

金银草发酵产沼气研究^{*}

郭成¹, 虞波², 陈丽辉³, 刘丽春³, 张建鸿³,
王强¹, 赵兴玲¹, 王昌梅¹, 尹芳¹, 张无敌¹

(1. 云南师范大学, 云南 昆明 650500; 2. 云南省交通职业技术学院, 云南 昆明 650224;
3. 丽江市农村能源管理站, 云南 丽江 674100)

摘 要: 对金银草进行厌氧发酵产沼气试验, 为金银草茎叶的有机废弃物利用提供一条可行的途径. 在 30 ℃ 中温条件下, 采用批量发酵形式, 厌氧发酵时间为 61 d, 实验结果表明, 金银草 TS 产气率为 654 mL/g, VS 产气率为 728 mL/g.

关键词: 金银草; 厌氧; 沼气; 产气率

中图分类号: S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9793(2016)03-0012-05

1 引 言

金银草隶属禾本科(Poaceae)芒属(*Miscanthus sinensis*)草本植物^[1]. 15 年前, 由非洲引进到贵州的“狼尾草”, 经过贵州省草业研究所和关克忠专家的不断驯化, 已适应贵州的气候和土壤, 取名“金银草”. 金银草耐旱、耐涝、耐贫瘠, 生长快, 产量高, 是一种多年生植物, 既可作优质饲草, 适合牛羊等食用, 对发展现代畜牧业具有良好的经济效益; 又可以其纤维作为造纸、建材等的原料, 补充加工制造业等方面的原材料供应, 同时还能用于种植蘑菇. 在环境保护和生态平衡方面, 该草主要用于治理石漠化和防治水土流失^[2]. 目前国内对金银草的利用研究仍处于初级阶段, 研究集中于以茎叶作饲料, 但对金银草的分解利用研究尚未见报道. 本文通过沼气发酵试验来探

究金银草茎叶的产气潜力, 为金银草茎叶的有机废弃物利用提供一种新的方式, 从而更加有效地对金银草进行资源化利用.

2 材料和方法

2.1 材料

2.1.1 发酵原料

以从贵州购置过来的金银草为发酵原料, 经测定其 TS 为 34.69%, VS 为 89.76%.

2.1.2 接种物

以实验室的猪粪发酵底物为接种物, 经测定其 TS 为 8.14%, VS 为 65.87%.

2.1.3 实验装置

采用本实验室自制的沼气发酵实验装置^[3].

2.2 方法

2.2.1 原料预处理

^{*} 收稿日期: 2016-04-07

基金项目: 云南省科技创新提升计划(2013DH041)、云南省新能源重大专项(2015ZB001, 2015ZB005)、云南省国际科技特派员(2015IA022)、云南省农村能源工程重点实验室基金(2015 年)和西南地区可再生能源研究与开发协同创新中心项目(05300205020516009)联合资助项目.

作者简介: 郭成(1993-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事生物质能与环境工程方面研究.

通信作者: 张无敌(1965-), 男, 云南石屏人, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物质能及其开发利用方面研究. E-mail: wootichang@163.com.

用榨汁机将金银草榨成 1 cm 左右的长度,使原料与接种物形成充分的接触,促进其降解。

2.2.2 实验设置和发酵料液的配制

(1)实验设置

厌氧发酵工艺为批量发酵,30℃恒温水浴,在相同条件下,实验组和对照组各设置 3 个平行。发酵料液总固体含量为 5%,接种物为 30%,实验自 2015 年 11 月 20 日开始至 2016 年 1 月 19 日结束,运行 61 d。

(2)发酵料液的配制

实验组:配制金银草 30 g 和接种物 120 g,再加水到 400 mL 刻度线,摇匀并测得其 pH 为 7.5。

对照组:配制接种物 120 g,加水到 400 mL 刻度线,摇匀并测得其 pH 为 6.7。

2.2.3 测定参数及方法

(1)TS(总固体含量)的测定:将样品置于电热鼓风干燥箱中在(105±5)℃烘干至恒重,并计算

出 TS。

(2)VS(挥发性固体含量)的测定:将上述烘干至恒重的样品置于箱形电阻炉中在(550±20)℃灼烧至恒重,并计算出 VS。

(3)pH:采用精密试纸(测定范围 5.5—9.0)。

(4)产气量:排水集气法收集沼气,每晚九点记录产气数据,分别以实验组和对照组中 3 个平行排水量的平均值作为当天的产气量,平行组中相差较大的数据则去除。

(5)甲烷含量:采用福立 GC9790 II 型气相色谱仪测定沼气中的甲烷含量。

3 结果与讨论

3.1 发酵前后料液比较

发酵前后实验组和对照组料液的 TS、VS 及 pH 值等参数测定结果见表 1。

表 1 料液发酵前后的 TS、VS 及 pH

Table 1 TS, VS and pH values of raw materials before and after fermentation

类别	实验组		对照组	
	发酵前	发酵后	发酵前	发酵后
TS/%	5.29	3.49	3.07	2.02
VS/%	89.54	69.10	69.52	64.53
pH	7.5	7.3	6.7	7.0

经计算,实验组料液的 TS 和 VS 降解率分别为 34.0%和 22.8%,对照组料液的 TS 和 VS 降解率分别为 34.2%和 7.18%;在发酵前后,实验组和对照组的 TS 降解率相差不大,但就 VS 降解程度来说,对照组远小于实验组,说明金银草能够被厌氧微生物菌群有效利用。实验组和对照组料液发酵前后的 pH 见上表,都在厌氧发酵产沼气的正常范围之内(pH 为 6.5~7.5)^[4]。

3.2 产气情况及分析

3.2.1 日产气量

实验运行了 61 d,以实验组每天的净产气量数据得到金银草的产气规律,如图 1 所示。

在发酵的第 1 天,实验组开始产生 372 mL 的气体,但不能点燃,说明甲烷含量较低。第 2 天至第 7 天产气均在 180 mL 以下。到了第 8 天,产气量明显增加。在第 13 天,产气量达到最大值 495 mL。到了第 14 天,产气量开始下降。在第 17 天,产气量又达到一个小高峰 373 mL,随后,产气量在第 24 天为 235 mL,达到后 37 d 产气量的顶峰。逐渐地,金银草的产气量呈下降趋势,到了第

61 天,产气量只有 6 mL,趋近于 0,至此,金银草发酵结束。

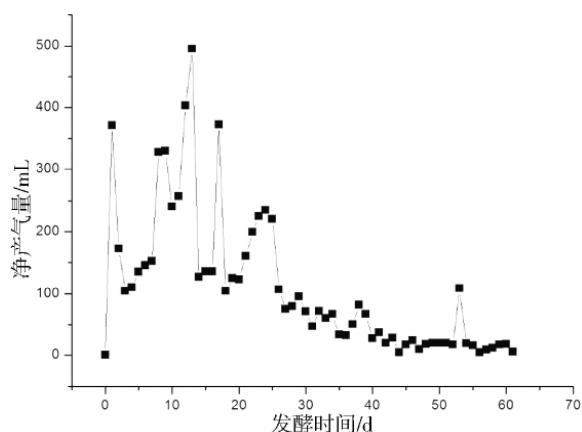


图 1 净产气量随发酵时间的变化曲线

Fig.1 Net gas production curve

3.2.2 甲烷含量

发酵过程中实验组所产沼气的甲烷含量结果见图 2。

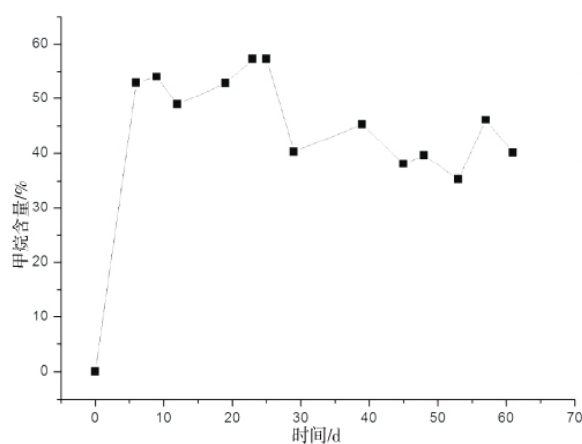


图 2 沼气中甲烷含量曲线

Fig.2 Methane content of biogas

由图 2 可以看出厌氧发酵所产沼气的甲烷含量在第 6 天达到 50% 以上,25 d 以后,甲烷含量下降到 50% 以下.说明所产沼气品质较好的时间段是第 6—25 天。

3.2.3 累积产气量

对实验组净产气量以 5 d 累积一次进行统计,得到整个发酵过程的累计产气量,如表 2 所示。

表 2 实验组累积产气量

Table 2 Accumulated gas production of experimental group

发酵时间/d	累积产气量/mL	占总产气量/%
5	896	13
10	2 901	43
15	3 509	52
25	5 410	79
30	5 838	86
35	6 117	90
40	6 375	94
45	6 481	95
55	6 754	99
60	6 812	100

从表 2 中可以看出,前 5 d 的产气量并不少,达到 896 mL.第 6—10 天产气量达到 2 005 mL,比第 15 天到 25 天的产气量 1 901 mL 要多 104 mL.所以在整个发酵实验中,实验组的净累积产气量在第 6—10 天内增长最快.在第 25 天之后,5 d 的总产气量均在 482 mL 以下.说明在前 25 d,原料中易于降解的有机物代谢较多,25 d 后,能被微生物菌群利用的有机物变少,产气量低^[4]。

3.2.4 产气速率

对累计产气量占总产气量的比率进行计算得到金银草产气速率的规律,如图 3 所示。

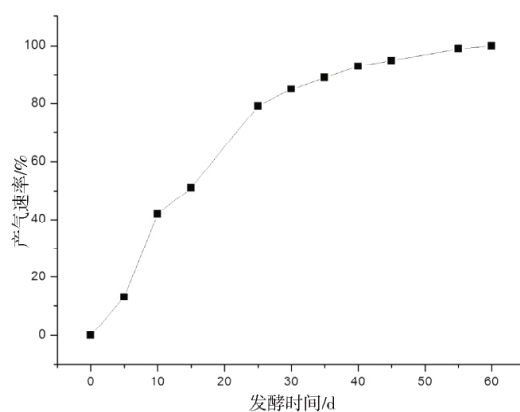


图 3 产气速率随发酵时间的变化曲线

Fig.3 Gas production rate curve

实验组的产气速率曲线见图 3.由图 3 可以看出发酵前 5 d 产气速率较低,发酵第 6—10 天,

产气速率有所提高,发酵第 10—15 天产气速率降低,而在发酵第 16—25 天,产气速率又有所提高.此后,随着发酵时间的延长,产气速率逐渐降低.在前 26 d 产气速率达到 80.9%,可以得出金银草厌氧消化产沼气主要集中在前 26 d,因此在实际的沼气工程中水力滞留时间(HRT)可设计为 26

d.

3.3 产气潜力分析

由金银草的 TS 和 VS 及净产气量等数据,计算出池容产气率、TS/VS 产气率来表征其产气潜力,结果见表 3.

表 3 产气潜力

Table 3 The potential of biogas production

原料	净产气量/mL	池容产气率/(mL/(mL·d))	TS 产气率/(mL/g)	VS 产气率/(mL/g)
金银草	6 812	0.2	654	728

3.4 产气潜力的比较

为了更客观地评估金银草的产气情况,比较了它与其他常规发酵原料的产气潜力,如表 4 所示.从中可以看出,金银草最突出的特点是在发酵时间相同的情况下,金银草的 TS 产气量较高,但是比 TS 产气量为 748 mL/g 的干稻草低;同发酵时间只有 32 d 的水葫芦相比,TS 产气量的优势

显然降低了很多;和玉米芯相比,虽然 TS 产气量比其要低 114 mL/g,但是玉米芯的发酵周期是金银草的两倍多.综上所述,金银草具有较高的产沼气潜力,原因可能是其含有的有机物易于被微生物厌氧消化.表明沼气工程处理金银草是可行的,这拓宽了金银草资源化利用的范围.

表 4 常见发酵原料的产沼气潜力

Table 4 Biogas production potential of common materials

原料	发酵时间/d	TS 产气量/(mL/g)	文献资料
金银草	61	654	本文
猪粪	60	420	[5]
人粪	60	430	[5]
鸡粪	60	490	[5]
鸭粪	65	441	[6]
牛粪	60	300	[5]
玉米芯	129	768	[7]
玉米秸	90	500	[3]
麦秸	90	450	[5]
干稻草	60	748	[8]
青草	60	440	[5]
甘蔗渣	92	201	[9]
紫茎泽兰	80	245	[10]
水葫芦	32	634	[11]
滇池蓝藻	66	487	[12]
废弃大白菜	40	291	[13]
干燥薇甘菊	29	347	[14]

4 总 结

(1)整个发酵周期中并没有出现不产气的现象,这也说明该原料在发酵过程中可能无酸化过程^[4],或者说只是局部酸化。

(2)经实验测定分析得金银草产气潜力:TS 产气率为 654 mL/g,VS 产气率为 728 mL/g,这说明金银草可以被有效利用来产沼气,使生物质资源的循环利用得以实现,从而解决了其有机废弃物的堆放处置问题,减少了对环境的污染。

参 考 文 献:

- [1] VLADIMIR K, SHUMNY, SERGEY G, VEPREV, et al. A new form of Miscanthus (Chinese silver grass, *Miscanthus sinensis*-Andersson) as a promising source of cellulosic biomass[J]. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2010 (1): 167-170.
- [2] 关克忠, 李权, 申建江. 贵州省贫困山区农民种植金银草脱贫的探索与实践[A]. 第十一届(2014)中国羊业发展大会论文集[C], 2014.
- [3] 张莉娟, 季梅, 张无敌, 等. 新鲜薇甘菊在不同温度下厌氧发酵产气潜力的研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版, 2014, 34(16): 47-51.

- [4] 张无敌, 宋洪川, 尹芳, 等. 沼气发酵与综合利用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003.
- [5] 张无敌. 沼气发酵残留物利用基础[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [6] 宋立, 邓良伟, 尹勇, 等. 羊、鸭、兔粪厌氧消化产沼气潜力与特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 277-282.
- [7] 王秀菊, 曾国揆, 刘士清, 等. 玉米芯厌氧消化产气实验研究[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(10): 55-57.
- [8] 成官文, 朱宗强, 胡乐宁, 等. 农村常见农业有机废物产沼气研究[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(2): 253-256.
- [9] 李永丽, 孙传伯, 尹芳, 等. 甘蔗渣沼气发酵潜力的研究[J]. 科学决策, 2008 (12): 45-46.
- [10] 张无敌. 恶性有毒杂草紫茎泽兰的利用[J]. 云南林业科技, 1996, 3(1): 78-80.
- [11] 查国君, 曾国揆, 张无敌, 等. 水葫芦发酵产气潜力的实验研究[J]. 能源工程, 2006 (6): 50-51.
- [12] 董诗旭, 董锦艳, 宋洪川, 等. 滇池蓝藻发酵产沼气的研究[J]. 可再生能源, 2006 (2): 16-18.
- [13] 吉喜燕, 肖志海, 林卫东, 等. 废弃大白菜厌氧消化产甲烷的实验研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版, 2015, 35(3): 10-13.
- [14] 张莉娟, 季梅, 张无敌, 等. 干燥薇甘菊在不同温度下厌氧消化产气潜力的研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版, 2015, 35(3): 14-19.
- [15] 张加稳, 林卫东, 张无敌, 等. 酸木瓜籽产沼气潜力的实验探究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版, 2014, 34(6): 35-40.

Biogas Production from Silver Grass

GUO Cheng¹, YU Bo², CHEN Li-hui³, LIU Li-chun³, ZHANG Jian-hong³,
WANG Qiang¹, ZHAO Xing-ling¹, WANG Chang-mei¹, YIN Fang¹, ZHAN Wu-di¹

(1. Yunnan Normal University, Kunming 650092, China; 2. Yunnan Traffic Vocational and Technical College, Kunming 650093, China; 3. Rural Energy Management Station of Lijiang, Lijiang 674100, China)

Abstract: The fermentation of silver grass is a feasible solution for organic waste utilization of its stem and leaf. The temperature for the silver grass digestion batch fermentation experiment is 30 °C, and the retention time is 61 days. The results indicate that the biogas production rate of silver grass is 654 mL/g(TS) and 728 mL/g(VS).

Keywords: Silver grass; Anaerobic; Biogas; Biogas production rate