

综述

木薯原料生产燃料乙醇

黄日波, 陈东, 王青艳, 申乃坤, 韦宇拓, 杜丽琴

广西科学院 国家非粮生物质能源工程技术研究中心, 南宁 530007

摘要: 以下介绍了我国木薯原料生产燃料乙醇的最新进展, 并对我国的木薯资源分布作了分析, 特别强调了木薯资源占全国总产量的 65% 以上的广西壮族自治区在我国发展木薯原料燃料乙醇过程中所起的重要作用, 在此基础上对我国发展木薯原料燃料乙醇所遇到的困难和挑战进行了分析, 并根据国内外的科技进展对如何克服这些困难提出了几个可能的解决方案。

关键词: 木薯, 燃料乙醇, 转基因木薯, 废糟液处理

Fuel ethanol production from cassava feedstock

Ribo Huang, Dong Chen, Qingyan Wang, Naikun Shen, Yutuo Wei, and Liqin Du

National Engineering Research Center for Non-food Biorefinery, Guangxi Academy of Sciences, Nanning 530007, China

Abstract: The regions suitable for growing cassava include five provinces in Southern China, with Guangxi alone accounting for over 65% of the total cassava production in the country. In this article, the state-of-the-art development of fuel ethanol production from cassava in China is illustrated by the construction of the cassava fuel ethanol plant with its annual production capacity of 200 000 metric tons. And in the meantime, problems and challenges encountered in the development of China's cassava fuel ethanol are highlighted and the strategies to address them are proposed.

Keywords: cassava, fuel ethanol, transgenic cassava, stillage treatment

自从国家规定生物能源生产须以非粮原料为主以来, 地处中国热区 (我国热带、南亚热带地区简称热区) 的广西壮族自治区就一直受到关注。严格意义上的热区面积在我国约为 29 万平方公里, 其中广西占的比例最大^[1], 达 38.9%, 是发展生物质原料的理想地区。木薯是国家指定的非粮作物之一, 是生物质能源生产的很好原料, 在这方面广西具备独特优势。2009 年广西木薯种植面积已达 30 万 hm², 产量达 600 万 t, 无论种植面积与产量均占全国总量

的 65% 以上。根据广西土地开发利用的中长期规划, 广西可开发利用的荒山荒地达 3 000 万亩^[2]。如果用其中的 2/3 种植木薯, 并采用优良品种、灌溉、施肥等集约型种植方式, 鲜薯最高产量可达 4 t/亩。平均亩产可达 2.5 t, 可收鲜薯约 5 000 万 t, 按 7 t 鲜薯产 1 t 乙醇计算, 可生产燃料乙醇 700 多万 t, 形成一个较大的生物质能源产业。

国家重视广西木薯资源的利用, 2008 年在广西北海建成的广西中粮生物质能源有限公司“年产

Received: June 8, 2010; Accepted: June 28, 2010

Supported by: Key Projects in the National Science and Technology Pillar Program during the Eleventh Five-Year Plan Period (Nos. 2007BAD75B05, 2007BAD75B07).

Corresponding author: Ribo Huang. E-mail: rbhuang@gxas.ac.cn

“十一五”国家科技支撑计划 (Nos. 2007BAD75B05, 2007BAD75B07) 资助。

20 万 t 木薯燃料乙醇示范装置”是目前国际上唯一的一套木薯原料燃料乙醇生产装置。从 2008 年 4 月 15 日起, 广西全面封闭销售使用添加乙醇 10% (V/V) 的车用乙醇汽油 E10, 成为我国首个推广使用非粮原料乙醇汽油的省区。

按照国家发改委给广西制定的生物燃料乙醇发展计划, 广西在 3 年内燃料乙醇要达到 100 万 t, 5 年内达到 200 万 t, 到 2020 年可以扩大到 500 万 t 以上。根据行业估计, 在生物基新型液体燃料商业化生产之前, 即从现在起到 2030 年的约 20 年内, 乙醇仍然是首选的生物燃料, 原因有以下几点^[3]: 一是生产技术非常成熟; 二是可以利用现有设备进行生产, 减少了投资; 三是在 10% 添加量的情况下毋须对发动机进行改造, 这又节省了费用; 四是与其他潜在的液体燃料如丁醇、异丁醇等相比, 其发酵浓度可达到 15%~18% (广西科学院已改造培育出新的酵母菌种, 在 42 h 之内产乙醇量达到 18% (V/V)), 是目前丁醇 (约 1.5%~2.0%) 的 9~12 倍, 因此燃料乙醇的生产成本远远低于丁醇等其他生物燃料。

然而, 目前以非粮作物木薯为原料生产燃料乙醇开始遇到一些问题, 最突出的就是原料供应。本文将从技术原理、存在问题和解决方案展望 3 部分来介绍木薯燃料乙醇。

1 木薯燃料乙醇的技术原理

在分析木薯燃料乙醇的技术原理时, 我们只需用传统的乙醇制备技术与之相比较, 找出木薯原料本身的特殊性, 燃料乙醇与普遍乙醇生产技术的不同, 以及节能降耗的要求^[4-5], 就很容易找到发展木薯燃料乙醇的关键技术。

天津大学与中粮集团合作建设的广西中粮公司“年产 20 万 t 木薯燃料乙醇示范装置”针对以上 3 大内容进行了全面创新, 形成了木薯燃料乙醇生产的独特技术^[6], 成果已通过省部级鉴定, 并于 2010 年获广西科技进步一等奖。该成套技术拥有 12 项专利, 是目前我国乃至世界上技术最完备的木薯燃料乙醇成套生产工艺之一, 其技术内容涉及生物学与工程学两个基本层面。涉及工程学的有以下技术:

“浓酸除砂技术” (因利用的是木薯根茎块作为原料, 故比其他原料如玉米等含砂泥较多)、“鲜木薯浓浆制备技术”、“高温喷射与低能阶换热集成技术”、“CIP 高效清洗技术”、“高效精密精馏技术”、“变温变压分子筛脱水技术”; 而涉及生物学的有以下技术: “低温双酶法完全液化技术”、“同步糖化浓醪发酵技术”、“废水废渣综合利用技术” (见图 1, 旁边的白色小圆圈代表涉及生物学并正在被不断改进的步骤)。由此可见, 木薯燃料乙醇的成功产业化, 须依赖工程学与生物学 (酶学、微生物学) 的有机结合方可实现^[7]。

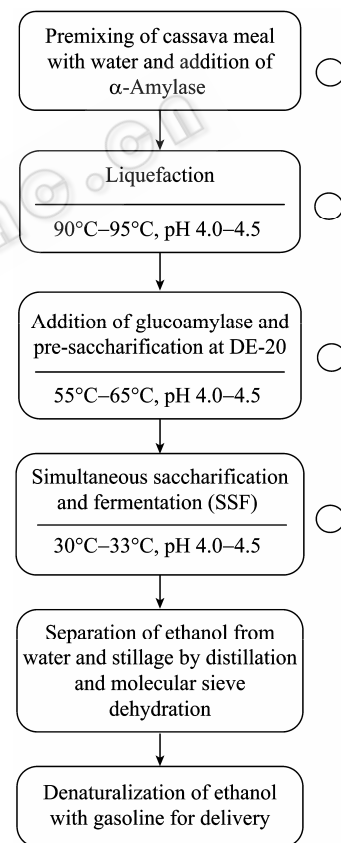


图 1 木薯燃料乙醇生产流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fuel ethanol production from cassava feedstock (the circles on the right indicate the potentials for production cost reduction possibly brought about through the breakthrough or progress in biotechnology).

尽管如此, 由于原料的大幅涨价, 今后还须不断依靠科学技术进步才能在困境中前行。目前, 如何通过进一步优化工程学内容和提高生物学方面的转化效率已成当务之急。位于广西科学院的国家非

粮生物质能源工程技术研究中心已于近期推出了生物学相关的两个成果,在降低生产成本上具有广泛的应用潜力:一是效率比目前国内外高出 3 倍以上的淀粉酶,此酶为基因工程酶,有 5 个重要位点发生了突变,结果使木薯淀粉液化能耗降低 25%以上,而酶用量只相当于国外的 1/3 左右;二是构建了一个专用于木薯淀粉+甘蔗汁混合发酵的优良酵母菌株,它可以在发酵 42 h 左右使乙醇浓度达到 18% (V/V),高效淀粉酶的使用和高浓度发酵技术的发展可望进一步降低木薯燃料乙醇的生产成本。

2 木薯燃料乙醇存在的问题

几年前,当我国开始发展木薯为原料的燃料乙醇时,原料价格还处在一个较为平稳的范围,但最近两年,由于世界范围发展生物质能源的步伐加快,致使木薯原料价格迅速上涨,目前木薯干片(约 2.7~2.9 t 木薯干片产 1 t 乙醇)已超过 1 400 元/t,是 3 年前的 4 倍多。因此,原料的低价格稳定供应是木薯燃料乙醇面临的头等重要问题。此外,木薯燃料乙醇废液的绿色化处理也是这一产业发展面临的挑战,因为不同于玉米和小麦等粮食类淀粉质原料,其废糟液可以采用全蒸发浓缩技术(DDGS)处理,基本上没有污染物向环境排放,DDGS 技术虽然设备投资大,运行能耗高,但副产品饲料的附加值可以弥补这些缺点,而木薯生产燃料乙醇的废糟液则不同,其作为饲料的营养价值较低。与众多其他工业化过程一样,在不显著增加处理成本的前提下,实现低排放甚至零排放是今后不变的发展方向,短期内达到低排放、长期要达到零排放是任何工业过程的始终目标。

3 木薯燃料乙醇问题解决方案展望

乙醇是一种人类认识最早的化合物之一,原因是它与人类日常生活密切相关。古代波斯帝国的先人们即开始学会酿制啤酒,自那时起人类开始从自身味蕾上感觉到这个化合物的“味道”。而人类开始知道乙醇既可在人体内转变为化学能的同时,又可在内燃机中“燃烧”作动力的年代是 1908 年,那时美国人 Henry Ford 设计制造了世界上第一辆使用燃

料乙醇的汽车。我们简短地追忆一下历史其目的就是想向人们传达一个自然界中经常出现的规律:偶然性常常被时间进程固定为必然性。换句话说,如果不是酿酒酵母即 *Saccharomyces cerevisiae* 比较容易生长,到处都可以繁殖存活,人类就不可能从波斯人喝剩的麦芽汁中发现带有泡沫的啤酒;如果人类没把酒类当作食品和饮料天天食用,乙醇的来源也不会那么容易,当年 Henry Ford 也就不会想到利用乙醇来驱动汽车,而是会寻求其他物质来替代,人类这方面的科技积累又有可能体现在另外一些化合物而非乙醇分子上。我们强调这些历史,目的无非就是要说明这样一个事实:由于历史的形成,乙醇是人类利用微生物不断制造出来的可再生物质,它一直伴随着人类走过了漫长的岁月。尽管它的能量密度只有汽油的 78%,并且容易腐蚀输油管道甚至汽车部件,但人类对它已经习惯了,在比它更优越、成本更低的替代化合物面世之前的一段相当长的时间里,它将与生物柴油一道成为生物质能源的重要组成部分,而生物质能源也必将作为当代新能源的一个组成部分而向未来不间断地延伸。

针对木薯燃料乙醇当前存在的问题,我们认为应从以下几方面着手解决:

1) 采用转基因技术培育高产木薯新品种:美国于 2006 年成功地利用转基因技术使木薯产量提高了 2.6 倍^[8],这表明应用转基因技术提高木薯产量是可行的。美国能源部已在去年完成了对木薯的全基因组测序,为该作物的转基因技术研究奠定了基础。

2) 采用创新性耕作法:最近广西科技工作者成功地采用新型垄栽技术使木薯产量提高了 50%~150%,而且是机械化操作,增产效果显著,此技术是国家科技支撑项目《燃料乙醇高效生产共性关键技术和设备研究》子课题的成果,已申请了国家专利。

3) 以微藻为原料生产乙醇:微藻的细胞壁含 60%以上的可发酵糖,如果与微藻制备生物柴油相耦联,利用生物柴油的废弃物经酸解后发酵和产生生物乙醇,将会是个很好的解决问题的方案。

4) 利用类似于美国 Coskata 公司的原型半商业化设计:利用众多类型的非粮原料如秸秆、林业废弃物、城市有机垃圾乃至乙醇废糟液作为出发原料,

经高温气化后产生合成气 (Syngas, 即由 CO 和 H₂ 组成的混合气), 然后在固定有能利用 CO 和 H₂ 直接合成乙醇的特殊细菌的膜反应器上, 利用生物反应合成乙醇^[9]。利用该工艺每加仑乙醇 (1 加仑=3.7 升) 的生产成本不足 1 美元, 折合人民币每升 1.9 元, 是非常有前途的技术。该工艺的核心技术在于其专利菌种和专利膜反应器上 (图 2)。膜的一边是固定化微生物, 而膜另一边让乙醇透过, 边合成边分离, 非常有效。Coskata 公司因此获得 2009 年 MIT 全球技术综评“最具创新性的 50 个公司之一”的光荣称号。

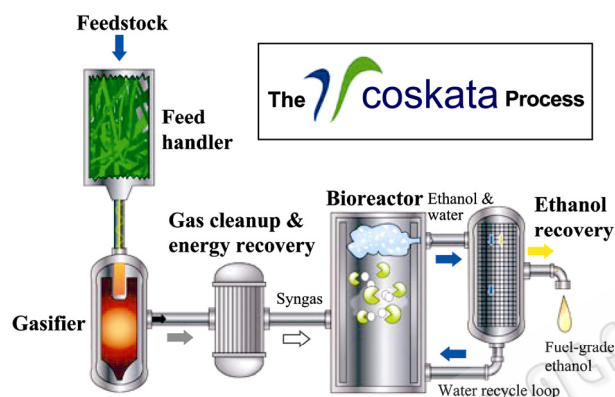


图 2 美国 CosKata 公司提出的利用微生物及膜技术从合成气生产乙醇的原理图^[9]

Fig. 2 Diagram of CosKata process to produce fuel ethanol from syngas (www.coskata.com), also see reference^[9].

5) 从长远看, 生物质能源开发的成功与否, 在很大程度上将取决于生物学领域的研究是否取得关键性突破^[10]。众所周知, 任何能源的形成和使用都需要从一种形式转化为另一种形式, 而部分能量恰恰就损失于各个转化步骤中。生物质能源更是如此。生物质能源的根本来源是生物体对光能的捕获。因此, 生物质能源的基本问题之一就是转化效率^[10]。生物质能源的最终原料可能就是木质纤维素, 而生物学手段在实现其生物能源转化方面将起非常关键的作用: 首先是对各种能源植物的全基因组分析; 其次是通过转基因技术提高植物碳水化合物的产量, 尤其是提高纤维素含量的同时降低木质素含量^[11]; 此外, 改进纤维素酶使水解更高效, 从而大

幅度降低这一降解步骤的能耗^[11], 也是极为关键。根据计算, 如果对涉及生物学的每一个步骤均进行优化, 尤其是通过某种能源植物作为一个整合的平台来实现这些生物学环节的技术创新, 则生物能源的产出量可以比现有水平提高 6 倍之多^[12]。

REFERENCES

- [1] Office of Regional Planning of Tropical Crops of Pastoral Fishery Ministry. Regional Planning of Tropical Crops in China. Guangzhou: Science Press of Guangdong Province, 1989.
农牧油业部热带作物区划办公室编. 中国热带作物种植业区划. 广州: 广东科技出版社, 1989.
- [2] 广西年鉴编辑部. 广西年鉴 2009.
- [3] das Neves MA, Kimura T, Shimizu N, *et al.* State of the art and future trends of bioethanol production. *Dyn Biochem Process Biotech Mol Biol*, 2007, **1**(1): 1-14.
- [4] Nguyen TLT, Gheewala SH. Life cycle assessment of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Interntl J LCA*, 2008, **13**: 147-154.
- [5] Nguyen TLT, Gheewala SH, Garivait S. Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Environ Sci Technol*, 2007, **41**(11): 4135-4142.
- [6] Liu SH, Liu XF. Technological development of non-grain based fuel ethanol production. *Liquo Making*, 2010, **37**(2): 15-19.
柳树海, 刘晓峰. 木薯非粮燃料乙醇生产技术进展. 酿酒, 2010, **37**(2): 15-19.
- [7] Torney F, Moeller L, Scarpa A, *et al.* Genetic engineering approaches to improve bioethanol production from maize. *Curr Opin Biotechnol*, 2007, **18**: 193-199.
- [8] Ithemere U, Arias-Garzon D, Lawrence S, *et al.* Generic modification of cassava for enhanced starch production. *Plant Biotechnol J*, 2006, **4**: 435-465.
- [9] Voegele, E. Waste to ethanol projects move forward. *Ethanol Producer Magazine*, November, 2009.
- [10] Savage DF, Way J, Silver PA. Defossilizing fuel: how synthetic biology can transform biofuel production. *ACS Chem Biol*, 2008, **3**(1): 13-16.
- [11] Ragauskas AJ, Williams CK, Davison BH, *et al.* The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 2006, **311**: 484-489.
- [12] Somerville C. Biofuels. *Curr Biol*, 2007, **17**: R115-R119.