

载体对牛粪厌氧消化性能及微生物附着的影响

李 杰¹, 李文哲^{2*}, 王永成¹, 许洪伟¹

(1. 东北农业大学动物科技学院, 哈尔滨 150030, 2. 东北农业大学农业工程学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 在 30℃ 条件下, 采用两步流动发酵方法, 观察尼龙纤维、玻璃纤维和聚丙烯网状球形载体对牛粪厌氧发酵 pH 值、沼气产量和载体表面微生物附着的影响。实验结果表明, 随着牛粪浓度的增加, pH 值有增加的趋势。反应器的沼气产量明显随着牛粪浓度的增加而提高, 当牛粪浓度由 5% 提高到 7% 时, 沼气产量提高 12.5%, 而牛粪浓度提高到 10% 时, 沼气产量提高 33.3%。在 7% 牛粪流动发酵期间和 10% 牛粪流动前期, 添加尼龙纤维和玻璃纤维载体可显著提高沼气产量。扫描电镜照片显示, 不同载体表面附着的微生物种类和数量不同, 尼龙纤维表面附着的微生物种类和数量高于玻璃纤维和聚丙烯球形载体。

关键词: 载体; 牛粪; 厌氧消化; 微生物

中图分类号: X713; X503.221

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)Supp-0248-04

0 引言

近年来, 在我国畜牧业迅速发展的同时, 其废弃物对环境产生了严重的污染。目前, 我国畜禽粪便排放量约 26 亿 t, COD 的排放量远远超过工业废水与生活废水 COD 排放量之和^[1]。厌氧处理畜禽废弃物不仅减少其对环境的污染, 而且可以获得生物能源——沼气。每吨干牛粪、鸡粪和猪粪可产生沼气约 300、490 和 420m³^[2], 沼气的热值为 18017 ~ 25140 kJ · m⁻³, 相当于 1kg 原煤或 0.74kg 标准煤所产生的热量^[3]。因此, 在能源紧缺的今天, 利用污染环境的畜禽废弃物生产清洁能源, 对于保护环境和补充能源有着重要的意义。

现代的工业化高效厌氧沼气技术采用连续式发酵, 反应器中的厌氧微生物容易随污泥的排出而流失, 通常采用载体(填料)或颗粒污泥使厌氧微生物附着其上形成生物膜, 提高沼气的发酵速率。工业有机废水通常采用颗粒污泥来提高和保持反应器内的微生物密度。固定载体或填料可以增加和保持高固体含量有机废物厌氧发酵反应器的微生物密度, 但采用固定载体厌氧处理高浓度畜禽粪污的研究报道较少。为此, 采用废水处理的聚丙烯网状空心球形载体、价格便宜且易于微生物附着的玻璃纤维和尼龙纤维作为牛粪厌氧消化的微生物载体, 观察在 30℃ 条件下, 两步流动发酵载体对牛粪厌氧消化沼气产量、pH 值及载体表面微生物和生物膜附着的影响。

1 实验材料和方法

1.1 污泥驯化

原始污泥取自哈尔滨市郊区的养鱼塘底部, 用新鲜牛粪作为基料进行污泥驯化。将约 2400mL 的污泥和牛粪混合液(干物质比例为 1:2, 总固体浓度约为 7%)

添加到 3000mL 的反应器中, 再添加 100mL 的绵羊瘤胃液。置 30℃ 恒温水浴箱中进行发酵驯化 30d。反应器上口用带有玻璃管的橡胶塞封严, 橡胶塞中插有 3 个玻璃管, 其中 2 个内径为 0.6cm, 另一个内径为 1.0cm, 反应器下口作为取样口。反应器的出气口连接的乳胶管插入倒置于水中的量筒内, 以排水法记录每日的沼气产量。实验装置如图 1 所示。

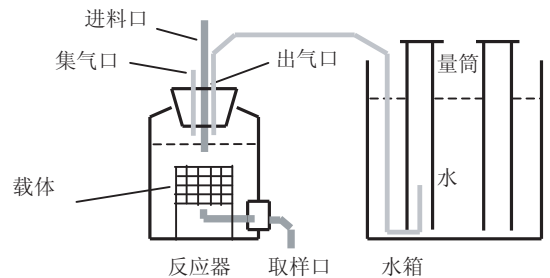


图 1 厌氧发酵装置示意图

Fig. 1 Sketch map of an anaerobic fermentation reactor

1.2 实验方法

实验所用新鲜牛粪取自东北农业大学动物营养研究所的实验奶牛, 用打浆机将牛粪粉碎, 使固体颗粒直径 $R \leq 0.1\text{cm}$ 。按 5% 将牛粪与水混合, 分别加入到 4 个反应器中, 每个反应器添加牛粪 1700mL 和以上驯化的污泥 200mL, 再加 100mL 绵羊瘤胃液。反应瓶内总固体(TS)含量的实测值为 4.95%, 挥发性物质(VS)为 4.52%。

将 4 个反应器作为产甲烷反应器置于 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ 恒温水浴箱中进行发酵。在发酵的第 6d 按上述方法装 2 个酸化反应器, 在 4 个产甲烷反应器发酵的第 12d, pH 值恢复至 6.8 以上, 开始进行流动发酵。每隔 1d 在产甲烷反应器进样与放样 200mL, 同时往酸化瓶中补充浓度相同的牛粪料液 200mL。流动发酵 30d, 料液停留

收稿日期: 2006-08-06 修订日期: 2006-11-18

作者简介: 李杰(1960—), 女, 研究员, 博士, 主要从事动物营养和畜禽废弃物生物处理技术的研究。东北农业大学动物科技学院, 邮编 150030, 电话: 0451-55191233。Email: lijienau@sina.com

通讯作者: 李文哲(1955—), 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向为生物质能源开发与利用。Email: liwenzhe9@163.com

时间为20d。从31~50d开始,流动的酸化料液TS为7%,流动发酵20d,停留时间为20d。从51~70d开始,酸化料液TS为10%,流动发酵20d,停留时间为20d;在发酵的71~80d,牛粪的浓度不变,停留时间为10d,每日流量为400mL。在31~80d每日流动1次。

1.3 测定指标和方法

每天记录酸化瓶与甲烷瓶的沼气产量,每隔1d测定样品的pH值。采用HI9224式便携式酸度计测定样品的pH值。沼气中甲烷含量采用安捷伦6890型气相色谱仪进行测定。选用TCD检测器。测定条件如下:色谱柱HP-PL0TU型毛细管柱(length:30meters、ID:0.53mm、Film:20 μ m);柱温70~100 $^{\circ}$ C;气化室温度180 $^{\circ}$ C,载气(H₂)压力4.91Pa,流速10mL/min;TCD检测器250 $^{\circ}$ C。

2 实验结果

2.1 载体对牛粪厌氧消化pH值的影响

4个产甲烷反应器的pH值见图2。在5%牛粪的流动发酵阶段,4个反应器的pH值基本保持在6.8左右;在7%牛粪的流动发酵阶段,4个反应器的pH值与第一阶段相同;在10%牛粪流动发酵阶段,4个反应器的pH值逐渐升高,到流动发酵的最后10d,4个反应器的pH值维持在6.9~7.0之间;随着牛粪浓度的增加和有机负荷的提高,4个反应器的pH值呈增高的趋势。载体对反应器的pH值没有显著的影响。

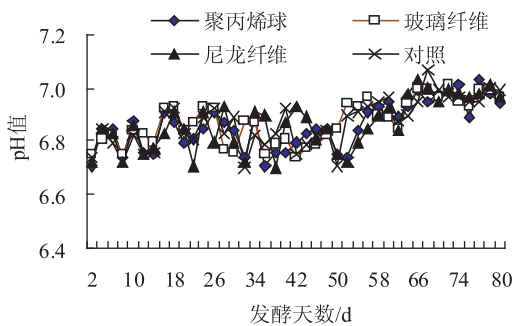


图2 不同载体反应器的pH值

Fig. 2 pH values in reactors containing different carriers

2.2 载体对牛粪厌氧消化沼气产量的影响

实验结果如图3所示。4个产甲烷反应器的沼气产量随时间的变化趋势相同。在流动发酵的1~10d,沼气产量基本在600mL/d左右,在5%牛粪流动发酵的11~30d,沼气产量在800mL/d左右;在7%牛粪流动发酵期间,沼气产量提高到900mL/d左右;在10%牛粪流动发酵的开始阶段,沼气产量在2~3d提高到约1200mL/d,以后逐渐增加到1400mL/d左右。由此看出,当水力停留时间不变时,随着牛粪浓度的增加,沼气产量随之增加。当牛粪浓度由5%增加到7%时,沼气产量提高约12.5%,当由7%增加到10%时,沼气产量提高约33.3%。牛粪浓度同是10%时,而水力停留时间缩短为10d时,沼气产量提高约16.7%。缩短水力

停留时间,也就是增加有机负荷,在一定程度上,可以提高沼气产量。

在5%牛粪流动期间,载体对沼气产量的影响不显著;在7%牛粪流动期间,尼龙纤维、玻璃纤维和聚丙烯球载体使沼气产量分别提高12.60% ($p < 0.05$)、8.68% ($p < 0.05$)和2.35%;在10%牛粪流动发酵的前20d,以上三种载体导致沼气产量分别提高9.04% ($p < 0.05$)、7.27% ($p < 0.05$)和1.86%;在10%牛粪流动的后10d,水力停留时间为10d时,载体对沼气产量提高的幅度较小,三种载体均未达到显著水平。由此看出,在流动的开始阶段,或浓度较高和水力停留时间较短时,添加载体对沼气产量的提高效果不显著。

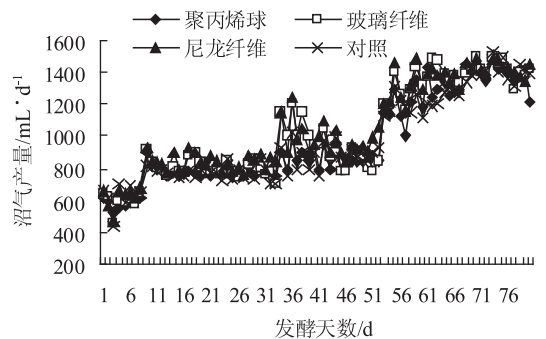


图3 不同载体反应器的沼气产量

Fig. 3 Biogas in reactors containing different carriers

2.3 沼气中的甲烷含量

由图4看出,在发酵的1~5d沼气中甲烷含量低一些,大约为60%左右,以后升高到65%左右,在整个的流动发酵期间,基本在65%左右浮动。载体对甲烷含量没有显著的影响。

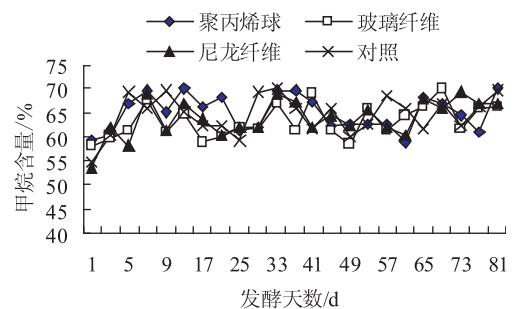


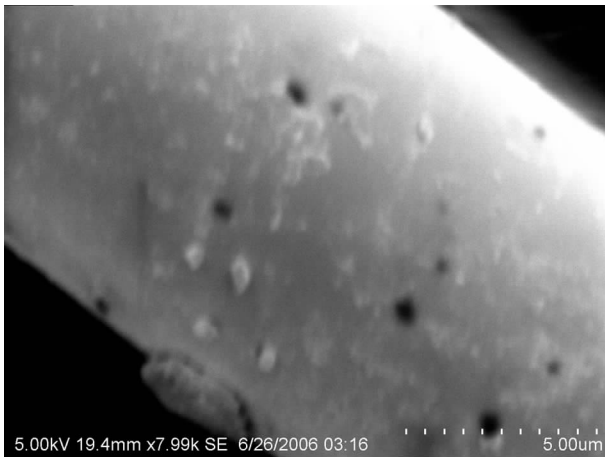
图4 不同载体反应器沼气中的甲烷含量

Fig. 4 Methane content in biogas in reactors of different carriers

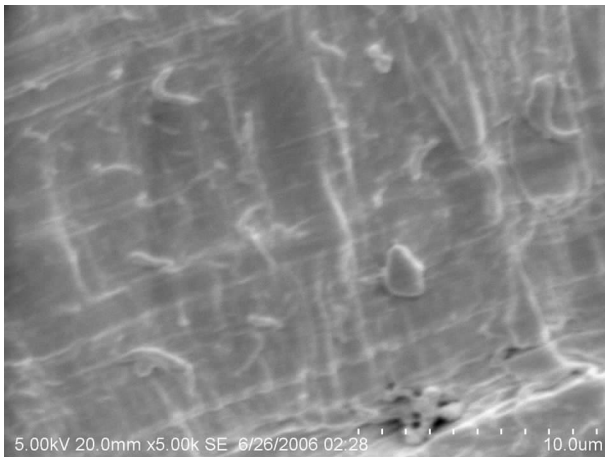
2.4 载体表面附着的微生物和生物膜

由图5看出,玻璃纤维表面附着一些颗粒状生物膜,主要由厌氧菌与胞外物结合的菌胶团颗粒,但很少见到单个的微生物;在聚丙烯球载体表面,见到少量杆菌和颗粒状生物膜;在尼龙纤维表面,看到的厌氧菌种类和数量较多,主要是弯曲的甲烷螺菌,还看到少量杆菌和球菌。载体表面附着的微生物数量与反应器的

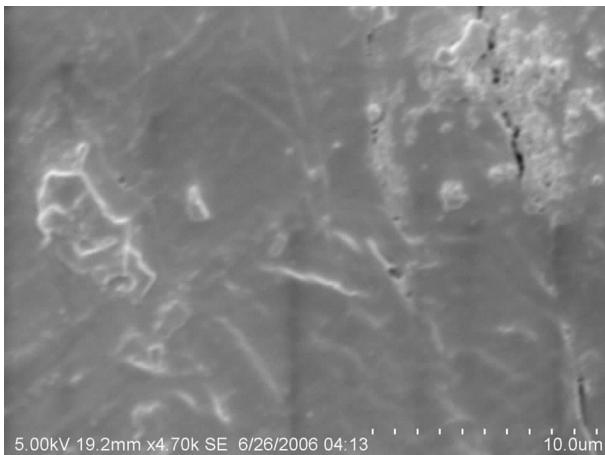
沼气产量相吻合:尼龙纤维反应器沼气产量最高,其次是玻璃纤维反应器,聚丙烯球反应器沼气产量第三。由此看出,载体表面附着较多的微生物是导致反应器沼气产量提高的主要因素。



A 玻璃纤维载体($\times 7990$)



B 聚丙烯球载体($\times 4700$)



C 尼龙纤维载体($\times 5000$)

图5 三种载体表面的电镜扫描照片

Fig.5 Scanning electron micrographs of microorganisms attached to 3 carriers

3 讨论

在5%牛粪的流动发酵阶段,4个反应器内的pH值基本保持在6.8左右;随着牛粪浓度的增加和有机负荷的提高,4个反应器的pH值呈增加的趋势。这与流入反应器内的酸化料液pH值的升高有关,因为随着时间的延长,酸化反应器内的pH值也在提高。载体对反应器的pH值没有显著的影响。

随着牛粪浓度的增加,沼气产量随之提高。当牛粪浓度由5%提高到7%时,沼气产量约提高了12.5%,而牛粪浓度由7%提高到10%时,沼气产量约提高33.3%;牛粪浓度不变,缩短在反应器的停留时间(即增加反应器的有机负荷),反应器的沼气产量约提高16.7%。由此看出,提高牛粪浓度或缩短水力停留时间均可提高反应器的沼气产量。在7%牛粪流动期间和10%牛粪流动的前20d,尼龙纤维和玻璃纤维使沼气产量分别提高9.04%~12.60%($p < 0.05$)和7.27%~8.68%($p < 0.05$)。Ramasamy和Abbast^[4]采用尼龙绳缝制的圆柱形悬浮载体进行200d的试验,甲烷产量比对照提高25%。佟树声^[5]在上流式污泥床反应器实验中,使用聚脂长丝作为厌氧微生物的载体,发酵50d后,随着时间的延长有机负荷和产气率与对照的差异逐渐增大,有机负荷最高时达到100kg/m³,而对照最高时仅为20kg/m³,产气率比对照反应器提高3~4倍。而周孟津等^[6]在升流式反应器中添加半软性纤维填料处理鸡粪,VS浓度为37.4g/L,添加载体并未表现出优势,其原因是呈朵状的纤维载体携带大量污泥,出水口和出气口有时发生堵塞现象,因而没有发挥出载体的作用。

Kuroda等^[7]研究产甲烷菌和产酸菌在不同载体上的附着,结果表明含碳物质构成的载体上厌氧微生物的附着和生物膜的特性最好。本实验结果表明,不同的载体因其表面特性,附着的微生物种类和数量不同。本实验中尼龙纤维表面附着的微生物种类和数量均高于玻璃纤维载体,而玻璃纤维表面附着的微生物多于聚丙烯球载体。载体表面附着较多种类和数量的微生物是提高反应器沼气产量的主要因素。Young和Mohamed^[8]的试验表明微生物的附着与载体的种类、大小和形状有关。在厌氧反应器中,添加载体材料,可使厌氧微生物附着在上面,增加反应器内微生物的密度,因而提高甲烷的生产效率。

4 结论

1)在30℃条件下,随着牛粪浓度的增加,沼气产量随之提高。缩短牛粪在反应器的停留时间,也可提高反应器的沼气产量。

2)在7%牛粪流动期间和10%牛粪流动前期,添加尼龙纤维和玻璃纤维载体可显著提高沼气产量。

3)不同的载体表面附着的微生物种类和数量不同。尼龙纤维表面附着的微生物种类和数量高于玻璃纤维和聚丙烯球载体。

[参 考 文 献]

- [1] 孙振钧,孙永明. 我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展[J]. 中国农业科技导报, 2006,8(1): 6-13.
- [2] GB 9958—88,农村家用沼气发酵工艺规程(S).
- [3] 刘树民,韩靖玉,岳海军. 中国北方寒冷地区沼气的综合开发利用[J]. 内蒙古农牧大学学报,2002,24(4):83-86.
- [4] Ramasamy E V, S A Abbast. Enhancement in the treatment efficiency and conversion to energy of dairy wastewaters by augmenting CST reactors with simple bio-film support systems[J]. *Envir Tech*,2001, 22:562-565.
- [5] 佟树声. 以纤维填料生物膜反应器处理糖厂废水的发酵试验[J]. 中国沼气, 1991, 9(1):5-10.
- [6] 周孟津,杨秀山,初一宁,等. 增设软纤维填料对升流式固体反应器(USR)性能的影响[J]. 中国沼气, 1995, 13(1): 8-11.
- [7] Kuroda M, Yuzawa M, Sakakibara Y, et al. Methanogenic bacteria adhered to solid supports[J]. *Water Research*, 1988, 22(5):653-659.
- [8] Young J C, Mohamed F D. Effect of media design on the performance of fixed-bed anaerobic reactors[J]. *Water Sci Tech*,1983,15:369-383.

Effect of carriers on anaerobic digestion of cow manure and microbes adhered to them

Li Jie¹, Li Wenzhe^{2*}, Wang Yongcheng¹, Xu Hongwei¹

(1. *Animal Science and Technology College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;*

2. *Agricultural Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*)

Abstract: Experiments were conducted to measure the effect of Nylon fiber, fiberglass and polypropylene net ball carriers on pH value, biogas production and microorganism attachment to the carrier surfaces at 30°C with two phase anaerobic fermentation. The results showed that there was a increasing trend of pH with the increase of cow manure concentration. Biogas production in reactors increased significantly by 12.5% from 5% to 7% of manure concentration and by 33.3% from 7% to 10%. Nylon fiber and fiberglass enhanced significantly biogas production when flowage fermentation of 7% manure and prophase of 10% manure fermentation. Scanning electron micrographs showed that there were more kinds and amount of microbes adhered to the surfaces of Nylon fiber than that of fiberglass and polypropylene carriers, and microbe species and combining structure seemed different on the three carries.

Key words: carriers ; cow manure; anaerobic digestion; microbes