甘蔗生产燃料乙醇的发展现状及前景展望

李苗苗,于淑娟
(华南理工大学轻工与食品学院,广东 广州 510640)

摘 要: 甘蔗是 C4 作物,其光能转换效率、光合速率、单位面积生物产量显著高于其他作物,其净能比最高。用甘蔗生产燃料乙醇,成本低。甘蔗是最有潜力的生物能源作物,但是我国发展生物能源必须重视能源甘蔗品种的选育,加强甘蔗燃料乙醇生产工艺的研究与开发。利用甘蔗发展燃料乙醇产业具有广阔的前景。分析了我国利用甘蔗发展可再生生物能源的必要性及可行性。

关键词: 甘蔗; 燃料乙醇; 生物能源; 前景
中图分类号: TS261.23; TS262.2; TS261.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001- 9286(2007) 06- 0111- 03

Present Status & the Prospect of Fuel Ethanol Production by Sugarcane

LI Miao-miao and YU Shu-juan
(College of Light Industry and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: As a C4 plant, sugarcane is rather high in light energy conversion efficiency, photosynthetic rate and biomass productivity (its net energy rate is the highest). Ethanol production by sugarcane is economically practical. It is believed that sugarcane is a most promising energy crop in China. Accordingly, we must pay more attention to the breeding of new sugarcane species and strengthen the research on and the development of fuel ethanol production techniques by sugarcane. The use of sugarcane to develop fuel ethanol has broad foreground. The necessity and the feasibility of the use of sugarcane as renewable resources in China was analyzed in this paper.

Key words: sugarcane; fuel ethanol; bio-energy; prospect

现代工业的迅速发展导致的能源紧缺现状和环境污染问题,使得燃料乙醇作为替代石油能源的绿色可再生能源日益受到人们的青睐。燃料乙醇是可再生能源,属于“绿色汽油”,作为一种清洁能源,其抗爆性能好,用作车用燃料时燃烧更完全,减少尾气排放量,降低对环境的污染[1]。

甘蔗是热带和亚热带地区广泛种植的糖料作物,如我国的广东、广西、云南和海南等省都大规模地种植甘蔗。甘蔗被认为是中国发展生物能源最有潜力的作物,利用甘蔗生产燃料乙醇具有良好的发展前景[2]。本文将对甘蔗生产燃料乙醇的发展现状及前景作一综述。

1 国内外发展现状

1.1 国外燃料乙醇发展现状

始于 20 世纪 70 年代的“石油危机”,使人们开始认识到利用可再生资源(如粮食或植物纤维)发酵生产酒精作为生物能源来代替或部分代替汽油的重要性。巴西、美国、欧盟以及泰国和日本等国家相继投入了大量的人力、物力,实施了一系列激励和强制政策,开发和推广燃料乙醇,并达到较高的规模化生产水平[3,4]。巴西是世界上最早大规模使用乙醇做替代燃料的国家,主要原料是甘蔗。自 1974 年第一次石油危机后,巴西政府就开始推广“酒精汽油”计划。目前,巴西是世界上唯一不供应纯汽油的国家,现在它的主要燃料为 4 种:纯乙醇(含水乙醇)、乙醇汽油(22 %乙醇 +78 %汽油)、MEG 燃料(60 %乙醇 +33 %甲醇 +7 %汽油)和柴油[5,6]。现在巴西年产乙醇 1000 万千升左右,97 %用于燃料。2001 年,美国农业部决定每年提供 1.5 亿美元补贴乙醇生产企业,用以增加乙醇和生物柴油等生物燃料的使用[7]。1992 年,欧盟通过法律:对于可再生资源为原料生产燃料的试验性项目,成员国可采取免税政策,包括燃料乙醇[8]。在亚洲国家中,泰国是对乙醇燃料的推广最为积极的国家之一,对发展乙醇表现出了极大的兴趣,成立了专门委员会进行发展燃料乙醇可行性研究和制定发展计划与政策。日本从 1983 年开始实施燃料乙醇的开发计划,重点开发用农、林产废物等资源直接发酵生产乙醇的技术[4]。

收稿日期: 2007- 03- 05

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

巴西的酒精主要以糖蜜或甘蔗汁为原料，目前有 70 %以蔗糖为原料的酒精厂采用间歇发酵，发酵能力达 150 万 L 酒精。约有 350 个酒精厂采用连续发酵工艺。在两种发酵过程中，酵母均被从发酵后醪液中分离出来，经稀硫酸冲洗后再用于发酵过程。发酵可获得较高酒精浓度(8 %vol～11 %vol)和较高酒精得率(92 %vol～93 %vol)及较短发酵时间(6～10 h)，可使酵母 1 d 回收利用 3 次，连续运行 200 d。由于野生酵母具有很强的发酵能力，在巴西 30 个酒精厂已有 21 个将野生酵母作为接种菌种进行发酵[9]。在北美，燃料乙醇的生产主要以玉米为原料，玉米酒精发酵采用不回收利用酵母的间歇发酵或计算机控制的连续发酵过程，并采用 CIP 技术，降低了劳动成本，减少了设备损耗。美国运用发酵法生产酒精的工厂一般发酵后酒精浓度可以达到 12 %[10]。

1.2 国内燃料乙醇发展现状

2001 年 9 月，国务院正式批准了在国内发展燃料酒精试点。目前，河南省天冠年产 2 万千升燃料酒精，并正在建设年产 20 万千升的生产线；安徽省年产 35 万千升燃料酒精项目也正在生产和扩建；吉林省大成年产 80 万千升燃料酒精厂已投产，我国酒精 80 %左右以玉米、小麦、高粱、甘薯、木薯等富含淀粉的物质为原料，约有 10 %的酒精以糖蜜为原料，采用间歇发酵，酵母不回收，最终酒精浓度通常可达 8 %vol～10 %vol，低于国际先进水平[11]。近年我国甘蔗产量在 8500～9000 万 t，用糖蜜生产酒精(食用酒精)约 50 多万千升，应用纯蔗汁发酵生产燃料乙醇工艺技术方面仍处于中试阶段。

2 我国发展甘蔗燃料乙醇的可行性分析

2.1 技术可行性分析

用甘蔗生产燃料乙醇，首先需要提汁，再进行浓缩、发酵、蒸馏和脱水等工艺过程。而糖厂中的蔗汁提取、浓缩的工艺和设备都是现成的。就发酵过程而论，大型甘蔗糖厂都有食用乙醇车间，其发酵原料主要是制糖过程中产生的废蜜(糖蜜)，在甘蔗糖蜜生产乙醇上的经验和技术是成熟的。甘蔗汁和糖蜜都是以含蔗糖成分为主，但用甘蔗汁做发酵原料生产乙醇，与糖蜜生产乙醇相比有一定的差异性[12]。燃料乙醇的含水量低于食用乙醇，因此需要脱水。目前制备无水酒精的方法主要有生石灰脱水法、萃取蒸馏法、真空蒸馏法、离子交换树脂法、恒沸精馏法、盐溶精馏法、无水硫酸钙法、分子筛法以及膜分离法等。其中，分子筛法和膜分离法作为新方法，具有良好的发展前景，已经在实践中得到了应用[13]。

2.2 经济可行性分析

甘蔗是 C4 作物，其光能转换效率、光合速率、单位面积生物产量显著高于其他作物。根据李松[14]等的研究分析，在中国的生产条件下，甘蔗是单位面积产酒精量最高，最有潜力的作物。印度国家糖业管理联合会主席 Rao[15]比较了各种能源作物单位面积酒精产量，认为甘蔗与小薯产量最高。美国夏威夷再生能源协会资料表明，在多种能源植物中，能源甘蔗的单位面积酒精产量最多[16]。中国南方纬度、气候与巴西相似，发展能源甘蔗有着得天独厚的自然资源条件，利用甘蔗生产燃料乙醇的成本比用其他作物具有明显的优势。其次，甘蔗生产燃料乙醇加工成本低。用玉米或木薯等淀粉质原料生产酒精，首先经过粉碎、蒸煮、用 α- 淀粉酶液化、糖化酶糖化，再由酵母发酵成酒精，其工艺流程长，厂房设备投资大，能耗大，成本高。而以甘蔗为原料生产燃料乙醇时，可用蔗汁直接发酵，因而生产过程的能耗小，生产成本自然也就降低[17]。

2.3 环境可行性分析

由甘蔗榨汁直接生产酒精，每吨甘蔗约可生产酒精 70 L、蔗渣 250 kg、废醪液 910 L[18]。蔗汁是可以直接食用的纯天然食品，成分简单，利用蔗汁生产乙醇，经发酵蒸馏后，只剩下酵母残体和废液，酵母残体可用于生产饲料，废液含有少量未发酵完全的有机物，不含重金属或其他燃烧后可能释放的有毒气体和有毒物质，采用废液浓缩喷雾燃烧的方式可以实现废物零排放，不污染环境[17]，该种废液处理方式已在广东中能酒精有限公司成功应用。发酵后的废液颜色比糖蜜为原料的浅，灰分和残糖低，也可直接用于灌溉农田。用蔗渣作燃料排放的烟气，不含二氧化硫和其他有害气体，经除尘后对环境无污染。发酵时产生的 CO_2 经回收乙醇后可收集制造液体 CO_2，不排入大气，对环境不会造成大的影响。而燃料烧出的锅炉灰是很好的钾肥[19]。

3 展望

3.1 甘蔗是中国最有潜力的生物能源作物

中国是蔗糖生产大国，产糖总量占世界第 3 位，中国南方 9 省(区)适宜种植甘蔗的土地面积在 200 万 hm^2 以上，蔗糖业已成为中西两部地区特别是广西、云南的主要产业。在这些地方，大部分蔗区是旱坡地，种植甘蔗具有明显的作物竞争优势，甘蔗生产仍有较大的发展空间。面对国际能源价格的高涨以及国内能源短缺的压力，以甘蔗为原料生产燃料乙醇的优势越来越受到重视。由于能源甘蔗是以高生物量代替高蔗糖作为农业生产目标，其每公顷年生长量可高达 280 t 以上，工业加工成本较低，副产品附加值高，是发展生物能源最理想的作物[16]。

3.2 我国发展甘蔗燃料乙醇需要重视的突出问题

3.2.1 能源甘蔗新品种选育

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以制糖为目的的糖料甘蔗品种的选育目标是高糖高产，对甘蔗蔗糖分的含量要求较高。而作为能源的甘蔗品种，则在选育种方面对蔗糖糖分含量的要求不严格，而在产量和宿根性、抗性等方面则要求较高，即有一定的蔗糖糖分基础上，群体的生物产量越高越好。并具有株形好，适宜于机械化作业，省工、好管理等特性。到目前为止，我国虽然育成了3个糖能兼用的甘蔗品种，但其公顷年蔗茎产量只有121～130 t，低于世界水平，说明我国的能源甘蔗研究与创新具有很大的潜力[20]。

3.2.2 甘蔗燃料乙醇生产工艺的研究与开发

用甘蔗原汁发酵生产燃料乙醇及其汽油与乙醇混配作动力燃料的有关技术，巴西最为成熟。中国目前还处在起步阶段，许多有关技术和设备需要在借鉴国外技术经验的基础上结合本国的实际进行创新，经过研究，中试后才能用于常规生产，并通过体制和管理的创新，研究出适合我国甘蔗能源发展的技术之路。到目前为止，糖厂的酒精生产都以糖蜜为原料，虽然甘蔗汁与糖蜜一样以含蔗糖成分为主，但甘蔗汁有其特殊性，如甘蔗汁灰分较少，而蛋白质、胶体等较多，易引起发酵过程中影响酵母繁殖、易引起酵母菌絮凝等[21]。针对甘蔗汁直接发酵的特殊性，需开展深入研究，选育出适宜蔗汁发酵的酵母菌种，改进并优化其发酵工艺，以期提高产率；加强相关设备的研究和开发；探讨高浓酒精发酵工艺，提高设备利用率，提高生产能力，降低能耗，降低生产成本[22]；通过基因工程和代谢工程等现代生物技术手段构建发酵性能优良的菌株，调控微生物代谢过程，提高菌株耐温性和耐酒精性，提高酒精收率；通过开发新的节能脱水工艺，降低无水乙醇的生产成本；采用固定化细胞发酵技术提高发酵器内细胞浓度，可使用较高的基质浓度并得到较高的酒精收率[23,24]，为甘蔗资源的应用提供新的技术保障[25]。

综上所述，由于燃料乙醇的应用可以带来巨大的经济、社会和环境效益，还可以调节商品糖市场的供需关系，所以世界各国对其已有了不同程度的研究和应用。随着现代生物技术和工程技术的不断发展，高产菌株的获得越来越简单，发酵工艺也得到不断改进，这些都为燃料乙醇的大规模生产提供技术保证。燃料乙醇的研究领域和应用范围将会不断扩展，燃料乙醇在可再生能源市场中将占主要地位。

参考文献：

[1] Beer,Kenn.Ethanol as a sustainable transport fuel[J].Engineers Australia, 2003, 75(7): 32.

[2] 何淑芳，孙君社，苏东海.燃料乙醇在中国发展利用[J].食品科学，2005, 26(增刊): 166-169.

[3] HelenaLC, RalphPO.Biomass and renewable fuels[J].Fuel Bioprocess, 2001, 71: 187-195.

[4] Christoph berg, EO.Licht.World fuel ethanol analysis and outlook[J].Ministry of Economy Trade and Industry(METI)(Japan). 2003, (8): 25.

[5] Luiz Carlos Corra Carvalho-UNICA.Status of large scale production and use of fuel ethanol in Brazil[C].World Fuel Ethanol Congress, 2001.

[6] 苏毅译.巴西的无水酒精生产[J].广西轻工业，1994, (3): 45-48.

[7] Bruce S. Dien, Rodney J. Bothast, Nancy N. Nichols and Michael A.Cotta.The U.S.coin ethanol industry: An overview of current technology and future prospect[J].INT.SUGAR JNL. 2002, 104(1241): 204.

[8] European Biofuels[J].Industrial Bioprocessing, 2003, 25(8): 10-11.

[9] 吕欣，毛忠贵.集成化玉米燃料酒精生产[J].粮食与油脂，2002, (12): 27-28.

[10] 张君，刘德华.世界燃料酒精工业发展现状与展望[J].酿酒科技，2004, (5): 118-120.

[11] 傅其军.新型可再生清洁能源——燃料酒精的开发展望[J].广西轻工业，2000, (4): 9-12.

[12] 曾麟，安玉兴，李奇伟.以甘蔗为原料生产燃料乙醇的技术经济分析[J].甘蔗糖业，2006, (2): 15-18.

[13] 梁萌，张建安，刘德华.无水酒精制备的研究进展[J].酿酒，2002, 29(5): 3-6.

[14] 李松，杨荣仲，谭裕模，等.我国发展能源甘蔗研究生产的现实意义[J].广西蔗糖，2003, (3): 44-45.

[15] Rao P J M. Industrial utilization of sugar CO-products[M].India: National Federation of Co-operatives Ltd., 1997, 274-276.

[16] 李杨瑞，谭裕模，李松，等.甘蔗作为生物能源作物的潜力分析[J].西南农业学报，2006, 19(4): 742-745.

[17] 李奇伟，戚荣，张远平.能源甘蔗生产燃料乙醇的前景[J].甘蔗糖业，2004, (5): 29-33.

[18] 吴松海，林一心.甘蔗生产燃料乙醇的发展前景[J].中国糖料，2006, (2): 58-61.

[19] 曾麟，王革华.中国甘蔗燃料乙醇生产的技术、经济和环境可行性分析[J].可再生能源，2006, (4): 46-49.

[20] 陈子云.能源甘蔗的开发与利用[J].甘蔗糖业，2003, (2): 25-28.

[21] 张华，陈如凯.中国能源甘蔗的研究与开发[J].中国甘蔗网，2003.

[22] 吕欣，毛忠贵.高浓度酒精发酵研究进展[J].酿酒科技，2003, (5): 58-60.

[23] Kolot F B. Immobilized cells for solvent production[J].Process Biochem., 1984, 19: 7-13

[24] GhasemN, HabibollahY KuS, et a1. Ethanol fermentation in an immobilized cell reactor using Sacchanromyces Cerevisiae [J].Bio-resource Technology,2004, 92: 251-260.

[25] 徐惠娟，王世锋，尤敏南.燃料酒精生产的研究进展[J].厦门大学学报(自然科学版)，2006, 45(增刊): 37-41.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net