

# C/N 对沼气产气量的影响

高礼安, 邓功成\*, 赵洪, 李静, 马媛, 李永波, 黎娇凌, 俸才军, 张林, 杨世凯

(1. 黔南民族师范学院生命科学系, 贵州都匀 555800; 2. 黔南州农村能源与环境保护办公室, 贵州都匀 555800)

**摘要** 以鲜猪粪和风干稻草为原料, 采用批量发酵法研究不同 C/N (18/1, 23/1, 28/1, 33/1, 38/1, 43/1) 对厌氧发酵产气量和产气特性的影响。结果表明, 在常温条件下, 各处理沼气发酵均能迅速启动, 但 C/N 为 23/1 的处理发酵启动最快; C/N 为 33/1 的处理 60 d 发酵平均日产气量、总产气量和 TS 产气率最高。

**关键词** C/N; 沼气; 产气量

中图分类号 S216.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)15-06879-02

## Effect of C/N on Gas Production of Biogas

GAO Li-an et al (Life Science Department of Qiannan Normal College for Nationalities, Duyun, Guizhou 555800)

**Abstract** With fresh pig manure and air dry straws as the materials, the effects of different C/N (18/1, 23/1, 28/1, 33/1, 38/1, 43/1) on gas production and gas characteristics in anaerobic fermentation process were studied with batch fermentation method. The results showed that all treatments could be rapidly starting biogas fermentation under ambient temperature, but the starting of biogas fermentation in treatment with C/N of 23/1 was the most rapidly. The average daily gas production, total gas production and TS gas production rate in treatment with C/N of 33/1 were the highest in 60 d.

**Key words** C/N; Biogas; Gas production

沼气是利用粪便、农作物秸秆等有机物在特定(厌氧)条件下, 经过微生物的生理代谢产生的主要成分为 CH<sub>4</sub> 的可燃性气体, 属生物能源<sup>[1]</sup>。农村户用沼气的发酵方式为常温半连续式发酵<sup>[2]</sup>。在冬春季节, 受温度的影响, 原料分解慢, 沼气产气率较低, 影响沼气的持续利用<sup>[3]</sup>。提高农村沼气产量, 除采取必要的工程措施外, 还需改善发酵环境等。提高发酵原料的产气率是提高沼气产量的重要途径, 而发酵原料的 C/N 是影响产气率的主要因子之一。笔者探索发酵物不同 C/N 对沼气产量的影响, 以期为解决农村沼气冬季产气量低、产气不均匀等问题以及沼气池的运行管理提供指导。

## 1 材料与方

**1.1 材料及接种物** 发酵材料为新鲜猪粪和干稻草粉, 新鲜猪粪取自贵州省都匀黔隆果菜基地开发有限公司优质猪养殖场, TS 含量为 29%~32%。干稻草粉取自贵州省都匀市杨柳街镇。接种物(发酵微生物种子)取自农村多口沼气池, 富集培养后的混合微生物菌群送中国农业科学院沼气科学研究所厌氧微生物重点开放实验室测定。经测定, 各微生物菌群的数量为: 发酵细菌  $3 \times 10^8$  ml, 纤维素分解菌  $5.5 \times 10^4$  ml, 硫酸盐还原菌  $5 \times 10^6$  ml, 产甲烷菌  $1.9 \times 10^7$  ml。

**1.2 试验方法** 采用批量发酵。用鲜猪粪和风干稻草配制不同比例的 C/N, 共设 18/1、23/1、28/1、33/1、38/1、43/1 6 个处理, 每处理重复 3 次, 用 5 000 ml 蒸馏水瓶做发酵容器, 每瓶装 TS 313 g, 发酵种子 250 ml, 加自来水搅拌充分混合定容至 2 500 ml。实验室常温下连续发酵 60 d, 采用排水集气法测定日产气量, 统计总产气量; 每 5 d 用吸收法测定沼气中 CH<sub>4</sub> 含量<sup>[4]</sup>, 用 pH S-25A 型数字酸度计测量发酵液的 pH 值。

## 2 结果与分析

**2.1 C/N 对沼气发酵启动的影响** 沼气池从进料开始, 到能够正常而稳定的产气过程称为沼气发酵的启动。由于试验在 8 月份进行, 气温较高(室温 24~30℃), 装料当天即开

始产气。装料后第 2 天测定产气量和 CH<sub>4</sub> 含量, 结果显示(表 1), 不同 C/N 的发酵物在常温下均能迅速启动发酵, 出现明显的产气高峰。不同 C/N 发酵物产气量不同, C/N 为 23/1 的处理产气量最高, 为 1.250 L/2 500 ml 发酵液, C/N 为 18/1 的处理次之, 产气量为 1.087 L/2 500 ml 发酵液, C/N 为 28/1 的处理产气量最低, 为 0.850 L/2 500 ml 发酵液, 方差分析结果表明, 各处理产气量均无显著差异; 但发酵启动时, C/N 在 33/1 以上的处理发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量与其他处理存在显著差异。C/N 为 33/1、38/1、43/1 3 个处理发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量均在 40% 以上, 其余处理发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量在 40% 以下; C/N 为 43/1 的处理发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量最高, 为 43%。常温条件下, 启动阶段沼气池中水解酶类活性较高, 纤维素等分解菌活跃, 发酵体系产生的 CO<sub>2</sub> 量大, 挥发性有机酸等中间产物多, 沼气中 CH<sub>4</sub> 含量偏低, 反映了沼气发酵启动阶段的特征<sup>[5]</sup>。试验结果表明, C/N 对沼气发酵启动阶段产气量的影响不大, 但对气体中 CH<sub>4</sub> 含量影响较大, 生产中可采用较高的发酵物 C/N 和增加 CH<sub>4</sub> 菌群的数量来提高启动阶段发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量。



图1 沼气发酵试验装置

## Fig.1 Tester for the biogas fermentation test

**2.2 C/N 对沼气产量的影响** 由沼气的日产气量变化曲线(图 2)可知, C/N 对沼气发酵产气量的影响较明显。发酵启动第 2 天, 各处理平均产气量均在 0.8 L 以上, 随后产气量迅速降低。C/N 在 28/1 以上的处理发酵启动后第 20 天左右

基金项目 贵州省科技攻关项目[黔科合 NY 字(2007)3042]; 贵州省黔南州科技特派员专项(黔南科特合 2007 字 107)。

作者简介 高礼安(1974-), 男, 布依族, 贵州贵定人, 讲师, 从事环境生态学教学及研究工作。\* 通讯作者。

收稿日期 2009-02-19

出现第1个产气高峰, C/N 为43/1 的处理在发酵启动后第30天出现第2个产气高峰; C/N 为28/1、33/1、38/1 3个处理均在发酵启动后第40天左右出现第2个产气高峰; C/N 在23/1 以下的处理, 几乎未出现产气高峰, 产气量较小。

表1 不同C/N对沼气发酵启动的影响

Table 1 Effects of different C/N on the start-up of biogas fermentation

C/N	产气量 L/2 500 ml 发酵液 Biogas production	F	C/N	CH <sub>4</sub> %	LSR <sub>0.05</sub>	LSR <sub>0.01</sub>
23/1	1.250	1.57 < F <sub>0.05,12</sub>	43/1	43	a	A
18/1	1.087		33/1	42	a	A
43/1	1.017		38/1	40	a	A
33/1	0.953		28/1	33	b	B
38/1	0.910		23/1	33	b	B
28/1	0.850		18/1	31	b	B

发酵60 d后, C/N 为33/1 处理的总产量(图3)和日平均产气量(图2)最高, 分别为45.72 和0.762 L/2 500 ml 发酵液, C/N 为38/1 的处理次之, 总产气量和日平均产气量分别为44.744 和0.746 L/2 500 ml 发酵液, C/N 为18/1 的处理总产气量和日平均产气量最低, 分别为6.057 和0.101 L/2 500 ml 发酵液。方差分析结果(表2)显示, C/N 在28/1 ~43/1 的处理60 d 日均产气量、TS 产气量和总产气量差异均不显著, C/N 在28/1 以上各处理与 C/N 在23/1 以下各处理60 d 日均

表2 不同C/N对产气量的影响

Table 2 Effects of different C/N volume on the gas production

C/N	日平均产气量 L/2 500 ml 发酵液		TS 产气量 m <sup>3</sup> /t TS gas production	总产气量 L/2 500 ml 发酵液					
	LSR <sub>0.05</sub>	LSR <sub>0.01</sub>		LSR <sub>0.05</sub>	LSR <sub>0.01</sub>				
	Daily average gas production			Total gas production					
33/1	0.762	a	A	148.6	a	A	45.720	a	A
38/1	0.746	a	A	145.0	a	A	44.744	a	A
28/1	0.717	a	A	139.6	a	A	42.999	a	A
43/1	0.716	a	A	138.5	a	A	42.959	a	A
23/1	0.421	b	B	81.0	b	B	24.96	b	B
18/1	0.101	c	C	19.6	c	C	6.057	c	C

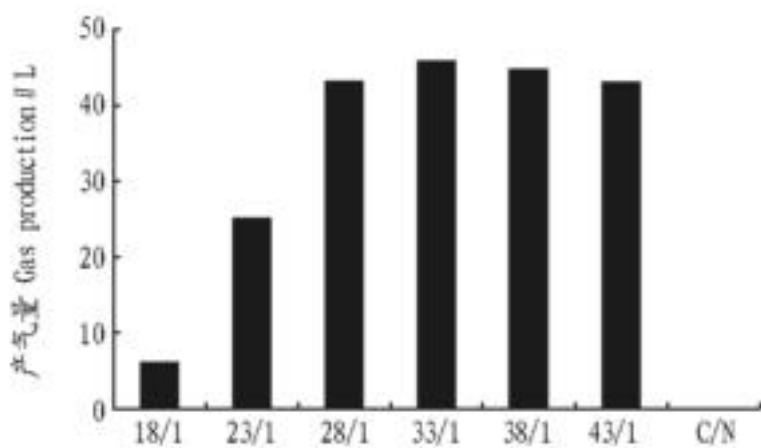


图3 沼气发酵总产气量变化

Fig 3 Changes of total gas production for biogas fermentation

2.3 C/N对发酵气体中CH<sub>4</sub>含量的影响 由图4可知, C/N对发酵气体中CH<sub>4</sub>含量的影响在发酵启动阶段较明显, 各处理间存在显著差异(表1), C/N 在33/1 以上的处理发酵气体中CH<sub>4</sub>含量均在40%以上, 与C/N 在28/1 以下的处理发酵气体中CH<sub>4</sub>含量差异极显著(CH<sub>4</sub>含量在33%以下)。28%以上的处理发酵20 d左右时发酵气体中CH<sub>4</sub>含量达到50%左右, 基本达到了正常水平, 发酵20~30 d时发酵气体

产气量、TS 产气量和总产气量差异极显著。C/N 主要通过影响微生物的生长繁殖及代谢产物的形成和积累而影响产气量, 适宜的C/N使沼气发酵物中各营养物质快速分解, 有足够的原料用于合成CH<sub>4</sub>的前提物但又不过多积累而导致发酵液酸化影响甲烷菌的代谢。试验表明, 常温25℃左右条件下, C/N 在28/1 ~38/1 的原料产气率较高, 且产气量较均匀, 其中C/N 为33/1 的处理60 d 总产气量、日均产气量和TS 产气率最高, 分别为45.72、0.762 L/2 500 ml 发酵液和148.6 m<sup>3</sup>/t·TS。生产中可用农作物秸秆与粪便调节C/N 在28/1 ~38/1 之间。

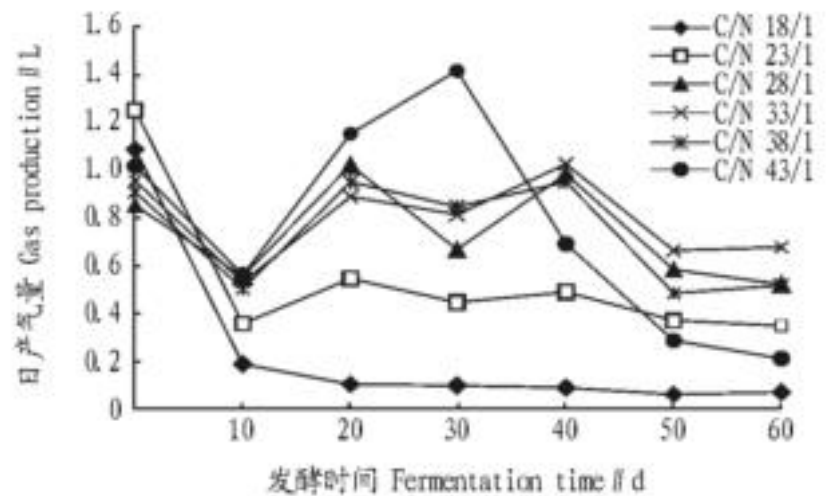


图2 沼气发酵日产气量变化曲线

Fig 2 Change curve of daily gas production for biogas fermentation

中CH<sub>4</sub>含量出现峰值, 与产气量的第1个峰值出现时间基本一致。

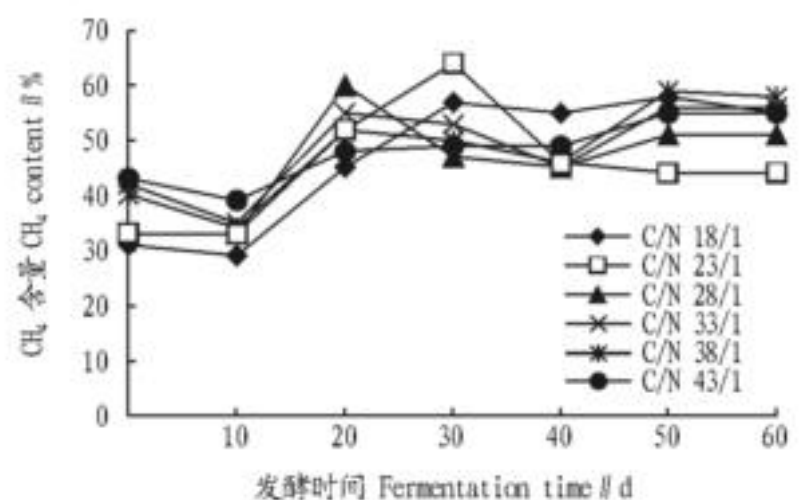


图4 发酵气体中CH<sub>4</sub>含量随发酵时间变化曲线

Fig 4 Change curve of CH<sub>4</sub> content in the fermentation gas with the fermentation time

### 3 结论与讨论

C/N对沼气发酵启动、产气量、产气均匀性、CH<sub>4</sub>含量均

(下转第6908页)

增数据为一组,单独用每组数据聚类或用少数几组数据累加聚类,得到的聚类结果有差异。但随着用于聚类统计的 AFLP 标记数据随机组合数量的增加,26 个竹子种类的聚类关系趋向一致。这提示我们在系统学研究中,足够数量的引物组合(足够的多态信息量)是获得供试材料间准确聚类关系的基础,应采用对各 AFLP 引物组合数据随机累加后进行聚类分析的方法,且数据越多聚类结果越可靠。同时,不同方法之间得到的信息也可叠加,如马朝芝用 RAPD 和 AFLP 分析甘蓝型油菜后认为,可以将两种不同标记方法得到的信息合并,能更精确地估计亲本间遗传关系<sup>[27]</sup>。

许多研究结果均一致认为,多态位点数达到或超过 70 个时<sup>[28-30]</sup>,就可以得到较为可靠的信息用以估计样本间的遗传相似性。但笔者认为,如果研究材料遗传组成比较复杂或者遗传关系很接近时,70 个多态性位点就显得不足。多态性位点选取数应根据不同的研究对象有不同的大小。从理论上说,多态性位点数越多,得到的结论越可靠。但成本也越大,而且当多态性位点数增加到一定程度时,其增加的位点对准确性的贡献已有限,所以应该根据研究对象和群体的大小,在保证研究结果真实可靠的基础上,选择合理的分析位点数进行遗传关系的研究和评价。

#### 参考

- [1] 徐汝梅. 昆虫种群生态学 M. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 1-409.
- [2] Lee. How to protect a endemic species [E] IPGR, 2006.
- [3] 闰路娜, 张德兴. 种群微卫星 DNA 分析中样本量对各种遗传多样性度量指标的影响 J. 动物学报, 2004, 50(2): 279-290.
- [4] 周延清, 杨清香, 张改娜, 等. 生物遗传标记与应用 M. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 陈忠斌. 生物芯片技术 M. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] Diversity Arrays Technology P/L. Diversity Arrays Technology Application [R]. 2005.
- [7] 张德全, 杨永平. 几种常用分子标记遗传多样性参数的统计分析 J. 云南植物研究, 2008, 30(2): 159-167.
- [8] NYBOM H. Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants [J]. Mol Ecol, 2004, 13: 1143-1155.
- [9] 安泽伟, 孙爱花, 程汉, 等. 用 RAPD 和 ISSR 检测的橡胶树野生种质和栽培品种的遗传多样性 J. 热带亚热带植物学报, 2005, 3(3): 246-

252.

- [10] 周延清, 景建洲, 李振勇, 等. 利用 RAPD 和 ISSR 分子标记分析地黄种质遗传多样性 J. 遗传, 2004, 26(6): 922-928.
- [11] 钱韦, 葛颂, 洪德元. 采用 RAPD 和 ISSR 标记探讨中国疣粒野生稻的遗传多样性 J. 植物学报, 2000, 42(7): 741-750.
- [12] 刘万勃, 宋明, 刘富中, 等. RAPD 和 ISSR 标记对甜瓜种质遗传多样性的研究 J. 农业生物技术学报, 2002, 10(3): 231-236.
- [13] 王玲玲, 宋林生, 李红蕾, 等. AFLP 和 RAPD 标记技术在柿子 L 扇贝遗传多样性研究中的应用 J. 比较动物学杂志, 2003, 38(4): 35-39.
- [14] 李永祥, 李斯深, 李立会, 等. 披碱草属 12 个物种遗传多样性的 ISSR 和 SSR 比较分析 J. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1522-1527.
- [15] 侯永翠, 颜泽洪, 兰秀锦, 等. 利用 RAMP 和 I SSR 标记分析大麦种质资源的遗传多样性 J. 中国农业科学, 2005, 38(12): 255-256.
- [16] 刘勇, 孙中海, 刘德春, 等. 柚类种质资源 AFLP 与 SSR 遗传多样性分析 J. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2308-2311.
- [17] 袁力行, 傅骏骅, 张世煌, 等. 利用 RFLP 和 SSR 标记划分玉米自交系杂种优势群的研究 J. 作物学报, 2001(2): 149-156.
- [18] 李明云, 张海琪, 薛良义, 等. 网箱养殖大黄鱼遗传多样性的同工酶和 RAPD 分析 J. 中国水产科学, 2003, 110(6): 523-525.
- [19] 陈劲枫, 庄飞云, 逯明辉, 等. 采用 SSR 和 RAPD 标记研究黄瓜属 葫芦科 的系统发育关系 J. 植物分类学报, 2003, 41(5): 427-435.
- [20] 刘万勃, 宋明, 刘富中, 等. RAPD 和 ISSR 标记对甜瓜种质遗传多样性的研究 J. 农业生物技术学报, 2002, 10(3): 231-236.
- [21] 侯永翠, 颜泽洪, 兰秀锦, 等. 利用 RAMP 和 I SSR 标记分析大麦种质资源的遗传多样性 J. 中国农业科学, 2005, 38(12): 255-256.
- [22] RUSSELL J R, FULLER J D, MACAULAY M, et al. Direct comparison of levels of genetic variation among barley accessions detected by RFLPs, AFLPs, SSRs and RAPDs [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 95: 714-722.
- [23] PEJIC I, AJMONE MARSAN P, MORGANTE M, et al. Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs and AFLPs [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1998, 97: 1248-1255.
- [24] DAMLA J A, LOACRCE RAMSAY L, VAUGH R, et al. Comparison of RAMP and SSR markers for the study of wild barley genetic diversity [J]. Hereditas, 1999, 131: 5-13.
- [25] 贺学勤, 刘庆昌, 翟红, 等. 用 RAPD, ISSR 和 AFLP 标记分析系谱关系明确的甘薯品种的亲缘关系 J. 作物学报, 2005, 31(10): 1300-1304.
- [26] 李潞滨, 郭晓军, 彭镇华, 等. AFLP 引物组合数量对准确研究竹子系统关系的影响 J. 植物学通报, 2008, 25(4): 449-454.
- [27] 马朝芝, SAKAI TAKAKO, 傅廷栋, 等. RAPD 和 RFLP 分析甘蓝型杂交油菜亲本的遗传多样性 J. 作物学报, 2003(5): 701-707.
- [28] 施永泰, 边红武, 韩凝, 等. 中国江、浙地区栽培大麦遗传资源的 RAPD 研究 J. 作物学报, 2004, 30(3): 258-265.
- [29] 宏棋斌, 侯磊, 罗小英, 等. 应用 RAPD 标记分析川西北高原青稞的遗传背景 J. 中国农业科学, 2001, 34: 133-138.
- [30] 周泽扬, 夏庆友, 鲁成, 等. 分子系统学研究中分子位点数与遗传差异信息可靠性的关系 J. 遗传, 1998, 20(5): 12-15.

(上接第 6880 页)

有明显影响。多数资料认为, 常温下 C/N 在 30/1 以下沼气发酵才容易启动, 而该试验发现, C/N 达 43/1 时发酵启动依然很迅速, 启动第 2 天日平均产气量可达 1.016 7 L/2 500 ml 发酵液。C/N 为 33/1 的处理 60 d 日平均产气量和 TS 产气率最高, 分别为 0.762/2 500 ml 发酵液和 148.6 m<sup>3</sup>/t·TS。C/N 为 28/1、33/1、38/1、43/1 的处理在发酵 20~40 d 时仍维持较高的产气水平, 日均产气量均在 1 L/2 500 ml 发酵液左右。C/N 在 28/1 以上的处理发酵气体中 CH<sub>4</sub> 含量均达到 50% 以上。该试验结果表明, 在常温下, 适当提高沼气发酵物的 C/N, 不影响沼气发酵的启动, 有利于提高产气量并维持较高

的产气均匀性, 建议结合每年沼气池大换料, 将农作物秸秆粉碎或铡成 2~3 cm, 调节预处理后的农作物秸秆与粪便的 C/N 在 28/1~38/1 之间, 以提高产气量和 CH<sub>4</sub> 含量。

#### 参考文献

- [1] 沈萍, 陈向东. 微生物学 M. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 462-464.
- [2] 姚永福, 徐洁泉. 中国沼气技术 M. 北京: 农业出版社, 1989.
- [3] 李泉临, 童有怀, 吴德林, 等. 提高沼气池冬季产气率的新方法 J. 中国沼气, 1991(1): 27-28.
- [4] 赵洪, 邓功成, 高礼安, 等. 农村沼气主要成分简易快速测定方法 J. 安徽农业科学, 2008(20): 8766-8767.
- [5] 赵洪, 邓功成, 高礼安, 等. pH 值对农村沼气产量的影响 J. 安徽农业科学, 2008(19): 8216-8217.