاترین مقدار درجه حرارت ثبت شده در روز سوم آزمایش در دمای ۳۱/۲ درجه سانتی‌گراد بود، و کمترین میزان دما نیز ۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد در روز ششم آزمایش ثبت شد. تولید متان در طیف وسیعی از درجه حرارت اتفاق افتاد که بیشترین مقدار تولید در شرایط مزوفیلیک در ۳۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد و محدوده ترموفیلیک در ۵۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد [۲۲].



شکل ۳- تغییرات درجه حرارت در طول فرایند هضم بی‌هوازی

¹ Azide

تعداد مول‌ها؛ حداقل تعداد مول‌های موجود در سیال خروجی (متشکل از NH_4^+ , PO_4^{3-} , Mg^{2+}) است که در شکل‌گیری استرویت مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲- بازیافت فسفر در غلظت‌های مختلف جامدات خشک

هضم	عملکرد استرویت (کیلوگرم/کیلوگرم جامد خشک)	بازیافت فسفر (درصد)
R ₁ (3)	۰/۲۷	۳۷
R ₂ (6)	۰/۱۹	۴۱
R ₃ (9)	۰/۱۸	۳۹
R ₄ (12)	۰/۱۵	۳۸

۳- بحث و نتیجه‌گیری

پتانسیل استرویت تولید شده براساس درصد بازیافت فسفر در ماده با هضم مواد جامد خشک غربال شده مورد بررسی قرار گرفت. بازیافت فسفر با استفاده از عملکرد استرویت تولیدی نیز بیان شد و به صورت تئوری محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که در غلظت‌های مختلف جامد خشک، میزان درصد بازیافت تغییر چندانی ندارد. بطوریکه بین ۳۷ تا ۴۱٪ متغیر بوده و در ۶٪ مواد جامد خشک بالاترین میزان را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مواد غربال شده یک ماده اولیه ایده‌آل برای بازیافت فسفر هستند. هنگامی که فسفر بر حسب واحد کیلوگرم مواد جامد خشک استرویت بر کیلوگرم مواد غربال شده بازیافت شود، در شرایط با ۳٪ از مواد جامد خشک بالاترین فسفر با مقدار ۰/۲۷ کیلوگرم مواد جامد خشک استرویت را تولید می‌کند و به دنبال آن از مقادیر ۶، ۹ و ۱۲٪ بازیافت بالایی صورت می‌گیرد (جدول ۲). با افزایش غلظت مواد جامد خشک، عملکرد تولید استرویت کاهش می‌یابد. این ممکن است به دلیل اضافه باری اسیدهای آلی در هاضم باشد که ممکن است باعث اختلال در آزاد شدن فسفر شود. با در نظر گرفتن میزان مواد غربالی که سالانه در انگلستان تولید می‌شود و با انتقال این مواد از لندفیل‌ها به هاضم‌ها، انجام هضم بی‌هوازی صورت می‌گیرد؛ تقریباً در هر سال حدود ۴۰۵۰۰ تن استرویت بازیافت می‌گردد.



Nigel Horan, Abu Zahrim Yaser, Newati Wid

Anaerobic Digestion Processes

Applications and Effluent Treatment

