

餐厨垃圾协同市政污泥厌氧产氢产甲烷研究

石志华, 李兵*, 岳远, 董志颖, 徐超

(宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 以热处理后的餐厨垃圾和市政污泥为底物, 采用高温两相厌氧发酵工艺, 在外加热源条件下, 研究不同进料负荷(OLR)对两相厌氧产氢、产甲烷系统的产气性能影响。结果表明: 随着产氢相 OLR 的增加, 系统平均 VS 产气率、氢气体积分数、容积产气率呈先升后降的趋势, 并在 OLR 为 $12.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时取得最大值, 分别为 $0.19 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1}$ 、45.61% 和 $1.86 \text{ L} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$; 当产甲烷相 OLR 为 $4.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 甲烷体积分数最大, 为 49.54%, 当产甲烷相 OLR 为 $5.0 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$, 系统平均 VS 产气率和最大容积产气率最大, 分别为 $0.71 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.83 \text{ L} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$, 且此时两相系统 VS 去除率与能量产率最高, 分别为 65.37% 和 $30.93 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$ 。因此, 高温、高含固率餐厨垃圾协同市政污泥厌氧两相产氢产甲烷不仅能同时获得产量与体积分数均较高的氢气与甲烷, 而且能够有较高的 VS 去除率。

关键词: 餐厨垃圾; 市政污泥; 产氢; 产甲烷

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 06-0064-06

随着经济的发展、人民生活水平的提高和城市化进程的加快, 我国城市生活垃圾产生量和市政污泥产量逐年增加。2017 年, 我国 202 个大中城市生活垃圾产生量达到 20 194 万 $\text{t}^{[1]}$, 其中餐厨垃圾占比达 50% 以上^[2]; 2018 年上半年, 我国城镇污泥产量约为 1 800 万 $\text{t}^{[3]}$ (以 80% 含水率计)。餐厨垃圾和市政污泥的减量化、无害化和资源化处理已成为亟待解决的问题^[4-5]。应用厌氧发酵技术处理餐厨垃圾和市政污泥是有效解决该问题的重要途径。厌氧发酵技术在处理有机废物过程中既能实现废物的减量化, 又能回收清洁的生物质能, 对控制环境污染和综合利用城市固体废物具有重要的现实意义。

目前关于有机废物厌氧消化的研究主要集中在厌氧产甲烷方面, 忽视了对厌氧过程中氢气的回收, 氢气作为一种清洁能源, 如被充分回收利用, 可有效缓解能源危机。且厌氧系统普遍存在有机物去除率偏低的问题, 试验条件也多为中温、低含

固率, 对于高温、高含固率条件下多种有机废物混合厌氧产氢产甲烷的文献报道较少。在单相厌氧系统中, 厌氧过程中生成的氢会被产甲烷菌利用转化为甲烷, 氢在生物气中的比例很低; 两相发酵工艺将产氢过程和产甲烷过程分别置于两个反应器内, 产氢相造成的酸积累不会对产甲烷相有明显的影响, 从而保证了系统的正常运行^[6]。两相分离可确保产酸菌和产甲烷菌处在各自最优的条件下进行代谢活动, 产气性能及系统稳定性都优于单相厌氧消化系统^[7-9]。

本文基于大量血清瓶厌氧试验, 采用两相厌氧发酵装置, 对餐厨垃圾和市政污泥进行协同厌氧发酵处理。将餐厨垃圾与市政污泥按挥发性固体(VS)质量比 3:1 混合进行消化厌氧产氢实验^[10], 通过控制产氢相与产甲烷相的进料负荷, 研究混合底物的产氢产甲烷潜力, 分析两相厌氧系统的产气性能和消化效果, 以期提高两相厌氧系统中有机物的去除能力, 优化餐厨垃圾与市政污泥共

收稿日期: 2020-03-09.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金公益技术项目(LGF19E080006); 国家住建部研究开发项目(2018-K7-010)。

第一作者: 石志华(1995-), 男, 湖北黄冈人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 固体废物处理与资源化。E-mail: zhihuashihb@163.com

*通信作者: 李兵(1977-), 男, 江苏泰州人, 博士/副教授, 主要研究方向: 固体废物处理与资源化。E-mail: libing@nbu.edu.cn

消化厌氧产氢产甲烷的工艺条件.

1 材料与方法

1.1 试验材料

餐厨垃圾取自宁波某大学食堂, 主要为倾倒的米饭、面食、蔬菜、豆类制品、肉类和骨头等. 挑检出其中的纸巾、塑料与骨头等杂物后, 用自来水冲洗以降低其油分和盐分含量. 沥干后将餐厨垃圾放入 50 ℃烘箱进行烘干处理, 然后利用小型粉碎机将其充分粉碎, 置于 4 ℃冰箱中保存待用. 市政污泥取自宁波某污水处理厂污泥脱水车间, 脱水污泥呈硬结板块状, 用小型粉碎机进行粉碎处理后置于 4 ℃冰箱中保存待用. 接种液取自本课题组实验室厌氧发酵罐, 经 100 ℃、30 min 热处理, 灭活接种液中有害微生物后放入 4 ℃冰箱中保存待用. 餐厨垃圾、市政污泥和接种液的主要理化参数见表 1.

表 1 餐厨垃圾、市政污泥和接种液的理化参数

物质	TS/%	VS/%	pH
餐厨垃圾	19.49±0.21	92.07±0.33	5.34±0.06
市政污泥	44.98±0.27	39.72±0.15	7.45±0.18
接种液	7.45±0.19	94.33±0.37	6.17±0.04
物质	TC/%	TN/%	脂肪/%
餐厨垃圾	52.96±0.25	3.02±0.08	17.60±0.36
市政污泥	24.05±0.16	3.76±0.06	—
接种液	—	—	—
物质	粗蛋白/%	碳水化合物/%	C/N
餐厨垃圾	23.19±0.12	43.57±0.33	23.54±0.28
市政污泥	—	—	6.39±0.13
接种液	—	—	—

注: TS 为总固体, VS 为挥发性固体, TC 为总碳, TN 为总氮.

1.2 试验装置

产氢相装置罐体由透明亚克力制成, 容积为 3 L, 有效容积为 2.5 L, 采用隔层水浴加温. 装置顶部设有变频调速小型电机, 提供搅拌, 本试验搅拌速度 160 r·min⁻¹, 罐体上部设进料阀口, 下部设出料阀口. 产甲烷相装置为全混式厌氧发酵罐, 容积为 10 L, 有效容积为 7 L. 发酵罐配置及参数设置与产氢相相同. 反应器内置 pH 在线监测系统. 试验中两相系统的气体收集方法均为排水法. 试验装置如图 1 所示.

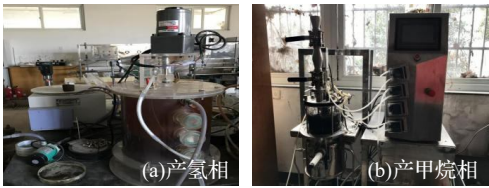


图 1 试验装置

1.3 试验方法

产氢相与产甲烷相均采用高温(55 ℃)厌氧发酵工艺, 两相装置均用氮气对反应器进行 5 min 吹扫以驱逐空气. 餐厨垃圾与市政污泥按质量比 3:1(以 VS 计)进行混合, 混合后进行热预处理(105 ℃, 35 min, 高压蒸汽灭菌锅), 调配物料 TS 至 20%, 按装置 5% 的有效容积加入接种液, 且系统初始 pH 调至 10.0, 待装置启动 2 d 后开始进料, 有机负荷分阶段逐步提高至 15 g·(L·d)⁻¹, 每天进出料各一次; 将产氢余物加入产甲烷相装置, 按装置 5% 的有效容积加入接种液, 驯化 15 d 后开始进料, 有机负荷分阶段逐步提高至 5.5 g·(L·d)⁻¹, 每天进出料各一次. 各阶段试验方案设计见表 2.

表 2 试验方案设计

负荷阶段	有机负荷率/(g·(L·d) ⁻¹)		运行时间/d
	产氢相	产甲烷相	
1	7.5	4.0	1~14
2	10.0	4.5	15~29
3	12.5	5.0	30~45
4	15.0	5.5	46~62

1.4 分析方法

试验过程中各指标的分析方法见表 3.

表 3 分析及仪器

测定指标	方法	仪器
pH	pH 计法	METTLER TOLEDO S220-K
VFAs	气相色谱法 ^[11-12]	岛津 GC-2010
SCOD	重铬酸盐法 ^[13]	消煮仪、滴定管
TS/VS	质量测定法 ^[14]	恒温鼓风干燥箱、马弗炉
产气量	排水法	集气瓶
氢气体积分数	气相色谱法 ^[15]	北分瑞利 SP2100
甲烷体积分数	气相色谱法 ^[15]	北分瑞利 SP2100
蛋白质	Folin-酚法 ^[16]	分光光度计
碳水化合物	苯酚-硫酸法 ^[17]	分光光度计
脂肪	索氏提取法 ^[18]	索氏提取器
TC/TN	TC/TN 分析法	MultiN/C3100

2 结果与讨论

2.1 产氢相产气性能变化情况

有机负荷率(OLR)是影响两相厌氧产气系统的重要参数之一,有机负荷过低或过高都会影响厌氧消化反应效率.不同有机负荷情况下,产氢相系统的产气性能变化如图2、3所示.其中,容积产气率是指单位时间单位容器体积内的产气量;VS产气率表征的是单位质量的有机物在厌氧消化过程中的产气量,是反映厌氧系统内微生物活性及系统运行效率的测算指标.

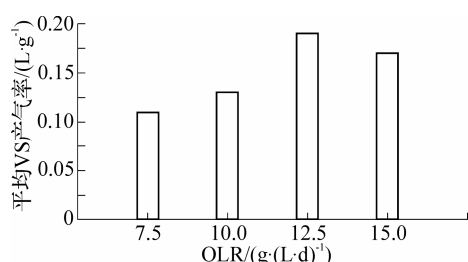


图2 产氢相平均 VS 产气率变化

图2表明,产氢相的OLR从7.5提高至15.0 g·(L·d)⁻¹,系统平均VS产气率变化范围为0.11~0.19 L·g⁻¹.反应初期随着OLR的提升,系统的平均VS产气率随之提高,当OLR=12.5 g·(L·d)⁻¹时,平均VS产气率最大,为0.19 L·g⁻¹.随着OLR的进一步提高,平均VS产气率有所下降,这说明此时产氢相有机负荷率过大,影响了系统产气性能.

从图3可以看出,产氢相OLR由7.5增加到10.0 g·(L·d)⁻¹并运行至实验第29天时,容积产气率虽有波动,但总体上呈升高趋势,由最初的0.89上升至1.28 L·(L·d)⁻¹,因而OLR的增加对产氢相的产气性能起到提升促进作用;产氢相继续运行至第45天时,容积产气率较前阶段显著提高,最高达1.86 L·(L·d)⁻¹,表明此阶段OLR有助于产氢相的高效、稳定运行;当产氢相继续运行至第62天、OLR=15.0 g·(L·d)⁻¹时,容积产气率整体大幅度低于OLR=12.5 g·(L·d)⁻¹阶段,可能由于OLR过量导致厌氧消化效率降低,为OLR过量期.VS产气率的变化规律基本跟容积产气率相似,在提升期VS产气率随着OLR的提高而增大;在稳定期,OLR=12.5 g·(L·d)⁻¹时,最大VS产气率达到0.24 L·g⁻¹;在过量期,VS产气率整体有所下降,这可能是由于过大的有机负荷使厌氧消化效率降低,系

统中积累了大量的有机酸,抑制了部分微生物活性,导致产气性能下降^[19].

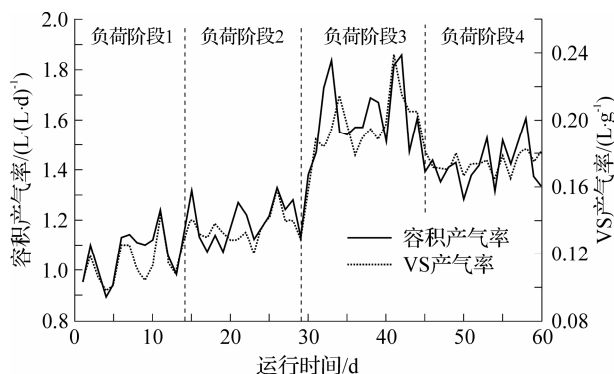


图3 产氢相容积产气率、VS产气率的变化

2.2 产氢相 pH 及氢气体积分数变化情况

pH是反映系统酸化与否最直接的指标,密切监测系统的pH值并及时进行调整可维持系统的稳定性.由图4可以看出,在第1阶段和第2阶段中前期,pH由5.75波动下降,维持在5.35左右;在第2阶段末期,pH又有所下降;当OLR提高至12.5 g·(L·d)⁻¹时,pH迅速下降至4.68左右,这是由于过高的有机负荷导致产氢相内的有机酸积累,使得系统pH下降.研究指出,水解酸化细菌的适宜pH范围为5.0~6.0^[20],因而当OLR=15.0 g·(L·d)⁻¹时,产氢相内部pH依然能够维持在5.0以下,表明高进料负荷对pH冲击不大.由图4还能看出,产氢相启动前3d,氢气体积分数由21.23%迅速提高至32.07%,直至第45天体积分数波动上升,最高达45.61%;但当OLR=15.0 g·(L·d)⁻¹时,体积分数快速下降,表明有机负荷已过量,不利于系统产氢.

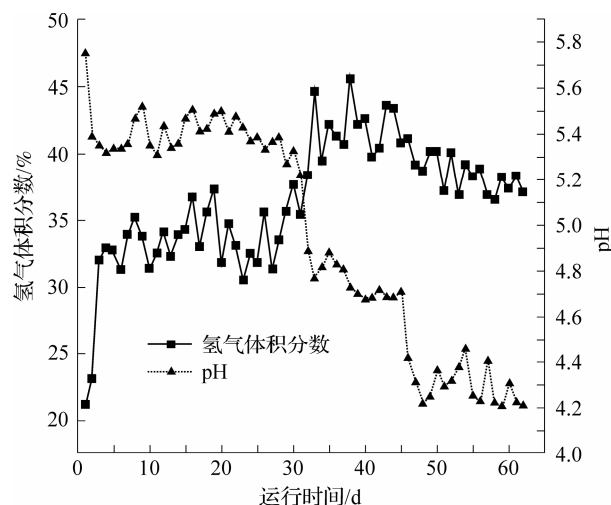


图4 产氢相 pH 及氢气体积分数变化

2.3 产甲烷相产气性能变化情况

从图 5 可以看出, 产甲烷相平均 VS 产气率从第 1 阶段至第 4 阶段依次为 0.56、0.66、0.73 和 0.65 $\text{L}\cdot\text{g}^{-1}$ 。当 $\text{OLR}=5.5 \text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 平均 VS 产气率不再上升反而下降, 表明此时的进料负荷对产甲烷有抑制作用; 而当 $\text{OLR}=5.0 \text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 系统的平均 VS 产气率最大, 说明此时的进料负荷最有利于产甲烷。

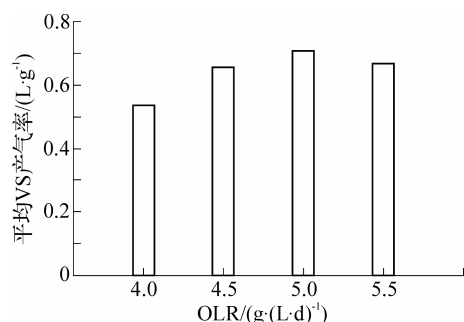


图 5 产甲烷相平均 VS 产气率变化

由图 6 可以看出, 产甲烷相中容积产气率在前 3 阶段的 OLR 水平下, 呈持续波动上升趋势, 当 $\text{OLR}=5.5 \text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时容积产气率出现下降。产甲烷相启动初期, 容积产气率由 $1.71 \text{ L}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 迅速增长到 $2.71 \text{ L}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, 可能因为产甲烷微生物适应了系统环境后迅速增长繁殖, 产气能力得到加强。随着 OLR 的增加, 容积产气率波动上升。当 $\text{OLR}=5.0 \text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 系统整体容积产气率最大, 为 $3.83 \text{ L}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$; 当 $\text{OLR}=5.5 \text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 容积产气率反而下降, 表明此时 OLR 过量, 抑制了微生物活性, 导致容积产气率降低。从图 6 还可以看出, 第 3 阶段容积产气率大幅度高于另外 3 个阶段, 说明 OLR

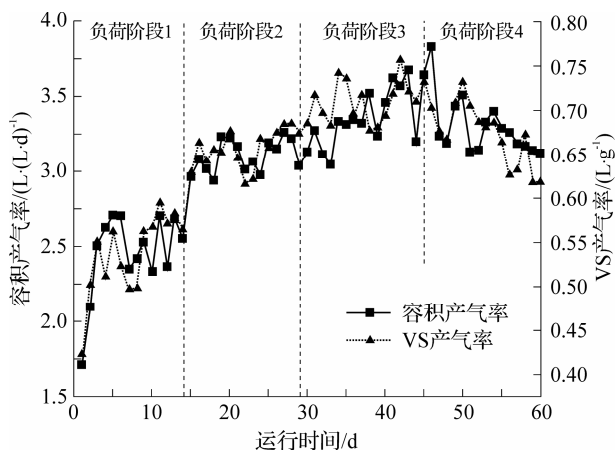


图 6 产甲烷相容积产气率、VS 产气率的变化

由第 2 阶段提高至第 3 阶段, 容积产气率的提升效果明显优于平均 VS 产气率。

2.4 产甲烷相 pH 及甲烷体积分数变化情况

图 7 显示的是产甲烷相中 pH 及甲烷体积分数的变化情况。由图 7 可知, 产甲烷相前 3 阶段 pH 值呈波动变化, 基本维持在 6.8 左右, 处于最优产甲烷 pH 值范围内^[21], 表明前 3 阶段的进料负荷对系统酸碱性冲击不大; 第 4 阶段的 pH 显著下降, 最小值为 6.47, 表明过量的有机负荷能够引起有机酸的积累。从图 7 中还可以看出, 第 2 阶段的甲烷体积分数明显高于其他 3 个阶段, 最大值达到 49.54%, 表明第 2 阶段的进料负荷最利于甲烷的产生。进料负荷继续增大则会抑制甲烷的产生。

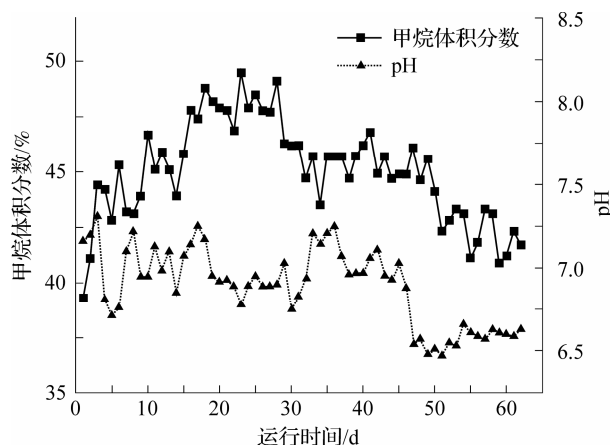


图 7 产甲烷相 pH 及甲烷体积分数变化

2.5 两相厌氧系统有机物的去除

由表 4 可知, 产氢相 VS 去除率明显高于产甲烷相, 这表明大量 VS 在很短的时间内参与了生化反应, 转化为氢气并为产甲烷相积累了质量较好的底物。在反应前 3 阶段里, 产氢相与产甲烷相 VS 去除率均随着 OLR 的增加而升高; 第 4 阶段, 产氢相与产甲烷相的 VS 去除率均降低较多, 表明进料负荷均过量, 超过了系统内部微生物的处理能力; 第 3 阶段产氢相和产甲烷相的平均 VS 去除率均达到最大, 分别为 36.71% 和 25.32%, 两相叠加平均去除率达到了 65.37%, 表明在较高进料负荷下依然有较好的 VS 去除能力。

结合图 7 与表 4, 两相系统中甲烷体积分数明显低于单相系统中的甲烷体积分数, 可能是因为产氢相消耗了很多的 VS, 从而造成进入产甲烷相中且易被转化成甲烷的底物浓度降低。

表4 两相系统平均 VS 去除率 %

阶段	平均 VS 去除率		
	产氢相	产甲烷相	两相叠加
1	31.76	20.81	57.14
2	34.53	24.64	62.76
3	36.71	25.32	65.37
4	31.21	23.42	59.42

2.6 两相厌氧系统的产能分析

为对比不同 OLR 条件下各阶段两相厌氧系统的产气效能, 将各阶段产生的生物气转换成标准状态下的燃烧热值, 分析产氢相、产甲烷相和整个厌氧系统的能量产率。由表 5 可知, 餐厨垃圾协同市政污泥产氢产甲烷系统中, 生物质能源主要来自产甲烷相; 在前 3 阶段, 随着两相系统各自 OLR 的增加, 产氢相、产甲烷相以及两相能量总产率均升高; 第 3 阶段, 两相系统获得最大能量产率, 为 $30.93 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$; 第 4 阶段两相系统能量总产率下降。

表5 两相系统的平均能量产率

阶段	能量产率/($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)		占总能比例/%		两相能量总产率/($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)
	氢气	甲烷	氢气	甲烷	
1	1.43	21.52	6.2	93.8	22.95
2	1.69	26.30	6.1	93.9	28.01
3	2.47	28.46	8.0	92.0	30.93
4	2.19	26.85	7.5	92.5	29.04

3 结论

本研究通过对两相系统的进料负荷进行调控, 优化了两相厌氧系统的产气工艺条件, 得到以下结论:

(1)产氢相中, 当 $\text{OLR}=12.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 平均 VS 产气率最大, 为 $0.19 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1}$; 产甲烷相中, 当 $\text{OLR}=5.0 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 平均 VS 产气率最大, 为 $0.71 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)在产氢相运行的第 30~45 天, 系统 $\text{OLR}=12.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$, 此时容积产气率最高, 达 $1.86 \text{ L} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 。当产氢相 $\text{OLR}=15.0 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 容积产气率迅速下降, 此时有机负荷率过量; 产甲烷相 $\text{OLR}=5.0 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 系统整体容积产气率最大, 为 $3.83 \text{ L} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 。

(3)产氢相最大氢气体积分数为 45.61%, 此时有机负荷率为 $12.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$; 产甲烷相最大甲烷体

积分数为 49.54%, 此时有机负荷率为 $4.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$, 此阶段的甲烷体积分数整体高于其他阶段。

(4)当产氢相 $\text{OLR}=12.5 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 、产甲烷相 $\text{OLR}=5.0 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 两相总 VS 去除率最高, 最高值为 65.37%, 此时两相能量产率也最大, 为 $30.93 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(5)在实际工艺应用中, 合理地调节两相反应中的 pH、OLR 等参数能够获得较大的产气率, 由此提高能量的利用率。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2018 年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019.
- [2] 陈恒宝, 许立群, 张有仓, 等. 市政污泥与餐厨废弃物协同厌氧消化工程实例[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 79-84.
- [3] 薛重华, 孔祥娟, 王胜, 等. 我国城镇污泥处理处置产业化现状、发展及激励政策需求[J]. 净水技术, 2018, 37(12):33-39.
- [4] 李彤, 王勇, 李迎新, 等. 餐厨垃圾与市政污泥协同厌氧制氢影响因素研究[J]. 太阳能学报, 2019, 40(8): 2135-2142.
- [5] 姚金玲, 王海燕, 于云江, 等. 城市污水处理厂污泥重金属污染状况及特征[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6): 696-702.
- [6] Grimberg S J, Hilderbrandt D, Kinnunen M, et al. Anaerobic digestion of food waste through the operation of a mesophilic two-phase pilot scale digester: Assessment of variable loadings on system performance[J]. Bioresource Technology, 2015, 178:226-229.
- [7] 王佳君. 餐厨垃圾的厌氧发酵及资源化利用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- [8] Ghosh S. Gas production by accelerated bioleaching of organic materials: US, 4396102[P]. 1983-08-02.
- [9] Shen F, Yuan H, Pang Y, et al. Performances of anaerobic co-digestion of fruit & vegetable waste (FVW) and food waste (FW): Single-phase vs two-phase[J]. Bioresource Technology, 2013, 144(9):80-85.
- [10] 岳远, 李兵, 王伟锋, 等. 餐厨垃圾与市政污泥共消化厌氧产氢研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2018, 31(6): 110-114.
- [11] Wu C, Huang Q, Yu M, et al. Effects of digestate recirculation on a two-stage anaerobic digestion system, particularly focusing on metabolite correlation analysis[J]. Bioresource Technology, 2018, 251:40-48.

- [12] Wu C, Wang Q, Xiang J, et al. Enhanced productions and recoveries of ethanol and methane from food waste by a three-stage process[J]. *Energy & Fuels*, 2015, 29(10): 6494-6500.
- [13] 刘毅, 高洋, 田玉斌, 等. 脱水污泥两相厌氧消化系统的启动试验[J]. *净水技术*, 2018, 37(2):74-80.
- [14] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998:536-538.
- [15] NY/T 1700-2009. 沼液中甲烷和二氧化碳的测定 气相色谱法[S].
- [16] 王福荣. 生物工程分析与检验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [17] Colowick S P, Kaplan N O, McCormick D B, et al. *Methods in Enzymology*[M]. New York: Academic Press, 1995.
- [18] 周莉, 李佩璇, 赵钰灵, 等. 响应面法优化南极磷虾粗脂肪索氏提取工艺[J]. *食品科学*, 2017, 38(24):165-170.
- [19] 高常卉, 黄振兴, 赵明星, 等. 餐厨垃圾厌氧干发酵产氢特性及其调控[J]. *环境工程学报*, 2018, 12(6):1843-1852.
- [20] Zhang B, He P J. Performance assessment of two-stage anaerobic digestion of kitchen wastes[J]. *Environmental Technology*, 2014, 35(10):1277-1285.
- [21] Ajay C M, Mohan S, Dinesha P, et al. Review of impact of nanoparticle additives on anaerobic digestion and methane generation[J]. *Fuel*, 2020, 277(5):118234.

Anaerobic hydrogen and methane production from kitchen waste and municipal sewage sludge

SHI Zhihua, LI Bing^{*}, YUE Yuan, DONG Zhiying, XU Chao

(School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Taking thermally treated kitchen waste and municipal sewage sludge as substrates and using a thermophilic two-phase anaerobic fermentation process, under the condition of external heating source, the effects of different feed loads (OLR) are investigated on gas production performance of two-phase anaerobic hydrogen production and methane production. The results indicate that, with the increase of OLR of hydrogen-producing phase, the average VS gas generation rate, hydrogen volume fraction and volume gas generation rate of the system increase first followed by decreasing. The maximum values are obtained at $OLR=12.5\text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, which read $0.19\text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$, 45.61% and $1.86\text{ L}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, respectively. When OLR of methanogenic phase is $4.5\text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, the content of methane climbs to the highest (49.54%). When OLR of methanogenic phase is $5.0\text{ g}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, the average gas production rate of VS and the maximum volume gas production rate of the system reach the highest ($0.71\text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$ and $3.83\text{ L}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, respectively). In addition, the removal rate and energy yield of the two-phase system VS are found to be at the highest, being 65.37% and $30.93\text{ kJ}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. Therefore, anaerobic two-phase hydrogen and methane production from thermophilic and high solid content kitchen waste combined with municipal sewage sludge can not only obtain hydrogen and methane with high yield and content, but also have a high VS removal rate.

Key words: kitchen waste; municipal sewage sludge; hydrogen production; methane production

(责任编辑 韩超)