

我国木薯乙醇发酵工业节能降耗的问题和出路

黎贞崇¹, 梁秀明², 黄纪民¹, 陈东¹

(1.广西科学院国家非粮生物质能源工程技术研究中心,广西 南宁 530007; 2.广西科学技术情报研究所,广西 南宁 530022)

摘要: 分析了我国木薯乙醇发酵工业节能降耗存在的问题,提出节能降耗的主要思路,从木薯原料、酶制剂、工艺等方面提出节能降耗的措施。根据酒精生产需要培育能源木薯品种,通过定向分子改造,构建高耐受性、产耐高酒度的酶制剂;采用浓醪发酵、闪蒸等先进节能技术,提高节能效果。采用多方面结合,更好地提高节能效果,实现我国木薯乙醇产业节能减排的宏伟目标。

关键词: 木薯乙醇; 节能降耗; 酶制剂; 工艺

中图分类号:TS262.2;TS261.4

文献标识码:B

文章编号:1001-9286(2010)02-0121-04

Problems and Solutions in Energy-saving in Ethanol Production by Cassava in China

LI Zhen-chong¹, LIANG Xiu-ming², HUANG Ji-min¹ and CHEN Dong¹

(National No-grains Boimass Energy Engineering Technology Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Na'nning, Guangxi 530007; 2. Guangxi Sciences and Technology Information Institute, Nan'ning, Guangxi 530022, China)

Abstract: The existing problems in energy-saving in ethanol production by cassava fermentation in China were analyzed and the corresponding solutions were put forward from the aspects including cassava, zymol and techniques etc. as follows: cultivation of energy cassava species, construction of high alcohol tolerance zymol by directed molecular modification, advanced energy-saving techniques such as thick mash fermentation and flash steaming adopted. The practice of the above measures could achieve satisfactory energy-saving effects and realize the ambitious energy-saving goal in ethanol-making industry in China.

Key words: ethanol production by cassava; energy-saving; zymol; techniques

燃料乙醇不但可作为生物质能源,而且还可以作为石油基产品的替代品。正是由于燃料乙醇的战略地位,国家主席胡锦涛同志在2009年9月22日联合国气候变化峰会上指出^[1]:“大力发展可再生能源和核能,争取到2020年非化石能源占一次能源消费比重达到15%左右”。作为替代能源,燃料乙醇是“十一五”国家重点支持的产业。目前,我国对燃料乙醇实行“免征消费税、增值税先征后补”的政策,同时实行定额补贴。另外,财政部颁发的《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》中提出“石油替代可再生能源开发利用,重点是扶持发展生物乙醇燃料、生物柴油”。在这个背景下,燃料乙醇成为炙手可热的项目。燃料乙醇不但可代替车用燃料作为燃料使用,而且还可作为燃油的增氧剂,降低芳烃、烯烃含量。巴西、美国等国家推行燃料乙醇的成功经验表明,发展燃料乙醇不但能给国家带来巨大的综合效益,而且减轻石油的使用量。在我国还可通过工业反哺农业的模式,推动农业发展,提高农民收入,有助于“三农”问题的解决。

我国对燃料乙醇的重视推动了该产业的空前发展。

我国已出现了吉林燃料乙醇有限责任公司、河南天冠集团、安徽丰原生物化学股份有限公司和黑龙江华润乙醇有限公司4家企业定点生产,到2005年底,4家企业产能已经达到102万t,其燃料乙醇主要在黑龙江、吉林、安徽、河南全省范围内推广。由于燃料乙醇生产企业在实际运行中已经动用了新粮,涉及国家粮食安全,为此出台的相关政策中明确提出“不与人争粮、不与粮争地”的发展原则。2008年4月15日,作为我国第一个非粮燃料乙醇试点省份,广西壮族自治区实现封闭运行推广使用非粮车用乙醇汽油,成为我国第10个乙醇汽油推广省份。国家推广燃料乙醇旨在降低能源的对外依存度,发展燃料乙醇不应以高能耗为代价。国家通过补贴来推动生产企业使用先进技术、降低能耗、提高能量的产出比。本文在分析乙醇能源消耗现状的基础上,对乙醇生产中的木薯前处理、蒸煮糖化、发酵、蒸馏提纯等生产流程的能耗进行分析,从生产原料、生产加工、发酵和蒸馏工艺等方面提出了节能降耗的办法和措施,旨在为木薯燃料乙醇生产企业的技术改革提供参考。

收稿日期:2009-11-20

作者简介:黎贞崇(1970-),副研究员,科研管理人员,主要从事生物质能源开发和利用研究。

1 我国乙醇发酵工业的现状

我国的乙醇发酵工业始于1900年黑龙江省哈尔滨市,但一直到1949年,全国的乙醇生产总量不到1万t。1949年后,我国的乙醇产量增长到300万t,跃居世界第三位。在这60年的发展过程中,我国初步形成了企业生产、工程设计、科学研究、人才培养、综合利用、环境保护、检验检测等完整的乙醇工业发展体系。至目前为止,我国有乙醇专业生产厂家200多家,乙醇生产能力已达500万t^[2]。我国乙醇生产的主要地区是吉林省、黑龙江省、山东省、河南省、江苏省,广西壮族自治区及天津市等,表1列出了近年我国主要省市(自治区)乙醇生产的产量。

表1 近年我国乙醇主产区乙醇产量^[2] (×10⁴t)

省区	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
吉林	20.36	26.73	49.64	75.70	100.92
安徽	8.60	8.42	20.61	57.63	45.60
江苏	22.82	19.82	33.63	49.58	56.75
山东	66.31	41.46	37.95	45.70	39.26
河南	14.08	24.21	35.03	41.00	52.12
广西	17.64	16.47	21.80	33.76	44.90
黑龙江	32.37	26.22	28.19	32.91	41.07
四川	13.17	9.08	13.67	21.99	17.68
天津	18.62	15.38	17.74	19.68	22.67
内蒙古	-	-	4.88	18.97	37.74
云南	14.74	14.10	12.05	11.58	16.15
广东	6.30	6.47	7.53	10.23	12.37
河北	4.33	5.09	5.14	8.11	8.90

目前,我国生产乙醇主要用于调制蒸馏酒、燃料乙醇、医药化工和化学试剂等。纵观世界乙醇发酵工业,其在生产规模和整体加工工艺方面已取得很大的改进,并从生产工艺向生物工程技术实现跨越式的进步。每吨乙醇能耗也大幅度降低,由能量负平衡的情况转向了正平衡,现平均水平已过1:3^[2]。表2为燃料乙醇生产企业及产量基本情况。

表2 燃料乙醇生产企业及产量

企业名称	产量 (万t/年)	原料
吉林燃料乙醇有限公司	30	玉米
河南天冠企业集团有限公司	30	小麦
安徽丰原生物化学股份有限公司	32	玉米、马铃薯
黑龙江中粮生物质能源有限公司	10	玉米
广西中粮生物质能源有限公司	20	木薯

木薯是我国乙醇生产的主要原料之一,也是目前我国非粮乙醇生产的最主要原料之一。木薯干片的平均淀粉含量达65%以上,其中直链淀粉约占17%,其余为支链淀粉。广西的木薯产量占全国总产量70%以上,丰富的木薯资源促进了当地木薯乙醇产业的发展,随着国家大力推进非粮燃料乙醇的发展,广西的木薯乙醇发展进入了快车道,目前,广西拥有众多的木薯乙醇生产企业(见表3)。

表3 5万t规模以上木薯乙醇生产企业

企业名称	产能 (万t/年)	原料
广西中粮生物质能源有限公司	20	木薯
广西新天德能源有限公司	10	木薯
广西金源生物化工有限公司	14	木薯
广西蛟龙乙醇能源公司	6	木薯
广西凭祥市丰浩乙醇有限公司	5	木薯、糖蜜
广西平果凯特生物化工有限公司	5	木薯
广西防城港海源酒业化工有限公司	5	木薯

2007年,广西中粮生物质能源有限公司20万t木薯乙醇生产线试产成功,2008年,广西封闭木薯乙醇汽油运行。至此,我国第一个非粮燃料乙醇汽油省份已经稳定运行了近2年。由于广西中粮生物质能源有限公司20万t木薯乙醇生产线的上马,加大了广西乙醇企业对木薯的需求,木薯的收购价格从220元/t上升到500元/t,最高达600元/t。由于生产原料不足,近年来广西不断加大对泰国、越南木薯的进口量。2007年,我国进口泰国木薯达292万t。

广西5万t规模以下的企业还有100多家,由于企业规模小,资金分散,无法配置一些技术先进的装备,更无法实现能源的综合利用,加上环保问题,使广西乙醇成本高,缺乏竞争力,企业经济效益不佳^[3-4]。广西的乙醇企业与区外先进企业相比有一定的差距。由于采用低温蒸煮、常压蒸馏等传统工艺,发酵时间长,因而需要很大的能耗,无形中增加了乙醇生产的成本。广西的燃料乙醇生产企业仍以乙醇为主要产品,缺乏高附加值的产品,如杂醇、干冰、生物肥等,大多企业仍以初、中级产品为主,产业的自主发展能力较弱。

2 我国木薯乙醇发酵工业能耗问题

木薯发酵法生产乙醇必须经过原料预处理、蒸煮糖化、发酵、蒸馏提纯4个阶段,根据已产业化企业的各工艺流程的平均能耗值,除原料预处理(粉碎)和木薯发酵的能耗仅占总能耗的6%,蒸馏提纯占57%,蒸煮糖化占37%,其他部分忽略不计。

从图1可知,蒸煮糖化、蒸馏提纯占木薯乙醇总能耗的90%以上。国外乙醇生产技术自石油危机以来,有了更快的进步,特别是在节能、综合利用和自动化等方面,与我国拉开了差距。美国在玉米乙醇、巴西在甘蔗乙醇方面掌握着世界领先的技术,并形成了一定的产业规模。由于石油对外依存度的上升,我国加快了燃料乙醇的推进力度。我国发展燃料乙醇开始以陈化粮为主,现逐渐发展到非粮的木薯和糖蜜。由于发展晚,我国乙醇发酵工业的能耗较高,我国每吨乙醇平均能耗800kg以上,世界水平为300~400kg。分析我国乙醇能耗构成可知,其原因是蒸煮糖化和蒸馏技术水平不高,致使其能源消耗过大。我国乙醇蒸馏耗用热能占乙醇生产总热能耗的60%左

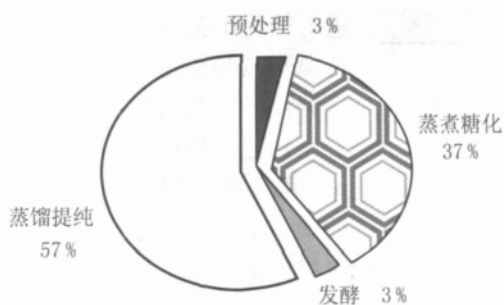


图1 木薯乙醇各流程能源构成

右,投入的大量热能均为馏出的乙醇气或排出的废糟废水所带出。

2.1 原料预处理

木薯原料预处理的能耗主要用在木薯原料的输送和粉碎,木薯粉碎的方式为机械粉碎方式,其能耗的改进空间不大。木薯粉碎设备主要有雷蒙机、锤片式粉碎机等。木薯原料的除杂也需要部分能耗,主要设备是平面回转筛和TCXT系列强力永磁筒。除杂设备虽然增加了部分能耗,但原料的除杂有利于降低设备的磨损,确保生产的正常运转。原料的输送设备为常规设备,其能源消耗占总能源消耗的1%左右,与蒸馏相比可忽略不计。

2.2 蒸煮糖化

木薯原料蒸煮的主要目的是使木薯淀粉液化。淀粉液化的方法有几种,早期的工艺是高温液化法、升温液化法等。高温高压蒸煮法的原理是将原料和水混匀后于130℃下进行高温高压处理。高温高压是最耗能的工艺。随着酶工程的发展,传统的高压高温蒸煮逐渐被取代,目前的蒸煮液化处理方式可分为3种:高温蒸煮、中温蒸煮和低温蒸煮,液化过程中广泛使用液化酶(α -淀粉酶)对原料进行液化处理。根据蒸煮温度的不同,发酵过程加酶的品种也不同。蒸煮部分的能源消耗就是蒸煮糖化全部的能源消耗,由于糖化过程完全可以利用液化后原料的温度,因为糖化阶段基本不需要额外的能源消耗。

木薯的糖化是利用糖化酶将淀粉液化产物糊精及低聚糖进一步水解成葡萄糖的过程。糖化分前糖化阶段和后糖化阶段,因为糖化过程受时间限制,不可能将全部的淀粉转化为糖,所以在发酵过程中还存在糖化过程,即后糖化过程。随着工艺的成熟,美国有部分企业开始采用只液化不糖化的工艺,直接进入发酵罐,实现边糖化边发酵,这个过程虽不会大幅降低能源消耗,但将大大缩短发酵时间。

2.3 发酵

淀粉的发酵经过酵母细胞内糖-乙醇转化酶系统的作用,生成乙醇、二氧化碳和能量,其中一部分能量作新陈代谢的能源,余下的部分能源排出细胞外。在主发酵期,酵母代谢释放出大量的热量,醪液温度上升快,必须通过降温措施使发酵液循环冷却。发酵的能耗主要是冷却的能耗,但其冷却过程多数采用冷却水循环方式,其能

源仅仅是抽水的动力消耗,其能耗量很小,与蒸煮相比可忽略不计。

2.4 蒸馏提纯

乙醇的蒸馏主要利用液体混合物中各组分挥发性能的差异,将各组分分离,虽然能耗大,但蒸馏仍是目前乙醇企业使用的惟一方法。从成熟醪液提取乙醇和其他多元醇是一个高耗能的过程,也是成本控制的关键。根据蒸馏工艺的不同,其能耗差别也特别大。乙醇生产中投入的大量热能都为馏出的乙醇气或排出的废糟废水所带出,热效率很低。20世纪50年代,采用的两塔间断蒸馏流程就是一个产能低、消耗大的流程工艺。后期的常压蒸馏虽然降低了能耗,但其蒸馏过程的能量仍未能充分利用。采用常压蒸馏的生产企业,其蒸馏提纯阶段的能耗占总能耗的50%以上,部分企业超过60%。生产企业在蒸馏提纯阶段可以有很大的技术提升空间。

3 我国木薯乙醇发酵工业节能降耗措施

木薯乙醇发酵工业的节能降耗必须从原料到产品的整个过程中加以分析考虑:原料方面,需要研究开发出淀粉含量高、耐储藏的木薯品种,以及含有淀粉酶等工业酶的转基因木薯品种,从源头开始考虑节能因素,为后续环节的节能做准备;酶制剂方面,研究开发出高发酵性能、高耐受性的酶制剂,重点推广中高温淀粉酶、耐酸糖化酶和产高酒度的酵母菌,降低淀粉酶的使用温度、糖化酶使用的pH值,提高醪液的酒度,从而降低能耗;工艺方面,推广使用喷射液化器、双酶法糖化、浓醪连续发酵、多塔差压蒸馏、真空闪蒸降温、清液回用、热电联产等工艺,充分利用一次蒸汽,降低蒸汽消耗,提高节能效果。

3.1 原料

木薯原料影响加工产品的主要因素有含粉率和品质。木薯含粉率的高低和品质影响着加工的工艺控制和质量,因而木薯乙醇发酵企业应该把木薯种植基地作为第一车间,直接参与到木薯种植的规划。生产企业应该根据木薯乙醇发酵的需要,筛选、培育和推广出能源木薯。根据能源生产的需要,培育出淀粉含量高、储藏期长、高产量、支链淀粉高的木薯品种。科研单位和生产企业应有针对性地开发出符合能源工业不同需要的能源木薯品种。通过分子标记、基因工程手段,加快木薯的转基因品种研究力度,将工业酶的产生基因转入木薯品种,让木薯在获取淀粉、提高品质的同时,生长出部分工业酶种,减少产品的投入成本,降低能耗。

3.2 酶制剂

先进的发酵工艺和节能技术离不开高效的酶制剂。木薯乙醇发酵工业的主要酶制剂有酿酒酵母、 α -淀粉酶、糖化酶等。要提高节能效果必须提高酶制剂的效率和耐受性,通过酶的定向改善酶的特性。表4是酿酒酵母、 α -淀粉酶、糖化酶的传统特性与分子改良后特性比较。

表4 酿酒酵母、 α -淀粉酶、糖化酶特性的比较

项目	传统特性			改良后特性		
	pH值	温度(°C)	酒度(%vol)	pH值	温度(°C)	酒度(%vol)
酿酒酵母	3.8~4.0	37~38	12	3.8~4.0	37~38	15以上
α -淀粉酶(中温)	5.5~7.0	60~70	-	3.5~4.0	40~50	-
糖化酶	4.0~4.5	58~60	-	3.5~4.0	30~40	-

进行糖化工艺。糖化节能技术主要是低温蒸煮和糖化,操作温度从140℃下降到80℃,热能消耗下降40%;二是构建耐酸糖化酶,将糖化酶的耐pH值降低到5.0以下,使之与酵母的最适pH值相近,直接实现同步糖化发酵,提高同步糖化发酵的效率,从而降低能耗。

3.2.1 酿酒酵母

从表4可知,酿酒酵母的定向改造向着耐酸、耐高温、耐高温等方向发展,目的是提高发酵的工作温度,提高耐酸程度,提高产耐酒度。定向改造后的耐高温酿酒酵母菌株在生产上的优势主要体现在^[5]:①具有较高的发酵能力,即能快速并完全将糖分转化成乙醇,能够解决糖化温度和发酵温度不协调的矛盾,实现真正意义上的边糖化、边发酵,从而减少葡萄糖对纤维素酶的抑制作用,提高纤维素酶的糖化率,进而提高纤维素发酵生产燃料乙醇的得率;②繁殖速度快,即具有高的生长速度,高温发酵还能够提高发酵效率,降低发酵时的冷却成本;③具有高的耐乙醇能力,即对本身代谢产物的稳定性高,因而可以进行浓醪发酵;④抗杂菌能力强,即对杂菌代谢产物的稳定性高,耐有机酸能力强;⑤对培养基的适应性强,耐高温、耐盐和耐干物质浓度的性能强。

高性能的发酵酵母降低能耗的原理是:提高发酵温度后,成熟醪液的温度也提高了,减少了蒸馏提纯阶段加热的能耗;成熟醪液的酒度提高后,提高单位醪液的产酒率,减少了单位乙醇的能耗。每提高发酵温度2℃,可降低蒸馏能耗的1%。

3.2.2 α -淀粉酶

为了节约能源消耗,各企业陆续推广使用喷射液化器。喷射液化器在105℃以下喷射液化时,蒸汽压力仅需0.1MPa即可满足液化需求,而且用汽均衡,汽液混合均匀,与传统的液化方法相比,可节省蒸汽15%以上。通过定向进化手段,将 α -淀粉酶的最适温度调整到90℃时,可以降低喷射液化器的工作温度,减少蒸汽的使用量,从而减少能源消耗。耐高温 α -淀粉酶的应用为酿酒酵母的浓醪发酵提供基础,也为降低吨乙醇煤耗、水耗创造了条件。

3.2.3 糖化酶

通过分子定向改造技术应用于糖化酶的改造,主要目的是进一步提高耐受性和酶活力。糖化酶的定向分子改造技术有两个方向:一是构建耐热糖化酶,将糖化酶的耐热温度提高至90℃以上,使淀粉液化后无需冷却即可

3.3 加工工艺

加工工艺已有较多的文献报道^[5-7],其节能措施主要包括双酶法,85℃低温蒸煮、浓醪发酵、多效差压蒸馏、闪蒸降温节能、分子筛脱水、沼气回用等。根据董丹丹等人报道,双酶法85℃低温蒸煮的节能效果在20%以上,浓醪发酵节能效果在40%以上,多效差压蒸馏节能50%以上,分子筛脱水节能20%以上,沼气回用根据情况不同节能效果不一。此外,酒糟的合理利用不但降低环保的处理成本,而且可产生大量沼气,可用于锅炉燃烧和发电。

总之,木薯乙醇发酵工业的节能措施应从源头着手,将原料基地作为第一车间,根据酒精生产的需要培育能源木薯品种。酶制剂是木薯酒精节能的一个重要手段,通过定向快速进化的分子改造工具,构建出高耐受性、产耐高酒度的酶制剂,从节能的要求来构建工业用酶。加工工艺是最为宏观的节能办法,根据生产的需要,采用浓醪发酵、闪蒸等先进节能技术,提高节能效果。只有三方面结合,才能更好地发挥木薯酒精发酵工业的节能效果,最终实现我国节能减排的宏伟目标。

参考文献:

- [1] 胡锦涛在联合国气候变化峰会开幕式上的讲话[EB/OL].http://news.xinhuanet.com/world/2009-09/23/content_12098887.htm, 2009-09-23.
- [2] 贾树彪,李盛贤,吴国峰.新编乙醇工艺学(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [3] 黎贞崇,黄志民,杨登峰,等.影响木薯燃料乙醇产业发展的不利因素及对策[J].可再生能源,2008,(3):110-114.
- [4] 黎贞崇.广西发展燃料乙醇存在的问题及对策[J].化工技术与开发,2007,(8):26-28.
- [5] 庞会利,李景原,秦广雍.耐高温乙醇酵母的研究现状及进展[J].酿酒科技,2008,(2):99-102.
- [6] 董丹丹,赵黛青,廖翠萍,等.生物基燃料乙醇生产工艺的能耗分析与节能技术综述[J].化工进展,2007,26(11):1596-1601.
- [7] 中国木薯加工行业调查情况[EB/OL].http://www.hdcmr.com/. 2009-02-04.

江苏洋河连获“振兴苏酒突出贡献企业”等殊荣

本刊讯 江苏洋河公司被江苏省经济和信息化委员会表彰为“振兴苏酒突出贡献企业”,被中国轻工业联合会授予积极参加《中华人民共和国成立60年成就展》“贡献奖”,同时,公司产品“梦之蓝”被授予“优秀产品奖”。另外,公司洋河蓝色经典牌52度梦之蓝被江苏省食品工业协会、质量协会等联合认定为2009年度江苏白酒创新产品,洋河蓝色经典牌52度天之蓝、52度海之蓝、洋河牌55度洋河大曲、38度洋河大曲、洋河敦煌牌55度洋河优曲被确认产品质量保持省优质产品水平。

2009年12月14日,在宿迁市“安康杯”竞赛十周年经验交流会上,公司继2006、2007年度荣获全国“安康杯”竞赛优胜企业称号后,2008年度再次获此殊荣,实现了全国“安康杯”竞赛优胜企业“三连冠”。(小小)