

Technics Study on Fuel Ethanol Production by Edible Canna (*Canna edulis Ker*) Powder

Liangfei Duan¹, Guangliang Tian¹, Ruyan Yang¹, Jing Liu¹, Huanyun Duan¹, Wudi Zhang^{1,2}, Fang Yin^{1,3}, Rui Xu^{1,4}

¹Provincial Key Laboratory of Rural Energy Engineering, Kunming, China

²Engineering Research Centre of Sustainable Development and Utilization of Biomass Energy, Ministry of Education, Kunming, China

³Provincial Key Laboratory of Bioenergy and Environmental Biotechnology, Kunming, China

⁴Key Laboratory of Advanced Technique and Preparation for Renewable Energy Materials, Ministry of Education, Kunming, China

Email: ecowatch.xr@gmail.com

Abstract: This study aims to analyze the potential of ethanol production by edible canna, and to measure the favorable conditions of ethanol fermentation process when using edible canna powder to produce ethanol. Research result shows that the favorable reaction time of saccharification is 30min, and the reducing sugar content shows downtrend as the saccharification time is prolonged. The most favorable reaction time of fermentation is 72h, and the ethanol yield can arrive at 30.90%.

Keywords: edible canna powder; saccharification; fuel ethanol; transform efficiency

蕉藕粉为原料生产燃料乙醇的工艺研究

段良飞¹, 田光亮¹, 杨茹艳¹, 柳静¹, 段欢耘¹, 张无敌^{1,2}, 尹芳^{1,3}, 徐锐^{1,4}

¹云南省农村能源工程重点实验室, 昆明, 中国, 650092

²教育部生物能源持续开发利用工程研究中心, 昆明, 中国, 650092

³云南省生物能与环境生物技术重点实验室, 昆明, 中国, 650092

⁴教育部可再生资源材料先进技术与制备重点实验室, 昆明, 中国, 650092

Email: ecowatch.xr@gmail.com

摘要: 本论文主要研究了以蕉藕为原料生产燃料乙醇的可行性, 探讨并优化了在以蕉藕为原料生产燃料乙醇时的糖化和发酵工艺。研究结果表明: 利用蕉藕粉生产燃料乙醇, 最优糖化时间为 30min, 糖化时间延长, 糖含量有下降趋势; 最优发酵时间为 72h; 乙醇产率可以达到 30.90%。

关键词: 蕉藕粉; 糖化; 燃料乙醇; 转化效率

1 引言

燃料乙醇是一种新型清洁燃料。近些年, 由于能源紧缺、环境问题凸显, 以燃料乙醇为代表的低碳燃料利用和可持续发展问题愈加受到人们的关注, 被认为是众多发展中国家最适宜的能源获得途径^[1]。当前燃料乙醇产业发展面临的重大难题是原料和成本问题, 因地制宜、以非粮食作物为主的燃料乙醇发展战略将是燃料乙醇未来的发展方向。

蕉藕 (*Canna edulis Ker*) 又名芭蕉芋, 属美人蕉科草本植物, 在我国广泛分布于四川、贵州、云南等地^[2]。蕉藕根茎淀粉含量非常丰富, 通常情况下可以

达到 40%~60%^[1]。与其他淀粉作物相比, 蕉藕生长适应性更强, 荒瘠薄地均可种植, 且种植成本较低。目前, 对于蕉藕的应用研究仅限于食品加工、种植管理、花卉赏识或者通过生物发酵后作为牲畜饲料添加等用途^[2]。开发以蕉藕为原料的更加高效、节能、节粮且无污染的燃料乙醇生产工艺, 可以为西部贫困地区寻找出一条充分利用现有蕉藕资源推动燃料乙醇产业发展, 同时帮助农户脱贫致富的现代农业产业化新途径。

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 试剂

蕉藕粉。蕉藕块根采自云南省罗平地区, 将采集

由云南省应用基础研究基金 (2007E049M、2008ZC038M)、昆明市科技计划项目 (08G040207) 和云南省大学生科训基金重点项目 (ky2009-053) 联合资助。

到的蕉藕块根洗净、研磨成粉状待用。

α -淀粉酶。采用北京奥特星公司生产的淀粉酶(活力为 4000 单位/g)。

糖化酶。采用湖南省津市鸿鹰祥公司生产的糖化酶(活力为 100000 单位/g)。

尿素、磷酸二氢钠、正丙醇、醋酸铅、硫酸钠等均为分析纯。

安琪酵母, 本实验室保存。

2.1.2 仪器

101-1 型电热恒温干燥箱;

KSW-4D-13S 马福炉;

101-1 干燥箱;

DL-1 电子万用炉;

QL-901 型漩涡混合器;

800B 型离心机;

DZKW-D-6 型电热恒温水浴锅;

HR-2826 搅拌机(飞利浦公司);

PE300 紫外-可见-近红外分光光度计。

2.2 实验方法

2.2.1 实验流程

每次试验设置 4 个组, 每组 3 个平行。

(1) 取 25g 蕉藕粉, 加入 α -淀粉酶, 以 1:3 的料水比混合均匀, 置于 90℃ 电热水浴锅中水解 40min 后取出冷至 60℃;

(2) 调节 pH 至 4.5, 加入糖化酶, 放入 60℃ 的电热水浴锅中糖化, 考察不同糖化时间对糖化效果的影响, 糖化时间分别设定为 20min、30min、45min、60min;

(3) 在糖化醪中加入 0.2% 的尿素和 0.5% 的磷酸二氢钠, 于 115℃ 干燥箱中灭菌 3h, 而后冷却至 30℃ 按原料的 0.5% 接种安琪酵母, 放入 32℃ 双层气浴恒温振荡器中发酵, 发酵时间分别设置为 48h、72h 和 96h;

(4) 测定残总糖、残还原糖含量和酒精度, 计算不同发酵时间的酒精产率。

2.2.2 分析测试方法

(1) TS、VS 测定

采用干燥、灼烧法进行测定。

(2) 乙醇浓度测定^[3]

气相色谱法。以正丙醇为内标, 氢火焰离子检测

器, GDX103 填充柱, 柱箱温度 150℃, 检测器温度 250℃, 进样器温度 250℃。

(3) 还原糖浓度测定^[4]

3, 5-二硝基水杨酸(DNS)比色法。称取样品 1~5 克, 用蒸馏水稀释至 25 mL 容量瓶中, 定容、摇匀、离心后使用。

(4) 总糖浓度测定^[5]

酸水解-DNS 法。取样品 10g 左右, 加 100mL 蒸馏水和 30mL 6mol/L 的 HCL 于 250 mL 的水解瓶中, 沸水水浴 2 h 后, 调 pH 至中性, 用醋酸铅沉淀除去蛋白质, 再用硫酸钠中和多余的铅离子, 利用测定还原糖的方法(DNS)测定总糖。

3 结果与分析

3.1 原料成分测定

根据表 1 测定结果, 蕉藕粉中总固体和挥发性物质含量均较高, 分别达到 84.00% 和 99.76%, 总糖含量为 84%, 具备了作为燃料乙醇生产原料的基本成分要求。

Table 1. Content measurement of material
表 1. 原料参数测定

原料名称	TS	VS	总糖	还原糖
干蕉藕粉	84.00%	99.76%	84.0%	12.8%

3.2 不同糖化时间对原料糖化率的影响

通过设置不同的糖化时间梯度可以测定出糖化时间对于原料中总糖转化成还原糖的糖化率的影响规律。根据表 2 结果我们可以看出: 蕉藕粉原料制备燃料乙醇的最佳糖化时间为 30min, 尔后随着糖化时间的延长还原糖含量表现为下降趋势。其原因可能为还原性糖在 60℃ 条件下持续加热, 随着时间的延长发生了聚合反应或发生氧化反应^[6], 而采用本实验中测定还原性糖的 DNS 法无法对这一类产物进行验证。

Table.2 Impact of reaction time on saccharification efficiency
表 2. 不同糖化时间对糖化率的影响

加热时间	20min	30min	45min	60min
总糖含量	21.0%	21.0%	21.0%	21.0%
还原糖含量	11.7%	12.6%	8.8%	10.9%

3.3 不同发酵时间对原料糖转化率和产酒率的影响

表 3 为不同发酵时间发酵前后料液中总糖和还原糖的含量变化情况和原料中糖分转化为乙醇的情况。研究表明：发酵时间为 72h 以上的情况下，原料中残总糖量趋于稳定，产酒率均可以达到 30% 以上。通过方差分析，发酵时间为 72h 和 96h，原料糖利用率和酒精产率无显著差异。因此可以初步断定，蕉藕粉原料制备燃料乙醇最佳发酵时间为 72h。

Table 3. Impact of fermentation time on suger transform efficiency and the rate of ethanol yield
表 3. 发酵时间对糖转化和产酒率的影响

时间	48h	72h	96h
糖化醪液中总糖	21.0%	21.0%	21.0%
糖化醪液中还原糖	12.4%	12.4%	12.4%
残总糖含量	4.9%	1.9%	1.5%
残还原糖含量	4.0%	2.2%	1.9%
总糖利用率	76.67%	90.95%	92.86%
醪液酒精质量浓度	5.94%	7.72%	7.83%
原料酒精产率	23.8%	30.9%	31.3%

3.4 不同发酵时间段乙醇产能变化情况

根据乙醇发酵原理，发酵过程中的乙醇产量和二氧化碳释放量呈正相关关系。因此本研究通过对二氧化碳释放量变化情况的监测表达乙醇产量的变化规律。

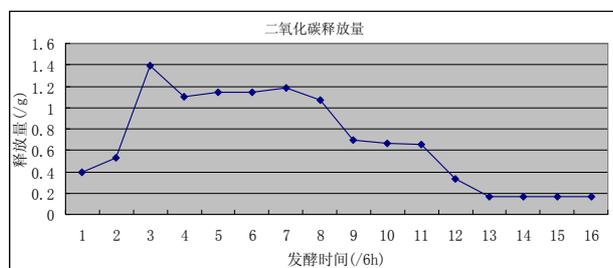


Figure 1. Carbon dioxide (CO₂) release curve during fermentation process

图 1. 发酵过程中二氧化碳释放量随时间的变化曲线

根据图 1 中数据，蕉藕粉糖化醪液发酵过程中，启动 12h 后二氧化碳释放量迅速提升，并且维持在较高水平，48h 后释放量略有下降，随后逐渐降低，发酵至 72h 左右，二氧化碳释放量再次稳定，并趋于低位运行。研究结果表明蕉藕粉原料在发酵 72h 即基本代谢完全，而总糖含量和糖利用率数据可以对该结论进一步加以证实。

4. 结论

(1) 蕉藕粉中挥发性物质含量较高，VS 达到 99.76%，可以作为理想的燃料乙醇生产原料。虽然蕉藕粉中淀粉含量略低于其它非粮食类作物的淀粉含量（见表 4），但由于产量丰富、价格低廉、种植简单，仍有一定的市场竞争优势，可以作为燃料乙醇生产备选原料。

Table 4 Starch content compare of different non-edible crops^[1]
表 4. 非粮作物淀粉含量比较^[1]

原料	数量 (kg)	干物质淀粉含量	原料成本(元/kg)
蕉藕淀粉	1	40~60%	0.30
木薯淀粉	1	60~73%	0.48
菊芋淀粉	1	15~20%	0.40
甘薯淀粉	1	68~73%	1.40

(2) 通过添加 α -淀粉酶和糖化酶，以蕉藕粉为原料生产燃料乙醇的最佳糖化时间为 30min，此时还原糖和总糖含量分别为 12.6% 和 21.0%。

(3) 以蕉藕粉为原料生产燃料乙醇的最佳发酵时间为 72h，此时总糖利用率可以达到 92.7%，乙醇产率为 30.9%。

References (参考文献)

- [1] Yang Liyan, Shang Huijian, Zheng Xueming, Research development of using non-edible biomass to prepare ethanol fuel [J], *Hebei Journal of Industrial Science and Technology*, 2009, 25(06), P397-398 (Ch).
杨立彦, 会建, 郑学明, 非食用生物质制燃料乙醇的研究现状[J], 河北工业科技, 2009, 25 (06), P397-398.
- [2] Zhu Zuohua, Wu Tianxiang, Studies on characters and industrial applicationsof *Canna edulis Ker*[J], *Chinese Journal of Bioprocess Engineering*, 2005, 3(4), P66-70 (Ch).
朱作华, 吴天祥, 芭蕉芋的性质及其淀粉的工业应用研究[J], 生物加工过程, 2005, 3 (4), P66-70.
- [3] Sheng Naikun, Wang Qingyan, Lu Yan, Study On the High-Concentration Mash And High-Temperature Fermentation of Cassava [J], *LIQUOR MAKING*, 2009, 05(36), P47-49 (Ch).
申乃坤, 王青艳, 陆雁, 木薯淀粉高温高浓度生产酒精的工艺研究[J], 酿酒, 2009, 05 (36), P47-49.
- [4] Lu Yan, Qin Yan, Li Mingsong, Study on High-temperature and High-gravity Ethanol Fermentation of Cassava Starch [J], *LIQUOR MAKING SCIENCE*, 2009, 01(09), P23-25 (Ch).
陆雁, 秦艳, 李明松, 木薯淀粉高温浓醪发酵酒精工艺的研

- 究[J], 酿酒科技, 2009, 01 (09), P23-25.
- [5] Wang Lunji, Dong Ying, Production of ethanol by simultaneous saccharification and fermentation from Jerusalem artichoke flour[J], *Transactions of the CSAE*, 2009, 11(25), P263-267 (Ch).
汪伦记, 董英, 以菊芋粉为原料同步糖化发酵生产燃料乙醇, 农业工程学报, 2009, 11 (25), P263-267.
- [6] Hao Huiying, Deng Likang, Du Jinbao, Discussion on energy comprehensive utilization pattern in cassava fuel ethanol production process [J], *Cereal and Food Industry*, 2009, 1(04), P30-33 (Ch).
郝慧英, 邓立康, 杜金宝, 木薯燃料乙醇生产过程能量综合利用模式探讨[J]. 粮食与食品工业, 2009, 16 (04), P30-33.