

木聚糖酶对牛粪厌氧干发酵产沼气的影 响

张 陈, CAMARA ZOUMANA, 苏有勇* (昆明理工大学农业与食品学院, 云南昆明 650504)

摘要 为了提升牛粪产沼气性能, 通过批次厌氧干发酵的方式考察木聚糖酶对牛粪产沼气的影 响。在发酵温度 55 ℃, 总固体物(TS) 浓度为 40%, 接种物含量 30%, 添加原料质量 1% 的木聚糖酶来进行牛粪厌氧干发酵。结果表明, 木聚糖酶的添加不能缩短产沼气周期, 但 能提升沼气产量。试验组累计产气量为 9.9 L, 比对照组提升了 22%, 原料产气率为 0.25 L/g, 池容产气率为 0.73 m³/(m³·d)。产气过程 与一般原料产气过程类似, 但发酵周期较长。该试验结果为牛粪的高效利用提供了一个有效途径。

关键词 牛粪; 木聚糖酶; 干发酵; 产气率

中图分类号 S216.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)20-0217-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.058

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Effect of Xylanase on the Biogas Production by Anaerobic Dry Fermentation of Cow Manure
ZHANG Chen, CAMARA ZOUMANA, SU You-yong (Faculty of Agriculture and Food, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650504)

Abstract In order to improve the biogas production performance of cow manure, the effects of xylanase on the biogas production of cow manure were investigated by batch anaerobic dry fermentation. Under the conditions of the fermentation temperature 55 ℃, total solids (TS) concentration 40%, inoculant content 30%, 1% of xylanase was added to make anaerobic dry fermentation of cow manure. The results showed that the addition of xylanase could not shorten the biogas cycle, but it could improve the biogas production. The cumulative biogas production of the experimental group was 9.9 L, which increased by 22% than that of the control group. The biogas yield of raw materials was 0.25 L/g, and volumetric biogas yield was 0.73 m³/(m³·d). The biogas production process was similar to that of general raw materials, but the fermentation cycle was longer. This experiment results provided an effective way for the efficient use of cow manure.

Key words Cow manure; Xylanase; Dry fermentation; Biogas yield

近年来, 随着国民生活水平的提高, 畜牧业得到前所未有的发展。2015 年我国奶牛存栏量约 1 200 万头, 在 2020 年养殖业带来的畜禽粪便将超过 40 亿 t, 每年产生大量的牛粪, 但利用率低^[1-3]。牛粪中含有很多未被利用的氮磷钾和转化积累的硫化物等有害物质, 对周围水体、土地和空气造成严重的污染^[4-5]。但是, 牛粪富含粗纤维和有机质, 碳氮比接近 20:1~30:1, 是厌氧发酵的优质原料来源^[6-8]。牛粪中的纤维素含量限制着牛粪厌氧发酵的产气性能。纤维素是一种由 β-D 吡喃葡萄糖通过 1-4 糖苷键组成的无支链结构^[9], 一般被半纤维素和木质素包裹^[10-11]。国内外学者大多通过破坏木质纤维素之间的交联结构来增加发酵微生物与原料之间的可及性, 主要是通过物理、化学或生物 3 种方式。Sapci^[12] 通过微波预处理农作物秸秆, 对产沼气性能没有明显的提升。He 等^[13] 通过添加 6% 的 NaOH 预处理水稻秸秆, 使产气率提升了 27.3%~64.5%, 并从原料结构方面详细阐述了 NaOH 预处理对原料的影响。Wang 等^[14] 利用黑曲霉产生的纤维素酶预处理玉米秸秆, 使沼气产率提升 36.9%。这些方式都有各自的优缺点, 物理法和化学法对环境或设备都有一定的破坏作用, 生物法有作用缓慢、成本高等特点, 从而使纤维素类原料在用作产沼气时还有很大的提升空间。该试验所用的木聚糖酶能降解大部分植物组织中的木聚糖, 而木聚糖是半纤维素的主要成分, 木聚糖被认为维持植物纤维内聚结构完整性的重要成分。Collins 等^[15] 和邢玲等^[16] 通过添加

木聚糖酶水解玉米芯提高了单糖的得率, 这也说明在牛粪处理中添加木聚糖酶的可行性。笔者通过发酵过程中添加木聚糖酶来考察对产沼气性能的影响, 以期通过添加木聚糖酶促进产沼气性能, 并通过干发酵的方式节减少废水处理, 解决当前环境污染的现状并且缓解当前能源危机。

1 材料与方法

1.1 材料 牛粪: 收集云南省昆明市附近养殖场新鲜牛粪, 用保鲜袋封口, 备用。接种物: 取自昆明理工大学农业与食品学院农业环境与能源工程研究室猪粪发酵结束后的活性污泥。原料基本特性见表 1。

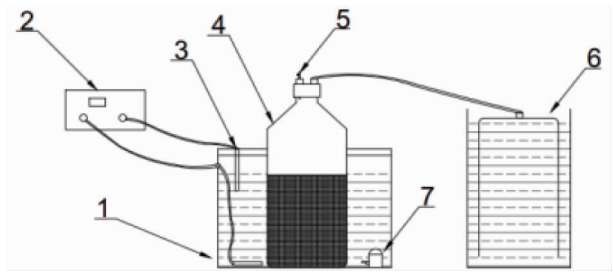
Table 1 The basic characteristics of raw materials %					
原料 Raw materials	总固 体物 TS	挥发性 固体 物 VS	木质素 Lignin content	半纤维素 Hemice- llulose content	纤维素 Cellulose content
接种物 Inoculant	13.87	8.81	1.91	0.50	1.19
牛粪 Cow manure	55.98	37.49	12.49	7.62	7.77

1.2 试验装置 批量发酵试验装置为实验室自制沼气发酵装置, 具体装置如图 1 所示, 主要由恒温水槽、发酵瓶和集气装置组成。恒温水槽用温控仪连接着加热棒和温度传感器构成, 水槽底部的循环水泵用于保持整个水槽水温一致。用 1 L 容积的玻璃瓶作为发酵瓶, 瓶盖上有放气阀和软管作导气管连接到集气装置, 集气装置外侧粘有经过标定的刻度线, 用于读取产气量。

1.3 试验方案 试验总发酵体系为 400 g, TS 含量为 40%, 接种物含量为 30%, 用沼液补足质量。水解酶添加量为原料

基金项目 国家自然科学基金项目(51466004)。
作者简介 张陈(1995—), 男, 安徽马鞍山人, 硕士研究生, 研究方向: 生物质能和分子生物学。* 通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事生物质能源研究。
收稿日期 2021-02-03

的 1%,即添加 2.56 g。该试验设置 1 个空白对照组和 2 个平行试验组,具体物料添加见表 2。发酵温度在沼气发酵能正常产气的前提下,接近水解酶的最适温度,由于该试验添加的水解酶是木聚糖酶,为了达到最佳酶活效果,故发酵温度设置为 $(55\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。发酵启动前和发酵结束测定发酵体系的 TS、挥发性固体物(VS)和 pH,发酵过程中测定每日沼气产量,由于发酵总固体物含量较高,每天 2 次摇匀发酵瓶。



注:1.加热棒;2.温控仪;3.温度传感器;4.发酵瓶;5.放气阀;6.集气装置;7.循环水泵

Note: 1.Heater; 2.Temperature controller; 3.Temperature sensor; 4.Fermentation bottle; 5.Air bleeder; 6.Gas-collecting device; 7.Circulating water pump

图 1 自制批量试验装置示意
Fig.1 The self-made batch test device

表 2 发酵物料的配制

Table 2 Preparation of fermentation raw materials g

组别 Group	原料添加量 Addition of raw ma- terial	原料含 TS TS content in raw mate- rials	接种物 添加量 Inoculum addition	发酵总质量 Total fer- mentation mass
对照组 Control group	0	0	120	400
试验组 Experimental group	256	143.4	120	400

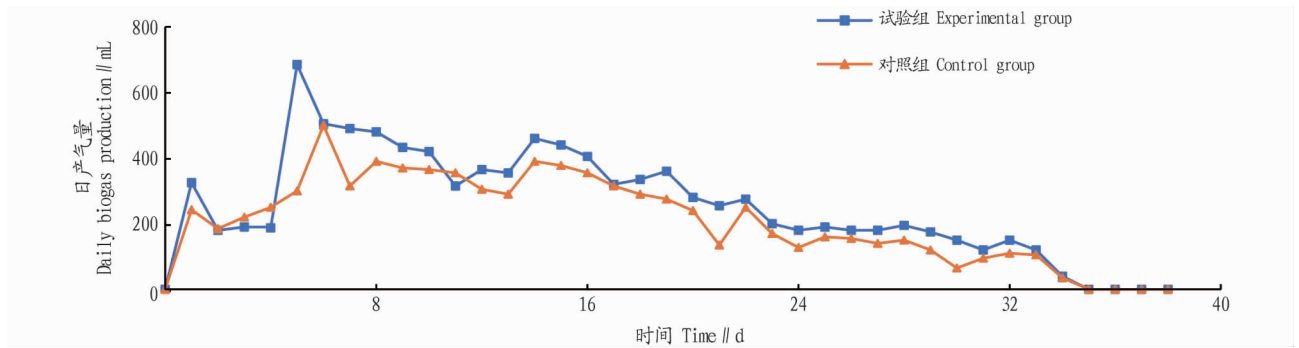


图 2 试验期间日产气量的变化

Fig.2 The changes of the daily biogas production during the test period

是由于发酵体系不稳定,pH、温度等因素降低酶的活性,导致二者累计产气量差别不大。

2.2 木聚糖酶的添加对产气率的影响 从图 4 可以看出,TS 产气率、池容产气率与累计产气量均成正比,符合一般产沼气规律。试验组 TS 产气率、池容产气率和累计产气量均大于对照组,说明木聚糖酶的添加能增加产沼气性能。原料产气率能反映出原料转化成沼气的效率,试验组产气率为

1.4 测定指标与方法

1.4.1 物料 TS 和 VS 含量的测定。参考文献[17]的方法测定物料 TS 和 VS 含量。

1.4.2 pH 的测定。使用 pHS-3C 酸度计测定 pH。

1.4.3 产气量。根据储气罐上的刻度确定产气量。

2 结果与分析

2.1 木聚糖酶的添加对产气量的影响 此次发酵共 38 d,每天测得的产沼气量取平均值,绘制折线图,如图 2 所示。从图 2 可以看出,试验组和对对照组均出现 2 个产气高峰,此后日产气量逐渐降低,这与大多数原料的产气规律类似。在第 1 天出现一个产气高峰,此后日产气量减少,试验组和对对照组分别在第 5 天和第 6 天出现第 2 次产气高峰,且均高于第 1 次产气高峰,这与一般原料的产气规律不同,在易降解原料中第 1 次产气高峰明显高于第 2 次产气高峰。刘荣厚等^[18]利用蔬菜废弃物厌氧发酵产沼气第 1 次产气高峰约为第 2 次产气高峰的 5 倍。该试验所用的原料木质纤维素类原料占 27.88%,发酵前期水解产酸阶段水解产酸类菌株增殖较慢,挥发性脂肪酸产量少,导致产气类菌株原料利用不足,产气量较少。此次发酵后期较长,试验组从第 2 次产气高峰到发酵结束产气量占总产气量的 89.0%,对照组也达到 80.6%,这也与牛粪中木质纤维素类含量较多有关。

从整个发酵周期来看,木聚糖酶的添加没有明显加速厌氧干发酵,但添加木聚糖酶的试验组日产气量普遍高于对照组,尤其是第 1 个产气高峰,可见木聚糖酶能促进日产气量的提升。

试验期间累计产气量的变化见图 3。从图 3 可以看出,试验组和对对照组在发酵周期前 4 d 差别不大,从第 5 天开始试验组累计产气量大于对照组。试验组和对对照组均缓慢增加至发酵结束,试验组累计产气量为 9.9 L,而对对照组约 8.1 L,说明木聚糖酶的添加有利于沼气产量。发酵初期可能

0.25 L/g,略高于对照组,但比其他原料偏低,说明通过添加水解酶来促进牛粪干发酵产沼气性能还有很大的空间。池容产气率一般反映利用单位发酵体积单位时间所产沼气的性能,更能直观反映发酵空间利用率和时间利用率。由于此次发酵为干发酵,所以比一般湿发酵的空间利用率高。该研究中试验组的池容产气率为 $0.73\text{ m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,高于一般文献所报道的池容产气率^[19-20]。

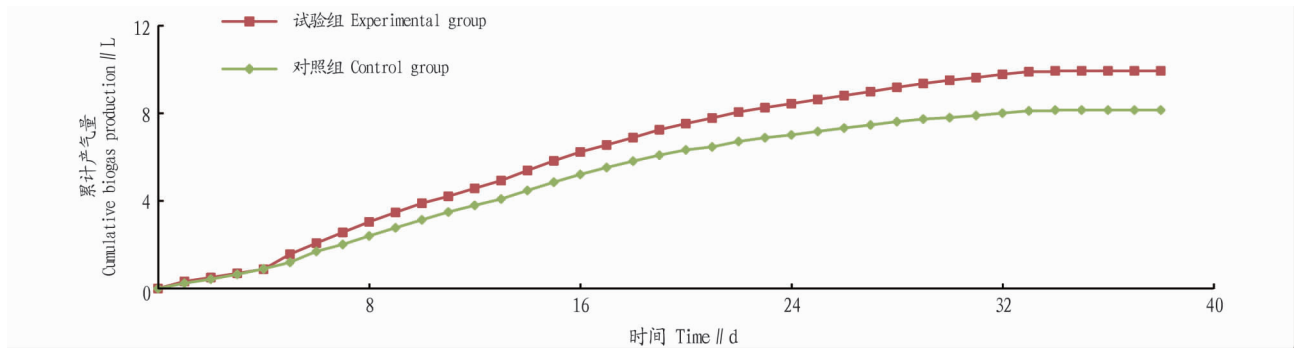


图 3 试验期间累计产气量的变化

Fig.3 The changes of the cumulative biogas production during the test period

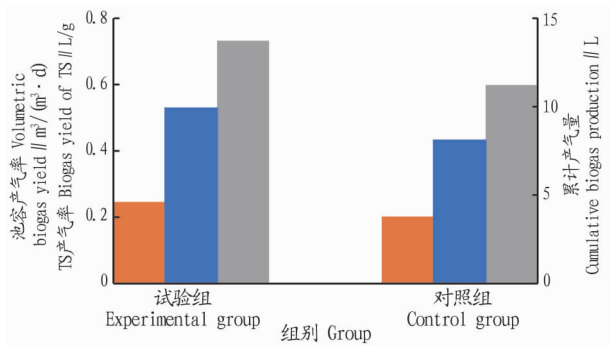


图 4 各组池容产气率、TS 产气率和累计产气量的比较

Fig.4 The comparison of the volumetric biogas yield,TS biogas yield and the cumulative biogas production in each group

3 结论

该试验主要考察木聚糖酶的添加对牛粪厌氧干发酵的影响,得到以下结论:

(1) 是否添加木聚糖酶没有明显加速牛粪厌氧干发酵的周期,且与其他原料相比产沼气周期较长。

(2) 试验组和对照组均符合一般原料的产沼气规律。从累计产气量、原料产气率和池容产气率来看,木聚糖酶的添加能提升产沼气性能。

该试验结果表明,提升牛粪厌氧干发酵产沼气性能还有较大的提升空间,至少在缩短产沼气周期上还有一些工作可以进行。面对越来越多的原料冗余,对环境的压力也不容小觑,通过厌氧干发酵产沼气的能缓解一部分环境污染和能源短缺的问题。

参考文献

[1] 再协.《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》解读[J].中国资源综合利用,2016,34(10):15-16.

[2] 苏家磊.牛粪转化为乙酰丙酸类化学品和碳基固体酸催化剂研究[D].北京:中国农业科学院,2018.

[3] 金明举.山东省畜禽养殖废弃物资源化利用研究[D].泰安:山东农业大学,2020.

[4] 吴浩玮,孙小淇,梁博文,等.我国畜禽粪便污染现状及处理与资源化利用分析[J].农业环境科学学报,2020,39(6):1168-1176.

[5] 刘芳.畜禽粪便废弃物的治理措施[J].畜牧业环境,2019(12):10.

[6] 贺初勤.不同牛粪营养成分与脱水方法研究[J].湖南畜牧兽医,2016(3):33-34.

[7] 游洋,吴波,胡国全,等.牛粪生物质资源综合利用研究进展[J].应用与环境生物学报,2018,24(2):401-407.

[8] 马铮铮.沈北新区马刚乡牛粪资源化利用研究[J].中国资源综合利用,2016,34(4):38-41.

[9] O'SULLIVAN A C.Cellulose:The structure slowly unravels[J].Cellulose,1997,4(3):173-207.

[10] AHRING B K,LICHT D,SCHMIDT A S,et al.Production of ethanol from wet oxidised wheat straw by *Thermoanaerobacter mathranii* [J].Biore-source technology,1999,68(1):3-9.

[11] LIU H W,WALTER H K,VOGT G M,et al.Steam pressure disruption of municipal solid waste enhances anaerobic digestion kinetics and biogas yield[J].Biotechnology and bioengineering,2002,77(2):121-130.

[12] SAPCI Z.The effect of microwave pretreatment on biogas production from agricultural straws[J].Biore-source technology,2013,128:487-494.

[13] HE Y F,PANG Y Z,LIU Y P,et al.Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production[J].Energy & fuels,2008,22(4):2775-2781.

[14] WANG S Q,LI F,WU D,et al.Enzyme pretreatment enhancing biogas yield from corn stover: Feasibility, optimization, and mechanism analysis [J].Journal of agricultural and food chemistry,2018,66:10026-10032.

[15] COLLINS T,GERDAY C,FELLER G.Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases[J].FEMS Microbiology Reviews,2005,29(1):3-23.

[16] 邢玲,江华.木聚糖酶对玉米芯酶水解过程的影响[J].食品工业科技,2010,31(11):228-231.

[17] 张无敌,尹芳.生物质能实验[M].北京:科学出版社,2017:5-8.

[18] 刘荣厚,王远远,孙辰,等.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.

[19] 任海伟,王宇杰,李金平,等.温度对蔬菜垃圾与猪粪混合消化产沼气特性的影响[J].太阳能学报,2018,39(8):2088-2095.

[20] 魏本平,陈闯,卢秀红,等.醋糟干发酵产沼气潜力研究[J].中国沼气,2012,30(3):30-33.

(上接第 216 页)

[11] 张衡,白云岗,雷晓云,等.弥雾微喷调控对吐哈盆地葡萄产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(6):24-28,41.

[12] 郭靖.不同避雨栽培模式对夏黑葡萄生理特性和果实品质的影响[D].

合肥:安徽农业大学,2015.

[13] 王紫寒,张伟,关利平,等.避雨栽培对泽香葡萄微环境和果实品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2015(3):14-17.

[14] 魏晓峰,鞠延伦,王凯,等.避雨栽培对“户太八号”葡萄生长及果实发育的影响[J].北方园艺,2016(11):9-14.