

蔬菜废弃物厌氧发酵制取沼气的试验研究

刘荣厚, 王远远, 孙辰, 梅晓岩

(上海交通大学农业与生物学院 生物质能工程研究中心, 上海 200240)

摘要: 该文以废弃的甘蓝菜叶为发酵原料, 在实验室自行设计的小型沼气发酵装置上进行了厌氧发酵试验, 通过测定发酵过程中发酵液和沼气的各项指标, 对蔬菜废弃物厌氧发酵的可行性及接种物浓度对发酵过程的影响进行了研究。结果表明, 蔬菜废弃物用厌氧发酵工艺处理是可行的; 在试验采用的 20%, 30%, 50% 三个水平的接种物浓度中, 接种物浓度为 30% 的实验组的挥发酸含量、氨态氮含量以及 pH 值都在正常范围内, 总产气量和沼气中最高甲烷含量分别为 7790.81 mL 和 42.814%, 明显高于其他两组及空白组实验。该项研究对蔬菜废弃物的资源化利用提供了有益的参考。

关键词: 蔬菜废弃物; 厌氧发酵; 沼气

中图分类号: Z705

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-4-0209-05

刘荣厚, 王远远, 孙辰, 等. 蔬菜废弃物厌氧发酵制取沼气的试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 209-213.
Liu Ronghou, Wang Yuanyuan, Sun Chen, et al. Experimental study on biogas production from vegetable waste by anaerobic fermentation[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 209-213. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着农业生产中蔬菜种植比例的加大, 城镇居民生活水平的日益提高, 净菜上市, 超市买菜已经成为习惯, 这就对蔬菜上市前的加工处理提出了更高要求, 大量质量不佳的蔬菜和净菜加工处理时产生的叶、根、茎和果实等都会最终成为固体废弃物, 造成了资源浪费和环境污染。例如, 在云南省的滇池地区, 每年蔬菜废物达到 8879 t, 蔬菜废物、生活垃圾、养殖废物比例是 10:2:1, 蔬菜废物被农民直接丢弃进入河沟, 成为滇池水体富营养化的重要污染源^[1]。在印度, 每年产生的蔬菜废弃物多达 5.6×10^6 t, 这些废弃物大多被堆放在城市边缘而造成环境污染^[2]。由此可见在废弃物总量中蔬菜废物量占极大的比重, 因此采用合适的工艺将这些废弃物妥善处理势在必行。

蔬菜废弃物的总固体含量为 8%~19%, 挥发固体的含量占总固体的 80% 以上。该废弃物中含 75% 的糖类和半纤维素, 9% 的纤维素及 5% 的木质素, 含水率很高使得它们很适宜采用生物处理工艺。好氧工艺不太适合处理蔬菜废弃物, 这是因为其有机物含量高需要大量的动力消耗, 而厌氧消化工艺则是处理这些废弃物的合理选择^[3]。厌氧发酵过程是各种有机物在厌氧条件下, 被各类沼气发酵微生物分解转化, 最终产生沼气的过程。在这个复杂的微生物活动过程中, 由于发酵原料种类的物理、化

学和生化特性的不同、pH 值的差异、发酵温度变化等种种因素, 因而发酵工艺、产气量等发酵效果也不尽相同^[4]。

目前, 以蔬菜废弃物作为原料进行厌氧发酵研究的报道较少。在国外, 张瑞红等在蔬菜废弃物厌氧分解方面做了有益的探讨^[5]; 在国内, 张无敌等进行了菠菜叶秆厌氧发酵产气潜力方面的研究^[6]。有关接种物浓度对蔬菜废弃物厌氧发酵过程的影响尚需进一步探讨。本实验欲摸索接种物浓度对蔬菜废物厌氧发酵过程中的 VFA、氨氮、pH 值、产气量及甲烷含量的影响。通过选择适宜的接种物浓度, 以期达到产气速度快、产气量多的效果, 从而缩短发酵周期, 节省成本, 增加经济效益, 为蔬菜废弃物厌氧发酵的工业生产和市场化应用打下了理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验装置

试验装置为本实验室自行设计的厌氧发酵装置, 主要由水浴恒温振荡器、发酵瓶、集气瓶、集水瓶等部分组成(见图 1)。水浴恒温振荡器为 WHY-2 型水浴恒温振荡器(江苏省金坛市金城国盛实验仪器厂), 用来控制厌氧发酵的温度和振荡频率。采用 1000 mL 的透明的玻璃三角瓶作为发酵瓶, 可便于观察发酵原料体积与物料状态的变化。发酵瓶用适当大小的橡胶塞封口, 在橡胶塞上钻出取样孔和输气孔。集气瓶用 500 mL 的三角瓶, 同样以橡胶塞封口, 其上的橡皮塞钻出进气孔和导水孔。集水瓶为 500 mL 普通的玻璃瓶。在这些孔上插入玻璃管作为连接口, 然后用 $\phi 8$ mm 的硅胶管连接管路, 并用凡士林密封。

其工作过程为: 发酵原料经过调节, 加接种物之后, 注入发酵瓶密闭, 置于恒温水浴中。发酵原料在发酵瓶

收稿日期: 2007-06-22 修订日期: 2008-01-07

基金项目: 上海市科委项目“多种农业有机废弃物沼气发酵集中供气技术的研究与示范”(07DZ12050)

作者简介: 刘荣厚(1960—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事可再生能源与环境工程的研究与教学工作。上海市闵行区东川路 800 号 上海交通大学农业与生物学院生物质能工程研究中心, 200240。

Email: liurhou@sjtu.edu.cn

内进行厌氧发酵, 消化过程产生的沼气通过导气管输入装有饱和食盐水的密闭集气装置中, 以排水法收集得之, 每日定时通过测定集水瓶中食盐水体积得到日产气量。在取样口用 25 mL 移液管取得料液样品经离心后进行参数测定, 在取气口用气体采样袋收集气体样品, 用于气体成分的分析。

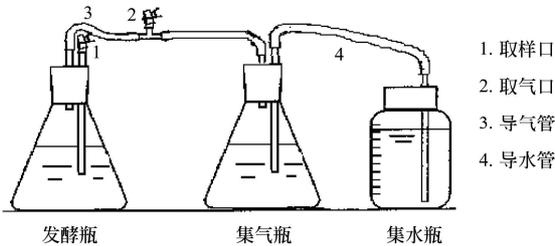


图 1 厌氧发酵试验装置组成示意图

Fig.1 Sketch map of anaerobic fermentation equipment

1.2 试验材料及其预处理

本试验所用发酵原料为上海市七宝镇七宝老菜市场收集的废弃甘蓝菜叶。将采集的甘蓝菜叶废物进行简单的分拣; 把经过分拣的甘蓝菜叶废物水洗一次后, 先切碎再用组织捣碎机粉碎为均匀的颗粒, 粒径均匀在 1~2 cm 左右, 然后将其研磨, 破坏甘蓝菜叶的内部组织, 提高纤维素的降解性。而后放入冰箱 4℃ 储存备用, 并取样测定原料的理化性质 (表 1)。

表 1 发酵原料的理化性质

挥发性固体 /%TS	含水率 /%	总氮 /%	总磷 /%	C/N	纤维素 /g	pH 值
95.13	87.64	2.33	0.43	22.35	0.11	6.10

1.3 接种物

本试验所用的接种污泥取自上海市崇明前卫村以猪粪为发酵原料的沼气系统正常发酵的发酵残余物, 其 TS=7.087%, VS=64.815% TS, 含水率=92.488%, pH=8.24。

1.4 试验设计

本试验自 2007 年 4 月 5 日晚接种开始至 2007 年 4 月 25 日结束, 试验运行了 20 d, 有效发酵过程约 17 d, 运行过程良好, 温度运行正常。试验设接种量 (指接种污泥占全部反应物料的比率) 为 20%、30%、50% 三个试验组, 同时设置一个空白参比组 (只是以接种物为原料, 不加任何蔬菜废弃物), 每个试验组两次重复, 采用一次进料 (经过预处理), 发酵状态为间歇, 发酵温度为 35 ± 1℃, 发酵液总固体含量为 10%, 发酵原料粒度为 1~2 cm。每天搅拌 1 次, 时间为 1 h, 振荡速度 70 r/min。在 2 周内无气体产生视为产气结束, 停止发酵试验。试验每 5 d 取一次液样和气样, 进行各项参数测试。空白参比组因每日产气量非常少, 仅在试验结束后, 进行总产气量测定。

1.5 测定项目与方法

总固体浓度 (TS): 烘干法 (真空干燥箱中 105℃ 下烘 4~6 h); VS 测定: 烘干法 (马弗炉中 600℃ 下烘 1 h); 含水率: 烘干法 (真空干燥箱中 105℃ 下烘 3~4 h); 挥发性有机酸 (VFA) 浓度: 分光光度法 (采用料液经 10 min, 5000 r/min, 离心后测定); 氨态氮: 蒸馏—滴定法 (采用料液经 10 min, 5000 r/min, 离心后测定); pH 值: 通过精密 pH 计 (PHS-3C) 测定; 产气量: 采用排水法测定; 气体成分: 气相色谱仪 (岛津 GC-14B)。

试验结束后, 综合试验数据进行产气指标分析, 包括: TS 产气率, 即单位原料干物质产气量, 主要反映原料的产气潜力。计算公式如下:

$$TS\text{产气率} = \frac{\text{总累积产气量} - \text{空白组总累积产气量}}{W \cdot TS}$$

式中 W——原料质量, g; TS——原料总固体百分含量, %;

2 结果与分析

2.1 发酵过程 pH 值的变化

固体有机物厌氧降解过程是经过大分子有机物、小分子有机物、短链脂肪酸最终转化成 CH₄ 和 CO₂ 的过程。尽管消化过程非常复杂, 但外在主要表现为消化系统酸碱性的规律性变化。因此, pH 值可以用来描述消化过程的进行情况^[7]。

图 2 是蔬菜废物厌氧发酵过程 pH 值的变化。从图 2 可以看出, 接种量为 20% 的试验组, 接种的污泥量少, 其初始 pH 值低, 且蔬菜废物容易自然酸化, 酸性很大, pH 值在 4.2 左右。在整个反应时间内, 其 pH 值一直没有上升, 处于严重的酸化状态, 甲烷化一直没有开始。这是因为接种的污泥中甲烷菌占主导, 而接种少, 甘蓝菜叶自然酸化速度很快, 使得环境中产酸菌成为了主体, 导致 pH 值低, 抑制了产气^[8]。

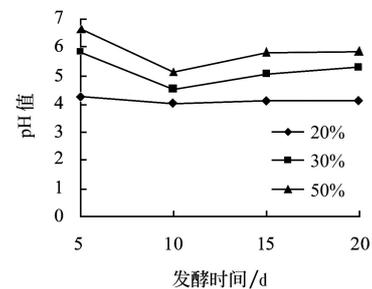


图 2 厌氧发酵过程 pH 值的变化

Fig. 2 Changes of pH values of the anaerobic fermentation

接种量为 30% 的试验组, 在第 5 天到第 10 天期间, pH 值一直下降, 到第 10 天 pH 值降到最低为 4.535, 但随着发酵进入产甲烷阶段, 在后期 pH 值逐渐升高并稳定。这是因为在厌氧消化过程中有机物质在水解、酸化和产氢产乙酸菌的作用下, 系统的 pH 值会下降, 而产甲

烷菌分解有机酸时产生的重碳酸盐使得系统的 pH 值有所升高^[9]。

接种量为 50% 的试验组的发酵启动比接种量为 30% 的试验组快, 其初始的 pH 值是整个过程中最高的, 发酵时间在 15 d 之前, 其 pH 变化趋势与接种量为 30% 的试验组类似, 然后 pH 值略微下降后, 变化趋于平缓。有资料表明, 通常 pH 低峰值一般出现在产气量增加的前期, 这是因为 VFA 的积累造成 pH 值降低, 但它为甲烷菌的生长提供了充足的底物, 促进了甲烷菌的生长, 随着 VFA 不断被甲烷菌分解为甲烷, pH 值又开始升高^[8]。

总的来说, 三个试验组的 pH 值前期变化幅度较大, 均在 4~6.7 之间变化, 后期相对稳定。接种量高的试验组的 pH 值高于其他组, 这说明接种物本身的碱度对挥发性酸的积累有一定的缓冲能力, 接种量高的厌氧反应系统 pH 值在甲烷菌的生长范围内, 对甲烷菌的生长繁殖不会造成抑制, 不会造成系统的酸化。

2.2 发酵过程 VFA 的变化

VFA 是有机质经过水解和酸化形成的主要产物, 主要成分为乙醇、乙酸、丙酸、丁酸和戊酸等, 这些酸化产物在产甲烷阶段作为甲烷菌的底物, 最终降解转化为 CH_4 和 CO_2 , 是影响厌氧消化的主要因素之一^[10]。

图 3 是蔬菜废弃物厌氧发酵过程 VFA 的变化。由图 3 可以看出, 三个试验组的进料 VFA 浓度差异不大, 物料进罐后, 有机物的降解充分, 水溶性有机物含量增多, 产氢产酸菌的生长繁殖加快, 因此在反应前期, 水解物质均能得到充分的酸化, VFA 上升速度较快, 此后, 接种量为 50% 的 VFA 浓度下降。而接种量为 20% 的试验组, VFA 仍然在继续增加, 一直处于酸化状态, 到第 15 天时 VFA 为在 539.9467 mg/L, 使系统处于严重的酸化状态, 抑制了产气。从其 pH 值中可以看出, pH 值低于 5.0, 处于酸化状态, 这和试验中测得的 VFA 有很好的符合性。分析该种原因可能是接种量的比例小, 使之不能满足厌氧微生物的需要, 从而导致细菌的代谢和生长活动减弱, 甚至停止, 厌氧发酵的后续反应也随之停止, 影响消化的效果^[11]。对于接种量为 30% 的试验组, VFA 含量先升后降, 在第 15 天浓度达最高为 549.67 mg/L, 其产酸过程持续时间较长, 这是酸的暂时积累现象, 酸的积累抑制了产酸菌继续产酸, 且积累浓度越高反馈抑制作用越大^[9]。从前面的 pH 值可知其反应稳定, 可能是由于含氮有机物的降解, 导致厌氧体系中碱度的增加, 可以自身调节 VFA 平衡, 而没有影响反应的顺利进行。在反应期间, 从整体看, VFA 先升高后降低的趋势, 处于正常水平, 因此系统得以顺利进行, 这说明了反应过程中多种细菌间能相互协同发展, 代谢产物不易积累, 使整个反应过程中的菌群代谢活性都能够充分发挥出来。

综上所述, 适当的接种物量, 能提供足够数量的细菌和微生物, 可以帮助系统稳定的运行, 本试验中接种量为 30% 的试验组更符合蔬菜废弃物的厌氧发酵特性, 可

保证系统得以正常进行。

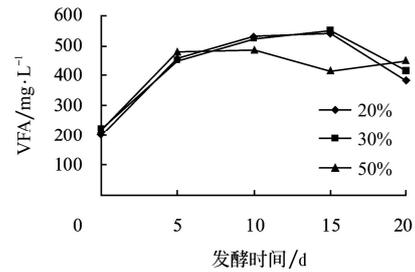


图 3 厌氧发酵过程 VFA 的变化

Fig.3 VFA trend of the anaerobic fermentation

2.3 发酵过程氨态氮的变化

氨氮是厌氧微生物需要的营养元素来源之一, 适量的氨氮可以促进产甲烷活性的提高; 同时氨氮可以提高反应体系的碱度, 从而提高体系对挥发酸的缓冲能力。但是, 随着氨氮浓度的提高, 体系中游离氨浓度不断上升, 达到一定浓度的时候, 甲烷菌的活性会有所下降, 甚至对体系产生较强的抑制作用^[12]。

图 4 是蔬菜废弃物厌氧发酵过程氨态氮的变化。从图 4 可以看出, 三个试验组氨态氮的变化都是呈上升趋势, 接种量为 20% 的试验组的氨态氮浓度变化在 378.59~1126.45 mg/L, 接种量为 30% 的试验组的氨态氮浓度变化在 475.43~1533.632 mg/L, 接种量为 50% 的试验组的氨态氮浓度变化在 537.85~2130.402 mg/L。这说明适当提高接种物浓度能促进氨态氮的增长^[13]。因为厌氧发酵液中氨态氮含量取决于细菌的生长代谢情况, 据报道, 当接种量大时, 发酵最初优良菌种数目多, 水解细菌将有机态的氮分解为可溶态的氨态氮, 只有少量被细菌的生长消耗掉, 相当一部分氨态氮保留在发酵液中, 因此, 此时氨态氮的含量会增长更快。

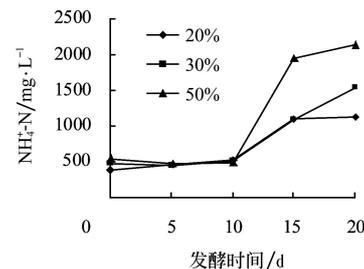


图 4 厌氧发酵过程氨态氮的变化

Fig.4 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trend of the anaerobic fermentation

Koster^[14] 曾经报道, 相对于产氢产甲烷菌而言, 当氨氮浓度 (以 N 计) 超过 1700 mg/L 时, 氨氮对产乙酸产甲烷菌代谢的抑制性更强, 此时产甲烷菌活性会下降。据相关资料研究表明^[12], 氨氮浓度在 400~1600 mg/L 之间, 厌氧系统基本不受氨氮的干扰。本试验中接种量为 30% 的试验组在整个厌氧发酵过程中氨氮含量较恒定, 在 475.43~1533.632 mg/L 之间, 因此厌氧系统没有受到氨氮浓度的影响。所以接种量为 30% 的试验组要更适于蔬

菜废物的厌氧发酵, 保证系统的稳定运行。

2.4 发酵过程产气量的变化

厌氧发酵的产气量和接种污泥的配比有很大的关系。合适的配比能够调节微生物量和生物厌氧反应的营养源, 接种量过大或者过小都对产气量有明显影响^[8]。

图 5 是蔬菜废物厌氧发酵过程日产气量的变化。从图 5 可以看出, 三个试验组在发酵前 4 日大量产气, 之后维持较低的产气量。其主要原因有两个方面: 一是发酵温度较高 ($35 \pm 1^\circ\text{C}$), 且温度的波动范围不超过 1°C , 有利于各种厌氧微生物的生长发育; 二是本次试验的接种物里面含有大量的水解菌、产酸菌及产甲烷菌, 在开始发酵很短的时间内 (几个小时), 即开始大量产气。从第 5 天以后, 甘蓝菜叶才开始正常产气。由于接种量为 20% 的试验组接种量过低, pH 值较低, 系统呈酸化状态, 破坏了反应的进行, 产气量很少, 这对系统的稳定性不利。接种量为 50% 的试验组和接种量为 30% 的试验组在厌氧消化比较试验中产气量变化趋势大致相似。在接种量为 50% 的条件下蔬菜废物的厌氧消化反应在经历了一个较大的产气高峰后, 很快的就不能顺利的进行甲烷化反应了。这可能是由于接种量为 50% 的试验组的接种物量大, 接种物中的甲烷菌含量多, 在反应前期消耗原料中的有机物较多, 因此到后期随着有机物的减少, 反应进行到第 17 天的时候停止产气, 产气率只有 94.40 mL/g TS 。而接种量为 30% 的试验组在后期产气比接种量 50% 的试验组多且维持的时间长, 产气率为 100.90 mL/g TS 。本试验结果与 Lopes 等^[16]的研究结论类似, 他们在研究城市生活垃圾中温厌氧消化时发现, 随着接种量的增加, 有机质的降解率随之上升。但接种量也不是越大越好, 虽然接种量越大, 有机质利用率增加, 其单位有机质产气量越大, 但在同样的容积负荷下, 接种量为 40% 和 50% 的累积产气量比 30% 少, 而且接种量越大, 反应器中所添加的原料就越少, 反应器的容积利用率越低, 这对于发酵并不利, 因为这会增加同等质量垃圾消化所需容积, 降低反应器的容积利用率, 增加了投资和运行成本。因此, 接种量一般以能够基本消除批量消化的延滞期和保持 pH 值稳定为好。

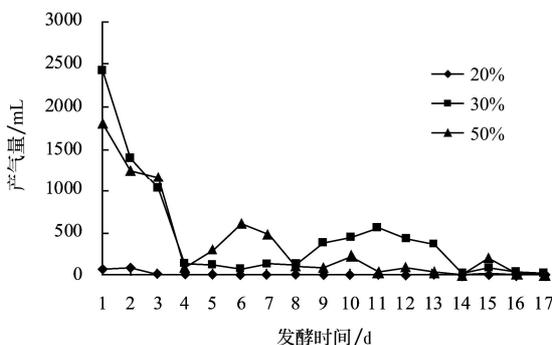


图 5 厌氧发酵过程日产气量的变化

Fig.5 Changes of daily biogas production during anaerobic fermentation

纵观整个发酵产气过程, 接种量为 30% 的试验组产气情况明显优于其他两组及空白组, 试验结束时, 3 个试验组的总产气量分别为 172.65 , 7790.81 , 6529.79 mL , 空白组试验结束后, 测得其总产气量为 1124 mL (图 6), 表明接种物本身产气量对试验产气量的影响甚微。综上所述, 对三个试验组进行比较分析得出 30% 的接种量更符合蔬菜废物沼气发酵产气稳定、产气量高的要求。

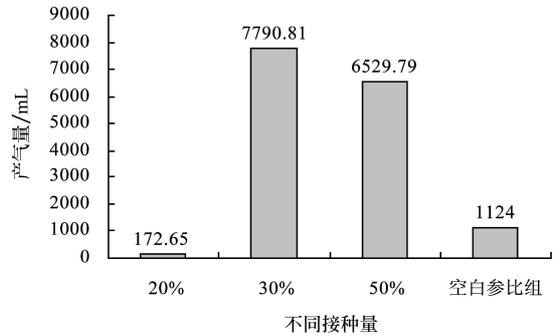


图 6 厌氧发酵过程总产气量的变化

Fig.6 Changes of the total biogas production during the anaerobic fermentation

2.5 发酵过程甲烷含量的变化

图 7 是蔬菜废物厌氧发酵过程 CH_4 含量的变化。由图 7 看出, 本试验所产气体中的 CH_4 含量随着发酵时间的延长, 呈先升高而后下降的趋势。

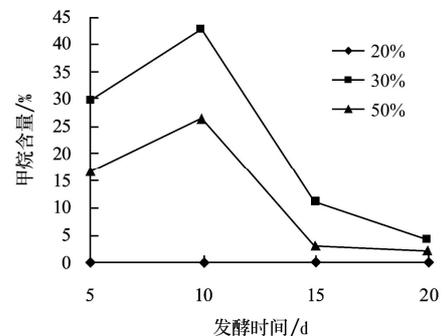


图 7 厌氧发酵过程甲烷含量的变化

Fig.7 Changes of methane content during the anaerobic fermentation

接种量为 30% 的厌氧消化试验中, 刚开始产气时沼液中甲烷含量 (29.759%) 不高, 随着甲烷菌的不断生长繁殖, 沼液中 CH_4 含量逐步升高, 发酵 10 d 后, CH_4 含量就达到最大值 42.814% , 说明发酵料液中的产甲烷菌活性增强, 进入了产甲烷的活性期。之后, CH_4 含量逐渐下降, 反应进行到第 20 天, CH_4 含量降到 4.111% 。这是由于在微生物厌氧发酵产甲烷过程中, 亨氏短杆菌属起着主要的控制作用, 该菌属(亨氏短杆菌)在经过一段时间的培育后开始萌发、生长, 成为厌氧系统中的优势菌种, 逐渐将有机物降解, 甲烷浓度达到最大值; 其后, 随着有机物减少, 甲烷浓度逐渐下降^[12]。

而接种量为 50% 的试验组在厌氧消化反应过程中的

CH₄含量在厌氧发酵期间一直小于40%，这表明CH₄在所产沼气的所占比例偏小，能源利用价值不大^[8]。由前面的pH值和VFA分析可知，接种量为20%的试验组由于系统发生酸化现象而一直没有进入产甲烷阶段，因而CH₄含量为零。从总体上看，接种量为30%的试验组所产沼气中甲烷含量较高，产能效率比其他两组高。由此可以看出，对三个试验组进行比较分析，接种量为30%的试验组更符合蔬菜废弃物沼气发酵产气稳定、产甲烷含量较高的要求。

3 结 论

1) 从发酵过程中发酵液各项指标的测定可以看出，接种物浓度为30%的试验组的挥发酸含量、氨态氮含量以及pH值都在正常范围内，且优于其他两组，符合蔬菜废弃物厌氧发酵的特性，可保证系统的顺利运行。

2) 对不同接种物浓度的产气特性研究表明：接种物浓度为30%的试验组的总产气量和最高甲烷含量分别为7790.81 mL和42.814%，明显高于其他两组及空白组试验。因此，接种量为30%的试验组更符合蔬菜废弃物厌氧发酵特性。

3) 蔬菜废弃物厌氧消化产气量和沼气中甲烷含量没有猪粪原料产气量多、甲烷含量高，因此，在今后的试验中可以在蔬菜废弃物中添加一些含氮、磷高的有机物一起进行厌氧发酵以达到更高的产气量、产甲烷量。

[参 考 文 献]

- [1] 黄鼎曦, 陆文静, 王洪涛. 农业蔬菜废物处理方法研究进展和探讨[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(11): 38-42.
- [2] V. Nallathambi Gunaseelan. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 26: 389-399.
- [3] 付胜涛, 于水利. 厌氧消化工艺处理水果蔬菜废弃物的研究进展[J]. 中国沼气, 2005, 23(4): 18-21.
- [4] 邱凌, 卢旭珍, 王兰英, 等. 日光温室生产废弃物厌氧发酵特性初探[J]. 中国沼气, 2005, 23(2): 30-32.
- [5] Zhang Ruihong, Zhang Zhiqin. Anaerobic digestion of vegetable waste with an anaerobic phased solids digester system[J]. Transaction of the CSAE, 2002, 18(5): 134-139.
- [6] 毛羽, 张无敌. 菠菜叶秆厌氧发酵产气潜力的研究[J]. 农业与技术, 2004, 24(2): 38-41.
- [7] 刘荣厚, 郝元元, 叶子良, 等. 沼气发酵工艺参数对沼气及沼液成分影响的实验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增1): 85-88.
- [8] 曹伟华. 水葫芦厌氧发酵工艺和现场中试研究[D]. 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2005.
- [9] 乔玮. 城市垃圾厌氧消化处理技术研究[D]. 长沙: 湖南大学环境科学与工程系, 2004.
- [10] Adrie Veeken, Sergey Kalyuzhnyi, Heijo Scharff, et al. Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste[J]. Journal of Environmental Engineering, 2000, 12(6): 1076-1081.
- [11] 卢旭珍. 动植物生产废弃物厌氧消化工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [12] 余建峰. 不同接种物对牛粪高温厌氧发酵过程的影响[D]. 郑州: 郑州大学, 2006.
- [13] 姚燕. 利用畜禽粪便为原料生产优质厌氧发酵液工艺条件的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003.
- [14] Kosters I W, Lettinga G L. The influence of ammonium~nitrogen on the specific activity of palletized methanogenic sludge [J]. Agricultural Wastes, 1984, 9: 205-216.
- [15] 张波, 徐剑波, 蔡伟民. 有机废物厌氧消化过程中氨氮的抑制性影响[J]. 中国沼气, 2003, 21(3): 26-28.
- [16] 李俊涛, 钱小青, 赵由才. 泔脚的厌氧消化处理可行性研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(9): 646-648.
- [17] Lopes W S, Leite V D, Prasad S. Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste[J]. Bioresource Technology, 1994, 94: 261-266.
- [18] 李俊涛. 泔脚垃圾厌氧发酵产沼技术研究[D]. 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2003.

Experimental study on biogas production from vegetable waste by anaerobic fermentation

Liu Ronghou, Wang Yuanyuan, Sun Chen, Mei Xiaoyan

(Biomass Energy Engineering Research Centre, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A batches of anaerobic digestion experiments for leaves of cabbage wastes were conducted in self-manufactured anaerobic fermentation equipment. The feasibility of anaerobic digestion disposal of leaves of cabbage wastes and the effect of different concentration inoculums on anaerobic digestion were studied. The results show that the anaerobic digestion can fit for the characteristics of anaerobic fermentation of vegetable wastes. Among inoculums concentrations of 20%, 30% and 50%, the contents of VFA, NH₄⁺-N and pH value for the 30% inoculums concentration were normal, and the total biogas content and the maximum CH₄ content were 7790.81 mL and 42.514%, respectively, which were obviously higher than those of other two treatments and control. This study provided a good reference for the research and development of the comprehensive utilization of vegetable waste.

Key words: vegetable waste; anaerobic fermentation; biogas