

污泥驯化对苕麻废弃物厌氧消化产沼气的影晌

蒋 勇,郭清吉,蒋小钰,褚衍生

(四川发展中恒能环境科技有限公司,成都 610094)

摘 要: 在中温(35℃)条件下对苕麻废弃物进行厌氧消化试验,比较污泥驯化与否对厌氧消化体系的产气量和甲烷含量的影响。结果表明,未经污泥驯化,苕麻废弃物展现出厌氧消化可行性,经过污泥驯化后,厌氧消化产气速率提升,产气缓滞期得到明显缩减或消除,原料产甲烷潜力达到44 mL·g⁻¹鲜料,即194 mL·g⁻¹TS。其中,日产沼气和日产甲烷高峰期从2天延长至6天。此外,采用驯化后的污泥,CH₄百分比在5天内迅速上升至55%,并在后期一直稳定于60%左右,表明污泥驯化使苕麻废弃物厌氧消化过程得到了较大促进。

关键词: 苕麻废弃物; 厌氧消化; 污泥驯化; 产气潜力

中图分类号: S216.4; X712 文献标志码: A 文章编号: 1000-1166(2019)01-0060-05

Effects of Sludge Domestication on Biogas Production of Ramie Waste / JIANG Yong, GUO Qing-ji, JIANG Xiao-yu, CHU Yan-sheng / (Sichuan Development SINOBE Environmental Science Technology Co LTD, Chengdu 610094, China)

Abstract: Ramie waste was treated by anaerobic digestion at 35℃. The effects of sludge domestication on gas production and methane content were compared. The results showed that, without sludge domestication, ramie waste exhibited the feasibility of anaerobic digestion. After sludge domestication, the gas production rate was increased, and the gas production lag period was significantly reduced or eliminated. The methane production potential of the raw material reached 44 mL·g⁻¹ fresh material (194 mL·g⁻¹TS). The peak period of daily biogas production and daily methane production were extended from 2 days to 6 days. In addition, with domesticated sludge, the methane content rose rapidly to 55% within 5 days, and remained stable at around 60% in the later period, indicating that sludge domestication greatly promoted the anaerobic digestion process of ramie waste.

Key words: ramie waste; anaerobic digestion; sludge domestication; methane production

我国苕麻常年种植面积1×10⁵~2×10⁵ hm²,占世界的90%以上,苕麻废弃物是指苕麻经过纤维分离之后留下的麻叶和麻骨等,纤维只占苕麻全株生物量的5%,剩下95%则是麻叶和麻骨,如何处理大量的麻叶和麻骨,是苕麻生产工艺中急需解决的问题^[1-4]。目前这类废弃物的处理方式主要是饲料化与食用菌基质化,较少探索其厌氧消化产沼气的潜力,而厌氧消化可使大量的废弃麻叶和麻骨减量,减轻后续处理的负担,同时获取绿色能源沼气,为后续处理工艺提供能量。所以,苕麻废弃物的产沼气潜力和特性是十分值得研究的^[5-10]。

本文根据预实验中苕麻废弃物的产气情况,对污泥进行驯化,通过对整个厌氧消化过程中各项参数的追踪,分析苕麻废弃物的产气特性,为下一步研究和利用到实际生产中做准备。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 苕麻废弃物

苕麻废弃物取自湖南省岳阳市洞麻厂,主要是纤维提取后剩余的麻叶和麻骨。主要性质见表1。

表1 苕麻废弃物的主要性质 (%)

TS	VS/ wb	纤维素	半纤维素	木质素	灰分
22.7	84.2	4.8	3.1	6.3	7.9

1.1.2 污泥

试验所用污泥取自本公司猪粪厌氧消化反应器中的厌氧污泥,其主要性质见表2。

表2 接种污泥的主要性质 (%)

TS	VS/ wb	pH 值	SVI
14.8	60.3	7.5	36.8

收稿日期: 2018-08-03 修回日期: 2018-08-28

作者简介: 蒋 勇(1967-)男,研究员,研究方向为厌氧消化制沼气,E-mail: SINOBE-Jiangyong@hotmail.com

1.2 实验装置

实验装置由 2000 mL 消化瓶(有效体积 1500 mL)和 1000 mL 的排水集气装置组成(见图 1)。反应瓶放入水浴中,并保证水浴液面高于反应瓶内液面。水浴用加热棒控温在 $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

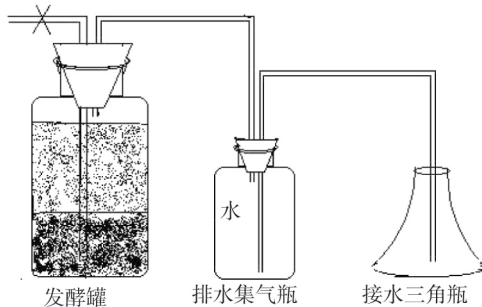


图 1 厌氧消化反应装置图

1.3 试验方法

驯化实验按照污泥: 苕麻废弃物 $\text{TS} = 4:1$ 进料, 发酵罐 $\text{TS} = 7.5\% \sim 8\%$, 分实验组和对照组, 每组 3 个平行。发酵过程持续 12 d, 每 12 小时摇动 1 次反应瓶, 保证有机质被充分利用。

表 3 驯化实验各实验组组成 (g)

分 组	苕麻废弃物	接种污泥	水
实验组	105	650	745
对照组	0	650	0

驯化后实验按照接种物: 苕麻废弃物 $\text{TS} = 2:1$ 进料, 发酵罐 $\text{TS} = 7.5\% \sim 8\%$, 接种物采用驯化实验后的厌氧消化液, TS 约 7.5% 。分实验组和对照组, 每组 3 个平行。发酵过程持续 29 d, 每 12 h 摇动 1 次反应瓶, 保证有机质被充分利用。

表 4 正式实验各实验组组成 (g)

分 组	苕麻废弃物	接种物	水
实验组	175	1065	260
对照组	0	1065	0

1.4 参数测定及方法

pH 值、总固体(TS)、可挥发性固体(VS)、污泥体积指数(SVI)等常规参数使用标准方法进行测定^[11]。 CH_4 和 CO_2 百分比利用气相色谱法进行测定, 色谱柱使用 PEG-20M 毛细管柱, 以氮气为载气, 流速 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。柱箱、进样器和检测器的温度分别是 180°C , 180°C 和 200°C 。产气量采用排水集气法测定。纤维素、半纤维素、木质素、灰分根据文

献方法^[12]测定。

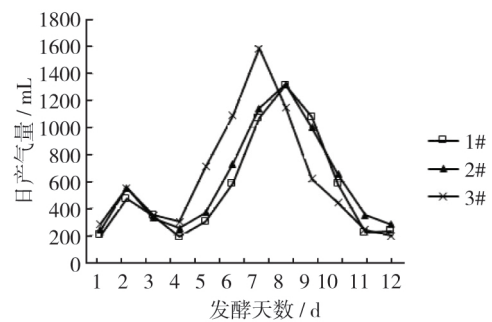


图 2 污泥驯化前苕麻废弃物厌氧消化日产气量曲线

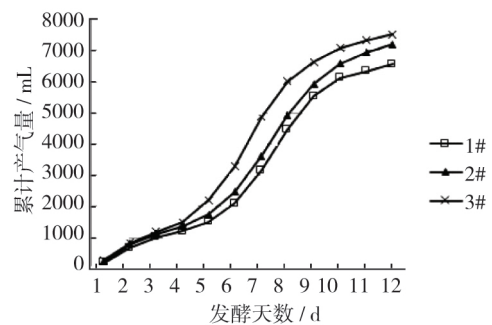


图 3 污泥驯化前苕麻废弃物厌氧消化累计产气量曲线

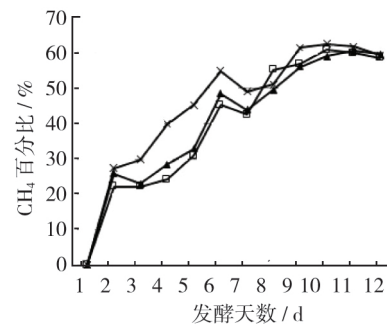


图 4 污泥驯化前苕麻废弃物厌氧消化 CH_4 百分比曲线

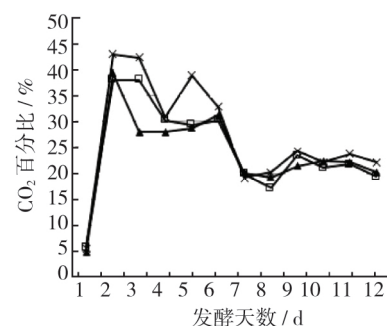


图 5 污泥驯化前苕麻废弃物厌氧消化 CO_2 百分比曲线

2 结果与讨论

2.1 污泥驯化前苕麻废弃物产气特性分析

厌氧消化过程中日产气量变化规律如图 2 图

5 所示 3 组平行实验均出现 2 个产气高峰,第 1 个高峰出现在发酵第 2 天,日产气量约 500 mL 左右,第 2 个高峰出现在发酵 1 周左右,日产气量大于 1300 mL。 CO_2 百分比(见图 5)的高峰与第 1 个产气高峰时间一致,说明发酵第 2 天底物出现强烈的水解并产生大量 CO_2 ,随后 CO_2 百分比下降, CH_4 百分比(见图 4)升高,从第 2 天的 25% 左右,到第 10 天 CH_4 百分比超过 60%,说明这段时间水解产物逐渐被产甲烷菌利用,并且在第 7~8 天达到日产气(见图 2)最大值。随后日产气量逐渐下降,累计产气量(见图 3)的增加也随之变得缓慢。在第 12 天累计产气量达到 7000 mL 左右。

在整个反应过程中 1# 2# 3#3 组平行实验的 CO_2 百分比变化相对一致,仅在发酵初期产生较多 CO_2 ,而 CH_4 百分比也逐步稳定上升,同时,此过程中 pH 值都稳定在 7.1~7.5,这说明苕麻废弃物作为原料进行厌氧消化的过程并不易发生酸化。第 9 天之后 CH_4 百分比稳定于 60%,且产气正常,表明污泥驯化成功,并初步显示苕麻废弃物的厌氧消化

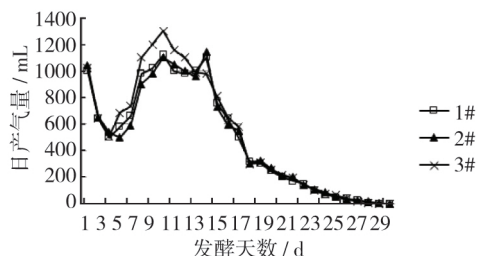


图 6 污泥驯化后苕麻废弃物日产气量曲线

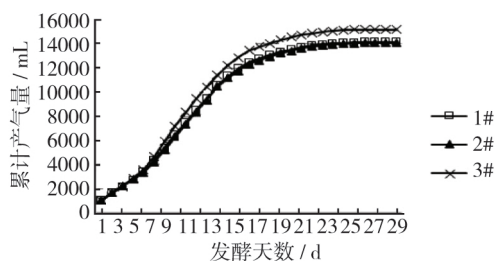


图 7 污泥驯化后苕麻废弃物累计产气量曲线

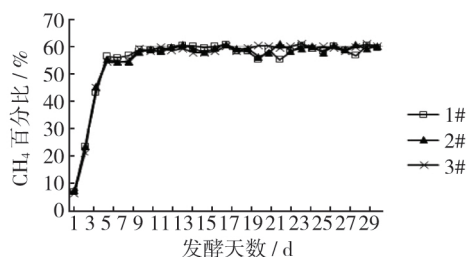


图 8 污泥驯化后苕麻废弃物 CH_4 百分比曲线

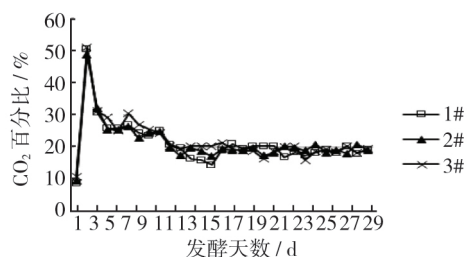


图 9 污泥驯化后苕麻废弃物 CO_2 百分比曲线

可行性,为后续的厌氧消化实验提供了接种物。

2.2 污泥驯化后苕麻废弃物产气特性分析

经过 2.1 的污泥驯化,采用其厌氧消化液作为接种物,苕麻废弃物厌氧消化过程中日产气量变化规律如图 6 所示,3 组平行实验均出现两个产气高峰,第 1 个高峰在发酵第 1 天,日产气量约 1000 mL 左右,第 2 个高峰出现在发酵一周左右,日产气量大于 1100 mL。 CO_2 百分比(见图 9)的高峰与第 1 个产气高峰时间一致,说明发酵第 1 天底物出现强烈的水解并产生大量 CO_2 ,随后 CO_2 百分比下降, CH_4 百分比(见图 8)升高,从第 1 天的 10% 左右,到第 5 天达到 55%,说明这段时间水解产物逐渐被产甲烷菌利用,并且在第 7~12 天达到日产气(见图 6)最大值。随后日产气量逐渐下降,累计产气量(见图 7)的增加也随之变得缓慢。在第 19 天累计产气量达到 14000 mL 左右,后续产气增加非常缓慢。在第 27 天,日产气量接近 0。因此,可计算出苕麻废弃物原料产甲烷潜力为 $44 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜料,即 $194 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{TS}$ 。

在整个反应过程中 1# 2# 3#这 3 组平行的 CO_2 百分比变化相对一致,仅在发酵初期产生较多 CO_2 ,到第 10 天降至 20% 左右,而 CH_4 百分比也逐步稳定上升至 60%,可见采用驯化后的污泥进一步确认了苕麻废弃物的厌氧消化可行性。

2.3 污泥驯化对苕麻废弃物厌氧消化的影响

相比于普通接种污泥,采用驯化后的污泥:1) 可使第 1 个产气高峰提前,表明驯化后的污泥更易水解底物,为后续反应加速;2) 可延长第 2 个产气高峰时间,从驯化前的第 7~8 天,延长到驯化后的第 7~12 天,提升产气速率;3) 采用驯化后的污泥, CH_4 百分比从第 1 天的小于 10%,在 5 天内,迅速上升至 55%,而采用普通接种污泥,需要 9 天才能使 CH_4 百分比上升至 55%,可见污泥驯化提升了厌氧消化过程的甲烷化速率;4) 采用驯化后的污泥,累计产气量的快速增长期可延长至第 19 天,而采用

普通接种污泥,第12天开始累计产气量增加得非常缓慢;5)采用驯化后的污泥, CO_2 百分比在第3天可下降至30%左右,而采用普通接种污泥,推后至第6天,表明驯化后的污泥使系统生化反应快速进行;6)采用驯化后的污泥, CO_2 百分比第10天下降至

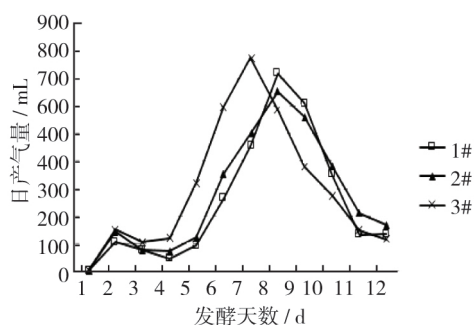


图10 污泥驯化前苎麻废弃物厌氧消化日产甲烷量曲线

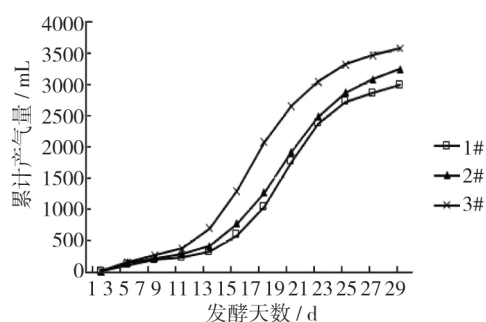


图11 污泥驯化前苎麻废弃物厌氧消化累计产甲烷量曲线

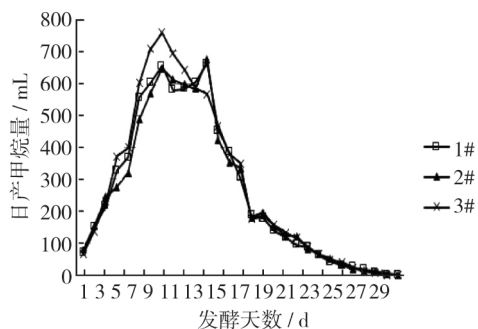


图12 污泥驯化后苎麻废弃物厌氧消化日产甲烷量曲线

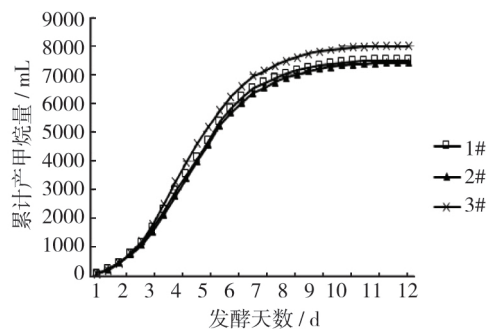


图13 污泥驯化后苎麻废弃物厌氧消化累计产甲烷量曲线

20%,而采用普通接种污泥, CO_2 百分比提前至第6天下降至20%,由于 CO_2 产生量也代表着微生物自身活性,可见驯化后的污泥使厌氧消化系统整体生物活性更加持久^[13-15]。

从图10~图13可知,污泥驯化对苎麻废弃物厌氧消化产甲烷量产生了较大影响。对比图10和图12可知,污泥驯化使得日产甲烷高峰期延长,从驯化前的第7~8天,延长至驯化后的第7~12天,与日产气量变化一致,但污泥驯化后的日产甲烷量,从第1天开始迅速上升,无缓滞期,而驯化前的日产甲烷量则在第1~4天,存在一个显著的缓滞期。累积产甲烷量方面,从图11和图13可知,污泥驯化使得累积产甲烷量的快速增加期延长,从未驯化的12天,延长至驯化后的19天,与累积产气量变化一致,但污泥驯化后的累积产甲烷量,从第1天开始迅速上升,无缓滞期,而驯化前的累积产甲烷量则在第1~4天,存在一个显著的缓滞期,与日产甲烷量变化一致。因此,采用驯化后的污泥,可显著延长苎麻废弃物厌氧消化产甲烷量的高峰期,缩减或消除缓滞期,提高了原料产甲烷速率,有利于快速获取甲烷能源。

3 结论

苎麻废弃物厌氧消化产沼气出现两个高峰,甲烷百分比在一周左右可快速上升至55%以上,原料产甲烷潜力为 $44 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜料,即 $194 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{TS}$ 。直接采用普通接种物,苎麻废弃物表现出厌氧消化可行性,采用驯化后的污泥,可使甲烷百分比快速上升,明显缩减或消除产甲烷缓滞期,延长产气高峰期,提升原料产甲烷速率。所以下一步计划在厌氧消化过程中进行微生物群落的对比分析,以解析污泥驯化有利于苎麻废弃物厌氧消化的机理,通过调控微生物活性,进一步增加其产甲烷量 and 处理效率。

参考文献:

- [1] 毕文霞,徐玉芳,黄仲丽. 苎麻/棉混纺纱的生产实践[J]. 河南纺织高等专科学校学报 2005 (03): 32-34.
- [2] 陈克炎,刘超,唐建东,等. 苎麻棉混纺织物的生产工艺优化[J]. 棉纺织技术 2015 43(02): 65-68.
- [3] 邓剑锋,阳尧端. 苎麻生产工艺及剥制机械的研制[J]. 农业机械 2009 (06): 87-91.
- [4] 郁崇文,张元明,姜繁昌. 苎麻纱线生产工艺与质量控制[J]. 中国纺织大学学报 1998 (02): 40.
- [5] 白玉超,郭婷,杨瑞芳,等. 氮肥用量、刈割高度对饲用

- 苕麻产量、营养品质及败菹的影响[J]. 草业学报, 2015 24(12): 112–120.
- [6] 曹 诣. 苕麻测土配方施肥效应研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [7] 王郝为, 戴求仲, 侯振平, 等. 饲用苕麻青贮特性及其青贮前后营养成分与饲用价值比较[J]. 动物营养学报, 2018 30(01): 293–298.
- [8] 魏金涛, 严念东, 杨雪海, 等. 苕麻及副产物作为饲料原料的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2015 36(S1): 17–20.
- [9] 魏金涛, 杨雪海, 严念东, 等. 苕麻营养成分分析及瘤胃降解特性研究[J]. 草业学报, 2017 26(05): 197–204.
- [10] 朱涛涛, 朱爱国, 余永廷, 等. 苕麻饲料化的研究[J]. 草业科学, 2016 33(02): 338–347.
- [11] APHA. Methods for Examination of Water and Wastewater[C]//20th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington D C, 1998.
- [12] Soest P J v, Robertson J B, Lewis B A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. J Dairy Sci, 1991 74(10): 3583–3597.
- [13] Bareither C A, Wolfe G L, McMahon K D, et al. Microbial diversity and dynamics during methane production from municipal solid waste[J]. Waste Manage, 2013 33(10): 1982–1992.
- [14] Cater M, Fanel L, Logar R M. Microbial Community Analyses in Biogas Reactors by Molecular Methods[J]. Acta Chimica Slovenica, 2013 60(2): 243–255.
- [15] Chung Y C, Chang Y C, Chen Y P, et al. Analysis of microbial diversity and optimal conditions for enhanced biogas production from swine waste anaerobic digestion[J]. J Renew Sustain Ener, 2013 5(5).