

秸秆沼气工程湿法发酵工艺参数优化研究

徐泽敏¹，赵国明²，牟莉¹

(1. 长春大学 生物科学技术学院，长春 130022; 2. 吉林省农业机械研究院，长春 130025)

摘要：秸秆生物气化工生产沼气是处理和利用秸秆的行之有效的方法，既防止了废弃秸秆污染和影响周边环境的问题，又解决了农村清洁能源短缺的难题。为此，研究了秸秆沼气工程的工艺方法及湿法发酵工艺参数的优化，为沼气规模化生产提供技术支撑和参考。研究表明：干物质(TS)浓度为8%、发酵温度为35℃、厌氧发酵周期35天，容积产气率最高可达 $76\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

关键词：秸秆；沼气工程；湿法发酵；工艺参数

中图分类号：S216.4

文献标识码：A

文章编号：1003-188X(2014)11-0218-04

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2014.11.051

0 引言

遗留田间的农业废弃物秸秆必须进行处理和利用，才不至于影响第2年春播。由于秸秆的产量很大，大量的秸秆若不能及时处理，只好在播种前采取就地焚烧^[1]的应急措施集中处置，会产生大量浓烟，使尘埃量积聚，雾霾天越来越多，严重污染周边卫生和破坏生存环境，影响人们的身心健康。目前，处理秸秆的方法有许多种，如还田处理作肥料、饲用，加工成碳棒作燃料、生产秸秆乙醇、发电以及发酵气化作为生物质能源^[2-3]等。本文主要研究将秸秆生物气化为沼气的规模化生产试验研究，以解决农村清洁能源短缺的难题。

1 沼气湿法发酵工艺

1.1 湿法发酵工艺流程

秸秆沼气发酵的生物气化过程与传统的沼气生产工艺一样，可分为水解、产酸、产甲烷3个阶段。由于秸秆原料含有较高的木质素、纤维素、半纤维素和果胶^[4]等成分，难于水解，分解速度较慢，产气周期较长。因此，发酵工艺需考虑原料的预处理，厌氧环境的形成，底物C/N比^[5-8]和干物质含量、发酵温度、pH值、接种物量等参数的合理控制等问题。针对秸秆的特性，结合现代沼气生产技术，采用间歇式进出的湿法秸秆沼气加工工艺，工艺流程如图1所示。

首先，对秸秆进行揉搓、粉碎增大与菌株的接触

表面积，然后进行化学预处理和好氧堆沤，以提高厌氧反应速度和产气率。预处理后的秸秆加入一定量的厌氧菌种和适量的水混合均匀，然后通过柔性沼气膜覆盖密封，形成厌氧环境，进行沼气生产。产生的沼液中会混有水蒸气和硫化氢等气体，水的冷凝会造成管路堵塞， H_2S 气体可引起管道及仪表的快速腐蚀且其燃烧时生成的 SO_2 对人也有毒害作用，需再经过脱水脱硫净化处理后进行储存。厌氧发酵余物为沼渣和沼液混合物，将固、液进行分离，沼液作为菌种用于下一轮秸秆物料的厌氧发酵；而沼渣含有较全面的养分可作为优质有机肥料。

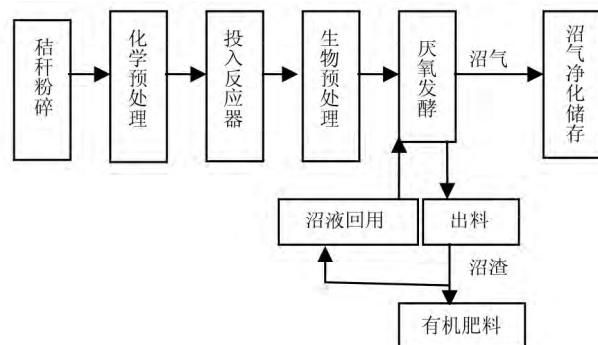


图1 湿法发酵工艺流程

1.2 湿法发酵反应器的研制

秸秆沼气厌氧发酵反应器采用四面封闭顶部大敞口的发酵槽体，容积为 20m^3 ，通过输送机实现秸秆原料进入和固体发酵余物的排出，操作方便。沼气膜覆盖敞口，可以通过膜膨胀形成的外形，判断反应器内沼气的生产情况，以及产气停止时沼气的排空情况，起到安全保护的作用。双轴机械搅拌装置，可以很好地解决秸秆物料轻、易上浮结壳的问题，强制物料和菌种的混合，提高发酵原料与微生物之间的传热传质

收稿日期：2014-02-10

基金项目：吉林省科技发展计划项目(201105045)

作者简介：徐泽敏(1964-)，女，吉林吉林人，副教授，博士，(E-mail) xzm.64@163.com。

效果。双闭合液涨密封结构密封操作方便,安全可靠^[9-11]。沼气锅炉回烧部分沼气加热和太阳能集热器加热为厌氧发酵阶段提供温度保障,有利于提高产气率,同时降低冬季产气耗能。反应器结构如图 2 所示。

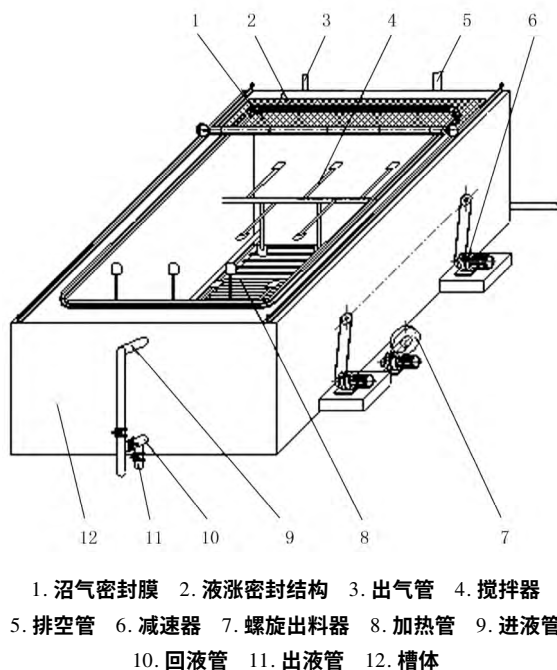


图 2 双轴机械搅拌卧式反应器结构示意图

2 秸秆沼气发酵工艺参数对产气率影响研究

在发酵原料组分、预处理工艺和 pH 值等不变的情况下,干物质含量(TS)、发酵温度和产气周期对产气量有直接的影响。因此,研究发酵温度在 25 ~ 40℃,TS 在 6 ~ 12 范围内产气率的变化。

2.1 材料与方法

2.1.1 试验材料

吉林省农安县当地购买的干玉米秸秆。

2.1.2 试验装置

采用自制的秸秆沼气湿法发酵装置。

2.1.3 试验方法

在保证原料的成分及配比、预处理工艺、干物质浓度、接种物加入量、pH 值等发酵条件不变的情况下,改变发酵温度,测算对应的日产气量。测算方法,采用排空法测量产气量,每天选择同一时间开始排空,直至排空结束,记录流量表读数和排空所用时间,换算出每一天产气量。具体测法:在测试前 1 天将反应器中沼气排空,记录排空时间 t_0 和沼气表读数 V_0 。第 1 天在同一时刻开始排空反应器中沼气,记录排空时间 t_1 和沼气表读数 V_1 ;第 2 天在同一时刻开始排空反应器中沼气,记录排空时间 t_2 和沼气表读数 V_2 ;第 3

天在同一时刻开始排空反应器中沼气,记录排空时刻时间 t_3 和沼气表读数 V_3 。计算产气量公式为

$$\Delta V_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{24 - t_{i-1} + t_i} \times 24$$

其中:① $i=1,2,3$;②时间单位为 h。

2.1.4 试验步骤

1) 准备适量的干玉米秸秆,将秸秆揉搓成 10 ~ 15mm 的秸秆段。

2) 将秸秆段用 6% NaOH 水溶液均匀喷洒,喷至潮湿无液体渗出,然后堆沤 2 天;接着用 7.35% H_2SO_4 水溶液均匀喷洒,中和至中性^[12-14],并堆沤,使物料温度达到 $(50 \pm 1)^\circ C$ 。

3) 将处理完的秸秆原料加入到厌氧反应器中,并加入接种物,接种物取自沼气发酵装置正常产气结束后的发酵余物沼液,接种物的加入量为发酵料液总体积的 $(30 \pm 1)\%$;然后加入适量的水,使秸秆原料占发酵料液总质量为一固定值,发酵料液量控制在反应器总容积的 $(80 \pm 1)\%$;用搅拌装置将发酵料液混合均匀,调整 pH 值为 6.7 ~ 7.5,封膜进入厌氧发酵阶段,调控厌氧发酵温度,偏差为 $\pm 1^\circ C$ 。

4) 排出前几天产生的杂气,通过试烧,火焰达到淡蓝色而且燃烧稳定,按试验方法中产气量的测算方法记录日产气量,记录 35 天数据;停止本次试验,准备下一次试验。

2.2 数据与分析

2.2.1 温度对秸秆沼气发酵产气情况的影响

温度是影响产气量的重要因素之一,沼气微生物只有在一定的温度条件下才能生长繁殖,进行正常的代谢活动。合理的发酵温度可以使微生物代谢加快,分解原料的速度也相应提高,产气量和容积产气率都相应增高。在 TS 为 8% 固定不变的情况下,温度分别为 25、30、35、40℃ 条件下日产气量情况如图 3 所示。

对应不同发酵温度条件下容积产气率情况如表 1 所示。

根据表 1、图 3 可以看出,整个发酵过程中,各温度组的产气规律大致相同,发酵初期就有大量气体产生,35℃ 时日产气量最高,对应容积产气率也最高,然后依次是 40、30、25℃。这说明在 25 ~ 40℃ 温度范围内,并不是温度越高产气量越高,而是存在一个合理的产气温度,该温度在 35℃ 左右。同时,从图 3 中还可以看出,当产气到第 35 天时,日产气量已经很低,而且还有下降的趋势,如果产气再进行下去,将会大大地影响到容积产气率。因此,合理沼气发酵温度确定为 35℃,厌氧发酵产气周期确定为 35 天。

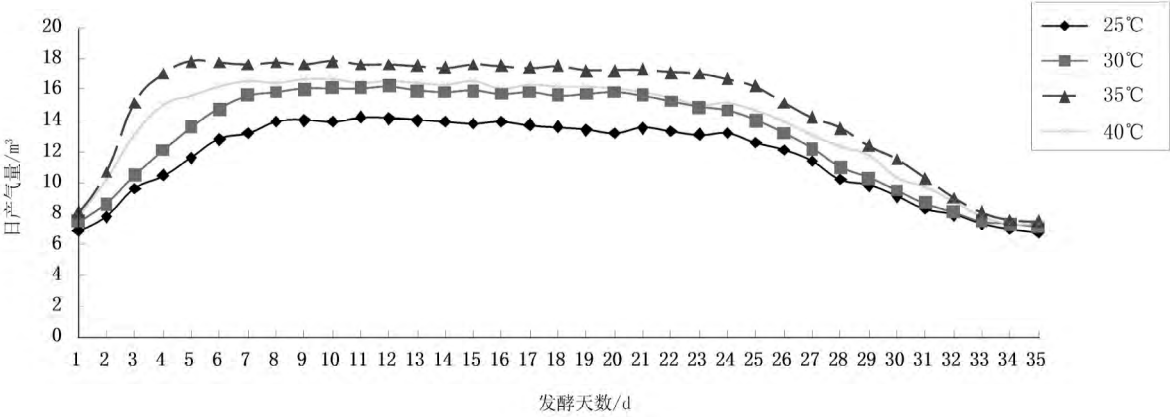


图 3 在不同温度下日产气量随时间变化曲线

表 1 不同温度条件下容积产气率情况表

温度 /℃	35 天总产气量 /m ³	平均日产气量 /m ³	容积产气率 /m ³ · (m ³ · d) ⁻¹
25	407.6	11.64	0.58
30	458.1	13.08	0.65
35	525.1	15.0	0.75
40	485.4	13.86	0.69

2.2.2 TS 含量对秸秆沼气发酵产气情况的影响

在秸秆沼气厌氧发酵过程中,物料干物质(TS) 含量不仅影响厌氧微生物的生长、繁殖及其活性,而且适当的干物质含量,更能提高厌氧发酵的产气效率。在发酵温度为 35℃ 固定不变的情况下,改变原料干物质浓度分别为 6%、8%、10%、12% 时,测定对应的产气量以优化该工艺参数。不同总固体浓度产气情况如表 2 所示。

表 2 不同干物质(TS) 浓度下产气量及容积产气率情况表

TS /%	35 天总产气量 /m ³	平均日产气量 /m ³	容积产气率 /m ³ · (m ³ · d) ⁻¹
6	458.3	13.09	0.65
8	532.1	15.20	0.76
10	501.6	14.33	0.71
12	488.7	13.96	0.69

从表 2 中可以看出,秸秆沼气温发酵在 TS 浓度为 6%、8%、10%、12% 等 4 种状态下均能产气。TS 浓度为 8% 时平均日产气量最高,TS 浓度为 10% 时平均日产气量次之,TS 浓度为 6% 和 12% 时平均日产气量相对较低,说明 TS 浓度从 8% 到 10% 都有较好的产气效果,TS 浓度小于 6% 或大于 12% 时产气效果不好。TS 浓度大于 12% 时日均产气量较低,是因为固体物质含量较高,影响了厌氧菌的活性和繁殖,从而影响产气。

TS 浓度低于 6% 时日均产气量较低,是因为固体原料含量较少,无法提供足够的有机物质来分解消化,使有机物质的分解消化速度和产气速度达不到平衡,从而影响了产气。因此,优化发酵原料 TS 浓度以 8% 左右为宜。

3 结论

通过对秸秆沼气发酵工艺的研究,优化了秸秆沼气发酵工艺流程,确定了适合于本工艺流程的干物质(TS) 浓度为 8%、发酵温度为 35℃ 等控制条件以及厌氧发酵周期 35 天。该工艺具有以下特点: ① 秸秆的揉碎,在破坏秸秆表面蜡质层的同时,增大了秸秆在发酵过程中与细菌的接触面,加快秸秆的分解速度。② 先化学预处理秸秆、再好氧预处理秸秆。化学预处理提高了物料的厌氧消化速度,促进了产气率的提高; 物料好氧发酵为沼气生产积蓄了大量热能,可以降低产气耗能。③ 沼液回用解决了下轮投料的菌种来源,同时避免对环境产生二次污染。④ 双层膜日光温室增保温,回烧部分沼气加热,太阳能增温等集成技术,在充分利用可再生能源的基础上,实现能量互补。

参考文献:

[1] 冯伟,张利群,庞中伟,等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析 [J]. 中国农学通报,2011,27(6): 350-354.

[2] 丁芳,钱宝娟,金林英. 农作物秸秆的综合利用探讨 [J]. 绿色科技,2011(4): 48-49,52.

[3] 徐泽敏,赵国明,牟莉. 秸秆沼气预处理技术的研究与探讨 [J]. 农机化研究,2013,35(9): 227-230.

[4] 马春红,刘旭,李运朝,等. 秸秆转化为生物质能源利用研究 [J]. 安徽农业科学,2011,39(7): 1146-1147,1150.

- [6] 王志春. 农村秸秆能源化利用气化发电产业发展策略 [J]. 中国高新技术企业, 2011(10): 1-5.
- [7] 尤新. 玉米深加工 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [8] 张昌爱, 刘英, 黄萌, 等. 秸秆原料 C/N 比调节对沼气产气状况的影响 [J]. 山东农业科学, 2010(1): 67-70.
- [9] Zhong W Z, Zhang Z Z, Qiao W, et al. Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion [J]. Renewable energy, 2011, 36: 1875-1879.
- [10] 矫云学, 赵国明. 双轴搅拌砗膜槽秸秆沼气反应器的研究 [J]. 农业与技术, 2010, 30(5): 126-128.
- [11] 张一维. 秸秆沼气工程中厌氧与贮气 CSTR 工艺研究 [J]. 现代农业科技, 2011(1): 261-262.
- [12] 朱洪光, 毕峻玮, 石惠嫻. 全混式厌氧反应器搅拌方式分析与优化, 2011, 42(6): 127-131.
- [13] 杨懂艳. 生物与化学预处理对玉米秸秆生物气产量的影响研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2004.
- [14] 罗庆明, 李秀金, 朱保宁, 等. NaOH 处理玉米秸秆厌氧生物气试验研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 111-115.
- [15] 李淑兰, 梅自力, 张国治, 等. 秸秆厌氧消化预处理技术综述 [J]. 中国沼气, 2011, 29(5): 29-33.

Study on Process Parameter Optimization of Wet Fermentation in Straw Biogas Project

Xu Zemin¹, Zhao Guoming², Mu Li¹

(1. College of Biological Science and Technology, Changchun University, Changchun 130022, China; 2. Jilin Academy of Agricultural Machinery, Changchun 130025, China)

Abstract: Straw gasification project production for biogas is the most effective methods to the processing and utilization of straw. This prevents the pollution of waste straw and affects the surrounding environment, and solves the problem of shortage of clean energy in rural areas. This paper studies the straw biogas engineering process method and wet fermentation process parameters optimization. Provide technical support and reference for large-scale biogas production. Research showed that dry matter TS concentration was 8% , fermentation temperature of 35 ℃ , anaerobic fermentation cycle is 35 days, produce gas volume rate of up to $76\text{m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

Key words: straw; biogas project; wet fermentation; technological parameter