

# 添加剂对新疆餐厨垃圾厌氧消化性能的影响

王璇, 邱桃玉, 韩阳花, 李瑜, 侯凤兰, 刘德江\*

(新疆农业职业技术学院, 新疆 昌吉 831100)

**摘要:** 为探究添加矿物质对新疆餐厨垃圾厌氧消化性能的影响, 设置 4 个处理, 以餐厨垃圾为对照, 分别添加膨润土、硅藻土、沸石粉进行厌氧消化性能的对比试验。结果表明: 3 种添加剂均能显著提高餐厨垃圾的产气量及产气率, 对厌氧消化产气的贡献大小次序为: 膨润土 > 硅藻土 > 沸石粉。不同添加剂与对照的厌氧消化试验相比, 甲烷的含量差异不大; 添加剂能显著提高产气量、产气率, 并抑制餐厨垃圾酸化反应的过程, 有效稳定消化液的 pH 值。

**关键词:** 餐厨垃圾; 添加剂; 厌氧消化; 产气

**中图分类号:** S216.4; X705 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1166(2023)01-0079-04

**DOI:** 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023010079

**Effects of Additives on the Performance of Anaerobic Kitchen Waste of Xinjiang / WANG Xuan, QIU Taoyu, HAN Yanghua, LI Yu, HOU Fenglan, LIU Dejiang\* / (Xinjiang Agricultural Vocational and Technical College, Changji 831100, China)**

**Abstract:** In order to explore the effect of minerals on the anaerobic digestion performance of Xinjiang kitchen waste. This study added bentonite, diatomite and zeolite powder into kitchen waste to conduct a comparative experiment of anaerobic digestion. The results show that the three additives can significantly improve the gas production and gas production rate of kitchen waste, and the order of contribution to anaerobic digestion is bentonite > diatomite > zeolite powder. There was no significant difference in methane content in anaerobic fermentation of food waste with different additives and without additives. The additive can significantly improve the gas production and gas production rate, inhibit the acidification reaction process of kitchen waste and effectively stabilize the pH value of digestive liquid.

**Key words:** kitchen waste; additive; anaerobic digestion; gas production

近年来, 利用厌氧消化工艺处理餐厨垃圾以实现固废的资源化、减量化、无害化, 这是国内外固体废物处理领域的热门研究课题, 尤其是在化石能源日益紧缺的当今社会, 餐厨垃圾的厌氧消化不仅可以消除这类污染源对环境的影响, 同时还能提供清洁的生物天然气(沼气)能源, 可有效缓解紧张的能源供给需求。硅藻土、膨润土等矿物材料具有良好的吸附性能和离子交换性能, 它们在底物的厌氧消化过程中, 可以释放一定量的金属离子, 同时由于它们廉价易得, 使得它们成为了这一领域内研究的热点。Angelidaki<sup>[1]</sup>等研究了膨润土在牛粪高温厌氧消化过程中的效应, 发现膨润土对盐类物质具有良好的吸附能力。Milan<sup>[2]</sup>等研究了天然沸石、斜发沸石、

发光沸石、蒙脱石等矿物材料在猪场厌氧消化过程的作用, 发现矿物材料的吸附、离子交换能力对厌氧消化的过程具有显著的促进作用。目前, 国内宋珍霞<sup>[3]</sup>等人将矿物材料应用到餐厨垃圾的厌氧消化过程中, 马磊<sup>[4]</sup>等人通过矿物材料预处理研究对餐厨垃圾高温厌氧消化的影响, 均取得了一定的研究成果。虽然关于矿物材料提升厌氧消化性能的研究报道较多, 但是针对新疆的地域特点以及餐厨垃圾的成分差异性, 向餐厨垃圾中添加膨润土、硅藻土等矿物质对厌氧消化特性的影响的研究文献相对较少。

本文通过添加膨润土、硅藻土、沸石粉 3 种矿物质对新疆餐厨垃圾厌氧消化产气性能的影响, 旨在

收稿日期: 2022-05-05 修回日期: 2022-08-03

项目来源: 昌吉州职教联盟建设项目(202203)

作者简介: 王璇(1988-), 女, 回族, 新疆昌吉人, 讲师, 主要从事沼气工程教学与科研工作, E-mail: 253028790@qq.com

通信作者: 刘德江, E-mail: 651289747@qq.com

为今后新疆地区餐厨垃圾的规模化处理利用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 餐厨垃圾

由于餐厨垃圾的成分随地域、季节及居民生活习惯与饮食习惯等众多因素存在明显的差异,因此本试验中所用到的餐厨垃圾是按照新疆城市居民饮食习惯自行配置的餐厨垃圾。其中各种物质的比例见表1,餐厨垃圾中各成分按照表1称量(以湿基计)后,再经过蒸煮、机械打浆,制成糊状半流体态,于冷柜内( $-4^{\circ}\text{C}$ )保存备用。

表1 新疆餐厨垃圾组成成分

成分	比例/%
面食、米饭	50.3
蔬菜、食用菌	11.3
肉类(肥肉、瘦肉)	8.7
豆类(豆腐、豆芽)	4.5
其它(鸡蛋、海鲜等)	12.5

注:100个样本的平均值,  $N=100$ 。

### 1.2 接种物(污泥)

厌氧消化所用的接种物(污泥)取自处于稳态运行中的餐厨垃圾厌氧消化反应器,反应器内餐厨垃圾的理化性质与本试验的相同。污泥的接种比例为:污泥:餐厨垃圾=1:1(m/m,以湿基计)。

### 1.3 添加剂

试验选用的天然膨润土、硅藻土、沸石粉均取自新疆昌吉市某矿区,其pH值分别为8.21、8.75、7.96。

### 1.4 试验方法

试验设置4个处理,主要研究在相同有机负荷下,分别添加膨润土、硅藻土及沸石粉对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响,同时,以不添加矿物质的餐厨垃圾作为对照(CK)。3种矿物质的添加量均为20g,采用1000mL发酵瓶(有效容积为900mL),4个处理发酵瓶中的总固体(TS)含量均为10%,共计12个发酵瓶。采用常温厌氧消化装置,连续进行60天的厌氧消化,每天记录产气量,同时测定 $\text{CH}_4$ 含量及pH值。

### 1.5 测试项目及方法

- (1)pH值:使用pHS-25型精密pH计测定。
- (2)产气量:排水集气法。
- (3)产气率:即单位质量挥发性固体物(VS)的

产气量,根据标准方法折算而来。

(4)甲烷( $\text{CH}_4$ )含量:使用武汉四方公司生产的沼气成分分析仪(Gasbard 3200)测定。

(5)固体浓度(TS):采用常规烘干法测定。

(6)挥发性固体物(VS):测量方法同上。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同添加剂对产气量的影响

试验设置4个处理,每个处理均设置3次重复,共计12个发酵瓶。每天记录4个处理3次重复的的累计产气量,并计算出每个处理的日平均产气量,作图分析时再按3天的平均产气量找点绘制曲线。3种添加剂对餐厨垃圾厌氧消化沼气产量的影响有着显著的不同,详见图1。

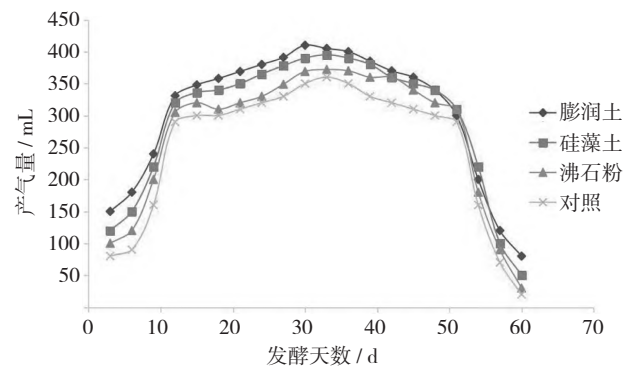


图1 4种处理的沼气产量

从图1可看出:从反应的第3天开始,产气量逐渐增加,到第30天左右时,4个处理的产气量均达到了最大值,之后随着时间的推移,产气量又逐渐减少。四者的产气量变化曲线十分相似,但是它们的产气量却相差显著,通过方差分析得知差异达到了极显著,详见表2。在整个发酵周期内,添加膨润土、硅藻土、沸石粉的餐厨垃圾与对照(CK)相比,它们的累计产气量分别是18652、16863、15986和14835mL,大小次序为:添加膨润土>硅藻土>沸石粉>对照。与对照(CK)相比,3种添加剂均能显著提高餐厨垃圾的产气量,其中膨润土最高,提高了25.7%的产气量,其次为硅藻土提高了13.5%,沸石粉提高了7.8%。

### 2.2 不同添加剂对产气率的影响

根据每天的累计产气量折算出单位质量挥发性固体(VS)的产气量,即产气率大小,单位为 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$ VS。添加膨润土、硅藻土、沸石粉的餐厨垃圾与对照(CK)产气率差异较大,结果详见图2。

表 2 产气量方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F 0.05	F 0.01
处理间(t)	33508.3	3	11169.43333	133.2003473	2.766437926	4.145066434
区组(r)	883001.8	19	46473.77895	554.2200138	1.771971844	2.240626169
误差(e)	4779.7	57	83.85438596	—	—	—
总变异(T)	921289.8	79	—	—	—	—

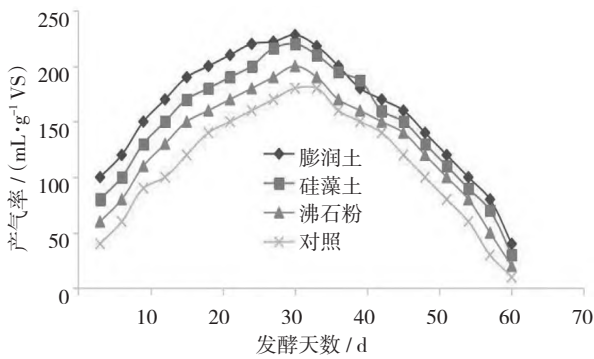


图 2 4 种处理的产气率

从图 2 可看出:添加矿物质均能明显提高餐厨垃圾的产气率,大小次序依旧为:添加膨润土 > 硅藻土 > 沸石粉 > 对照。3 种添加剂以膨润土的产气率最高,峰值达到了 228 mL·g<sup>-1</sup> VS,其次是硅藻土,沸石粉的产气率最低,峰值只有 190 mL·g<sup>-1</sup> VS。但是,它们在 60 天的厌氧消化期内,产气率的变化规律是完全一致的,即随着时间的推移,产气率依次增大,当反应进行到第 30 天左右时,均达到峰值,之后又逐渐减少。

通过表 3 的方差分析得知:3 种添加剂与对照

表 3 产气率方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F 0.05	F 0.01
处理间(t)	27296.2	3	9098.73	248.83	2.77	4.15
区组(r)	209745.3	19	11039.23	301.89	1.77	2.24
误差(e)	2084.3	57	36.57	—	—	—
总变异(T)	239125.8	79	—	—	—	—

相比产气率的差异均达到了极显著。分析其原因可能是 3 种矿物质材料增加了甲烷菌等厌氧型微生物的活性,促进了厌氧消化的过程,从而显著提高了产气量。

第 30 天时,4 个处理的甲烷含量均达到了最大值(55%左右)。但从第 35 天开始,甲烷含量便又逐渐下降,最终回落到 30%左右。

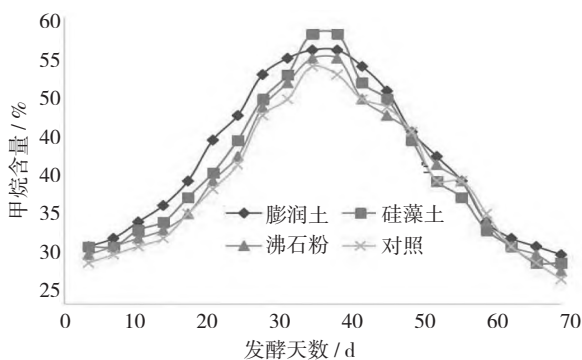


图 3 4 种处理的甲烷含量

甲烷含量之所以先增高后降低,主要是由于厌氧消化微生物的特性所造成的。食乙酸产甲烷菌等发酵性微生物的活性随消化过程的进行逐渐增强,到了中期达到峰值,之后又逐渐下降。直至后期便趋于稳定。

总体而言,添加膨润土、硅藻土及沸石粉的餐厨垃圾所产沼气中甲烷含量略高于对照(CK),这是因为矿物质材料可以缩短厌氧消化反应的延滞期<sup>[5]</sup>,有利于改善体系厌氧消化系统的缓冲能力,促进了微生物种间的电子传递,提高了产甲烷菌活性,从而促进餐厨垃圾的产甲烷过程。但是,不同矿物质对餐厨垃圾所产沼气中甲烷含量的影响差别不显著。

### 2.3 不同添加剂对所产沼气中甲烷(CH<sub>4</sub>)含量的影响

从图 3 可看出:3 种添加剂的甲烷含量几乎接近,但均略高于对照(CK)。4 种处理在整个厌氧消化过程中的变化趋势也基本一致:即当消化进行到

### 2.4 不同添加剂对发酵液 pH 值的影响

从图 4 可知:在发酵的前期,消化液的 pH 值一直处于较低的状态,随着时间的推移,pH 值逐渐升

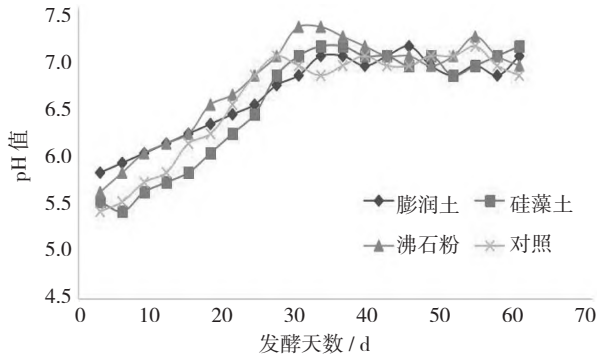


图4 4种处理消化液 pH 值变化

高。当反应进行到第30天时,4个处理的发酵液均达到了7左右,之后便处于稳定状态。这是由于添加矿物材料有利于调节反应体系的酸化过程,并且随着厌氧消化过程中大分子物质不断降解,大分子的降解速率会减慢,产甲烷菌还要消耗体系中的挥发性脂肪酸,从而使体系的 pH 值逐渐趋于稳定。这与崔少峰<sup>[5]</sup>等的研究结果一致。

### 3 结论

(1) 在新疆餐厨垃圾中添加矿物质材料可显著提高其厌氧消化的效率,产气量及产气率比对照(CK)都有增加。但是不同的添加剂对产气的影响有差异,本试验选用的3种添加剂对产气的贡献大小次序为:膨润土>硅藻土>沸石粉。王星<sup>[6]</sup>等在餐厨垃圾中添加膨润土进行厌氧消化试验也得出相近的研究结果,分析其原因可能是不同矿物质吸附能力及离子交换能力不同,对甲烷菌的活性和厌氧消化的促进能力也就不同,以膨润土的促进能力最强。

(2) 添加剂对提高新疆餐厨垃圾厌氧消化中的甲烷化质量效果不明显,即不能显著提高沼气中的

甲烷含量。而且不同添加剂对餐厨垃圾厌氧消化所产沼气中的甲烷含量影响也不大,3种添加剂的加入与对照(CK)相比,在60天的消化周期内所产沼气和甲烷含量的变化规律基本一致。

(3) 添加膨润土等矿物材料有利于抑制反应体系的酸化过程,随着厌氧消化的进行,产甲烷菌对小分子有机酸的消耗,使体系 pH 值上升,最后趋于稳定在7左右。这与王振雄<sup>[7]</sup>等人的研究结果相吻合。

### 参考文献:

- [1] Angelidaki I, Ahring B K. Effect of the clay mineral bentonite on ammonia inhibition of anaerobic thermophilic reactors degrading animal waste[J]. *Biodegradation*, 1993, 3:409-414.
- [2] Milan Z, Sanchez E, Weiland P, et al. Influence of different natural zeolite concentrations on the anaerobic digestion of piggery waste[J]. *Biores Technol*, 2001, 80:37-43.
- [3] 宋珍霞,唐海,徐大勇,等. 矿物材料对餐厨垃圾厌氧消化的影响研究[J]. *安徽工程大学学报*, 2014, 29(03):9-11+16.
- [4] 马磊,王德汉,王梦男,等. 矿物材料预处理对餐厨垃圾高温厌氧消化过程的影响[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(11): 2277-2283.
- [5] 崔少峰,李坤,刘荣厚,等. 沸石对鸡粪沼气发酵特性的影响[J]. *太阳能学报*, 2020, 41(6): 120-127.
- [6] 王星,王德汉,马磊. 膨润土的添加量对餐厨垃圾厌氧消化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1):330-334.
- [7] 王振雄,孙辰,赵永军,等. 硅藻土强化餐厨垃圾厌氧消化产沼气研究[J]. *浙江化工*, 2022, 53(2): 34-41.