

接种量和发酵温度对牛粪厌氧发酵的影响

楚莉莉¹, 田孝鑫², 杨改河³

(1. 新乡学院 生命科学与技术系, 河南 新乡 453000; 2. 新乡学院 化学与化工学院, 河南 新乡 453000;

3. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以牛粪为发酵原料、沼液为接种物, 研究牛粪在不同接种量(接种物干物质质量为牛粪干物质质量的15%、30%、45%、60%、75%)和不同发酵温度(25、30、35、40℃)下的厌氧发酵情况, 并采用响应曲面法进行优化, 以期找出最佳的牛粪厌氧发酵条件。结果表明, 各接种量处理的产气速率均随着发酵温度的升高先增加后降低, 35℃时达到最大值; 各接种量处理的产气速率峰值在不同发酵温度下出现的时间不同, 在25、30℃下主要集中在第8天左右出现; 在35、40℃下出现的时间比较分散, 35℃下在第5~13天出现, 40℃下在第8~18天出现。在所有发酵温度下, 累计产气量均随着接种量的增加先增加后减小, 35℃下以接种量30%处理最高, 其余温度下均以接种量40%处理最高。在所有接种量下, 累计产气量均随着发酵温度的升高先增加后降低, 在35℃时最大, 与其他温度相比平均增幅为107.0%、29.7%、16.5%。当发酵温度为35℃、接种物干物质质量为牛粪干物质质量的45%时, 可获得最大累计产气量, 为259.50 mL/g。

关键词: 牛粪; 沼液; 接种量; 厌氧发酵; 发酵温度

中图分类号: S216.4 X705 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)02-0147-04

Effect of Inoculation Dosage and Fermentation Temperature on Cow Manure Anaerobic Fermentation

CHU Li-li¹, TIAN Xiao-xin², YANG Gai-he³

(1. Department of Life Science and Technology, Xinxiang University, Xinxiang 453000, China;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinxiang University, Xinxiang 453000, China;

3. College of Agronomy, Northwest A&F University Yangling, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to optimize the process of cow manure anaerobic fermentation, the cow manure anaerobic fermentation was investigated with biogas slurry as inoculum under different fermentation temperatures (25℃, 30℃, 35℃ and 40℃) and inoculation dosage (the dry matter weight of biogas slurry was 15%, 30%, 45%, 60% and 75% of the dry matter weight of cow manure). The results showed that the biogas production rate first increased and then decreased with the increase of fermentation temperature, and reached the peak under 35℃; the biogas production rate peak occurred at different time under different fermentation temperatures, the peaks mainly occurred on the 8th day under 25℃ and 30℃, the peaks occurred more dispersed under 35℃ and 40℃. The total biogas yield first increased and then decreased with the increase of inoculation dosage, the total biogas yield with inoculation dosage of 30% was highest under 35℃, and the total biogas yield with inoculation dosage of 40% was highest under the other temperatures. The total biogas yield first increased and then decreased with the increase of fermentation temperature, the total biogas yield was 107.0%, 29.7%, 16.5% higher under 35℃ than that under other temperatures. When the fermentation temperature was 35℃ and the inoculation dosage was 45%, the biogas yield reached 259.50 mL/g.

Key words: cow manure; biogas slurry; inoculation dosage; anaerobic fermentation; fermentation temperature

收稿日期: 2013-07-03

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12B180029); 新乡学院博士启动项目(1399020172)

作者简介: 楚莉莉(1981-), 女, 河南郑州人, 讲师, 博士, 主要从事生态农业技术集成方面的研究。E-mail: chulily123@126.com

我国是世界上农业废弃物产量最大的国家,每年大约有 40 多亿 t,其中畜禽粪便排放量为 26.1 亿 t^[1]。利用畜禽粪便进行厌氧发酵生产沼气,既可提供清洁能源又可实现农业废弃物多层次转化利用并减轻其对环境的压力^[2-3]。厌氧发酵是一个复杂的生物化学反应过程,发酵温度是影响厌氧发酵的重要因素^[4-9]。接种物指含有大量沼气发酵微生物的各种厌氧活性污泥、沼液等,其种类、数量、浓度对厌氧发酵也有很大的影响^[10-17]。但迄今为止,关于温度和接种量的交互作用对厌氧发酵产气特性影响的研究鲜有报道。为此,本研究选取牛粪为原料、沼液为接种物进行发酵,系统研究了接种量和发酵温度对牛粪厌氧发酵的影响,以期为提高沼气产量提供参考。

1 材料和方法

1.1 发酵原料与接种物

发酵原料为牛粪,发酵料液由牛粪和水组成,总质量为 500 g,干物质含量为 8%,即牛粪的干物质质量为 40 g;接种物为常温厌氧发酵沼液池的沼液。

1.2 试验设计

接种物(沼液)添加量设置 5 个水平:75、150、225、300、375 g,其干物质含量为 7.98%,即接种物干物质质量占牛粪干物质质量的百分比(简称接种量)为 15%、30%、45%、60%、75%,同时设置相应的空白试验,以消除接种物对试验结果的影响。发酵温度分别为 25、30、35、40℃,每组试验设 3 个重复。发酵试验在可控性恒温厌氧发酵装置中进行,装置主要由发酵装置、集气装置及控温装置三部分组成。选用 1 L 三角瓶作为发酵瓶,放置于水槽内,采用地热丝进行加热,智能温度控制仪(PC-1000)控制发酵温度。产气量采用排水法测定。

1.3 数据处理

用 SAS 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同发酵温度下接种量对牛粪厌氧发酵产气速率的影响

2.1.1 25℃ 由图 1 可以看出,在发酵温度为 25℃时,5 种接种量处理的发酵料液均能在较短时间内开始产气并很快达到峰值。各种接种量处理在 34 d 的发酵过程中产气速率相差较大,但变化规律相似,产气主要集中在 2~13 d,随后产气速率下降并维持在较稳定水平。接种量为 15%、60%、75% 处理的产气速率在第 8 天达到最大,峰值分别为 350、390、350 mL/d;30%和 45%处理的产气速率在

第 13 天达到最大值,分别为 415、325 mL/d。

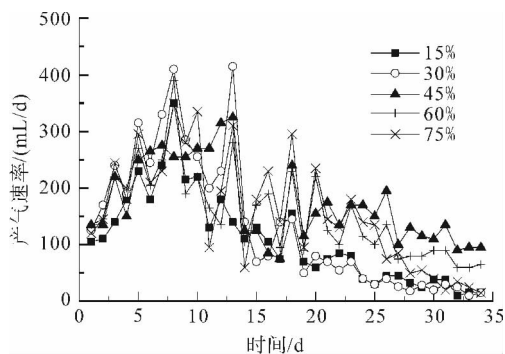


图 1 25℃下不同接种量处理的产气速率

2.1.2 30℃ 由图 2 可以看出,在发酵温度为 30℃时,5 种接种量处理的发酵料液均能在较短时间内开始产气,但在发酵过程中,产气速率波动较大,有多个产气高峰,产气主要集中在 5~10、18~21 d 2 个阶段,随后产气速率下降并维持在较稳定水平。15%、60%、75%处理的产气速率在第 8 天达到最大,为 438、548、612 mL/d;30%处理的产气速率在第 3 天和第 18 天达到最大,为 476 mL/d;45%处理的产气速率在第 18 天达到最大,为 550 mL/d。

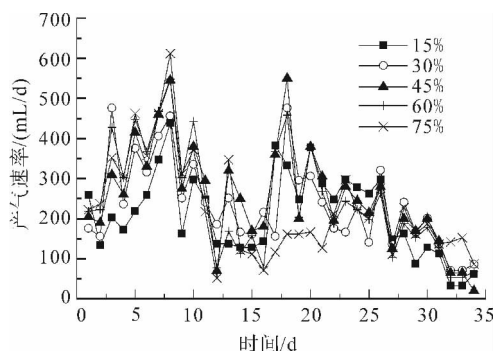


图 2 30℃下不同接种量处理的产气速率

2.1.3 35℃ 由图 3 可以看出,在发酵温度为 35℃时,5 种接种量处理的发酵料液均能在较短时间内开始产气,产气主要集中在第 3~16 天,随后产气速率下降并维持在较稳定水平。在发酵前期,各接

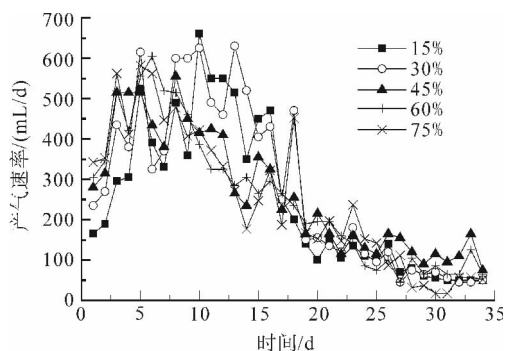


图 3 35℃下不同接种量处理的产气速率

种量处理的产气速率波动较大,有多个产气高峰。接种量为15%处理的产气速率在第10天达到最大值,为660 mL/d;30%处理的产气速率在第13天达到最大值,为630 mL/d;45%处理的产气速率在第8天达到最大值,为555 mL/d;60%处理的产气速率在第6天达到最大值,为605 mL/d;75%处理的产气速率在第5天达到最大值,为582 mL/d。

2.1.4 40℃ 由图4可以看出,在发酵温度为40℃时,5种接种量处理的发酵料液均能在较短时间内开始产气且产气速率快速升高,产气主要集中在第5~18天,随后产气速率下降并维持在较稳定水平。接种量为15%处理的产气速率在第10天达到最大值,为647 mL/d;30%处理的产气速率在第13天达到最大值,为539 mL/d;45%处理的产气速率在第8天达到最大值,为655 mL/d;60%、75%处理的产气速率均在第18天达到最大值,分别为650、730 mL/d。

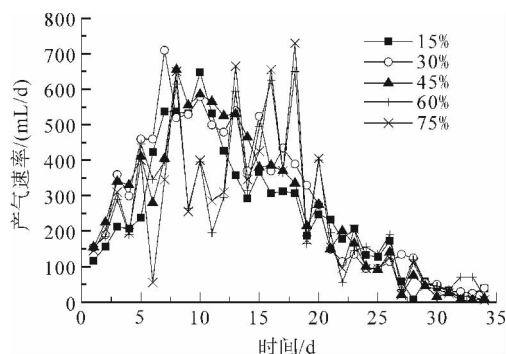
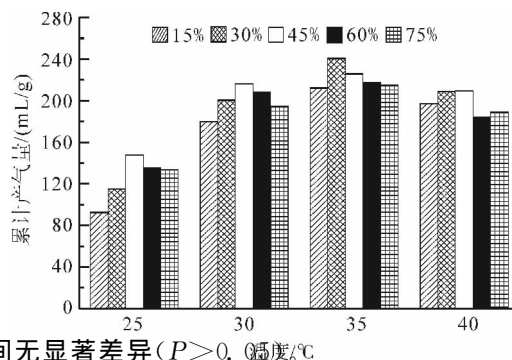


图4 40℃下不同接种量处理的产气速率

2.2 接种量和发酵温度对沼气产量的影响

2.2.1 接种量 由图5可以看出,在发酵温度为25~40℃时,随着接种量的增加,累计产气量呈先增大后减小的趋势。在发酵温度为35℃时,接种量为30%处理的累计产气量最高,为240.75 mL/g;在发酵温度为25、30、40℃时,45%处理的累计产气量最高,分别为147.63、226.38、209.50 mL/g,分别比其他4组高出6.3%~37.4%、0.3%~22.2%、4.1%~14.0%、9.3%~12.1%。各接种量处理的平均累计产气量大小为:45%>30%>75%>60%>15%。方差分析结果表明,在发酵温度为25℃时,60%与75%处理累计产气量无显著差异,其余各组差异达到显著水平($P<0.05$);在发酵温度为30℃时,15%与45%处理差异显著($P<0.05$);在发酵温

度为35℃时,30%与其余各添加量处理差异显著($P<0.05$);在发酵温度为40℃时,各接种量处理



之间无显著差异($P>0.05$)。

图5 接种量对沼气产量的影响

2.2.2 发酵温度 温度是影响厌氧发酵的主要因素,由图6可以看出,各接种量处理的累计产气量随发酵温度的升高先升高后下降。各接种量处理在35℃时累计产气量达到最大,平均为222.12 mL/g,分别比25、30、40℃时增加107.0%、29.7%、16.5%。多重比较结果表明,除30℃和40℃外,其他发酵温度处理间均达到极显著差异($P<0.01$)。

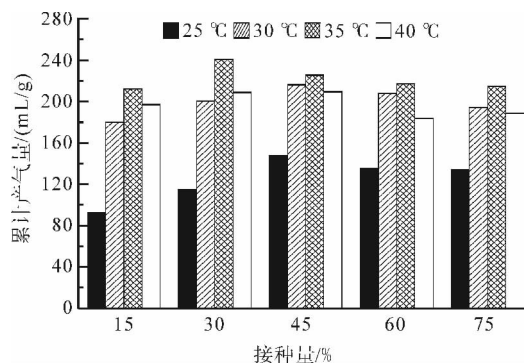


图6 发酵温度对沼气产量的影响

2.3 牛粪厌氧发酵模型的建立和优化

用SAS软件的RSREG(Response Surface Regression)过程进行多项式回归^[18],得出产气量 $f_{(T,R)}$ 与发酵温度 x_T 和接种量 x_R 的回归方程。

$$f_{(T,R)} = -1126.69 + 72.42x_T + 426.93x_R - 0.99x_T^2 - 6.54x_Tx_R - 223.71x_R^2$$

模型的离回归标准误为9.19 mL/g,复相关系数为0.9674。从多项式回归的方差分析结果看,回归方程中的一次项、二次项和交叉项均达到显著水平($P<0.05$)。由图7可以看出,随着发酵温度的升高,各接种量处理的累计产气量呈先增大后下降的趋势;随接种量的增加,各发酵温度下累计产气量呈先增大后减小的趋势。通过RSREG过程寻找最优响应曲面的稳定点,当发酵温度 x_T 为34.9℃,接种物干物质质量 x_R 为牛粪干物质质量44.4%时,可

得到牛粪的最大累计产气量,为 233.05 mL/g。

采用优化后的发酵温度和接种量做验证试验,结果显示,当接种量为 45%、发酵温度为 35℃时,牛粪的累计产气量为 259.50 mL/g,与回归方程得出的最大累计产气量 233.05 mL/g 接近。

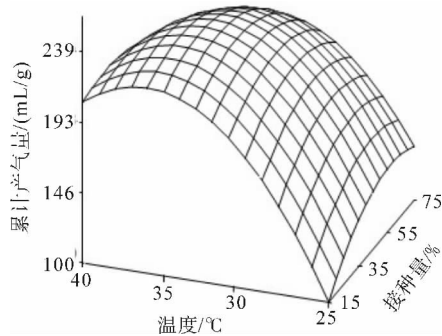


图 7 接种量和发酵温度对累计产气量影响的响应曲面

3 结论与讨论

本研究发现,各接种量处理的产气速率随着发酵温度的升高先增加后降低,35℃时达到最大值;各接种量处理的产气速率峰值在不同发酵温度下出现的时间不同,在 25、30℃下主要集中在第 8 天左右出现;在 35、40℃下出现的时间比较分散,35℃下在第 5~13 天出现,40℃下在第 8~18 天出现。这可能与接种物的性质和数量有关,本试验所选用的接种物为户用沼气池的沼液(15~30℃),因此在 25℃和 30℃下菌群能快速适应环境,从而产气高峰集中出现;在高温条件下(35℃和 40℃),接种物需要一个适应过程,不同的温度和接种物数量导致产酸菌和产甲烷菌比例不同^[19-20],因此产气高峰出现时间不同。这与张翠丽等^[21]、白洁瑞等^[22]的研究结果相似。

本研究结果表明,在所有发酵温度下,累计产气量均随着接种量的增加先增加后减小,35℃下以接种量 30%最高,其余温度下均以接种量 40%最高。在所有接种量下,累计产气量均随着发酵温度的升高先增加后降低,在 35℃时最大,与其他温度相比平均增幅为 107.0%、29.7%、16.5%。当发酵温度为 35℃、接种量为 45%时,可获得最大累计产气量,为 259.50 mL/g。

参考文献:

- [1] 孙振均,孙永明.我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展[J].中国农业科技导报,2006,8(1):6-13.
- [2] 孙永明,李国学,张夫道,等.中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J].农业工程学报,2005,21(8):169-173.
- [3] 王革华,田雅林.新农村建设与生物质能发展战略[J].农业工程学报,2006,22(增刊 1):1-3.
- [4] 庞云芝,李秀金,罗庆明.温度和化学预处理对玉米秸秆

厌氧消化产气量的影响[J].生物加工过程,2005,3(1):37-41.

- [5] 李轶冰,张翠丽,杨改河,等.温度对粪便与玉米秸秆混合厌氧消化产生特性的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(1):66-72.
- [6] 郭欧燕,李轶冰,白洁瑞,等.温度对鸡粪与秸秆混合原料厌氧发酵产气特性的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(6):138-143.
- [7] Ahring B K, Ibrahim A A, Mladenovska Z. Effect of temperature increase from 55℃ to 65℃ on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure[J]. Water Research, 2001, 35: 2446-2452.
- [8] 王晓娇,李轶冰,杨改河,等.牛粪、鸡粪和稻秆混合的沼气发酵特性与工艺优化[J].农业机械学报,2010,41(3):104-107.
- [9] 张翔,余建峰,刘金盾,等.不同接种物对牛粪高温厌氧发酵的影响[J].广西师范大学学报:自然科学版,2007,25(1):78-81.
- [10] Ashekuzzaman S M, Poulsen T G. Optimizing feed composition for improved methane yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(3):2213-2218.
- [11] Xie S, Lawlor P G, Frost J P, et al. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(10):5728-5733.
- [12] 赵洪,邓功成,高礼安,等.接种物数量对沼气产气量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(13):6278-6280.
- [13] 叶子良,刘荣厚,郝元元,等.沼气发酵接种物对沼气及沼液成分的影响[J].农机化研究,2007(6):82-85.
- [14] 潘云霞,李文哲.接种物浓度对厌氧发酵产气特性影响的研究[J].农机化研究,2006,1(1):188-192.
- [15] 关正军,李文哲,郑国香,等.接种量对牛粪分离液厌氧发酵特性影响[J].东北农业大学学报,2011,42(5):63-67.
- [16] 李静,丁怡斐,肖勤.接种对厌氧消化产气的影响研究进展[J].环境科学与管理,2012,37(2):76-80.
- [17] 胡雪竹,高宛莉,李玉英,等.秸秆厌氧发酵条件优化的研究[J].天津农业科学,2011,17(4):108-112.
- [18] 胡小平,王长发. SAS 基础及统计实例教程[M].西安:西安地图出版社,2001.
- [19] Linping K, Willy V. Ammonium removal by the oxygen limited autotrophic nitrification-denitrification system[J]. Appl Environ Microbiol, 1998, 64(11):4500-4506.
- [20] Zeng S, Yuan X, Shi X, et al. Effect of inoculum/substrate ratio on methane yield and orthophosphate release from anaerobic digestion of *Microcystis* spp. [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 178:89-93.
- [21] 张翠丽,杨改河,任广鑫,等.温度对 4 种不同粪便厌氧消化产气效率及消化时间的影响[J].农业工程学报,2008,24(7):209-212.
- [22] 白洁瑞,李轶冰,郭欧燕,等.不同温度条件粪秆结构配比及尿素、纤维素酶对沼气产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(2):188-193.