

聚合草厌氧发酵产气潜力的试验

郑敏^{1,2}, 邱凌^{1,2}, 王晓曼^{1,2}, 冯茵菲^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100; 2. 农业部沼气西北分中心, 陕西杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 以新鲜聚合草为发酵原料, 在实验室自行设计的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量对发酵过程的影响进行了研究。结果表明, 聚合草用厌氧发酵工艺处理是可行的; 在试验采用的 10%、20%、30% 和 40% 四个水平的接种量中, 最佳接种量为 20% 时, 聚合草 TS=12.40% 的产气率为 95.43 mL/g, VS=83.9 的产气率为 1006.36 mL/g。明显高于其他 3 组实验。

关键词: 聚合草; 厌氧发酵; 沼气潜力

中图分类号: S216

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2009)06-0365-04

Potential of the Biogas Fermentation of Comfrey

ZHENG Min^{1,2}, QIU Ling^{1,2}, WANG Xiaoman^{1,2} and FENG Yinfei^{2,3}

(1. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. The Northwest Station of Biogas Products and Equipment Quality Test Center of the Ministry of Agriculture, Yangling Shaanxi 712100, China;

3. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: A batches of anaerobic digestion experiments for fresh comfrey were conducted in self-manufactured anaerobic equipment. The feasibility of anaerobic digestion of comfrey and the effect of different concentration inoculums on anaerobic digestion were studied. The results showed that the anaerobic digestion can fit for the characteristics of anaerobic fermentation of fresh comfrey. Among inoculums concentrations of 10%, 20%, 30% and 40%, the best concentration of inoculum is 20% and the potential of biogas production with comfrey is 569.52 mL/g · TS or 84.17 mL/g · VS, respectively, which were obviously higher than those of other three treatments. This study provided a good reference for the research and development of the comprehensive utilization of fresh comfrey.

Key words: Comfrey (*Symphytum asperum*); Fermentation biogas; Yield

聚合草又名紫根草、爱国草, 在生产上被称为俄罗斯饲料菜, 为紫草科聚合草属牧草。一次种植可连续利用 20 多年, 产草量高, 再生能力强。春、夏、秋三季可随割随长, 一个生长季北方可刈割 4~6 次。一般每茬鲜草产量 6~7.5 万 kg/hm²。经测定聚合草开花期鲜草干物质中含粗蛋白质 24.3%、粗脂肪 5.9%、粗纤维 10.1%, 营养

价值很高^[1]。现已推广到全国各省, 栽培面积较大的地区主要集中在江苏、山东、山西、四川等省^[2]。

作为绿化和优质饲草双重作用的聚合草在很多生态校园中都有种植。近年来, 为解决农村中小学校的厕所粪污问题探索出的“绿色生态校园”模式获得了中央和地方政府的大力支持, 得到大

收稿日期: 2009-04-10 修回日期: 2009-05-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目; 沼气工程优化与标准化模式研究(2007BAK31B01)。

作者简介: 郑敏(1983-), 女, 在读硕士, 主要从事植物资源及生物能源研究。E-mail: xiatian_a_1983@126.com

* 通讯作者: 邱凌(1957-), 男, 陕西西乡人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事生物能源与循环农业研究。E-mail: q12871@126.com

力推广和完善。猪—厕—沼—菜模式^[3]、草—羊—厕—沼—果模式^[4]等能源生态型校园模式又将生态养殖适时的加入了进来。沼气的产生是以纤维素为主的碳水化合物在发酵型细菌的作用下逐步分解生成简单的糖、酸、醇类等物质,这些物质再被嫌弃的细菌分解,产生甲烷和二氧化碳,同时进一步还原二氧化碳生成甲烷;聚合草主要成分是粗蛋白和纤维素物质,同时它还含有足够产醇和酸的菌类所需的各种营养成分。因此,用聚合草发酵制取沼气是有充分现实基础和科学依据的。

1 材料与方法

1.1 试验材料与装置

1.1.1 发酵原料和接种物 发酵原料为采自陕西省范家寨中学的新鲜聚合草,经测定,聚合草 TS=12.40%,VS=83.9%,pH=6.4。接种物取自陕西省杨凌示范区农户家中正常发酵产气 3 个月以上沼气池中的沼液沼渣混合物。

1.1.2 试验装置 发酵试验装置为农业部沼气西北分中心自主研发^[5],由发酵瓶、集气瓶、集水瓶、地热线、温控仪、传感器、恒温水箱等部分组成。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计和原料处理 根据所测得的聚

合草和接种物中的总固体浓度,把有效池容定为 2 L,用天平称取 500 g 粉碎的聚合草后,设 4 个试验组,分别添加接种量(接种污泥全部反应物料的比率)为 10%、20%、30%、40%,同时设置一个空白参比组(仅加入接种物,底物以等体积水代替),每试验组设 3 次重复。采用一次进料,发酵温度为 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$,发酵原料粒度为 2~3 cm。每天测定产气量,每 2 d 取一次液样和气样,进行 pH 值和气体成分测试。

1.2.2 测试项目和方法 (1)采用常规分析法^[6]测定原料、接种物的 TS、VS。(2) pH 值用精密 pH 试纸测定原料、接种物以及发酵进程中料液的 pH 值。(3)采用水压式法收集沼气,从启动的第 1 天起每天 9:00 记录各套装置产气量,每 2 d 使用 Gasboard-3200P 红外沼气分析仪测定甲烷体积分数及二氧化碳体积分数。

2 结果与分析

2.1 不同接种量对聚合草厌氧消化的影响

2.1.1 不同接种量对聚合草发酵产气量的影响

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^[7]。

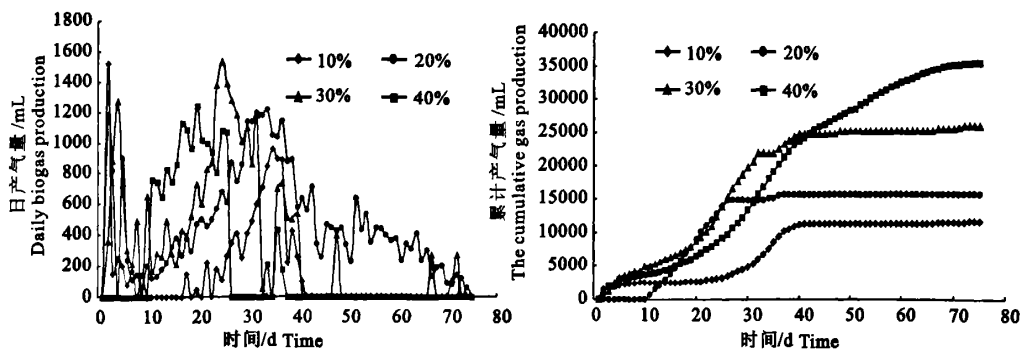


图 1 发酵过程中日产气量和累计产气量的变化

Fig. 1 Changes of daily biogas production and cumulative gas production during anaerobic fermentation

图 1 表明,产气趋势总体都呈现出 2 个高峰,启动后第 2 天产气量猛增形成第 1 个高峰,一般在 8~50 d 期间会出现第 2 个高峰,日产气量均在 200 mL 以上。接种量为 40% 的处理第 2 个产气峰值到来最早,但产气量少。整个试验过程中,10% 的处理平均日产气量为 284 mL/d,最低,30% 的处理平均日产气量为 562 mL/d,最高,即

平均日产气量随接种量增大而增大,但当浓度达到 40% 时呈递减(表 1)。累计产气量却并不随接种量增大而递增,20% 的处理产气效果最为持久稳定,可见接种量并不是越大越好。

试验中,聚合草鲜草的发酵周期持续了 75 d,而一般鲜青类物料的发酵周期大多为 30 d 左右。其发酵周期长的原因主要有 3 个方面:① 接种物

(甲烷活性污泥)培养时间长,提供了质优足量的菌种,使得发酵迅速进行且持久;② 聚合草的粗蛋白、粗纤维含量高,为产气菌提供了丰富的营养;③整个试验过程中,保持恒温 30℃,有利于发酵反应进行。

表 1 产气指标

Table 1 The index of biogas production

试验处理 Treatment	累计产气量 /mL. The cumulative gas production	平均日产气量 /(mL/d) Average daily biogas production	池容产气率 /[mL/(L·d)] Gas tank capacity rate
10%	11640	284	142
20%	35310	471	236
30%	27545	562	281
40%	15770	426	213

2.1.2 反应过程中发酵液的 pH 值变化 图 2 表明,在初始 pH 值都为 7 的状况下各个浓度处理都有一个 pH 值急剧下降后再升高的变化,直至反应进行到第 50 天时,pH 值基本都回升到 7.0 左右。这种趋势符合厌氧反应的两段法理论,即先经过水解酸化,然后进入甲烷化反应。另一

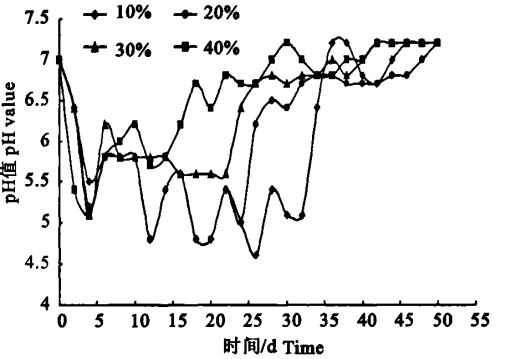


图 2 发酵过程中 pH 值的变化
Fig. 2 Changes of pH values during anaerobic fermentation

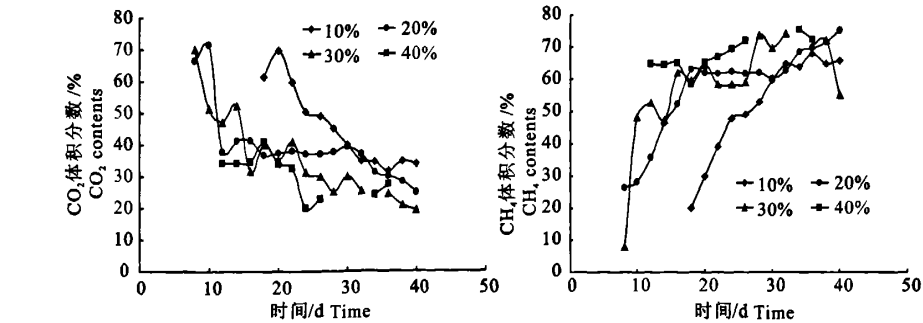


图 3 发酵过程中甲烷和二氧化碳体积分数的变化
Fig. 3 Changes of methane and carbon dioxide contents during anaerobic fermentation

方面系统 pH 值恢复过程中接种量越大,酸消耗越快。

在各个配比的反应过程中,pH 值变化存在差别。10%的处理 pH 值变化最剧烈,40%的处理 pH 值表现的最稳定,即接种量越大,pH 值越趋于稳定,变化越小,这除了与聚合草具有较高的含氮物质有关外,还与接种物中甲烷菌占主导,接种少,鲜青聚合草酸化速度很快,使得环境中产酸菌处于优势地位,导致 pH 值低,产气滞后有关。

由图 2 和图 1 可见,pH 值与产气量相关性很大。pH 值过高或过低都会影响产气量,pH 值在 5.5 以下,或者超过 7.2,甲烷菌生长受到抑制,产气量明显降低。聚合草厌氧发酵最适 pH 值在 5.2 至 7.0 之间,且 pH 值的低峰值一般出现在产气量增加的前期,这是由于有机酸的大量积累造成 pH 值降低,作为甲烷化过程的底物随后为甲烷菌充分利用后,形成产气高峰,体系的 pH 值也随之升高。

2.1.3 反应过程气体成分的变化 厌氧发酵历时 75 d,试验过程中沼气产量、甲烷体积分数变化情况见图 3。发酵产生的沼气起始时其甲烷体积分数较低(<30%),无法燃烧。随后甲烷体积分数迅速上升,10%、20%、30%、40%试验处理的甲烷体积分数分别在第 22、12、10、8 天时达到了 33%以上,沼气即可以燃烧利用。从达到 33%以后到产沼气试验第 40 天时,4 个试验处理的甲烷体积分数都维持在一个很高的水平(60%~72%);由图 3 可以看出,接种量越小,所产气体中 CH₄ 体积分数越小,CO₂ 体积分数越大,CH₄ 体积分数基本上呈现递增趋势,CO₂ 体积分数呈现递减趋势。40%的处理从产气开始时 CH₄ 体积分数就很高在 50%以上。

造成以上差异的原因可能是:沼气发酵过程中碳、氮比一般控制在(20~30):1,而聚合草自身的碳、氮比过低,过量的氮变成可溶性氮,导致料液“氨中毒”使厌氧发酵产沼气受到抑制^[8-9]。因此,随着试验组中接种量的加大其氨毒害作用减弱,产甲烷菌较为活跃,甲烷产生量相应增高,聚合草利用率提高。

结合表 1 可以看出,接种量为 40% 的处理,不管是累计产气量还是平均日产气量都不是 4 个处理中最好的。30% 处理平均日产气量最大,达

到了 562 mL/d;20% 的处理产气最为持久稳定,持续产气 71 d 之久,累计产气量 35 310 mL,为最大,平均日产气量也达到了 471 mL/d。依据表 1,可以计算出聚合草在各个接种量下的产气潜力,结果见表 2,计算方法见文献^[10]。从表 2 中可以看出,原料都不同程度地被消耗并产生沼气。单位总固体含量、单位挥发性固体含量和单位鲜质量,接种量为 20% 的处理其产气潜力都显著高于其他 3 个处理,差异均达到极显著水平。

表 2 产气潜力

Table 2 The potentiality of the production of gas

处理 Treatment	产气潜力 The biogas production yield		
	TS 产气率(mL/g) Gas rate of TS(mL/g)	VS 产气率(mL/g) Gas rate of VS(mL/g)	新鲜原料产气率(mL/g) Gas rate of fresh raw material (mL/g)
10%	187.74D	27.75D	23.28D
20%	569.52A	84.17A	70.62A
30%	444.27B	65.66B	55.09B
40%	254.35C	37.59C	31.54C

3 小 结

3.1 聚合草可以用作沼气发酵原料进行厌氧发酵,将绿化废弃物转化为能源和优质肥料达到综合利用的目的。

3.2 不同的接种量对反应启动速度的影响显著的。物料浓度一定的条件下,在整个厌氧发酵过程中接种量较高的处理,CH₄ 体积分数始终高于接种量较低的处理。接种量在 20% 及以上的处理,其 CH₄ 体积分数都在 10 d 前就已经达到了 33% 以上(可燃)。

3.3 对不同接种量的产气特性研究表明,接种量与物料浓度相互制约,影响有机物的降解。接种量并不是越大越好,适宜的接种量才有利于甲烷菌的生长,使产气加快。使用聚合草鲜草作为厌氧发酵原料的最佳接种量应控制在 20%~30%,当浓度超过 40% 时引起反应液“氨中毒”,导致厌氧发酵产沼气受到抑制。

3.4 在物料浓度一定时,不同接种量在整个反应过程中对 pH 值的影响不明显。

参考文献:

- [1] 姜东燕,刘 斌.聚合草的栽培技术及利用价值[J].北方园艺,2007(10):104.
- [2] 梁 山.俄罗斯饲料菜开发前景广阔[J].畜牧工程,2000(1):27.
- [3] 王兰英,邱 凌.“猪、厕—沼—菜”沼气生态校园模式探讨[J].科学研究,2008(4):12-15.
- [4] 王兰英,邱 凌.范家寨中学生态校园模式及经济效益分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(8):108-112.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 边 义,刘庆玉,李金洋.玉米秸秆干发酵制取沼气的试验[J].沈阳农业大学学报,2007,38(3):440-442.
- [9] Hong Wei yen,David E. Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane [J]. Biore-source Technology,2007,98:130-134.
- [10] 刘荣厚,王远孙,孙 辰.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.

刊名: [西北农业学报](#) ISTIC PKU
英文刊名: [ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)
年, 卷(期): 2009, 18(6)
被引用次数: 4次

参考文献(10条)

1. 姜东燕;刘斌 [聚合草的栽培技术及利用价值](#)[期刊论文]-[北方园艺](#) 2007(10)
2. 梁山 [俄罗斯饲料菜开发前景广阔](#) 2000(01)
3. 王兰英;邱凌 [“猪、厕-沼-菜”沼气生态校园模式探讨](#)[期刊论文]-[科学研究](#) 2008(04)
4. 王兰英;邱凌 [范家寨中学生态校园模式及经济效益分析](#)[期刊论文]-[西北农林科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(08)
5. 邱凌;卢旭珍;王兰英 [日光温室生产废弃物厌氧发酵特性初探](#)[期刊论文]-[中国沼气](#) 2005(02)
6. 张无敌 [沼气发酵残留物利用基础](#) 2002
7. 曹伟华 [水葫芦厌氧发酵工艺和现场中试研究](#) 2005
8. 边义;刘庆玉;李金洋 [玉米秸秆干发酵制沼气的试验](#)[期刊论文]-[沈阳农业大学学报](#) 2007(03)
9. Hong Wei yen;David E [Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane](#) 2007
10. 刘荣厚;王远远;孙辰 [蔬菜废弃物厌氧发酵制沼气的试验研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008(04)

本文读者也读过(10条)

1. 李方远. 翟兴礼 [沼气发酵液对玉米种子发芽的影响](#)[期刊论文]-[河南农业科学](#)2003(9)
2. 孔垂雪. 梅自力. KONG Chui-xue. MEI Zi-li [沼气生物脱硫可控因子静态对照实验研究](#)[期刊论文]-[中国沼气](#) 2007, 25(1)
3. 樊九华. 张无敌. 徐锐. 尹芳. 李建昌. 陈玉保. 刘士清. FAN Jiu-hua. ZHANG Wu-di. XU Rui. YIN Fang. LI Jian-chang. CHEN Yu-bao. LIU Shi-qing [花菜废叶沼气发酵产气潜力研究](#)[期刊论文]-[现代农业科技](#)2011(6)
4. [3种农林生产剩余物厌氧发酵的特性](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#)2009, 18(6)
5. 刘国胜. LIU Guo-sheng [沼气池产气率随气温地温变化规律的研究](#)[期刊论文]-[可再生能源](#)2006(6)
6. 尹芳. 张无敌. 刘士清. 官会林. 高旭红. 毛羽. 徐锐. 李建昌 [沼气发酵液对病原微生物的抑制影响](#)[会议论文]-2007
7. 路娟娟. 张无敌. 刘士清. 尹芳. LU Juan-juan. ZHANG Wu-di. LIU Shi-qing. YIN Fang [羊粪沼气发酵过程中的纤维素酶活力与沼气产气量的关系研究](#)[期刊论文]-[可再生能源](#)2007, 25(6)
8. 曾群芳 [三垭口生态养猪场沼气污水净化工程](#)[期刊论文]-[可再生能源](#)2005(1)
9. 王永泽. 邵明胜. 王志. 陈雄. 李冬生. 王金华. WANG Yong-ze. SHAO Ming-sheng. WANG Zhi. CHEN Xiong. LI Dong-sheng. WANG Jin-hua [树脂对沼气发酵的影响](#)[期刊论文]-[可再生能源](#)2010, 28(1)
10. 陈丽琼. 尹芳. 张无敌. 宋洪川. 夏朝凤 [沼气发酵液对烟草赤星菌的抑制研究](#)[期刊论文]-[可再生能源](#)2004(3)

引证文献(4条)

1. 石勇. 邱凌. 邵艳秋. 罗涛. 任虎林 [小麦秸秆与红薯藤叶混合厌氧发酵特性](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2010(7)
2. 李连华. 孙永明. 丁翠花. 孔晓英. 杨富裕. 李东. 袁振宏. 甄峰 [预处理方式对多年生王草厌氧消化性能的影响](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2011(11)
3. 孙全平. 邱凌. 李自林. 井良霄. 刘芳. 周彦峰 [酒糟与猪粪混合厌氧发酵产沼气的研究](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2013(3)

4. [关正军](#), [李文哲](#), [郑国香](#), [毕兰平](#) [接种量对牛粪分离液厌氧发酵特性影响](#)[期刊论文]-[东北农业大学学报](#) 2011(5)

引用本文格式: [聚合草厌氧发酵产气潜力的试验](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2009(6)