

## 城市生活垃圾高温厌氧转化生物质能研究

吴满昌,孙可伟,李如燕,孙 艳,张海东,倪 骏,于红艳

(昆明理工大学固体废弃物资源化国家工程研究中心,昆明 650033)

**摘 要:**城市生活垃圾的处理与处置问题已成为研究热点,在国内外已有的研究基础上,对城市生活垃圾高温厌氧(批量)发酵实验进行一些初步探索,研究了在 55 的高温条件下累积产气量与消化时间的关系,C/N 与产气量的关系;消化过程中 pH 值变化的关系,并研究了垃圾高温发酵实验过程中沼气中的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的含量变化,其中甲烷含量可达 75.3%。实验结果表明,城市生活垃圾高温消化的降解效果较好,产气量较高,启动时间短。

**关键词:**生活垃圾;高温厌氧消化;C/N;沼气

**中图分类号:**X705

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2006)04-0125-02

## The Bioenergy Conversion Study of Thermophilic Anaerobic Digestion of MSW

WU Man chang, SUN Ke wei, LI Ru yan, SUN Yan, ZHANG Hai dong, NI Jun, YU Hong - yan

(National Engineering Research Center of Solid Waste Resource Recovery,  
Kunming University of Technology, Kunming 650033, China)

**Abstract:** The study how to treat and manage municipal solid waste(MSW) become more and more popular. Based on the abroad and domestic work, the batch experiments of high temperature anaerobic digestion of MSW were performed. When the fermentation temperature was 55, the fluctuation of the biogas production total output and pH were studied, and the biogas production was related to C/N. The concentration of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluctuated during the anaerobic fermentation process were explained. The concentration of methane in the biogas was high too, the peak was 75.3%. The experiment result showed that the biodegradability of organic solid waste were very well: high biogas production, short-time start of fermentation performed during the high temperature anaerobic digestion of MSW.

**Key words:** MSW; thermophilic anaerobic digestion; C/N; biogas

近年来,随着国民经济的飞速发展,城市化进程不断加快,城市人口不断增多,城市生活垃圾产量日益增加,据统计<sup>[1]</sup>,我国垃圾的历年堆存量已达到 60 亿 t,全国 200 多座城市已陷入“垃圾围城”之中,1997 年,全国生活垃圾日清运量约为 1~1.2 亿 t,还以年均 8%~10% 的速度增长。根据 1996 年对我国几个主要城市垃圾调查可知<sup>[2]</sup>,经济发达地区的垃圾有机物含量较高,城市生活垃圾中有机物主要为厨余、果皮、草木类废物为主,含量大约为 35%~75%,这些垃圾被填埋或厌氧消化后均可产生沼气。沼气是一种重要的生物质能。充分利用沼气是垃圾资源化的重要目标和方向。

厌氧消化技术发展至今,主要用于废水处理和农业废弃物的处理,相关理论和技术均已研究得比较成熟<sup>[3]</sup>。但厌氧消化技术应用于城市生活垃圾处理方面的报道比较少,研究的相对也少,其主要原因是城市生活垃圾成分复杂多变,其成分与当地经济发展水平、居民饮食习惯和偏好息息相关。厌氧消化处理城市垃圾可以更有效的回收能源,具有独特的优势,在我国将有很大的发展前景<sup>[4~7]</sup>。城市有机生活垃圾厌氧消化可以产生清洁的生物质能——甲烷沼气<sup>[8,9]</sup>。

中温或常温厌氧消化工艺广泛应用于废水、污泥和其他可生物降解有机质的处理,但中低温消化的滞留时间长,VS 去除率和对大肠杆菌等致病微生物的杀灭率低。而高温消

化可以提高代谢速率,并对 VS 和致病细菌的杀灭率均比较高,尤其应用于向城市生活垃圾等复杂组分的降解具有极大的优势<sup>[10,12]</sup>。欧洲最具代表性的三种城市生活垃圾厌氧消化工艺如 Dranco、Kompogas 和 Valgorga 工艺均采用高温发酵来降解高固体城市有机生活垃圾<sup>[14]</sup>。本文对城市生活垃圾高温厌氧(批量)发酵实验进行一些初步探索,研究了在 55 的高温条件下 C/N 与产气量、垃圾高温发酵实验过程中沼气中的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的变化规律。以及消化过程中 pH 值变化进行了探讨。

### 1 实验部分

#### 1.1 实验装置

采用 2 000 ml 的平底玻璃烧瓶,橡胶塞密封,用排水集气法收集气体,水为饱和食盐水,防止 CO<sub>2</sub> 溶于水。水浴加热,温控仪和继电器显示和控制发酵温度,温度波动范围 ±1。

#### 1.2 实验材料

本实验所用发酵原料取自学校生活区内新鲜生活垃圾,主要为厨余垃圾,其中纤维素含量较多。经人工分选后,人工破碎成大约 1.5 cm × 1.5 cm 左右的小块,其组成如表 1 所示。发酵初期接种物从学校教学楼化粪池中取得。第二次实验则用第一次实验的剩余污泥作接种物。发酵固含率

\* 收稿日期:2005-07-14

基金项目:“再生资源化回收利用产业化示范基地”(国经贸投资[2002]548 号)

作者简介:吴满昌(1973-),男,福建永定人,博士研究生,研究方向:固体废弃物资源化技术。

通过加水进行调节控制,NaHCO<sub>3</sub> 调节 pH 值。

### 1.3 实验方案

采用 4 套发酵罐在高温(55℃)的条件下进行间歇实验。研究高温条件下的产气规律及主要影响因素,固含率为 10.5% 左右。每个发酵罐在实验时均同时加料,原料成分同时同地收集,同时开始实验。

表 1 发酵原料垃圾组成

项目	食物垃圾 / % ,wt	纸张 / % ,wt	稻草类 / % ,wt	渣土 / % ,wt	其他 / % ,wt	总计 / %
含量	87.2	3.5	4.5	3.4	2.4	100

### 1.4 分析项目与方法

(1)总固体(TS):烘干法

(2)pH 值:精密试纸测定

(3)气体成分:1904 气体分析仪

(4)C/N 比:C 以 VS 估算(C = 0.47VS),VS 以灼烧法测定,N 以凯氏测氮法测定。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 高温消化的累积产气量的变化

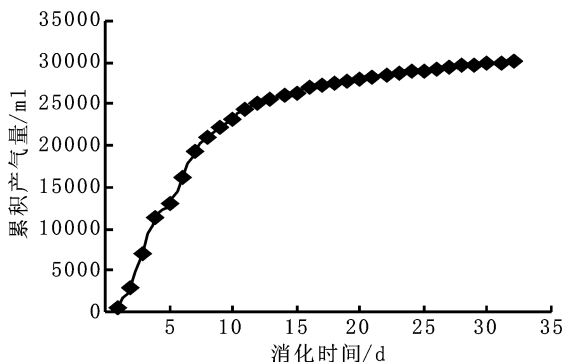


图 1 累积产气量的变化

图 1 高温发酵累积产气量的变化曲线。从图 1 可以看出,在 55℃ 的高温反应温度下,产气在 15 d 左右即达到稳定,以后的消化时间内产气量变化已趋于平稳,不再快速增加,说明城市生活垃圾高温消化反应在前 15 d 基本完成。

### 2.2 高温条件下 C/N 与产气量的关系

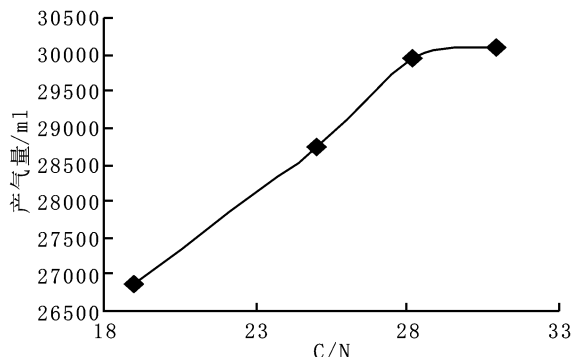


图 2 C/N 与产气量的关系

发酵温度为 55℃,四个发酵罐开始发酵时的 C/N 分别为 18.9,25.1,28.2,30.9(发酵罐编号依次为 1,2,3,4 号)。随着 C/N 的增加,产气量增加,但达到 30 左右后产气量增加趋于平稳。任南琪等<sup>[3]</sup>认为废水厌氧消化工艺中的 C/N 达到(10~20)为宜。而农村沼气发酵工艺认为在厌氧发酵启动阶段的 C/N 不应大于 30, C/N 过高,氮素不足于影响微生物的生长,消化料液的缓冲能力不足,pH 值

容易降低。本实验的结果与农村沼气工艺要求类似。

### 2.3 高温条件下 CH<sub>4</sub> 与 CO<sub>2</sub> 的含量变化

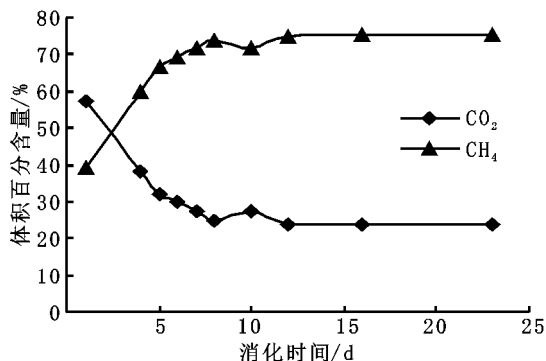


图 3 高温条件下 CH<sub>4</sub> 与 CO<sub>2</sub> 的含量变化

图 3 表明 CH<sub>4</sub> 与 CO<sub>2</sub> 含量的变化,从图 4 看出,作为厌氧产沼气过程中最重要的两种气体——CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 含量在发酵过程的变化,CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的含量呈逆向变化,即发酵开始时,CO<sub>2</sub> 含量高,为 57.5%,而 CH<sub>4</sub> 含量低,为 39.1%。但 3 天后 CH<sub>4</sub> 即可超过 50%,随着发酵过程的进行,CH<sub>4</sub> 浓度逐渐升高,最高可达 75.3%。CO<sub>2</sub> 浓度则降低,最低为 23.6%。另外,从图 4 也可看出,在 55℃ 的高温条件下,CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的变化在开始时变化较快,说明高温时发酵启动时间短,可以较快的进入正常发酵过程。

### 2.4 高温条件下发酵过程的 pH 值变化

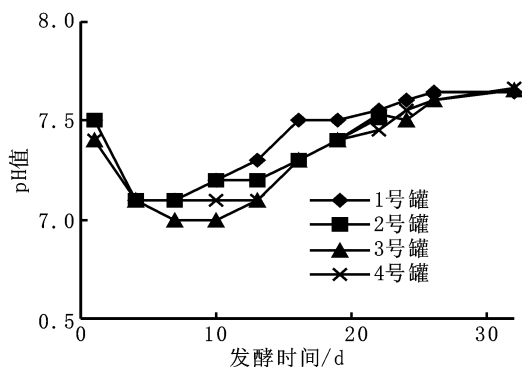


图 4 发酵过程中 pH 值变化

从图 2 可以看出,开始时 pH 值较高,随着发酵过程的进行,pH 值都会降低,各个发酵罐的 pH 值在消化过程中均在适宜范围内波动,即使 C/N 为 30.9 时,pH 最低为 7.1。可见各发酵罐的消化条件还是比较合适的。产甲烷菌所能适应的 pH 值范围较窄,一般认为其最适 pH 值范围为 6.8~7.2,实际经验表明,当 pH 值在 6.5~7.5 之间,产 CH<sub>4</sub> 菌均有较强的活性。不同的产 CH<sub>4</sub> 菌所要求的最适 pH 值各不相同,如瘤胃 CH<sub>4</sub> 短杆菌(*Methanobrevibacter ruminantium*)最适 pH 值为 6.3~6.8;嗜热自养 CH<sub>4</sub> 杆菌(*Methanobacterium thermoautotrophicum*)的最适 pH 值为 7.2~7.6;而甲酸 CH<sub>4</sub> 杆菌(*Methanobacterium formicicum*)的最适 pH 为 6.6~7.8<sup>[15]</sup>。

## 3 结 论

(1)城市生活垃圾高温厌氧发酵启动阶段的 C/N 为 30 左右时消化效果较好,产气量较高,与农村沼气发酵工艺要求类似,比污水厌氧消化工艺的 C/N 高。

(2)高温条件下,厌氧(批量)消化实验启动时间短,而且 CH<sub>4</sub> 含量较高。最高可达 75.3%。

(下转第 129 页)

#### 4.1 生态修复机理和潜力研究<sup>[2]</sup>

首先应研究不同水土流失类型区,水土流失及生态系统退化的现状及其引发原因,如何解除其生态系统压力及压力解除后的修复机制;其次研究生态环境可修复的程度、自身的演化规律,确定不同区域的生态修复潜力、修复的最终目标及初步恢复其生态系统的结构和功能所要经历的时间周期。

#### 4.2 不同类型区的生态修复措施研究

由于各类型区的自然地理条件不同,生态系统退化的原因及程度不同,能够进行生态修复的社会经济条件也不同,这就需要针对不同的区域进行专门的分区研究,针对不同地区的不同情况,研究适合区域的具体措施。

#### 4.3 生态修复的评价指标及体系研究

完善的生态修复评价指标不但能对现行的水土保持生

态修复的程度及其结果进行客观准确的评价,而且能够用来更好的指导实践。对不同的类型区应建立不同的评价指标体系,如不同的气候类型区、地貌类型区、土地利用类型区,由于其生态系统的抗干扰能力、生态系统的退化程度、生态修复的难易程度不尽相同。为此,在建立生态修复评价指标体系时应该结合实际,对不同类型区的水保、农业、林业、生态等各行业的相关指标进行分析,确保建立符合实际的评价指标体系,并在实际监测过程中尽量运用现代化技术,确保评价管理科学化。

随着水土保持生态修复工程、技术、理论研究的深入和实践的推进,基于人与自然和谐发展理念上的生态修复观念必将深入人心,也必将推进中国的水土保持工作更上一个台阶,使我国的生态环境再现生机。

#### 参考文献:

- [1] 刘士余,等.水土保持与国家生态安全[J].中国水土保持科学,2004,2(1):102-104.
- [2] 梁锁钟,等.生态修复在黄土高原水土保持中的作用[J].西北林学院学报,2003,18(1):20-24.
- [3] 焦居仁.生态修复的要点与思考[J].中国水土保持,2003,(2):1-2.
- [4] 丁圣彦.生态学[M].北京:科学出版社,2004.
- [5] 黄自强.黄河流域水保生态修复实践及思考[J].中国水利,2004,14:10-14.
- [6] 王治国.关于生态修复若干概念与问题的讨论[J].中国水土保持,2003,(10):4-5.
- [7] 姜安福.永定县实施水土保持生态修复试点工程做法初探[J].福建水土保持,2004,16(2):27-29.
- [8] 何长高.关于水土保持生态修复工程中几个问题的思考[J].中国水土保持科学,2004,2(3):99-101.
- [9] 解明曙,等.实施陆地生态修复的科学观[J].中国水利,2004,(8):33-34.
- [10] 焦居仁.生态修复的要点与思考[J].中国水土保持,2003,(2):1-2.
- [11] 杨少林,等.浅谈生态修复的含义及其实施配套措施[J].中国水土保持,2004,(10):7-9.
- [12] 邓铭红.塔里木河下游应急输水植被恢复响应及生态修复研究[J].中国水利,2004,14:15-18.
- [13] 王俊玲.结合退耕还林.实施水土保持生态修复工程[J].甘肃林业,2004,(4):16-17.
- [14] 陆静依.美国环保署水生生物资源生态恢复指导性原则[J].上海水务,2001,3(1):50-53.
- [15] 左长清.实施生态修复几个问题的探讨[J].水土保持研究,2002,9(4):4-7.
- [16] 喻理飞,等.退化喀斯特森林恢复评价和修复技术[J].贵州科学,2002,20(1):7-13.
- [17] 胡根华.关于加快江西省旅游区水土保持生态修复技术研究的思考[J].中国水土保持科学,2004,2(3):108-110.

(上接第126页)

#### 参考文献:

- [1] 陆卫亚.厌氧发酵技术在有机生活垃圾处理方面的应用[J].城市环境与城市生态,2002,15(6):55-57.
- [2] 国家环保总局污染控制司.城市固体废弃物管理与处理处置技术[M].北京:中国石化出版社,1999.396-407.
- [3] 任南琪,王爱杰,等.厌氧生物技术原理与运用[M].北京:化学工业出版社,2004.29.
- [4] 乔伟,曾光明,袁兴中,等.厌氧消化技术在城市垃圾处理应用中的制约因素[J].江苏环境科技,2002,15(4):15-17.
- [5] 冷成保,肖波.城市生活垃圾(MSW)厌氧消化处理研究[J].江苏环境科技,2001,14(1):4-6.
- [6] 张光明.城市生活垃圾厌氧发酵产酸阶段的研究[J].重庆环境科学,2000,12(3):32-35.
- [7] 郭亚丽,何惠君,赵由才.常温厌氧消化技术处理城市生活有机垃圾的中试研究,环境污染与防治[J].2001,23(4):168-171.
- [8] Lopes W S, Leite V D, Prasad S. Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste[J]. Bioresource Technology, 2004, 94:261-266.
- [9] G Plaza, P Robredo, O Pacheco, et al. Anaerobic treatment of municipal solid waste[J]. Wat. Sci. Tech, 1992, 33(3):169-175.
- [10] Y C Song, S J Kwon, J H Woo. Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic and thermophilic digestion of sewage sludge[J]. Wat. Res, 2004, 38:1653-1662.
- [11] Maibaum C, Kuehn V. Thermophilic and mesophilic together with organic residual substances[J]. Wat. Sci. Technol, 1999, 40(1):231-236.
- [12] P Sosnowski, A Wiczorek, S Ledakowicz, Anaerobic co-digestion of sewage sludge sludge and organic fraction of municipal solid waste[J]. Advance in Environmental Research, 2003, 7:609-616.
- [13] 杨玉楠,熊运实,杨军,等.固体废物的处理处置工程与管理[M].北京:科学出版社,2004.178-180.
- [14] 胡纪萃,周孟津,左剑恶,等.废水厌氧生物处理理论与技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.32-111.