

浅谈玉米燃料酒精生产中的节能减排

李关富

(中国重型机械有限公司, 北京 100036)

摘要: 燃料酒精作为替代能源, 其行业发展是否也应该“节能减排”, 以便能更好地茁壮成长, 而不是列入国家落后产能或工艺的名单之中。本文试图从玉米燃料酒精工艺的原料处理以及生产工艺各步骤展开, 寻找和探讨可以优化的途径, 让燃料酒精成为名副其实的可再生能源。

关键词: 玉米; 燃料酒精; 节能减排

中图分类号: TK6

文献标识码: A

文章编号: 1001-9677(2013)04-0052-03

Energy - saving and Emission - reduction in Production of Fuel Ethanol from Maize

LI Guan - fu

(China National Heavy Machinery Corporation, Beijing 100036, China)

Abstract: Fuel ethanol was considered as an alternative energy, whether its development should be energy - saving and emission - reduction to be prosperous and not be listed as backward technology. The analysis was made on each process of fuel ethanol production from maize and try to find and discuss any means can be optimized to let it become a true renewable energy source.

Key words: maize; fuel ethanol; energy - saving and emission reduction

能源短缺、能源危机、能源枯竭等字眼, 常常见诸于报刊、杂志、书籍等之上。有一条比较明显的例子就是, 作为能源主要来源之一的, 原油, 虽然其价格起起伏伏, 但其稳中有升, 持续向上的趋势却是人们所认可和熟知的。

节能减排, 就是节约能源, 减少排放, 按照2008年4月1日实施的《中华人民共和国节约能源法》的定义, “节约能源(以下简称节能), 是指加强用能管理, 采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施, 从能源生产到消费的各个环节, 降低消耗、减少损失和污染物排放、制止浪费, 有效、合理地利用能源^[1]。”

为了减少化石能源的消耗, 世界各国都在积极寻找替代能源。燃料酒精, 可以添加和混合到汽油中, 大部分国家(如中国、泰国、澳大利亚等)都使用E10, 即添加10%的燃料酒精, 巴西则是E25。对于FFV(巴西、美国等), 则可添加E85。由于添加不影响汽油的使用, 燃料酒精成为一种大家都在积极发展的一种替代能源。根据其原料来源地的自然情况不同, 燃料酒精的生产也有各种不同的工艺。如巴西, 就是以甘蔗作物作为主要来源; 而东南亚以及非洲的一些地方, 则把木薯作为原料; 其他如高粱, 或者作为糖厂的配套, 用糖蜜生产酒精等也是不错的选择。但作为燃料乙醇生产量最大的美国, 却主要是以玉米为原料来生产的。我国最大的燃料酒精生产厂家之一的吉林燃料乙醇有限责任公司, 也是采用玉米作为原料。从玉米生产酒精, 涉及到与民争粮, 当然, 这个争议是仁者见仁, 智者见智。国内有很多厂家据此开始进口或在外国种

植木薯(国内木薯产量有限), 以其作为原料来生产。但现阶段, 仍以玉米为主。因此, 笔者就以玉米为例, 从原料的处理开始来谈谈燃料酒精生产中节能减排的一些看法。

1 原料来源及处理

原料来源选择非常重要, 涉及到原料的采购价格和运输成本。原料应就近采购, 辐射半径不宜过大。根据美国伊利诺伊大学2008年的一项调查, 大部分工厂的采购半径约为75公里左右^[2]。因此, 燃料酒精厂址选择时, 应考虑各种条件的区别, 综合考查区域内作物产量。

其次, 玉米的质量, 尤其是淀粉含量, 一般为65%~73%^[3], 其高低将直接影响到产品的数量。应仔细测算高淀粉含量玉米对工厂利润的提升, 出台鼓励种植户引进高质量品种(如郑单18号, 淀粉含量在75%以上^[4])的激励政策。淀粉含量高, 则其他成分百分比就会下降, 从而可以达到减少排放的节能目的。

原料收集后, 就会涉及到存储和除杂。清除收集时混入的杂质, 将降低对后续工序的磨损, 提高各设备的有效工作能力。

2 公用工程及辅助原料

酒精生产中, 除了原料玉米之外, 最需要的物质之一, 水。由于酒精生产中需要大量用水, 比如工艺水, 直接参与反应过程; 各种冷却水, 冲洗水等。因此厂址的选址, 应尽量靠

近水源，有自己独立的水源，如河流湖泊等；又由于各种用水质量标准较高，多数需要达到饮用水标准，选址什么样的净化工艺也很关键。一般是先软化，然后经活性炭吸附过滤及离子交换等，视原水的水质调整相应方案。

其次，由于燃料酒精生产中工艺较多，如液化和糖化，发酵，蒸馏，脱水，干燥等，反应条件各不相同，介质温度不断变化，需要使用较多的换热器。如果厂址靠近有蒸汽源，则可加以利用；一般酒精厂都会配备自备电站，产汽和发电并行。从减排的角度考虑，锅炉的燃料可以就近酌情考虑生物质如稻壳、木屑、农作物秸秆等作为补充，降低化石燃料的消耗，节约资源。当然，也有利用秸秆中的木质纤维素，研究生产燃料酒精，比如中粮生化能源（肇东）有限公司就有一个专门的木质纤维素燃料酒精项目部，但现在还没有真正商业化生产。而酒精厂作为用电大户，应在设计之初综合考虑，减少工艺中的物料机械输送，合理利用势能，让其自然流动，减少用电量，如黑龙江生命科学研究院就曾提出过势能自留式酒精连续发酵罐组的设想^[5]。机电设备本身，均应配备变频电机。由于工业生产中载荷不稳定，如果使用单一频率电机，经常会出现“大马拉小车”的现象，使用变频电机后，风机、泵类等节能可达 20%~40% 左右^[6]，节能效果相当可观。

其他辅助原料，如酶、酸碱等，应根据工艺要求选用合适类型，尽量减少和简化厂内的配制过程，以减少不必要的损耗，达到减排的目的。

3 原料的破碎和分离

玉米除杂后，一般工艺是将其破碎，分干法和湿法。现在一般采用干法破碎，破碎机的选址尤为关键。现在国内厂家已有做到，对于水份含量 14% 的玉米，破碎能力约 15 t/h，粒径为 1 mm 时，能耗可低至约 11.2 kW·h/t。如果粒径要求稍大，则能耗率会降至更低。

上述为直接破碎，现在已有人研究，先从玉米中分离出胚和果皮以提炼油，然后再生产酒精，与常规工艺相比，酒精产量差不多，但减少了用作饲料的 DDGS 产量而转换成玉米油等高附加值产物^[7]。

4 液化和糖化

酒精的生成，主要是酵母菌将葡萄糖发酵得来。如前述巴西，就是从甘蔗里的糖直接反应，因此工艺和成本就相对简单，所以添加到汽油中的量也相对高一些。但对于其他作物，如木薯、高粱及玉米等，其主要成分是淀粉，而淀粉一般是长链的糖聚合物。因此需要将淀粉中的长链割裂，常规工艺是加热膨胀而糊化，加入淀粉酶液化，再使用糖化酶将其糖化。由于酶各自的反应条件不一致，淀粉酶高，糖化酶低，因此升温又降温可能导致能量利用的不经济性。现在诺维信和捷能科都开发出了新的淀粉水解酶，可在温度低至 48℃ 时将淀粉转化成葡萄糖^[8]，基本接近糖化的温度（最适宜温度为 58~60℃，可作用温度 40~65℃），这将大大提高液化和糖化工艺的能量利用效率。因此，选择合适种类的酶将极大地影响整厂的效率。

5 发酵

发酵是酒精生产中的关键工序，发酵工艺和参数的选择将决定葡萄糖的转化率，进而影响产品酒精的得率。现在一般认为，影响高效率酒精发酵的因素有酵母细胞密度、乙醇浓度、

葡萄糖浓度及溶解氧浓度等四方面^[9]。

首先，是酵母菌的培养。酵母菌的生产有几个重要条件，即温度、pH 和营养源。由于酵母菌繁殖的温度相对其作用温度为低，如何控制好发酵各阶段的温度是一个关键问题。初期时酵母菌数量较少，就考虑调整温度，使其快速繁殖和发育。而由于发酵是放热反应，随着发酵的推进，温度会逐渐升高。温度升高后，其他杂菌的繁殖速度相对较快，因此生产中应随时检测和控制温度的变化，以达到良好的生产效率。酵母菌生长的 pH 值控制也会对发酵过程产生显著影响，一般适宜 pH 范围为 4.8~5 之间。如果前述杂菌生长过快而导致酸度增加，是否可以考虑进行 CIP 在线清洗，杀菌并调整其 pH 值。而营养源方面，则要兼顾能否利用系统内部的各种碳源、氮源等，也需要根据情况选择添加外部营养。而且，还可考虑将随发酵成熟醪流走的酵母细胞用一定的方法从醪液中分离出来，并返回到发酵系统中继续进行发酵。

其次，乙醇浓度的影响。现在酒精生产企业普遍意识到浓醪发酵这一先进技术，可谓优点多多。具体到节能减排上则有，提高产量，相应地排放物就会降低；设备利用率提高，降低能耗；节约工艺用水，减少后续工艺的处理量等等。因此，合理选择发酵罐中酒份，即尽可能提高酒精浓度，又要保证效率。关于浓醪发酵的研究很多，比如赵华等就对高酒份状况下酸性蛋白酶的添加进行了研究，并取得良好效果^[10]。

糖份和溶解氧浓度，很大程度上是影响酵母菌的繁殖速度，也需要根据生产情况加以监测和控制。

6 蒸馏

蒸馏是酒精生产中不可或缺的一道工序，可将酒精在醪液中 12%~18% 的浓度提纯到 96% 以上。现在酒精企业几乎都采用多塔差压蒸馏系统。主要是各塔蒸馏压力不同，因而塔顶气温度也不同，温度高的塔顶气可作为其他塔的加热蒸汽，合理地利用了热能。但即使在差压蒸馏工艺中，仍然有许多问题需要改进。比如，塔数，是双塔还是多塔？各杂质的去除顺序等？国内最开始引进法国六塔差压蒸馏的安徽特酒总厂就一直在进行改进^[11]。因此生产中需要根据运行，发现问题，解决问题。

7 脱水、分离及干燥

蒸馏后的酒精浓度可达到 95% 以上，要想达到燃料酒精的标准，一般还需经过脱水。现在普遍认为分子筛脱水是很好的选择。

蒸馏塔底的釜馏液，经分离后，清液可以再去蒸馏，或者送入拌浆，固含物多的部分可蒸发干燥后生产 DDGS 饲料。本工序在生产中，应该调节清液回送量，尽可能降低废水处理量。现在众多机构都在研究废水零排放，国内江南大学和河南天冠集团就联合开发了燃料乙醇沼气双发酵耦联循环新工艺技术^[12]。

8 结语

节能减排，任务艰巨。如果根据上述对酒精生产各工序需要节能减排注意点的探讨，能够给酒精生产企业或者人员在厂址选择，工艺选择，设备选择，参数选择各方面提供参考，并得以综合考虑和持续改进，则算得上笔者对于推进燃料酒精行业的发展，也尽了一份绵薄之力。其实，生产过程中，还有一

(下转第 71 页)

叶中含量变化恰好相反，在 K_4 (15 mg/kg P) 和 K_5 (17.5 mg/kg P) 这一点，玉米根中重金属含量反而增加，这可能是因为在这两个配比点，磷肥很好降低了土壤中重金属进入植物地上部分的含量，而使它更多的固定在了土壤或植物根系部。

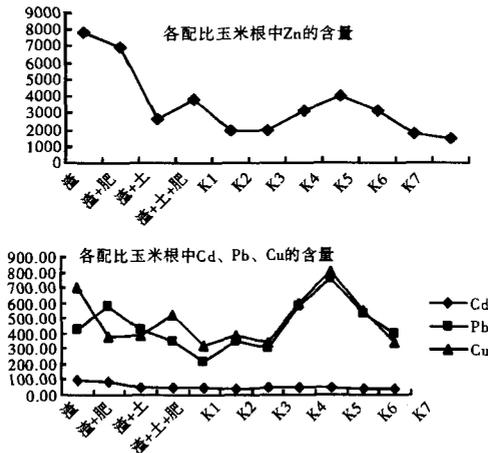


图 3 不同配比对玉米根中重金属含量的影响 (单位: mg/kg)
Fig. 3 Influence of different ratio of phosphate to heavy metals contents in maize's root

3 结论

本试验研究结果表明，土壤重金属污染对玉米的生长发育表现出明显的抑制作用。不同的磷肥配比处理对玉米茎叶、根中重金属含量的影响有比较明显的差异。纯渣中生长的玉米茎叶、根中重金属含量很高，大大超过了国家食品卫生标准。加入改良剂磷肥后，不同的磷肥配比处理对玉米茎叶、根中重金属含量的影响有比较明显的差异，在配比 15 ~ 17.5 mg/kg 范围内，玉米茎叶中四种重金属 (Zn、Cd、Cu 和 Pb) 出现了浓度

含量最低点，而根中各种重金属含量反而增加。

参考文献

- [1] Singh J P, Karwasra S P S, Singh M. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India [J]. Soil Sci., 1998, 146: 359 - 366.
- [2] Thornton, I. Bioavailability of the elements in the food chain. In Proceeding of the 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements [J]. Vienna, 1999, 7: 11 - 15.
- [3] 陈晓婷, 王果, 梁志超. 钙镁磷肥和硅肥对 Cd、Pb、Zn 污染土壤上小白菜生长和元素吸收的影响 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2002, 31(1): 109 - 112.
- [4] 韩凤祥, 我国某些旱地土壤中锌的形态及有效性 [J]. 土壤, 1990, 22(6): 302 - 306.
- [5] Cotter - Howells J, Capron S. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphate [J]. Appl Geochem, 1996(11): 335 - 342.
- [6] 曹仁林, 霍文瑞, 何宗兰, 等. 钙镁磷肥对土壤中镉形态转化与水稻吸镉的影响 [J]. 重庆环境科学, 1993, 15(6): 6 - 9.
- [7] 国家环境保护局. GB 15618 - 1995 土壤环境质量标准 [S]. 1995.
- [8] 刘凤枝, 农业环境检测实用手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [9] 刘光崧, 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法: 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 中国标准出版社, 1996.
- [10] Peters R W. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils [J]. Journal of Hazardous Materials, 1999, 66: 151 - 21.
- [11] Bradley S, Crannell T, Taylor Eighmy, James E. Heavy metal stabilization in municipal soil waste combustion bottom ash using soluble phosphate [J]. Waste Management, 2000, 20: 135 - 148.
- [12] 李海英, 顾尚义. 黔西北土法炼锌矿区重金属污染现状及其环境影响评价 [J]. 中国环境监测, 2009, 25(1): 55 - 60.
- [13] 刘扬林, 蒋新元. 株洲市白马乡土壤和农作物重金属污染评价 [J]. 土壤, 2004, 36(5): 551 - 556.

(上接第 53 页)

个重要的因素，那就是管理。如果管理到位，设备维护得力，系统得以满负荷长时间运转，那也是极大的节能减排！

参考文献

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国节约能源法: 第一章第三条 (Z). 2007, 10.
- [2] Steffen Mueller, University of Illinois at Chicago, Detailed Report: 2008 National Dry Mill Corn Survey, Page 9, May 2010.
- [3] 贾树彪, 李盛贤, 吴国锋. 酒精工艺学 (第二版) [M]. 化学工业出版社, 2009: 7.
- [4] 张新, 王振华, 王懿波, 等. 国审高淀粉优质专用玉米新品种郑单 18 号的选育 [J]. 河南农业科学, 2002(1): 8.
- [5] 李盛贤, 贾树彪, 岳国君, 等. 势能自流式酒精连续发酵罐组的设计与分析 [J]. 酿酒, 2002(1): 78 - 79.
- [6] 钟伟强. 变频调速电机节能分析 [J]. 广西节能, 2004(2): 28 - 29.

- [7] Vijay Singh. Presentation on Ethanol Production in US [OL]. 2007: 16. <http://www.istc.illinois.edu/about/SeminarPresentations/Ethanol-Production.pdf>.
- [8] Vijay Singh. Presentation on Ethanol Production in US [OL]. 2007: 27. <http://www.istc.illinois.edu/about/SeminarPresentations/Ethanol-Production.pdf>.
- [9] 李雪雁. 变频调速电机节能分析 [J]. 广西节能, 2002(2): 66 - 67.
- [10] 赵华, 赵树欣, 张维, 等. 酒精发酵中应用酸性蛋白酶的研究 [J]. 食品与发酵工业, 1997(2): 26 - 28.
- [11] 邱梅影. 关于酒精多塔差压蒸馏改进探讨 [J]. 酿酒, 2004(1): 60 - 61.
- [12] 河南天冠集团. “燃料乙醇沼气双发酵耦合循环新技术”通过鉴定 [OL]. 2012 年 11 月 26 日, http://www.tianguan.com.cn/jituan/xinwen_Show.asp?ArticleID=841.