

甘蔗生产燃料乙醇工艺探索与应用

闫德冉,王林风,程远超,高楠,陈铁

(河南天冠企业集团有限公司车用生物燃料技术国家重点实验室,河南 南阳 473000)

摘要:以固定化酵母作为发酵菌株,研究了甘蔗生产燃料乙醇的预处理、发酵工艺。获得了最适工艺参数:甘蔗经切断、撕裂、压榨机压榨和板框过滤后得到甘蔗汁,在甘蔗汁中加入 1 U/mL 的青霉素,发酵及酒母培养的 pH 值为 3.5~4.0,添加 0.01 % 的硫酸镁。32~35 °C,发酵 21 h,乙醇浓度达到 9.5 %vol 左右,糖醇转化率在 96 %左右。采用单浓度双流加连续发酵工艺进行生产试验,与淀粉质及纤维质燃料乙醇工艺进行对比,结果表明,甘蔗生产燃料乙醇的连续发酵工艺在生产上是完全可行的,工艺路线简单,生产成本低,是目前最适于大规模推广的燃料乙醇生产工艺。

关键词:甘蔗; 燃料乙醇; 压榨; 连续发酵

中图分类号:TS262.2;TS261.4;TS261.2

文献标识码:B

文章编号:1001-9286(2012)09-0093-03

Study on the Production of Fuel Ethanol by Sugarcane

YAN Deran, WANG Linfeng, CHENG Yuanchao, GAO Lan and CHEN Tie

(State Key Lab of Bio-fuel for Vehicles Technology, Tianguan Group Co.Ltd., Nanyang, He'nan 473000, China)

Abstract: The pretreatment and fermentation process were studied in fuel ethanol production by sugarcane with immobilized yeast as fermenting strains. The optimum technical parameters were summed up as follows: sugarcane juice was obtained by cutting and tearing and pressing and filtering of sugarcane, and then it was added with 1U/ml penicillin, pH value in the fermentation and wine yeast culture was 3.5~4.0, 0.01 % $MgSO_4$ was added, and the optimum fermentation temperature was at 32~35 °C, after 21 h fermentation, alcohol concentration reached up to 9.5 % vol, and the conversion ratio from sugar to alcohol was 96 %. Meanwhile, continuous fermentation process of sugarcane was compared with that of starch or cellulose. The results showed that continuous fermentation of sugarcane was completely feasible in practice, which had the advantages of simple processing route and low production cost. It was the most suitable fuel ethanol production technology at present.

Key words: sugarcane; fuel ethanol; pressing; continuous fermentation

石油短缺是全球面临的巨大挑战,发展可再生能源特别是生物能源,是公认解决能源危机的重要出路^[1]。燃料乙醇作为一种清洁能源,以其成熟的生产技术和丰富的原料来源受到世界各国的青睐,但是目前的燃料乙醇多是由玉米、小麦等粮食作物转化而来,燃料乙醇的普及必定会对国家粮食安全产生冲击^[2-3]。因此,对非粮作物生产燃料乙醇进行应用研究具有重要的意义。

甘蔗是一种适应性广、抗逆性强、高生物量、高可发酵糖量作物。巴西是世界上最大的甘蔗、蔗糖生产国^[4],也是用甘蔗生产燃料乙醇的先行者。在 20 世纪后期投资 39.6 亿美元实施了“生物能源计划”,建立了糖酒联产机制。据巴西公布的不完全数据,巴西用于生产燃料乙醇的甘蔗的种植面积达 500 万公顷,共有 308 家工厂生产或联产乙醇,直接参加制糖或乙醇生产的从业者总数为 100 万人。目前,该国有 2/3 的甘蔗用于生产燃料乙醇,已经有燃烧纯乙醇的车辆投入使用。基于目前的能源战略考虑,巴西还将乙醇作为燃料用于航空能源,用乙醇做燃

料作为轻型飞机的能源已经实现。

中国是仅次于巴西、印度之后的第三大食糖生产国,甘蔗在我国的广东、广西、云南、海南等省份大面积种植,2008 年,我国甘蔗的种植面积达到 228 万 hm^2 左右。目前,我国在用甘蔗汁发酵直接生产燃料乙醇方面还处在起步阶段^[5],河南天冠企业集团有限公司和广西博庆食品有限公司合作采用单浓度双流加连续发酵工艺进行了 130 m^3 发酵罐的生产试验,这是国内首次将甘蔗发酵的实验数据进行放大,对甘蔗生产燃料乙醇生产工艺进行了有益探索。

1 材料与方法

1.1 材料、设备

材料:固定化酵母,广西博庆食品有限公司提供;广西本地甘蔗。

设备:压榨机、板框压滤机、130 m^3 发酵罐。

1.2 实验方法

收稿日期:2012-06-18

作者简介:闫德冉(1968-),男,大学本科,工程师,多年从事生物质能源研究工作。

1.2.1 甘蔗燃料乙醇生产的基本工艺路线

工艺路线见图1。



图1 甘蔗燃料乙醇生产工艺

1.2.2 分析方法

量取三角瓶中的发酵成熟醪 100 mL, 置于蒸馏烧瓶中, 加入 100 mL 的蒸馏水混合。装冷凝管后加热蒸馏, 收集馏出液 100 mL, 酒度计直接读数, 用于测定乙醇的浓度。使用 DNS 法快速测定残糖的含量^[6]。

2 结果与讨论

2.1 发酵工艺优化

在进行生产试验之前, 首先在实验室对甘蔗燃料乙醇发酵中 pH 值、营养盐添加比例和甘蔗汁预处理工艺进行了试验。

2.1.1 甘蔗燃料乙醇发酵工艺中 pH 值的最佳选择

酵母菌自身的生长繁殖和发酵过程中相关酶的活性均受到 pH 值的影响, 因此对 pH 值进行研究是发酵工艺优化中不可或缺的环节。图2为 pH 值对甘蔗汁发酵的影响结果。

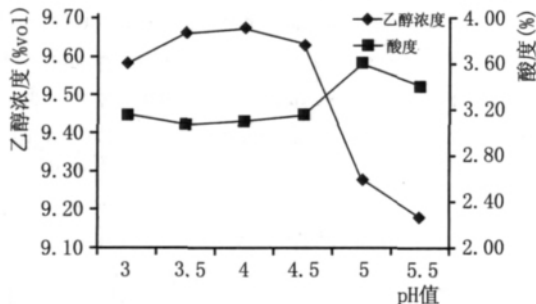


图2 pH值对甘蔗汁发酵的影响

由图2可以看出, 在 pH 值 3.5~4.0 时, 发酵的乙醇浓度达到最大值, 而此时的酸度最低。

2.1.2 营养盐添加对发酵结果的影响

通常微量元素镁、磷以及氮源不仅是酵母菌体的重要组分, 而且其存在水平与酵母的合成代谢有关。分别对硫酸镁、磷酸和尿素的添加量进行研究, 结果分别见图3~图5。

图3表明, 随着硫酸镁浓度的提高, 发酵乙醇浓度总体呈上升趋势, 当其浓度达到 0.01% 后, 上升趋势平缓; 图4表明, 发酵乙醇浓度与尿素的添加量没有明显相关性; 图5表明, 添加磷酸对最终乙醇浓度的影响也不大。综上所述, 甘蔗燃料乙醇生产无需加入尿素和磷酸, 加入 0.01% 的硫酸镁即可。

2.1.3 甘蔗汁预处理工艺

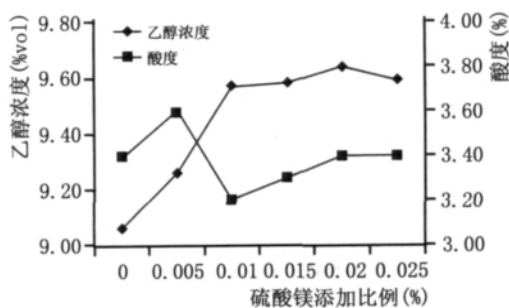


图3 硫酸镁添加比例对甘蔗汁发酵的影响

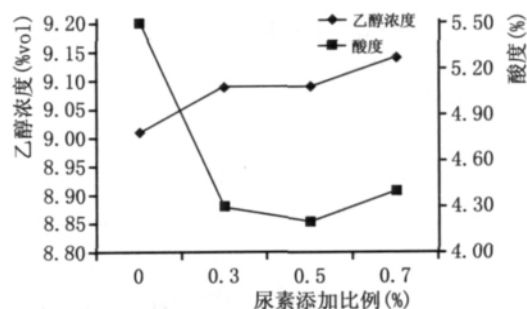


图4 尿素添加比例对甘蔗汁发酵的影响

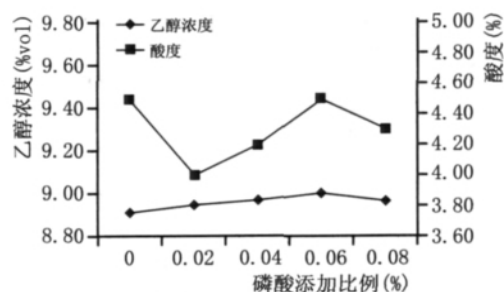


图5 磷酸添加比例对甘蔗汁发酵的影响

甘蔗经切断、撕裂、压榨机压榨和板框过滤后获得甘蔗汁, 进入储罐备用。在甘蔗汁中加入 1 U/mL 的青霉素时, 即可有效防止在储存和输送过程中感染杂菌, 有利于酵母菌的生长繁殖和发酵, 并且兼顾了经济成本最优(见图6)。

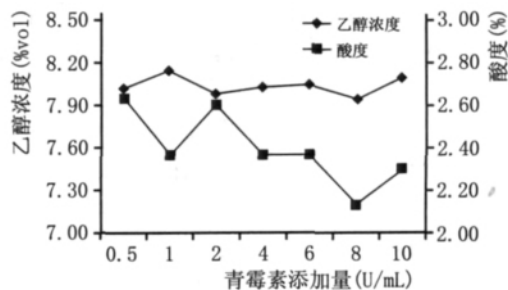


图6 青霉素添加量对甘蔗汁发酵的影响

2.2 生产试验结果分析

无论采用哪一种压榨工艺, 所得甘蔗汁的糖含量均在 14.5% 左右, 既能满足酒母培养又能满足发酵的需要, 不需要进行浓度上的调整, 直接以相同的浓度分别同时进入酒母增殖罐和乙醇发酵罐中, 因此, 甘蔗汁的乙醇

生产采用单浓度双流加连续发酵工艺。

连续发酵数据显示(表1),最终乙醇浓度为9.5 %vol左右,糖醇转化率达到理论值的96 %左右,发酵时间为21 h,相比之下,远远缩短了用小麦和玉米等淀粉质原料生产乙醇的发酵周期。连续发酵工艺在缩短发酵周期、提高设备利用率和自动化程度方面具有明显优势。

表1 甘蔗汁燃料乙醇发酵的生产数据表

项目	罐号					
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
糖浓度(%)	7.5	7.5	13.7	12.5	14	15.2
酵母数($\times 10^8/\text{mL}$)	1.11	0.69	0.55	0.65	0.57	0.43
乙醇浓度(%vol)	8.4	8.5	9.2	9.1	9.3	9.5

在甘蔗汁燃料乙醇生产中,甘蔗汁的流加速度对于酒母增殖罐中酵母的正常生长繁殖和发酵罐中发酵的正常进行至关重要。甘蔗汁的流加速度的确定需要综合考虑生产中串联的发酵罐个数、单罐体积、酒母增殖罐的温度等因素。按照目前广西博庆食品有限公司的生产能力和现有设备,燃料乙醇生产仅仅串联3~4个发罐即可。一般地,无论两者的流加速度如何,双流加的流加比应控制在1:1~1:1.1之间。

2.3 甘蔗燃料乙醇与淀粉质、纤维质燃料乙醇工艺对比

从原料看,燃料乙醇生产大致可分为3种:一是以玉米、木薯、甘薯等作物为原料的淀粉质燃料乙醇;二是以秸秆、蔗渣等纤维素、半纤维素为原料的纤维质燃料乙醇;三是以甘蔗、甜高粱、甜菜等为原料的糖质燃料乙醇。

淀粉原料生产燃料乙醇必须先将其粉碎、蒸煮、糖化,将淀粉转化为葡萄糖后才能被酵母菌利用进行发酵^[7],中间要耗费大量的蒸汽和冷却水,而且还要加入大量的液化酶与糖化酶,极大地增加了燃料乙醇的生产成本,降低了燃料乙醇汽油的市场竞争力。

纤维质原料生产燃料乙醇虽然具有原料充足、绿色环保的优势,但是必须对原料进行预处理^[7],将纤维素、半纤维素和木质素进行分离,打破纤维素的结晶结构,提高纤维素对酶的可及性,从而有效酶解生成葡萄糖等六碳糖,然后进行酒母发酵。据报道,生产上一般采用蒸汽爆破处理^[8],需要消耗大量蒸汽,并且在高温高压爆破过程中产生了大量的乙酸、甲酸、糠醛等有毒物质,对后续的酒母生长、发酵和蒸馏浓缩都有较大影响,一般需要对其进行去毒处理。

由于甘蔗汁中的葡萄糖、果糖和蔗糖是乙醇发酵的直接底物,因此可以直接进行乙醇生产。在本生产试验中,甘蔗依次经过用刀切断、撕裂、5级轴辊式压榨机压榨和板框过滤即可进入发酵。实验证明,甘蔗燃料乙醇的前处理极为简单,不仅降低了淀粉质和纤维质转化成可发酵性糖时所需的大量能耗,而且也不需要添加生物酶,使得甘蔗生产燃料乙醇能量效率较高,成本较为低

廉^[9]。

3 结论

甘蔗因其光合能力强(C_4 植物)、生物产量高(鲜重产量可高达 $180\sim 220\text{ t/hm}^2$ 、干重 $52\sim 59\text{ t/hm}^2$)、总可发酵糖量多($45\sim 55\text{ t/hm}^2$)而显示出良好的利用优势^[10]。通过实际的生产试验发现,甘蔗燃料乙醇生产不用进行原料的蒸煮、液化和糖化,仅在甘蔗汁中加入少量的抗生素等而不需要通过加热灭菌即可以抑制杂菌的生长繁殖,保证正常的发酵生产,这极大地降低了燃料乙醇生产中蒸汽与冷却水的消耗,这是淀粉质原料和纤维质原料都无法比拟的优点。此外,甘蔗进行燃料乙醇生产可将其中的副产品——蔗渣用于造纸或锅炉发电,锅炉产生的蒸汽及热电又用于燃料乙醇生产,而且产生的酒糟可制成DDS饲料或肥料用于甘蔗的种植,推动循环经济的良性发展。

由此可见,利用甘蔗进行燃料乙醇生产不仅具有用粮食生产车用燃料乙醇所带来的社会效益与经济效益,而且也可极大地简化乙醇生产工艺,降低乙醇的生产成本,增加车用乙醇汽油与汽油的竞争优势,同时也为制糖业开辟了理想的出路。因此,以甘蔗为原料进行燃料乙醇生产具有一定的开拓性与创新性,不仅可扩大车用乙醇汽油的原料来源,缓解粮食危机,而且在纤维质燃料乙醇商业化之前可为车用乙醇汽油的持续发展提供有力保障,具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] Yan Lin, Shuzo Tanaka. Ethanol fermentation from biomass resources; current state and prospects[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2006, 69: 627-642.
- [2] Von Braun. When food makes fuel: the promises and challenges of biofuels[C]. Keynote address at the Crawford Fund Annual Conference, Australia, 2007.
- [3] 李志强, 韩胜文, 王素雅. 生物质能源发展对粮食安全的影响[C]. 中国农业信息科技创新与学科发展大会, 2007.
- [4] 陈子云. 能源甘蔗的开发与利用[J]. 甘蔗糖业, 2003(2): 25-27.
- [5] 赵丽萍, 张跃彬, 吴彦兰. 生物能源甘蔗开发利用探讨[J]. 中国糖料, 2010(4): 72-74.
- [6] 梁雨时, 包永明. 生物工程实验技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 《发酵酒精和白酒工业污染物排放标准》编制课题组. 《发酵酒精和白酒工业污染物排放标准》编制说明[C]. 2005: 6.
- [8] 罗鹏, 刘忠. 用木质纤维原料生产乙醇的预处理工艺[J]. 酿酒科技, 2005(8): 42-47.
- [9] 靳胜英, 孙守峰, 宋爱萍, 张福琴. 我国非粮燃料乙醇的原料资源量分析[J]. 中外能源, 2011(5): 40-45.
- [10] 张木清, 王华忠, 白晨, 等. 糖料作物遗传改良与高效育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 154.