

不同种牛粪干发酵产气特性比较试验研究*

祝其丽 汤晓玉 王文国 潘科 胡启春[#]

(农业部沼气科学研究所,四川 成都 610041)

摘要 采用干发酵技术处理3种不同种类的牛粪,比较了各种牛粪发酵的日产气量、累计产气量和产甲烷比例的差异。结果表明,相对于水牛粪和黄牛粪,奶牛粪干发酵产气的启动更快;累计产气量和平均容积产气率均以水牛粪为最高,黄牛粪次之,奶牛粪最低;3种牛粪干发酵过程中的产甲烷比例变化趋势大体上相似,在发酵初期由低到高逐渐增加,之后趋于平稳,其中水牛粪的产甲烷比例相对于奶牛粪和黄牛粪略高;总体来看,水牛粪干发酵的产气效果优于奶牛粪和黄牛粪,这为以后的相关研究或沼气工程设计中的原料选取提供了参考。

关键词 奶牛粪 黄牛粪 水牛粪 干发酵 产气特性

Experimental study on the characteristics of gas production from dry anaerobic digestion of different kinds of cattle manure ZHU Qili, TANG Xiaoyu, WANG Wenguo, PAN Ke, HU Qichun. (Institute of Biogas, Ministry of Agriculture, Chengdu Sichuan 610041)

Abstract: In this paper, comparative dry fermentation experiments were carried out to investigate the effect of cattle manure species on daily gas production, cumulative gas production and methane content. The results showed that the speed of start-up performance from fastest to slowest were cow manure, buffalo manure, cattle manure in sequence, while as to the cumulative gas production and average volume gas productivity from highest to lowest, they were buffalo manure, cattle manure, cow manure in sequence. The compositions of gas produced from dry fermentation of these three cattle manures were approximately similar. The methane content produced from fermentation of buffalo manure was higher than that from other two manures. Generally speaking, the effect of gas production from buffalo manure was better than that from cattle manure and cow manure. This paper provides reference for feedstocks selection in future related research or biogas engineering design.

Keywords: cow manure; cattle manure; buffalo manure; dry anaerobic digestion; characteristics of gas production

近年来,随着牛养殖业的规模化、集约化发展,我国的牛粪产量也日益增加,若不加以有效处理,将会造成严重的环境污染。利用厌氧发酵工艺处理牛粪,不仅能提供沼气能源,也能在一定程度上缓解养殖业发展与环境保护的矛盾^[1]。随着人们环境保护意识的增强,干清粪工艺已成为规模化畜禽养殖场主要的清粪方式。对四川、重庆、湖南等14个省份的144处规模化养殖场的抽样调查结果显示,干清粪工艺为目前主要的清粪方式,使用率达63%^[2]。干发酵又称为固体厌氧发酵,反应中的总固体(TS)质量分数要求达到20%以上^[3-5]。相对于传统的湿发酵而言,干发酵具有更高的有机负荷率,且用水量少、处理成本低、管理方便,目前已被广泛应用于畜禽粪便、农作物秸秆、城市有机废弃物等的处理^[6]。

目前,国内外已有很多关于干发酵技术应用于

牛粪处理的研究报道^[7-10],但多集中于探讨影响干发酵产气效果的因素及其各项参数的优化,并未见对不同种类牛粪干发酵产气特性的相关研究报道。为此,笔者采用干发酵技术处理了3种不同种类的牛粪,比较了各种牛粪发酵产气的特性差异,以期对相关研究或沼气工程设计中的原料选取提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

发酵原料为奶牛粪、水牛粪、黄牛粪,分别取自四川省的3个规模化养殖场,其形态样貌见图1。3种牛粪的TS分别为40.31%、27.30%、35.72%(质量分数,下同)。牛粪取回后,自然风干,备用。接种污泥取自农业部沼气科学研究所实验室,含水率为86.9%(质量分数)。

第一作者:祝其丽,女,1981年生,硕士,助理研究员,研究方向为农业环境科学。[#] 通讯作者。

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(No. 0032012012)。

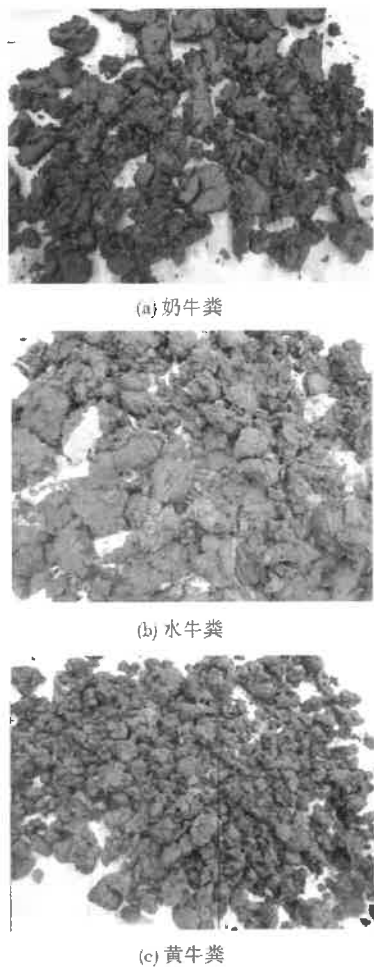


图 1 3 种牛粪的形态样貌

Fig. 1 Three kinds of feedstocks for dry fermentation

1.2 实验装置

实验装置主要由发酵瓶、集气瓶、集水瓶和气管路组成(见图 2)。发酵瓶容积为 2.5 L,顶部由带导管的橡胶塞密封,导管用于将发酵瓶中产生的气体输送至集气瓶。整个发酵瓶完全密封以保证厌氧环境,并将发酵瓶置于 HH-S4A 电热恒温水浴锅中,保持恒温(35 ℃)。污泥停留时间(SRT)为 90 d。

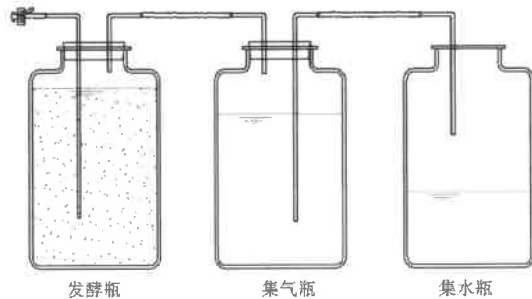


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Sketch of dry anaerobic digestion reactors

1.3 实验方法

通过计算确定发酵原料各组分应加入的量,将牛粪、接种污泥、自来水按照一定比例混合,确保发酵物料的 TS 为 20%,污泥接种量为 30%(质量分数),pH 在 6.8~7.6。

利用排水法计算产气量。每天定时记录发酵产生的气体体积,每 4~5 天采用 GC-2010 气相色谱仪(日本岛津)进行一次气体成分测定。

2 结果与讨论

2.1 不同 SRT 下的牛粪 C/N 比较

发酵原料的 C/N 是影响厌氧干发酵产气效果的主要因素之一,C/N 太高,微生物所需氮量不足,且会导致消化液缓冲能力降低,C/N 太低,则含氮量过多,一部分氮素合成菌体维持生长,多余的氮素则会被分解成无机氮素而释放^[11-12],同时不合理的 C/N 还会引发挥发性脂肪酸的积累^[13],从而降低产甲烷微生物的活性,甚至抑制干发酵过程的顺利进行^[14]。

对不同的发酵原料而言,其最适 C/N 也不同。本实验采用的奶牛粪、水牛粪、黄牛粪在不同 SRT 下的 C/N(质量比)如表 1 所示。

表 1 不同 SRT 下 3 种牛粪的 C/N
 Table 1 C/N of 3 feedstocks at different SRT

项目	发酵前	发酵 30 d	发酵 60 d	发酵 90 d
奶牛粪	20.55	14.29	13.05	12.61
水牛粪	27.73	16.34	15.42	14.18
黄牛粪	28.79	16.85	15.43	14.10

从表 1 可以看出,3 种牛粪发酵前的 C/N 存在差异,奶牛粪的 C/N 最低,为 20.55,而水牛粪、黄牛粪的 C/N 较接近;随着发酵的进行,3 种牛粪的 C/N 均逐渐降低。很多研究结果表明,干发酵原料的 C/N 以 20~30 为宜^[15],超过或者低于最佳值均会影响发酵产气效果。

2.2 不同种类牛粪产气量的比较

2.2.1 日产气量

3 种牛粪干发酵过程中的日产气量变化如图 3 所示。由图 3 可见,总体上看,3 种牛粪干发酵的日产气量均经历了一个先增加再减少的过程,3 者的变化趋势大体相似。前期产气量较低是由于干发酵相对于湿发酵而言启动更困难,需要的时间更长;后期产气量逐渐减少是因为随着发酵的进行,牛粪的 C/N 降低,使得多余的氮素被分解成无机氮而释放出氨,从而抑制了产气。

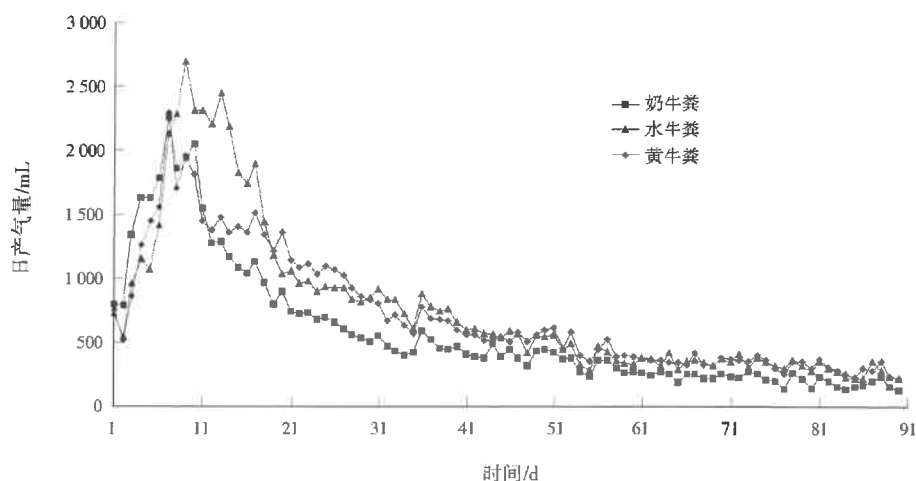


图3 3种牛粪干发酵的日产气量比较

Fig. 3 Comparison of daily gas production from dry fermentation of 3 feedstocks

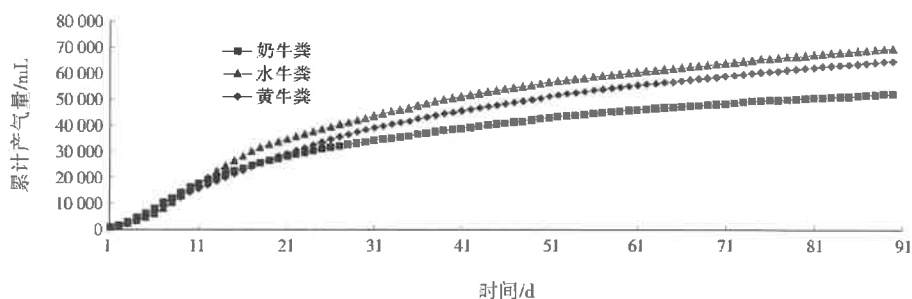


图4 3种牛粪干发酵的累计产气量比较

Fig. 4 Comparison of cumulative gas production from dry fermentation of 3 feedstocks

从图3可以看出,奶牛粪、黄牛粪的日产气量最高值均出现在第7天,分别高达2250、2300 mL/d;而水牛粪的日产气量最高值出现在第9天,高达2700 mL/d。在最初的7 d,奶牛粪的日产气量均高于其他2种牛粪,这说明相对于水牛粪和黄牛粪而言,奶牛粪干发酵的启动更快。原因可能在于奶牛粪在发酵初期与接种污泥混合的更为充分,更有利于微生物对有机物的降解,而水牛粪、黄牛粪由于不同程度的结块而与接种污泥的混合度降低,导致系统发酵启动较慢。在7~19 d,水牛粪干发酵的产气量增加最快,日产气量很高;在19~30 d,黄牛粪的日产气量高于其他2种牛粪。而在接下来的近2个月的发酵过程中,3种牛粪的日产气量均平稳下降,未出现大幅度波动,这说明整个干发酵过程还是相对较稳定的。原因可能在于牛粪中含有纤维素和半纤维素,在发酵后期由于这些物质的持续分解使其保持着较为稳定的产气能力^[16]。

2.2.2 累计产气量

整个干发酵过程中,3种牛粪的累计产气量(见图4)以水牛粪为最高,黄牛粪次之,奶牛粪最低。

究其原因,可能是由于3种牛摄入的食物不同导致其粪便的成分、C/N等不同,进而导致干发酵过程中的产气量差异。

随着现代奶牛养殖业的规模化、集约化发展,受利益驱使,养殖户增加了饲料喂养量,减少了青贮的进食量,进而减少了牛粪中能发酵产沼气的有机物含量。相比之下,水牛和黄牛目前的规模化养殖程度还不及奶牛,因此更多地沿袭了传统的饲养方法,以青贮饲养为主,故本研究中水牛粪、黄牛粪的累计产气量高于奶牛粪。

2.2.3 平均池容产气率

池容产气率是衡量厌氧发酵效率的主要指标之一。本研究中3种牛粪干发酵90 d的平均池容产气率(见图5)以水牛粪为最高($0.31 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$),黄牛粪其次($0.29 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$);奶牛粪最低($0.23 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$),这与图4所示3种牛粪的累计产气量结果相符。有研究显示,我国养殖场奶牛粪常温干发酵的平均池容产气率为 $0.229 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,已达到国内常温奶牛粪发酵的先进水平。本研究3种牛粪的平均池容产气率均高于该值,这是缘于实验

采用的是中温(35℃)发酵,其中的微生物活性相对常温发酵更强,进而提高了产气率。已有研究表明,大多数厌氧发酵温度适合设定为中温(最佳温度为35℃)或高温(最佳温度为55℃),因为在低温条件下生物活性和厌氧发酵能力会明显降低^[17-18]。

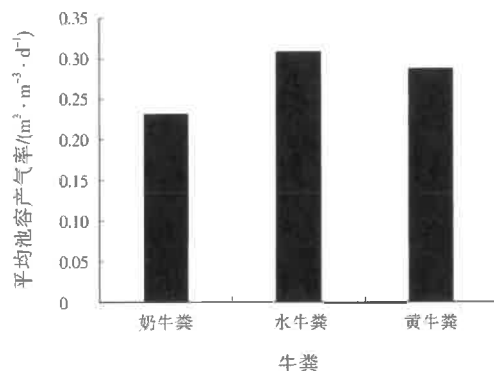


图5 3种牛粪干发酵的平均池容产气率比较
Fig. 5 Comparison of average volume gas production from dry fermentation of 3 feedstocks

2.3 不同种类牛粪发酵产甲烷量比较

牛粪干发酵产生气体的成分主要包括 N_2 、甲烷、 CO_2 。一般甲烷所占比例最高,基本上能达到50%(体积分数,下同)以上; CO_2 其次,所占比例在35%~45%;而 N_2 最低,仅占10%左右。相关研究表明,在干发酵过程中,甲烷的产生由两部分构成,一部分是由产甲烷菌分裂乙酸而成,其产量约占总产量的70%;另一部分是由产甲烷菌利用氢和 CO_2 产生,其产量约占总产量的30%^[19-20]。

由图6可见,3种牛粪干发酵过程中的产甲烷比例变化趋势大体上相似,在发酵初期由低到高逐渐增加,之后趋于平稳。这是由于发酵初期产酸微生物占主要优势,一定程度上抑制了产甲烷菌的活性;而后期随着产甲烷菌活性的加强,产生的甲烷量也逐渐增加并趋于稳定。

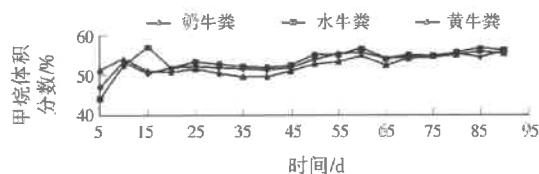


图6 3种牛粪干发酵产甲烷比例比较
Fig. 6 Comparison of methane content from dry fermentation of different kinds of cattle manure

奶牛粪干发酵产气中的甲烷含量从发酵初期的46%逐渐增至发酵末期的55%;黄牛粪干发酵过程中的甲烷产量与奶牛粪相似,整个发酵过程中产甲烷比例均保持在49%~55%。在为期90d的发酵过程中,水牛粪干发酵的产甲烷比例最高值为

56.78%,出现在第14天,这与水牛粪日产气量最高值出现在7~19d的结果相符。总体来看,水牛粪干发酵产甲烷的比例相对于奶牛粪、黄牛粪略高。

研究表明,适当的搅拌有利于发酵罐内酶和微生物的均匀分布,可促进热传递,抑制分层现象,进而能提高沼气的产率^[21]。除此以外,搅拌还有利于发酵产生气泡的排放,避免颗粒物的沉降影响产气效果^[22]。值得一提的是,搅拌在干发酵过程中难以实施,需要的费用相对湿发酵也更高^[23],而且本实验为批式发酵,从实验开始到结束发酵瓶均处于密封状态,因此未实施搅拌,从而在一定程度上影响了发酵产气效果。

3 结论与结语

(1) 相对于水牛粪和黄牛粪,奶牛粪干发酵产气的启动更快;累计产气量和平均容积产气率均以水牛粪为最高,黄牛粪次之,奶牛粪最低。

(2) 3种牛粪干发酵过程中的产甲烷比例变化趋势大体上相似,在发酵初期由低到高逐渐增加,之后趋于平稳,其中水牛粪的产甲烷比例相对于奶牛粪和黄牛粪略高。

(3) 总体来看,水牛粪干发酵的产气效果优于奶牛粪和黄牛粪,这为以后的相关研究或沼气工程设计中的原料选取提供了参考。

参考文献:

- [1] 袁立,王占哲,刘春龙. 国内外牛粪生物质资源利用的现状与趋势[J]. 中国奶牛, 2011(5): 3-9.
- [2] 祝其丽,李清,胡启春,等. 猪场粪污方式调查与沼气工程适用性分析[J]. 中国沼气, 2011, 29(1): 26-28.
- [3] BOLZONELLI D, INNOCENTI L, PAVAN P, et al. Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: focusing on the start-up phase[J]. Bioreour. Technol., 2003, 86(2): 123-129.
- [4] MARTIN D J, POTTS L G A, HESLOP V A. Reaction mechanisms in solid-state anaerobic digestion: 1. the reaction front hypothesis[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2003, 81(3): 171-179.
- [5] FORSTER CARNEIRO T, PEREZ M, ROMERO L. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste[J]. Bioreour. Technol., 2008, 99(15): 6763-6770.
- [6] JHA A K, LI Jiangzheng, NIES L, et al. Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organic wastes[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(10): 14242-14253.
- [7] 石利军,孙杰,孙占潮,等. 畜禽粪便稻草混合干式发酵产沼气试验研究[J]. 天津农业科学, 2011, 17(4): 5-9.
- [8] 罗艳丽,郑春霞,贾宏涛,等. 牛粪常温厌氧发酵特性的试验研究[J]. 2010, 47(5): 976-979.

(下转第65页)