

蜀葵发酵产沼气潜力研究

王菊华¹, 陈玉保¹, 张旭¹, 李兴勇¹, 王芳²

(1. 云南师范大学 能源与环境科学学院, 昆明 650500; 2. 玉溪市红塔区市容环境卫生管理站, 云南 玉溪 653100)

摘要: 为解决蜀葵废弃物浪费及污染环境问题,以蜀葵叶子、蜀葵秸秆、蜀葵花籽为原料,分别进行中温(35℃ ± 1℃)条件批量式沼气发酵实验;发酵料液的 TS 浓度均为 6%,沼气发酵实验的运行时间为 22 d。实验结果表明:蜀葵叶子、蜀葵秸秆、蜀葵花籽发酵产沼气的潜力分别为 397 mL·g⁻¹TS, 481 mL·g⁻¹VS; 264 mL·g⁻¹TS, 280 mL·g⁻¹VS; 290 mL·g⁻¹TS, 314 mL·g⁻¹VS; 池容产气率分别为 0.39 mL·mL⁻¹d⁻¹, 0.26 mL·mL⁻¹d⁻¹, 0.28 mL·mL⁻¹d⁻¹, 蜀葵叶子的产气潜力明显大于蜀葵花籽和蜀葵秸秆的产气潜力,且蜀葵叶子的甲烷含量也较后两者高,说明蜀葵叶子产出的沼气品位较后两者好。与其他原料相比表明:蜀葵适合用作发酵产沼气的原料,且蜀葵叶子发酵产出的沼气品质较好。

关键词: 花籽; 叶子; 秸秆; 发酵; 沼气

中图分类号: S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1166(2019)03-0045-05

Experiment on Biogas Production Potential of *Althaea rosea* / WANG Ju-hua¹, CHEN Yu-bao¹, ZHANG Xu¹, LI Xing-yong¹, WANG Fang² / (1. School of Energy and Environmental Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. The administration station of city appearance and sanitation of Hongta, Yuxi 653100, China)

Abstract: In order to solve the waste and pollution problems of *Althaea rosea*, biogas fermentation of *Althaea rosea*'s straw, leaves and seed were carried out respectively at (35℃ ± 1℃) adopting batch fermentation. With the TS concentration of 6%, the experiment operated for 22 days. The results showed that the biogas production potential of *Althaea rosea*'s straw, leaf and seed was 397mL·g⁻¹ TS, 264 mL·g⁻¹TS, 290 mL·g⁻¹TS, or 481mL·g⁻¹ VS, 280 mL·g⁻¹ VS, 314 mL·g⁻¹ VS, respectively. The volumetric biogas production rate was 0.39 mL·mL⁻¹d⁻¹, 0.26 mL·mL⁻¹d⁻¹, and 0.28 mL·mL⁻¹d⁻¹, respectively. The biogas production potential of *Althaea rosea* leaf was significantly higher than that of seed and straw, and the methane content of *Althaea rosea* leaf was also higher than that of the other two, indicating that *Althaea rosea* leaf had better biogas production quality, could be used as raw material for producing biogas.

Key words: seed; leaves; straw; biogas production potential

蜀葵(英文名 hollyhock),学名 *Althaea rosea* (L.) Cavan,别名一丈红、大蜀葵、熟季花等^[1]。蜀葵是中国的传统花卉^[2]。因来自四川且叶子像葵菜而得名蜀葵^[3]。蜀葵为二年生草本植物,具有观赏、药用、食用等诸多价值^[4]。蜀葵的花朵大、花期长,有红色、黄色、白色和粉色,颇具观赏价值^[5]。蜀葵的种子中富含黄酮^[6]、多糖^[7-8]等成分,具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖的作用^[9]。在大多供观赏的蜀葵中,花期过后蜀葵会被丢弃,不仅浪费生物质资源,还会造成环境污染^[10]。为了充分开发和利用蜀

葵的生物质能源,本文主要对蜀葵的产沼气潜力特性进行了研究,并对秸秆、花籽和叶子的产沼气量进行了比较,探究三者的厌氧消化产沼气潜力,为后续的实验研究提供充足的理论依据。

1 实验材料与方法

1.1 材料

1.1.1 发酵原料

实验分别以蜀葵秸秆、叶子和花籽作为发酵原料,取自云南大学校园绿化带,实验前测定其 TS(总

收稿日期: 2018-08-22 修回日期: 2018-09-15

项目来源: 国家自然科学基金项目(21266032); 云南省外国专家局引进外国人才和智力项目计划(YNS2018005); 国家国际科技合作专项(2015DFA60120)

作者简介: 王菊华(1995-),女,汉族,云南楚雄人,硕士,主要从事生物质能源研究等工作,E-mail:1311160223@qq.com

通信作者: 陈玉保,E-mail:c20072007@163.com; 王芳,E-mail:1224069951@qq.com

固体含量)分别为 37.835%, 25.930%, 18.350%, VS(挥发性固体含量)分别为 35.670%, 21.375%, 16.925%。

1.1.2 接种物

接种物是课题组以猪粪为原料驯化而得,实验前测定其 TS 为 12.695%, VS 为 7.160%。

1.1.3 发酵装置

采用实验室自制的容积为 500 mL 的发酵装置进行试验^[11]。

1.2 方法

1.2.1 发酵原料预处理

把发酵原料蜀葵秸秆剪切至 0.5~1 cm 的小段,把叶子剪碎至 0.1~0.5 cm,把花籽切碎至片状,以便让发酵原料与接种物充分混合。

1.2.2 实验设计

实验采用批量式沼气发酵工艺,按 TS 浓度为 6% 配料,进行中温(35℃ ± 1℃)条件发酵实验,发酵时间为 22 天。设计 3 个实验组和 1 个对照组,每组各设 3 个平行。为保证实验一致,进行单瓶配料。实验组 1:蜀葵秸秆 23.1690 g,接种物 120 mL,加水至 400 mL;实验组 2:蜀葵叶子 33.8064 g,接种物 120 mL,加水至 400 mL;实验组 3:蜀葵花籽 47.2560 g,接种物 120 mL,加水至 400 mL;对照组:

表 1 发酵前后料液 TS, VS 和 pH 值的变化

(%)

组别	发酵前			发酵后		
	TS	VS	pH 值	TS	VS	pH 值
实验组 1	5.312	3.22	7.0	4.585	2.86	7.3
实验组 2	8.653	4.317	7.5	4.485	2.445	7.5
实验组 3	6.128	1.006	7.5	5.345	0.830	7.6
对照组	1.304	0.702	7.0	1.165	0.615	7.0

从表 1 可以看出,沼气发酵前后,实验组 1, 2, 3 和对照组的 TS 和 VS 都有一定程度的降低,说明原料在发酵过程中被部分降解。经计算,实验组 1, 2, 3 的 TS 的降解率分别为 13.69%, 48.17%, 12.78%, VS 的降解率分别为 11.18%, 43.36%, 17.50%;对照组的 TS 和 VS 降解率分别为 10.66% 和 12.39%。以上数据表明,蜀葵的叶子、花籽和秸秆在发酵过程中均被微生物一定程度的有效利用,且叶子的 TS 和 VS 的降解率明显高于花籽和秸秆,这是因为秸秆中的纤维素和木质素未能被微生物充分降解利用所致。整个发酵过程酸化持续时间非常短,酸化阶段产生的挥发性脂肪酸(VFA)很快被产

接种物 120 mL,加水至 400 mL。每天定时记录产气量和按时测定甲烷含量。

1.2.3 测定项目

(1)产气量测定:采用排水集气法测定^[12],实验启动后,每天定时记录各组实验的产气量,并计算各平行组的平均值,以此来表征发酵过程每天的产气量。

(2)甲烷含量测定:采用福立 GC9790 II 型气相色谱仪检测沼气中的甲烷含量,发酵的第 1~10 天每隔 2 d 检测一次各试验组所产沼气的甲烷含量,第 11~22 天每隔 3d 测 1 次各试验组所产沼气的甲烷含量。

(3)TS 和 VS 的测定采用常规分析法^[13]。分别测定沼气发酵前后原料、接种物和发酵料液的 TS 和 VS。

(4)pH 值采用精密试纸测定发酵前后料液的 pH 值(检测范围 5.5~9.0)。

2 结果与讨论

2.1 发酵前后料液各参数对比

发酵时间为 21 d,发酵前后料液 TS, VS 和 pH 值的变化情况见表 1。

甲烷菌消耗利用,所以 pH 值短时间内便恢复正常值范围。

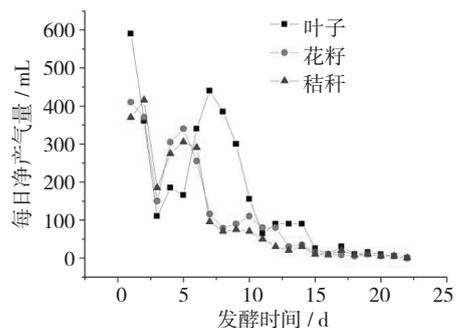


图 1 每日净产气量变化曲线

2.2 产气情况分析

2.2.1 日产气量对比

实验一共运行了 22 d, 各实验组的日净产气量数据绘制结果见图 1。

由图 1 可看出, 3 个实验组的发酵实验启动迅速, 在发酵的第 1 天就迅速产气, 实验组 1, 2, 3 的产气量分别为 370 mL, 590 mL, 410 mL。从图 1 可看出, 蜀葵叶子和花籽第 1 天的产气量即达到最高值, 而秸秆的最大值出现在发酵后的第 2 天, 且叶子第 1 天的产气量明显高于花籽和秸秆。叶子、花籽和秸秆日产气量达最大值后开始下降, 至第 3 天降至最低, 这是由于实验处在发酵的酸化阶段, 由酸积累所致。第 3 天后产气量逐渐慢慢回升, 是因为在微生物的自我调节下, 发酵体系的 pH 值慢慢回升正常值^[14]。当第 5 天时, 花籽和秸秆均达日产气量最高峰, 而叶子的日产气量最高峰出现在第 7 天, 这期间可能是产甲烷菌的活性最强, 且占发酵的主导作用所致, 最高峰之后 3 组日产气量逐渐减少, 至产气结束。由图 1 可看出蜀葵叶子的日产气量最大值和最高峰明显高于花籽和秸秆的, 花籽大于秸秆, 是因为秸秆的纤维素结晶度较高, 不容易被打破为微生物所利用, 而叶子与微生物的接触更完全, 在微生物的作用下细胞壁容易被打破, 叶子更易被分解。3 组实验的发酵周期均较短, 为期 22 d。发酵第 1 天, 分别采用火焰燃烧法点燃气体, 能点燃, 但不能连续燃烧, 说明甲烷含量较低。

2.2.2 甲烷含量

发酵过程中第 1 ~ 10 天为每隔 2 d 检测一次各试验组所产沼气的甲烷含量, 第 11 ~ 22 天为每隔 3 d 测 1 次各试验组所产沼气的甲烷含量, 检测结果见图 2。

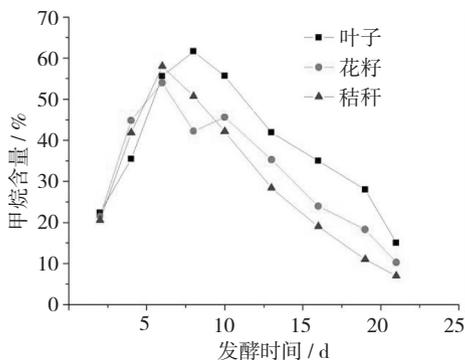


图 2 沼气中甲烷含量的变化曲线

由图 2 可看出, 发酵启动后 3 组实验组的甲烷含量均迅速上升, 发酵第 5 天开始甲烷含量就达

50% 以上, 第 6 天时, 花籽和秸秆的甲烷含量已达最高峰, 亦是彼此的最大值, 而叶子的甲烷含量最高峰和最大值出现在第 8 天, 3 组实验甲烷含量达各自最大值时都分别处在日产气量峰值后的第 2 天, 发酵体系处于产气阶段, 产甲烷菌占主导作用, 所以甲烷产量较大。且叶子的甲烷含量最大值大于花籽和秸秆的甲烷含量最大值, 进入产气高峰期后叶子的甲烷含量亦比花籽和秸秆的甲烷含量高, 表明叶子发酵体系中产甲烷菌繁殖代谢非常活跃, 优势菌群效应较花籽和秸秆发酵体系中明显^[15]。各组甲烷含量达最大值后逐渐减少, 且从第 8 天后花籽和秸秆的甲烷含量低于 50%, 第 13 天后叶子的甲烷含量才开始低于 50%, 说明发酵的第 6 ~ 13 天蜀葵叶子发酵产生的沼气品质较好, 甲烷含量较高; 第 5 ~ 8 天蜀葵秸秆发酵产生的沼气品质较好; 而花籽的仅为第 6 天时发酵产生的沼气品质较好。对比可得: 蜀葵叶子更适合作为厌氧发酵产沼气的原料。从发酵第 10 天开始, 3 组实验甲烷含量逐渐减少, 且甲烷含量由高到低依次为: 叶子 > 花籽 > 秸秆。

2.2.3 累计产气量

统计试验组每 5 d 的累积净产气量, 结果见表 2。

表 2 实验组每 5 d 的累积净产气量

发酵时间 d	累积产气量/mL			占总产气量/%		
	叶子	花籽	秸秆	叶子	花籽	秸秆
5	1410	1575	1550	40.52	62.55	66.90
10	3030	2225	2150	87.07	88.36	92.79
15	3390	2465	2263	97.41	97.79	97.67
20	3475	2513	2314	99.86	99.80	99.87
22	3480	2518	2317	100	100	100

从表 2 可看出, 实验组 3 组在发酵前 10 天的产气量较多, 前 5 天的最多。第 10 天后的产气量较少, 其中秸秆的累积产气量减少得最明显, 花籽的累积产气量次之, 叶子的累积产气量下降最不明显。第 15 ~ 22 天, 3 组实验组的累积产气量增加速度非常缓慢, 直至发酵结束后停止, 但蜀葵叶子的累积产气量明显比花籽和秸秆的累积产气量多 (见图 3)。

从图 3 可明显看出, 蜀葵叶子的累积产气量明显比花籽和秸秆的多, 花籽的累积产气量比秸秆的多, 这是因为在发酵过程中, 叶子的细胞壁被微生物所利用, 纤维结晶被打破, 更有利于发酵, 而花籽和秸秆的发酵体系中微生物不能充分降解其难降解成

分,所以累积产气量较少。从图3可得出蜀葵的叶子适合作为发酵产沼气的原料。

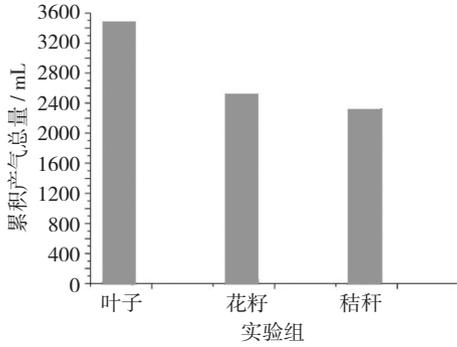


图3 实验组累积产气总量对比图

2.2.4 产气潜力

对蜀葵叶子、花籽和秸秆的产气潜力进行统计计算,结果见表3。

表3 原料的产沼气潜力

原料	累积产气总量	TS 产气率	VS 产气率	池容产气率
	mL	(mL·g ⁻¹)	(mL·g ⁻¹)	(mL·mL ⁻¹ ·d ⁻¹)
叶子	3480	397	481	0.39
花籽	2518	290	314	0.28
秸秆	2317	264	280	0.26

由表3可看出,蜀葵叶子的TS和VS的产气率均分别高于花籽和秸秆的TS和VS的产气率,花籽的TS和VS的产气率又分别高于秸秆的TS和VS的产气率,可见,蜀葵的叶子较花籽和秸秆更适合用于厌氧发酵产沼气潜力的实验研究,秸秆中的纤维素、半纤维素和木质素间的结构不易被微生物打破,后续的实验将研究秸秆的预处理实验研究,以提高秸秆的发酵产沼气效率。

2.2.5 蜀葵产沼气潜力特性研究

为进一步评价蜀葵的产沼气潜力,对中温发酵下各类植物发酵原料的发酵时间以及相应TS产气潜力进行横向比较,如表4。表4中的原料和蜀葵一样,实验前均未做过预处理,因此具有可比性。

从表4可清晰看出,蜀葵叶子的总固体产气潜力明显大于其他几种原料的产气潜力,且发酵周期也明显较短,这可以在一定程度上节约投资成本,在实际沼气工程应用中,经济效益会更高。但蜀葵秸秆的固体产沼气潜力较勿忘我花籽和康乃馨花籽的固体产沼气潜力稍低,这可能是因为蜀葵秸秆中的纤维素和半纤维素之间的结构更紧密,微生物降解

的难度更大所致。而蜀葵秸秆的产沼气潜力又大于甘蔗渣、白三叶、聚和草和法国梧桐等产沼气潜力。蜀葵花籽中主要含有多糖类物质,发酵过程中微生

表4 不同原料产沼气潜力的对比

原料	发酵时间	发酵温度	TS 产气潜力
	d	°C	(mL·g ⁻¹)
蜀葵叶子	22	35	397
蜀葵花籽	22	35	290
蜀葵秸秆	22	35	264
勿忘我花籽 ^[16]	36	30	359
康乃馨花籽 ^[17]	32	30	266
甘蔗渣 ^[18]	92	25	201
白三叶 ^[18]	31	30	106
聚和草 ^[19]	45	30	240
法国梧桐 ^[20]	76	30	49
芦荟皮 ^[21]	35	30	349

物分解作用较强,所以蜀葵花籽的产沼气潜力较其他几种原料的产沼气潜力大。

在整个发酵过程中虽然发酵体系出现了酸化作用,但持续的时间非常短,且不需要外加物质来调节体系的pH值便很快自我调节恢复至正常。较草类和落叶类原料相比,蜀葵叶子、花籽和秸秆作为发酵原料具有较大的优势,为实际的沼气工程提供了一定的理论依据,也为如何处理蜀葵废弃物找到一条可行的途径。

3 结论

(1)以蜀葵叶子、花籽和秸秆作为发酵原料,在中温(35°C ± 1°C)下进行全混合批量式沼气发酵实验,当发酵进行到第22天时,之前已经有连续7d产气量低于5 mL,说明发酵原料的厌氧消化几乎停滞,故发酵时间为22 d,这个启动时间在相同发酵条件下的秸秆发酵中是相对较短的。

(2)蜀葵叶子、蜀葵秸秆、蜀葵花籽发酵产沼气的潜力分别为397 mL·g⁻¹ TS, 481 mL·g⁻¹ VS; 264 mL·g⁻¹ TS, 280 mL·g⁻¹ VS; 290 mL·g⁻¹ TS, 314 mL·g⁻¹ VS,通过表4中与中温发酵原料的类比结果看,蜀葵叶子、花籽和秸秆是作为沼气发酵的较理想原料。

(3)通过蜀葵叶子、花籽和秸秆产沼气潜力的比较,发现蜀葵叶子的产沼气潜力明显大于花籽和秸秆的产气潜力,产甲烷含量也大于后两者,说明蜀葵叶子在产沼气潜力的发酵过程中微生物分解利用

得更充分,且沼气品位更高,较花籽和秸秆相比发酵产沼气更好。

参考文献:

- [1] 邓运川,宗川.蜀葵的栽培管理[J].中国花卉园艺,2009,(12):21-22.
- [2] 刘振林,戴思兰,王爽.中国古代蜀葵文化[J].中国园林,2009,(01):75-77.
- [3] 周淑荣,郭文场,刘佳贺.蜀葵栽培管理与园林绿化应用[J].特种经济动植物,2016,12:34-35.
- [4] 华君.蜀葵观赏品种介绍[J].花卉,2015,(08),24-26.
- [5] 沃野.端午品鉴端午花[J].养生月刊2014,35(06),562-563.
- [6] Muhetaer T, Resalat Y, Chu G H, et al. Determination of rutin, quercetin and kaempferol in *Althaea rosea* (L) Ga-van for Uyghur medicine by high performance liquid chromatography (in Chinese) [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2015,33(12):1269-1273.
- [7] Liu F, Liu W H, Tian S G. Artificial neural network optimization of *Althaea rosea* seeds polysaccharides and its antioxidant activity [J]. International Journal Biological Macromolecules, 2014,70(8):100-107.
- [8] Eskandari M, Samavati V. Sono-assisted extraction of alcohol-insoluble extract from *Althaea rosea*: Purification and chemical analysis[J]. International Journal Biological Macromolecules, 2015,72:347-355.
- [9] 杨锋,牛二波,王德富,等.锦葵脉明病毒中国蜀葵分离物 cp 基因序列分析[J].植物病理学报,2017,47(4):458-462.
- [10] 潘欣欣.黄蜀葵茎叶多糖的化学修饰及活性研究[D].南京:南京中医药大学,2017.
- [11] 高燕妮,陈玉保,肖庆超,等.哈密瓜皮发酵产沼气潜力研究[J].安徽农业科学,2014,42(27):9499-9500,9505.
- [12] 刘荣厚,郝元元,武丽娟.温度条件对猪粪厌氧发酵沼气产气特性的影[J].可再生能源,2006,(5):32-35.
- [13] 张少朋,陈玉保,肖庆超,等.柚子皮发酵产沼气潜力的试验研究[J].中国沼气,2016,34(5):47-49.
- [14] 郝亚杰,陈玉保,肖庆超,等.香瓜皮发酵产沼气潜力研究[J].湖北农业科学,2016,55(17):4485-4486.
- [15] 吴爱兵,曹杰,朱德文,等.麦秸与牛粪混合堆沤预处理厌氧干发酵产沼气中试试验[J].农业工程学报,2015,31(22):256-260.
- [16] 古喜燕,林卫东,张无敌,等.勿忘我花秆发酵产沼气潜力的实验研究[J].新能源进展,2014,2(5):358-363.
- [17] 杨红,马煜,张无敌,等.康乃馨秸秆发酵产沼气潜力的试验研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2011,(31):81-84.
- [18] 李永丽,孙传伯,尹芳,等.甘蔗渣沼气发酵潜力的研究[J].科学决策,2008,(12):45-46.
- [19] 邱凌,王晓曼,邱玉桥,等.不同草坪草废料厌氧发酵试验研究[J].中国沼气,2009,27(5):15-17.
- [20] 孙树贵,任广鑫,翟宁宁,等.中温下3种落叶厌氧发酵产气量研究[J].安徽农业科学,2010,38(19):10164-10166.
- [21] 郭德芳,李秋敏,刘丽春,等.不同温度下芦荟皮厌氧发酵产沼气的实验研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2013,33(3):6-11.