

◆特邀专稿◆

甘蔗渣霉变对厌氧发酵产沼气的影响^{*}陆兵¹, 黄章南¹, 李秀萍², 潘世优¹, 黎贞崇³, 韦宇拓^{1**}

(1. 广西大学生命科学与技术学院, 广西微生物与酶工程技术研究中心, 广西南宁 530004; 2. 宜宾职业技术学院五粮液技术与食品工程学院, 四川宜宾 644003; 3. 广西科学院, 广西南宁 530007)

摘要:为探究霉变对甘蔗渣厌氧发酵产沼气的的影响,本研究选取正常的甘蔗渣和霉变的甘蔗渣,对其结构、理化性质、发酵过程参数和物质去除率进行测定。结果表明,霉变的甘蔗渣结构被破坏,且表面存在较多的附着物和微生物。与正常的甘蔗渣相比,霉变的甘蔗渣含水量提高44.6%,可溶性糖含量降低95.4%,总氮含量提高48.6%,木质纤维素含量增加。在厌氧发酵过程中,正常甘蔗渣的溶解性化学需氧量最高值(3 229.0 mg/L)是霉变的甘蔗渣的3.4倍,且正常的甘蔗渣的总挥发酸(Total Volatile Fatty Acids, TVFA)最大值为1 855.8 mg/L,比霉变的甘蔗渣高26.2%。此外,霉变的甘蔗渣总固体(Total Solids, TS)去除率比正常的甘蔗渣减少17.2%,挥发性固体(Volatile Solids, VS)去除率仅为正常甘蔗渣的56.7%,累积沼气产量和甲烷产量比正常的甘蔗渣分别降低60.6%和77.9%。综上,甘蔗渣霉变后结构遭到破坏,可溶性糖含量急剧下降,产沼气潜力大大降低。

关键词:甘蔗渣; 储存; 霉变; 厌氧发酵; 沼气

中图分类号: S216.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2023)04-0341-08

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20231226.001

甘蔗作为重要的糖料作物之一,被广泛种植于热带和亚热带地区^[1,2]。据联合国粮食及农业组织统计数据库(FAOSTAT)统计,2020年我国甘蔗产量和种植面积分别为 1.09×10^8 t和 1.4×10^6 hm²,在世界上排名分别为第三名和第四名^[3-5]。甘蔗渣是甘蔗压榨制糖后的废弃物,目前全世界的甘蔗渣年产量为 5.13×10^8 t^[6]。我国约有50%的甘蔗渣被用于燃烧发电,这不仅会造成环境污染,而且会有大量的甘

蔗渣未被利用^[7,8]。未被及时利用的甘蔗渣,就需要考虑回收和储存的问题。压榨后的甘蔗渣含有约50%的水分,一定量的可溶性糖、粗蛋白质和木质纤维素,如果储存管理不到位,很容易滋生微生物,从而产生霉变^[9-11]。厌氧发酵产沼气技术是一种清洁且很有前景的技术,目前已有研究者对甘蔗渣产沼气进行了研究^[12,13]。甘蔗渣厌氧发酵的研究大多集中在

收稿日期: 2023-09-04

修回日期: 2023-10-09

* 国家自然科学基金面上项目(52270121)和教育部科技发展中心“虚拟仿真技术在职业教育教学中的创新应用”专项课题(ZJXF2022244)资助。

【第一作者简介】

陆兵(1988-),男,在读博士研究生,主要从事生物技术、生物质资源转化技术研究, E-mail: 583391765@qq.com。

【**通信作者简介】

韦宇拓(1971-),男,教授,主要从事生物技术、生物质资源转化技术研究, E-mail: weiyutuo@gxu.edu.cn。

【引用本文】

陆兵,黄章南,李秀萍,等.甘蔗渣霉变对厌氧发酵产沼气的的影响[J].广西科学院学报,2023,39(4):341-348.

LU B, HUANG Z N, LI X P, et al. Effect of Moldy Sugarcane Bagasse on Biogas Production by Anaerobic Fermentation [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(4): 341-348.

提高沼气产量上,如预处理和共消化^[14,15]。在各种预处理方法中,微生物预处理因其环境友好,不需要消耗能量和化学物质而经常被使用^[16]。但是,微生物预处理木质纤维素生物质时间长,且其产沼气的效果难以控制,有时还会出现产气量降低的结果^[17,18]。

目前,关于甘蔗渣霉变对其厌氧发酵产沼气的影响以及其沼气产量下降的原因的研究较少。因此,本研究对正常和霉变的甘蔗渣进行厌氧发酵产沼气研究,比较其内在结构、理化性质、发酵参数和物质去除率,分析甘蔗渣霉变后沼气产量下降的原因,以期对甘蔗渣的储存和沼气生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 厌氧发酵接种物

厌氧发酵接种物为实验室常用污泥^[19],甘蔗渣由广西糖蔗压榨获得。甘蔗渣自然放置于实验室储藏室1个月后,从中挑选出正常的、没有长霉的甘蔗渣(SCB-C)和霉变的甘蔗渣(SCB-R)。将甘蔗渣剪成1 cm×1 cm×1 cm块状,用于厌氧发酵。

1.1.2 主要试剂

盐酸、浓硫酸、乙二醇乙醚购自廉江市爱廉贸易有限公司,重铬酸钾购自中国医药公司北京采购供应站,乙二胺四乙酸二钠、苯酚购自国药集团化学试剂有限公司,邻苯二甲酸氢钾、丙酮购自天津市大茂化学试剂厂,亚硝基铁氰化钠、硫酸银、次氯酸钠购自生工生物工程(上海)股份有限公司,十六烷基三甲胺溴、十二烷基硫酸钠购自阿拉丁试剂(上海)有限公司。

1.1.3 主要仪器

GC9790-II 气相色谱仪(浙江福立分析仪器股份有限公司),GC-1120 气相色谱仪(上海舜宇恒平科学仪器有限公司),PHS-3C 型 pH 计(上海仪电科学仪器有限公司),SX2-5-12A 箱式电阻炉(上海索域试验设备有限公司),HWXL-9420A 恒温烘箱(上海精宏实验设备有限公司),HH-6 恒温水浴锅(常州国华电器有限公司),Elx800 全自动酶标仪(美国 BioTek 公司),扫描电子显微镜(FEI Quattro S,美国赛默飞公司)。

1.1.4 厌氧发酵反应器

厌氧发酵装置如图1所示。厌氧发酵反应器为2.5 L 的玻璃容器,容器口用相应尺寸的硅胶塞盖紧,硅胶塞上开两个孔,一个连接气体收集袋,用于收

集厌氧发酵产生的沼气,另一个用于发酵液取样。

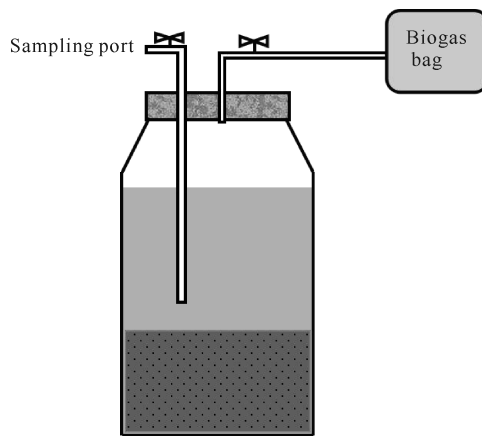


图1 厌氧发酵反应器

Fig. 1 Anaerobic fermentation reactor

1.2 方法

1.2.1 厌氧发酵试验设计

厌氧发酵试验分两组进行,即 SCB-C 组和 SCB-R 组。两组采用相同的发酵体系,即底物浓度为 7.5 g VS/L,接种物与底物的比例为 1:1 (基于 VS),最后添加自来水至工作体积 2.2 L。在 35 °C 恒温水浴下,厌氧发酵 35 d,每天手动摇匀两次。厌氧发酵开始后,每天对沼气进行测定,12 d 后每 2 d 或 4 d 对沼气测定 1 次。在厌氧发酵过程中,每隔 2-3 d 采集发酵液,对发酵过程参数 pH 值、总氨氮(Total Ammonia Nitrogen, TAN)、溶解性化学需氧量(Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD)和总挥发酸(Total Volatile Fatty Acids, TVFA)进行测定。

1.2.2 样品表征

甘蔗渣的微观形态采用扫描电子显微镜在 2 000 倍的情景下进行表征。

1.2.3 测定方法

含水量、总固体(Total Solids, TS)、挥发性固体(Volatile Solids, VS)采用干重法测定^[20],TS 和 VS 去除率分别采用甘蔗渣沼气发酵前后 TS 和 VS 重量减少的百分比来表示;pH 值由 pH 计测定;SCOD 参照 APHA 标准方法测定^[21];TAN 采用靛酚蓝比色法测定^[22];TVFA 使用气相色谱仪测定^[23];可溶性糖采用苯酚-硫酸法测定^[24];木质纤维素采用范氏(Van Soest)洗涤法测定^[25];总氮使用凯氏定氮法测定^[26]。沼气产量用带刻度的针筒从集气袋中抽取进行测定,沼气中甲烷含量用气相色谱仪测定^[12]。

1.3 数据处理

每个试验均设置 3 个平行,试验结果采用均值 ±

标准差表示,用 Microsoft Office Excel 2019 和 GraphPad Prism 9 进行数据处理和绘图。

2 结果与分析

2.1 甘蔗渣微观形态

甘蔗渣的微观形态如图 2 所示。从图 2(a)、(b) 可以看出,SCB-C 的外表面和内部结构均较为光滑平坦,且表面附着物少;其内部骨架清晰,孔隙均匀,未受到明显破坏,结构完整。从图 2(c) 可以看出,SCB-R 的外表面存在较多附着物,结构粗糙。从图 2(d) 可以看出,SCB-R 内部骨架因大量的附着物覆盖而难以辨别,还存在较多的菌丝和真菌。由此可知,经过储存后,霉变会对甘蔗渣的形态结构造成显著的影响。

2.2 甘蔗渣理化指标分析

两种甘蔗渣样品的理化指标分析结果如表 1 所示。由表 1 可知,甘蔗渣发生霉变后其含水量(56.8%)会保持较高水平,是正常储存的甘蔗渣含水量(12.8%)的 4.4 倍。SCB-R 组中的总固体率与 SCB-C 相比有所下降,但两者的挥发性固体则相对一致。此外,SCB-C 组和 SCB-R 组中的可溶性糖含量分别为 10.9、0.5 mg/g,可见甘蔗渣霉变后其可溶性糖几乎被消化完,下降幅度达到 95.4%。SCB-R 组中的总氮含量为 51.7 mg/g,比 SCB-C 组提高

表 1 甘蔗渣的理化指标分析结果

Table 1 Analysis results of physicochemical indexes of sugarcane bagasse

样品 Sample	含水量/ (%,w/w) Water content/ (%,w/w)	总固体率/ (%,w/w) Total solids rate/ (%,w/w)	挥发性固体/ (%,TS) Volatile solids/ (%,TS)	可溶性糖/ (mg/g) Soluble sugar/ (mg/g)	总氮/ (mg/g) Total nitrogen/ (mg/g)	纤维素/ (%,TS) Cellulose (%,TS)	半纤维素/ (%,TS) Hemicellulose (%,TS)	酸不溶性 木质素/ (%,TS) Acid insoluble lignin/ (%,TS)
SCB-C	12.8±0.7	87.2±0.7	94.9±1.8	10.9±0.4	34.8±2.3	33.3±1.2	22.8±1.1	6.7±1.1
SCB-R	56.8±1.9	43.2±1.9	95.2±1.5	0.5±0.1	51.7±4.2	43.8±3.0	29.6±0.3	10.3±2.3

2.3 甘蔗渣产沼气变化

甘蔗渣样品每日沼气、甲烷产量以及累积沼气、甲烷产量如图 3 所示。从图 3 可以看出,SCB-C 组和 SCB-R 组中每日沼气产量与甲烷产量的趋势具有较高的一致性,与 Pan 等^[27] 的报道相似。由图 3(a) 可知,SCB-C 组有两个产气高峰,第 1 个产气高峰为第 1 天,日产沼气体积达 85.8 mL/g VS,这是由 SCB-C 的可溶性糖较多且主要用于微生物生长繁殖所造成的,所以此时的日产甲烷量较低;第 2 个产气高峰为第 6 天,日产沼气体积为 45.2 mL/g VS,此时日产甲

烷量也达到最高峰,为 32.1 mL/g VS,此后日产沼气和甲烷量逐渐下降。从图 3(b) 可以看出,SCB-R 组只有一个产气高峰,日产沼气和甲烷分别在第 2 天和第 3 天达到最高峰,日产沼气和甲烷的量分别为 14.9、3.1 mL/g VS。在整个厌氧发酵期间,SCB-C 组的产气量远大于 SCB-R 组。从图 3(c)、(d) 可以看出,SCB-C 组的累积沼气产量为 276.1 mL/g VS,是 SCB-R 组累积沼气产量(108.7 mL/g VS)的 2.5 倍;SCB-C 组的累积甲烷产量为 103.4 mL/g VS,是 SCB-R 组累积甲烷产量(22.8 mL/g VS)的 4.5 倍。

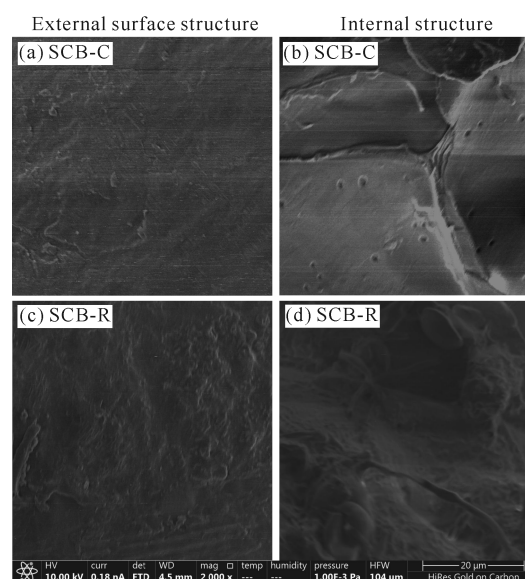


图 2 甘蔗渣外表面和内部结构的 SEM 图(×2 000)

Fig. 2 SEM images of sugarcane bagasse's outside surface and internal structure (×2 000)

烷量也达到最高峰,为 32.1 mL/g VS,此后日产沼气和甲烷量逐渐下降。从图 3(b) 可以看出,SCB-R 组只有一个产气高峰,日产沼气和甲烷分别在第 2 天和第 3 天达到最高峰,日产沼气和甲烷的量分别为 14.9、3.1 mL/g VS。在整个厌氧发酵期间,SCB-C 组的产气量远大于 SCB-R 组。从图 3(c)、(d) 可以看出,SCB-C 组的累积沼气产量为 276.1 mL/g VS,是 SCB-R 组累积沼气产量(108.7 mL/g VS)的 2.5 倍;SCB-C 组的累积甲烷产量为 103.4 mL/g VS,是 SCB-R 组累积甲烷产量(22.8 mL/g VS)的 4.5 倍。

此外,通过观察累积产气量曲线可知,在 SCB-C 组的厌氧发酵中,90%的沼气和甲烷分别在前 8 d 和前 7 d 产生,分别比 SCB-R 组快 14 d 和 13 d。综上可知,

不仅 SCB-C 组的产气量大于 SCB-R 组,而且 SCB-C 组的产气速率也远比 SCB-R 组快。

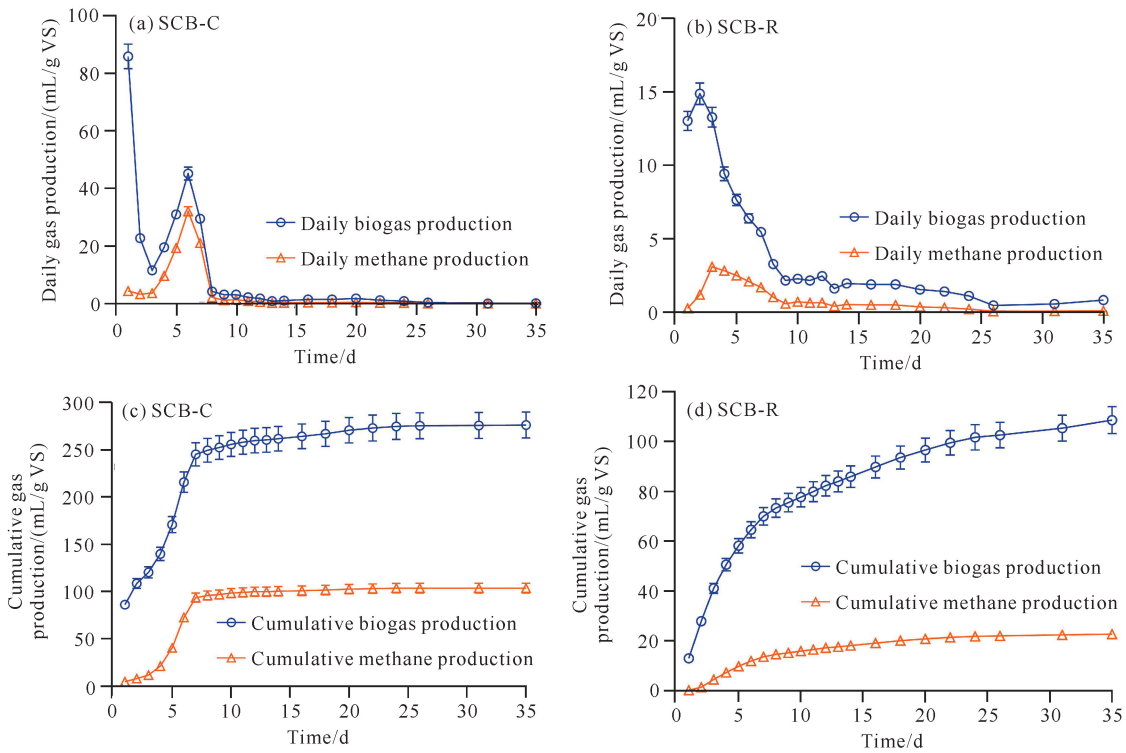


图3 不同甘蔗渣样品的每日产气量和累积产气量

Fig. 3 Daily gas yield and cumulative gas production of different sugarcane bagasse samples

2.4 甘蔗渣厌氧发酵过程参数变化

在厌氧发酵中,对不同甘蔗渣的发酵过程参数(pH值、SCOD、TAN和TVFA)进行监测,结果如图4所示。由图4(a)可知,厌氧发酵开始后,SCB-C组和SCB-R组的pH值均迅速下降,特别是SCB-C组的pH值下降至5.5,这是由SCB-C组的可溶性糖等物质的水解、酸化产生的。由图4(b)可知,厌氧发酵前期,SCB-C组SCOD的最高值(3 229.0 mg/L)远大于SCB-R组的最高值(954.0 mg/L)。由图4(c)可知,在1-22 d内,SCB-R组的TAN值(159.7-175.0 mg/L)均高于同时期的SCB-C组(148.9-167.2 mg/L),但是由于SCB-R组缺乏可溶性糖,故仅TAN的提高并未对SCB-R的产气量有很好的提升作用。如图4(d)所示,SCB-C组TVFA的最大值为1 855.8 mg/L,比SCB-R组的最大值(1 470.3 mg/L)高26.2%。随着SCB-C组和SCB-R组SCOD和TVFA逐渐被消耗,两组的pH值逐渐上升并恢复至原来的水平。在整个厌氧发酵周期中,除

SCB-C组和SCB-R组的pH值在发酵前期不处于最佳产甲烷范围(pH值为6.5-7.5)外^[28],其他指标均处于厌氧发酵的正常范围之内,也未观察到高浓度的TAN和TVFA的积累,厌氧发酵系统稳定性良好。

2.5 甘蔗渣厌氧发酵的TS和VS去除率

厌氧发酵结束后,收集不同甘蔗渣的固体沼渣,并在105℃下烘干,进行甘蔗渣厌氧发酵的TS和VS去除率分析,其结果如图5所示。由图5可知,经过35 d的厌氧发酵,SCB-C组的TS去除率为40.3%,SCB-R组的TS去除率为23.1%,比SCB-C组少17.2%,这主要是SCB-C组的可溶性糖、SCOD等含量较高且易于厌氧消化所致。SCB-R组的VS去除率为21.6%,仅为SCB-C组(38.1%)的56.7%。综上,SCB-C组的TS和VS去除率均明显大于SCB-R组。有研究表明在理论上原料中的VS去除越多,转化为生物能源就越多^[23],这与本研究中SCB-C组的产气量高于SCB-R组的结果一致。

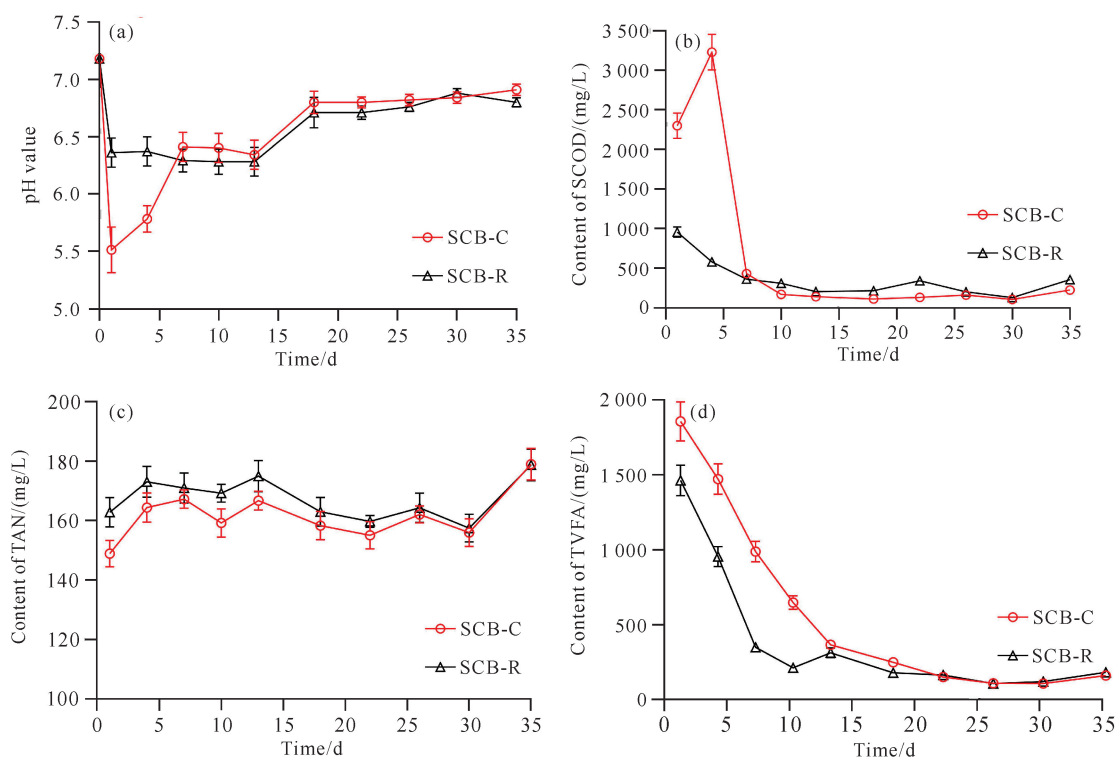


图4 不同甘蔗渣样品厌氧发酵过程参数的变化

Fig. 4 Changes of anaerobic fermentation parameters of sugarcane bagasse samples

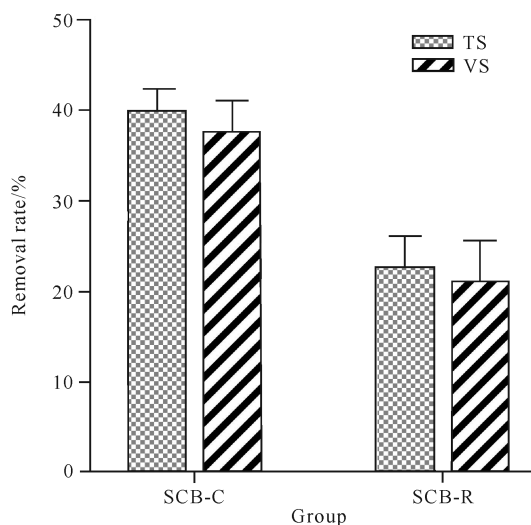


图5 不同甘蔗渣样品厌氧发酵的 TS 和 VS 去除率

Fig. 5 Removal rates of TS and VS of sugarcane bagasse samples in anaerobic fermentation

3 讨论

本研究对压榨后的、在室内自然条件储存的甘蔗渣微观形态和理化性质进行了研究,发现霉变的甘蔗渣的结构和性质都发生了显著变化。甘蔗渣在室内自然储存会接触地面和空气中的大量微生物,加之压榨后的甘蔗渣含有水分和可溶性糖,这实际上可以看

成是一个缓慢的生物发酵过程。在此过程中,如果甘蔗渣的水分没有及时去除,甘蔗渣的颜色会从淡黄色逐渐转变为深褐色或黑褐色,这可能是大部分正常的甘蔗渣处于堆积储存表层,而霉变的甘蔗渣处于堆积储存的内部,从而使霉变的甘蔗渣保持充足水分,加之有较容易利用的糖类,会使微生物在甘蔗渣上大量繁殖,从而形成腐败、霉斑,或如杜珂珂等^[29]报道的生物预处理水稻秸秆后,更多的木质素被暴露出来所致。同时,微生物会破坏甘蔗渣表面的蜡质层,使不能降解的硅脱落^[29,30],使得甘蔗渣表面的结构变得更加粗糙。随着储存时间的延长,微生物会进入甘蔗渣内部,消化容易利用的组分,进一步破坏甘蔗渣的内部结构^[29],从而使其结构坍塌且布满微生物。因此,压榨后的甘蔗渣如需长期存放,应注意通风干燥,尽量避免堆放,使水分快速降低,以防甘蔗渣腐败和霉变。

此外,本研究发现 SCB-R 组的累积沼气产量和甲烷产量比 SCB-C 组分别降低 60.6% 和 77.9%,该结果与范晓娟等^[18]用白腐菌糙皮侧耳预处理水葫芦 (*Eichhornia crassipes*) 25 d,其沼气产量和甲烷产量分别降低的报道一致。柴春月等^[17]对生物预处理小麦秸秆产沼气的研究发现,生物预处理 10 d 和 15 d 时,沼气产量分别比对照组提高 42.0% 和 41.0%,当

预处理时间超过 20 d 时, 沼气产量反而下降 37.0%, 可能是生物预处理时间过长, 微生物消耗了较多产沼气的底物, 这与本研究中 SCB-R 组的可溶性糖比 SCB-C 组急剧下降的结果一致。本研究中 SCB-R 组的总氮含量比 SCB-C 组高, 与楚莉莉等^[31]报道的生物预处理可以降低秸秆的碳氮比、提高氮含量的结果相似, 这虽然有利于沼气发酵, 但是缺乏易厌氧消化的底物也使得沼气发酵难以进行。本研究中 SCB-R 组的产气量下降和产气速率变慢, 其原因可能是在沼气发酵过程中缺乏可溶性糖, 使沼气发酵启动困难, 该结果与 Pan 等^[15]的研究一致。此外, 李砚飞等^[32]研究发现木霉对纤维素和木质素的降解效果较差, 以及 Qu 等^[30]研究发现生物预处理会提高纤维的结晶度, 这些情况也会阻碍沼气发酵。因此, 考虑到木质纤维素生物质的沼气发酵中可溶性糖-纤维-氮素的营养平衡, 甘蔗渣的生物预处理时间应避免过长。

4 结论

本研究通过对正常和霉变两种不同形态的甘蔗渣进行对比, 探究了甘蔗渣霉变对其结构、理化性质和厌氧发酵产沼气的影响。结果表明, 霉变的甘蔗渣的结构被破坏, 其理化性质发生了很大改变, 木质纤维素含量有所上升。在厌氧发酵过程中, SCB-C 组的 SCOD 和 TVFA 最高值远大于 SCB-R 组, SCB-R 组的 TS 和 VS 去除率均小于 SCB-C 组, SCB-R 组的累积沼气产量和甲烷产量比 SCB-C 组分别降低 60.6% 和 77.9%。总之, 压榨后的甘蔗渣如果储存不当, 其结构会被破坏, 可溶性糖含量急剧下降, 沼气发酵启动困难, 固体去除率降低, 从而大大削弱了其产沼气的潜力。因此, 压榨后的甘蔗渣如需长期存放, 应注意通风干燥, 尽量避免堆放, 使水分快速降低, 以防甘蔗渣腐败和霉变导致可溶性糖的损失。此外, 甘蔗渣含有丰富的木质纤维素, 而氮素相对缺乏, 对其进行生物预处理可破坏木质纤维素结构、增加氮含量, 然而过度的生物预处理会消耗大量的可溶性糖, 从而打破沼气发酵中可溶性糖-纤维-氮素的平衡, 所以甘蔗渣的生物预处理时间不宜过长。

参考文献

- [1] POWAR R V, MEHETRE S A, POWAR T R, et al. End-use applications of sugarcane trash: a comprehensive review [J]. Sugar Tech, 2022, 24(3): 699-714.
- [2] 阮莉珺, 张男吉, 刘巍, 等. 甘蔗渣营养价值及其在反刍动物上的应用研究进展 [J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(9): 39-44.
- [3] FAO. FAOSTAT [DB/OL]. [2022-12-25]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [4] 周一帆, 杨林生, 孟博, 等. 中国甘蔗主产区产量差及影响因素分析 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(11): 2377-2388.
- [5] 周慧文, 陆桂军, 吴建明, 等. 中国甘蔗种业发展研究进展 [J]. 广西科学, 2023, 30(3): 421-433.
- [6] PAN S Y, ZABED H M, WEI Y T, et al. Technoeconomic and environmental perspectives of biofuel production from sugarcane bagasse: current status, challenges and future outlook [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 188: 115684.
- [7] 刘洋, 姚艳丽, 徐磊, 等. 甘蔗渣生产燃料乙醇技术研究现状与展望 [J]. 甘蔗糖业, 2016(6): 45-52.
- [8] 李冲, 谭慧娟, 廖正福. 甘蔗渣纤维的改性及其对水溶液中 Cu^{2+} 的吸附性能研究 [J]. 化工技术与开发, 2023, 52(3): 16-20, 69.
- [9] 梁杰珍, 陈小鹏, 王琳琳, 等. 蔗渣(髓)水解制备生物乙醇的研究进展 [J]. 广西科学, 2015, 22(1): 71-77, 93.
- [10] 韦艳, 郭玮, 黄惠慧, 等. 超声辅助低共熔溶剂法提取甘蔗渣纤维素的工艺研究 [J]. 饲料研究, 2023, 46(11): 90-94.
- [11] 金鑫, 王靖文, 王鑫, 等. 霉变对储存水稻燃烧行为影响的研究 [J]. 火灾科学, 2020, 29(1): 10-22.
- [12] ZHOU L, GUO F, PAN S Y, et al. Synergistic digestion of banana pseudo-stems with chicken manure to improve methane production: semi-continuous manipulation and microbial community analysis [J]. Bioresource Technology, 2021, 328: 124851.
- [13] REENA R, ALPHY M P, RESHMY, et al. Sustainable valorization of sugarcane residues: efficient deconstruction strategies for fuels and chemicals production [J]. Bioresource Technology, 2022, 361: 127759.
- [14] AGARWAL N K, KUMAR M, GHOSH P, et al. Anaerobic digestion of sugarcane bagasse for biogas production and digestate valorization [J]. Chemosphere, 2022, 295: 133893.
- [15] PAN S Y, ZABED H M, LI Z Q, et al. Enrichment and balancing of nutrients for improved methane production using three compositionally different agro-livestock wastes: process performance and microbial community analysis [J]. Bioresource Technology, 2022, 357: 127360.
- [16] MACHADO A D S, FERRAZ A. Biological pretreatment of sugarcane bagasse with basidiomycetes producing varied patterns of biodegradation [J]. Bioresource Technology, 2017, 225: 17-22.
- [17] 柴春月, 田龙. 黄孢原毛平革菌预处理小麦秸秆制沼气研究 [J]. 中国沼气, 2018, 36(3): 49-52.
- [18] 范晓娟, 朱红梅, 韩士群, 等. 白腐菌对水葫芦木质纤维素的降解及对厌氧发酵的影响 [J]. 江苏农业学报, 2013, 29(5): 1043-1050.

- [19] PAN S Y, CHI Y, ZHOU L, et al. Evaluation of squeezing pretreatment for improving methane production from fresh banana pseudo-stems [J]. *Waste Management*, 2020, 102: 900-908.
- [20] 孙宇, 刘燕, 陈啸天, 等. 柳枝稷与苜蓿的共发酵对厌氧发酵体系产气效率及微生物群落的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(12): 200-212.
- [21] 王媛媛, 郑世超, 黄文力, 等. 零价铁与磁铁矿促进半干式猪粪厌氧产甲烷的效能与机理研究[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(12): 215-223.
- [22] 孟艳, 柳丽, 李屹, 等. 酸碱预处理辣椒秸秆与羊粪混合厌氧发酵特性[J]. *浙江农业学报*, 2021, 33(10): 1913-1920.
- [23] PAN S Y, WEN C, LIU Q Q, et al. A novel hydraulic biogas digester controlling the scum formation in batch and semi-continuous tests using banana stems [J]. *Bioresource Technology*, 2019, 286: 121372.
- [24] HUANG W W, YUAN T, ZHAO Z W, et al. Coupling hydrothermal treatment with stripping technology for fast ammonia release and effective nitrogen recovery from chicken manure [J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2016, 4(7): 3704-3711.
- [25] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [26] 杨旭, 孟祥玉, 宋丽丽, 等. 微贮干玉米秸秆和废弃物单相厌氧共消化产沼气能力分析[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(1): 188-194.
- [27] PAN S Y, LIU Q Q, WEN C, et al. Producing biogas from rice straw: kinetic analysis and microbial community dynamics [J]. *Bioenergy Research*, 2021, 14(4): 1338-1348.
- [28] VELUCHAMY C, GILROYED B H, KALAMDHAD A S. Process performance and biogas production optimizing of mesophilic plug flow anaerobic digestion of corn silage [J]. *Fuel*, 2019, 253: 1097-1103.
- [29] 杜珂珂, 雍成, 孙恩惠, 等. 生物预处理秸秆纤维特性及复合材料的性能研究[J]. *浙江农林大学学报*, 2022, 39(4): 869-875.
- [30] QU P, HUANG H Y, ZHAO Y F, et al. Physicochemical changes in rice straw after composting and its effect on rice-straw-based composites [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, 134(22): 44878.
- [31] 楚莉莉, 田孝鑫, 杨改河. 不同生物预处理对玉米秸秆厌氧发酵产气特性的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2014, 45(4): 118-122.
- [32] 李砚飞, 黄亚丽, 代树智, 等. 复合微生物预处理玉米秸秆产沼气的试验研究[J]. *可再生能源*, 2013, 31(5): 80-83.

Effect of Moldy Sugarcane Bagasse on Biogas Production by Anaerobic Fermentation

LU Bing¹, HUANG Zhangnan¹, LI Xiuping², PAN Shiyou¹, LI Zhenchong³, WEI Yutuo^{1* *}

(1. Guangxi Microorganism and Enzyme Research Center of Engineering Technology, College of Life Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Wuliangye College of Technology and Food Engineering, Yibin Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan, 644003, China; 3. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

Abstract: In order to explore the effect of moldy sugarcane bagasse on biogas production by anaerobic fermentation, normal sugarcane bagasse and moldy sugarcane bagasse were selected to determine their structure, physicochemical properties, fermentation process parameters, and substance removal rate. The results showed that the structure of moldy sugarcane bagasse was destroyed, and there were more attachments and microorganisms on its surface. Compared with normal sugarcane bagasse, the moisture content of moldy sugarcane bagasse increased by 44.6%, the soluble sugar content decreased by 95.4%, the total nitrogen content increased by 48.6%, and the lignocellulose content increased. During the anaerobic fermentation process, the maximum value of soluble chemical oxygen demand (3 229.0 mg/L) of normal sugarcane bagasse was 3.4

times that of moldy sugarcane bagasse, and the maximum value of Total Volatile Fatty Acids (TVFA) of normal sugarcane bagasse was 1 855.8 mg/L, which was 26.2% higher than that of moldy sugarcane bagasse. In addition, the Total Solids (TS) removal rate of moldy sugarcane bagasse was 17.2% lower than that of normal sugarcane bagasse. The Volatile Solids (VS) removal rate of moldy sugarcane bagasse was only 56.7% of that of normal sugarcane bagasse. The cumulative biogas production and methane production of moldy sugarcane bagasse were reduced by 60.6% and 77.9%, respectively, compared with normal sugarcane bagasse. In summary, the structure of sugarcane bagasse is destroyed after moldy transformation, and the soluble sugar content decreases sharply, greatly reducing the potential for biogas production.

Key words: sugarcane bagasse; storage; moldy; anaerobic fermentation; biogas

责任编辑:唐淑芬

《广西科学院学报》致谢 2022 - 2023 年编委以及审稿专家

寒来暑往,又到了一年末。在主管主办单位广西科学院的领导和大力支持下,得益于全体编委和审稿专家的辛苦付出,《广西科学院学报》顺利完成了 2023 年度的出版任务。作为一本普通期刊,《广西科学院学报》始终坚持特色办刊,在稿源不足、整体稿件质量不佳的情况下,编委们不辞辛劳,始终以饱满的热情组织稿件;来自各学科领域的审稿专家们,在繁忙的本职工作中心系期刊的发展,严格把关、悉心指导,表现出严谨的治学态度、强烈的责任感和崇高的奉献精神。努力总会有收获,2022、2023 年期刊的复合影响因子均在 1.0 以上,表现出良好的发展态势!因此,《广西科学院学报》编辑部谨向以下审稿专家致以诚挚的敬意和最衷心的感谢!并祝各位在新的一年里工作顺利、万事如意!

马艳弘	王广华	王丹	王玉邦	王芳	王青艳	王祎	王桂文	王祥红	王康才	王嫣
韦宇拓	韦树根	韦霄	韦毅刚	尹俊梅	孔凡磊	邓立宝	邓年春	邓旺秋	邓雁如	双全
石苗苗	石洪源	卢立华	申乃坤	申玉春	田道法	史晓翀	冉祥滨	冯民权	巩杰	过杰
毕忠勤	吕郁彪	朱志斌	朱奇宏	朱俊杰	朱晓妹	朱鹏锦	任宗昕	任黎	伊力塔	向悟生
庄燕培	刘广斌	刘天红	刘文耀	刘布鸣	刘乐军	刘永贤	刘连芳	刘灵	刘松	刘春林
刘洪波	刘峰	齐占会	农旭华	孙小军	孙宗喜	严寒静	苏伟强	杜冰	杜欣	李开祥
李友宾	李文龙	李先琨	李典鹏	李怡萍	李宝泉	李建龙	李春莲	李艳波	李陶深	李琳
李瑞杰	李鹏飞	李靖	李意德	杨秀芳	杨建刚	杨勇	杨振德	杨盛昌	杨登峰	杨献文
杨楠	杨键	杨慧良	杨曦亮	肖秀春	肖蓉	吴海一	吴鸿	邱永福	何铁光	余有本
沐万孟	沙婧婧	沈洪涛	沈振萍	沈浩	宋世威	宋勇	宋雪萍	张文虎	张文辉	张正旺
张石宝	张全发	张全斌	张林平	张国	张宝贵	张荣京	张彦东	张晓勇	张超兰	张新
陆俊	陈云浩	陈江义	陈尚	陈国福	陈波	陈燕	招礼军	范兰芬	欧善生	易小林
易传辉	罗永巨	罗奇	罗赵慧	罗毅波	金大海	金效华	周本杰	周永权	周放	周厚兵
周俊	周洪雷	周晓果	庞浩	郑江	郑景辉	郑嘉利	赵宇鸾	赵志刚	赵冠伟	赵斌
胡江苗	胡兴宜	胡建湘	柳勇	侯小涛	饶为国	姜琦刚	姚绍嫦	姚维志	姚瑞玲	贺军虎
莫君明	夏鹏国	柴玲	徐泽水	徐新亚	高学鲁	高隽	郭慧	唐凤鸾	唐其	唐绍清
唐培和	黄夕洋	黄仕训	黄廷磊	黄志勇	黄建峰	黄荣韶	黄胜阳	黄振烈	黄浩	黄维平
黄柳林	龚德鸿	盛茂银	崔正国	崔毅	庾韦花	梁士楚	董玉坤	董全	董克君	蒋先军
蒋忠诚	蒋妮	蒋爱伍	韩文炎	覃丽	覃晓	焦俊	舒灿伟	鲁长虎	曾宋君	温延臣
谢树莲	蓝文陆	廖宏	阙光明	熊建华	熊康宁	缪绅裕	黎晓峰	潘英妮	潘尚领	潘鲁青
霍丹群	魏守兴									

(致谢名单按姓氏笔画排序)