

中国生物质燃料乙醇项目能量生产效率评估

戴杜^{1*}, 刘荣厚², 浦耿强¹, 王成焄¹

(1 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200030 ;

2 上海交通大学农业与生物学院, 上海 201101)

摘要: 为了对玉米和木薯乙醇的能量和可再生能量生产效率进行评估, 该文统计了玉米和木薯乙醇生命周期能耗, 并用市场价值量法按照主副产品的能耗进行了分配。计算出玉米和木薯燃料乙醇的净能量和净可再生能量。并计算了单产和化肥用量变化时的净能量和净可再生能量的变化。计算结果显示, 玉米、木薯乙醇的净能量分别为 1.472 MJ/L 和 2.417 MJ/L, 净可再生能量分别为 1.474 MJ/L 和 2.459 MJ/L。使用玉米、木薯生产燃料乙醇在能量生产和再生能量生产上都是可行的, 木薯乙醇比玉米乙醇可行性更高, 单产和化肥用量是提高能源利用和再生能源的关键因素, 加强副产品的开发和使用有机肥代替化肥有利于提高系统的能效, 提高系统的可再生性。

关键词: 燃料乙醇; 净能量; 可再生能源

中图分类号: S216.2

文献标识码: A

Evaluation on Energy Production Efficiency of Biomass based Fuel Ethanol Program

Dai Du¹, Liu Ronghou², Pu Gengqiang¹, Wang Chengtao¹

(1 School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030,

China; 2 School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101,

China)

Abstract: To assess corn and cassava fuel ethanol production energy efficiency, this paper estimates life cycle energy consumption of corn and cassava fuel ethanol, allocates energy uses between fuel ethanol and its byproducts, and finally, works out net energy value (NEV) and net renewable energy (NREV). It also gives NEV and NREV results of corn and cassava under changed yields and chemicals uses. The results show that NEV of corn and cassava ethanol are 1.472 MJ/L and 2.417 MJ/L, respectively, and NREV of corn and cassava ethanol are 1.474 MJ/L and 2.459 MJ/L, respectively. Corn and cassava ethanol utilization are energy and renewable energy feasible, and cassava ethanol has better feasibility than corn ethanol. Yield and chemicals use are key factors to improve NEV and NREV. Better byproducts utilization and substitution of organic fertilizer for chemical fertilizer help to improve energy efficiency and renewability

Keywords: fuel ethanol; net energy; renewable energy

0. 引言

燃料乙醇是用作燃料的无水乙醇, 是一种可再生的生物质能。燃料乙醇可在专用的发动机中使用, 也可以按照一定的比例添加到汽油, 在普通汽油发动机中使用。它能增加汽油的含氧量, 使燃烧更充分, 并降低 CO₂ 等污染物的排放。燃料乙醇的生产不仅有助缓解能源短缺, 保证能源安全, 保护生态环境, 还能拓宽农业服务领域, 也为农民增收开辟了新途径^[1,2]。

收稿日期: 2005-01-05

基金项目: 欧盟第五框架项目“中国燃料乙醇生产对城郊农业和中小规模工业的影响研究”资助

(ICA4-2002-10023), 国家自然科学基金资助项目(50175070)

作者(通讯作者)简介: 戴杜(1976-), 湖南长沙人, 博士生, 从事产品生命周期分析、项目评估、绿色设计等方面的研究 Email: daidai@sjtu.edu.cn

燃料乙醇的净能量 (Net Energy Value, NEV, 以下简称“净能量”) 定义为燃料乙醇系统的能量产出与消耗的差值^[3,4,5,6], 是考察燃料乙醇项目能量生产效率的重要指标。净能量大于 0, 说明燃料乙醇生产有净的能量剩余, 是有效的; 净能量小于 0, 说明燃料乙醇所含的热量少于生产过程的能量消耗, 燃料乙醇生产是没有效率的。

本文研究目的是评估黑龙江玉米、广西木薯燃料乙醇从种植到最终乙醇燃烧整个生命周期^[7,8] 过程中的能量和再生能量效率, 为中国燃料乙醇项目的决策提供参考。文中定义燃料乙醇系统的可再生能量产出与不可再生能耗的差值为净可再生能量 (Net Renewable Energy Value, NREV, 以下简称“净可再生能量”), 并把净能量和净可再生能量组合成一对评估指标 NEV 和 NREV, 用市场价值量法^[9]对生产过程的主副产品生产能耗进行分配。另外还讨论分析了影响净能量和净可再生能量的关键因素。

1. 玉米、木薯燃料乙醇生命周期

玉米、木薯燃料乙醇生命周期是从玉米、木薯种植到燃料乙醇在发动机气缸内燃烧为止的一个系统过程, 见图 1。整个过程消耗了化肥、除草剂、杀虫剂、电、煤、柴油、天然气等。本文对生命周期过程中的 5 大过程的能耗进行了统计, 包括种植、乙醇生产、乙醇变性、运输和配送。其中“变性”是指按照国家标准^[10] 在 99.5%的乙醇中加入 1.96%~4.96%的汽油。

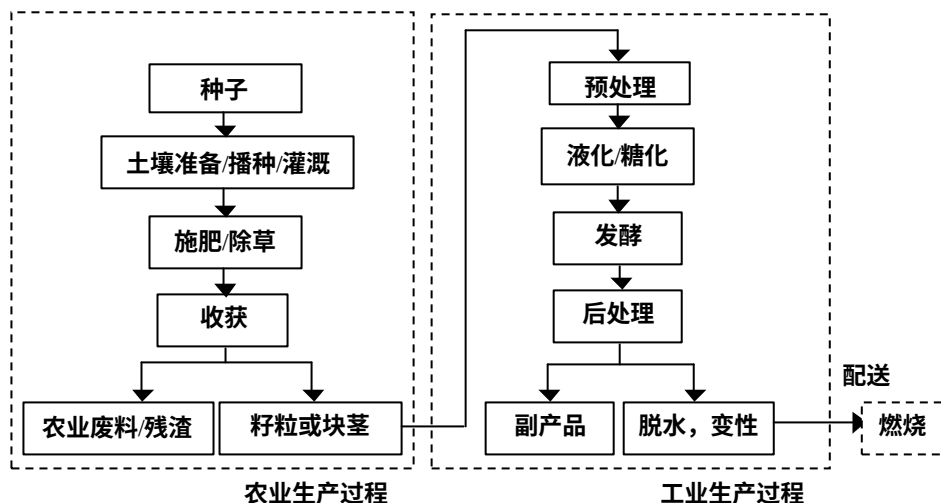


图 1 燃料乙醇生命周期

Fig. 1 Life cycle of fuel ethanol

玉米、木薯燃料乙醇数据来源于黑龙江省肇东市和广西壮族自治区南宁市扶绥县、钦州市的实地数据收集, 主要特性见表 1。在国内目前条件下无法得到的部分能耗数据, 参考了美国阿冈国家实验室 (Argonne National Lab) 的 GREET 模型^[9], 并根据国内能效情况^[11,12] 进行修正。

表 1 玉米、木薯燃料乙醇主要特性

Table 1 General information of corn and cassava ethanol

产地	生物质原料	单产	含水量	淀粉含量	转化率	施肥量		
		/ Kg·hm ⁻¹	/ %	/ %		/ Kg·hm ⁻¹		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
黑龙江	玉米	6500	30	65	3.96	315	120	450
广西	木薯	13333	13	75	3	187.5	450	225

2. 净能量和净可再生能量

燃料乙醇净能量计算公式为

$$NEV = E_F - d \cdot E_I \quad (1)$$

式中, E_F 是燃料乙醇所含能量, 1L 99.5%燃料乙醇热值为 21.185MJ。 E_I 是在燃料乙醇生命周期过程中的总能量投入。由于燃料乙醇生产中会同时产生如植物油和蛋白饲料 DDGS 等产品, 在生产中也消耗了能量。所以全部能量消耗要按照主副产品进行分配, d ($0 < d < 1$) 是燃料乙醇(主产品)的能耗分配系数。本文中用市场价值量法分配主副产品的能耗, d 与主副产品的市场价值量成正比。

定义燃料乙醇的净可再生能量为

$$NREV = E_{RF} - d \cdot E_{NI} \quad (2)$$

式中, E_{RF} 为燃料乙醇系统的可再生能量产出。由于燃料乙醇属本身就是可再生的燃料, 所以 $E_{RF} = E_F = 21.185\text{MJ/L}$ 。 E_{NI} 为燃料乙醇生命周期过程中的不可再生能量投入之和。在燃料乙醇系统中, 不可再生能源主要是化石能源, 包括煤、石油等的消耗。可再生能耗主要是电力中的水电部分。黑龙江和广西的水电发电量占电网总发电量比例^[13]分别为 2.57%, 60.75%。

因为是机械化大规模生产, 人力的使用没有被计入为能耗, 而且能量的二次消耗形式, 如乙醇生产厂房建设的耗能, 运输车辆制造的耗能也没有被计入能耗。这是因为 2 个原因^[4], 一是这些能耗非常难于统计。二是这些能耗的对最终结果的影响非常小。

3. 结果与分析

玉米乙醇和木薯乙醇的主副产品能耗按照市场价值量法的分配结果见表 2。玉米乙醇的副产品有植物油、DDGS 和 CO_2 , 木薯乙醇的副产品有 DDGS 和 CO_2 。根据这些主副产品从 2000 年到 2004 年的价格平均值, 用市场价值量法对能量消耗进行比例分配。

表 2 能量消耗分配结果

Table 2 Allocation results of energy consumption					
项目	乙醇	植物油	DDGS	CO_2	副产品总计
	/ %	/ %	/ %	/ %	/ %
玉米乙醇	63.29	6.65	15.03	15.03	36.71
木薯乙醇	82.30	0	1.23	16.46	17.70

生命周期 5 个过程的能耗见表 3。各过程能耗都表示成最终 1L 乙醇产出耗能量, 单位是 MJ/L。玉米乙醇生命周期总能耗为 31.146 MJ/L, 木薯乙醇为 22.803 MJ/L。主要耗能过程是种植和乙醇生产。两种的能耗之和约占生命周期的能耗的 98%, 蒸馏过程是乙醇生产最大耗能部分, 约占乙醇生产的总耗能的 53%。化肥使用占生物质种植总能量消耗的 95%。化肥的能耗主要是在化肥的生产过程的能耗。在等效肥效的前提下, 降低化肥用量, 增加有机肥用量, 能减少化肥使用的能耗。

表 3 生命周期 5 个过程的能耗

Table 3 Energy consumptions of five processes during life cycle

项目	玉米乙醇 /MJ·L ⁻¹	木薯乙醇 /MJ·L ⁻¹
种植	15.132	6.796
乙醇生产	15.548	15.541
乙醇变性	0.069	0.069
运输	0.390	0.390
配送	0.008	0.008
总计	31.146	22.803

按照消耗能量的可再生性，又可以分为可再生和非可再生能耗，见表 4。

表 4 可再生和非可再生能耗

Table 4 Renewable and nonrenewable energy consumptions

项目	玉米乙醇 /MJ·L ⁻¹	木薯乙醇 /MJ·L ⁻¹
非可再生能耗	31.144	22.753
可再生能耗	0.002	0.050
总计	31.146	22.803

净能量和净可再生能量的计算结果，分为主副产品分配前和分配后两种情况，见图 2。主副产品能量消耗分配前，玉米乙醇和木薯乙醇的净能量和净可再生能量是负数。而经过分配后，净能量和净可再生能量都成为正数。分配前后木薯乙醇的净能量和净可再生能量都优于玉米乙醇。在主副产品的能耗分配前后，玉米、木薯燃料乙醇净能量和净可再生能量都由负转为正。说明副产品的开发利用对系统的能量和可再生能量生产有关键影响。

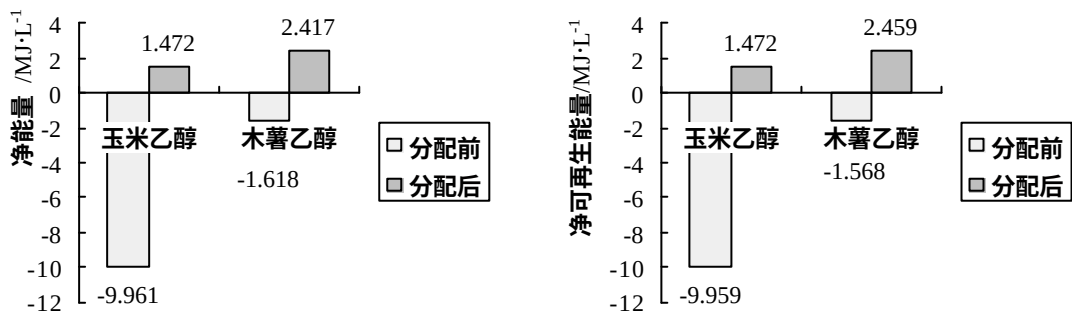


图 2 净能量和净可再生能量结果

Fig. 2 NEV and NREV results

玉米、木薯的单产和化肥用量是影响净能量和净可再生能量输出的重要因素。图 3 和 4 中列出单产和化肥用量在表 1 所列数据的基础上变动±50% (0%表示不变) 时，系统的净能量和净可再生能量 (主副产品分配后) 的变动情况。当玉米、木薯单产 (表 1 中数据) 下降分别超过 13% (5655 Kg/hm)、30% (9333 Kg/hm) 时，玉米的净能量和净可再生能量将分别小于 0。当玉米、木薯化肥用量 (N、P₂O₅、K₂O 分别用量，表 1 数据基础上) 增加分别超过 14%、45% 时，玉米的净能量和净可再生能量将分别小于 0。

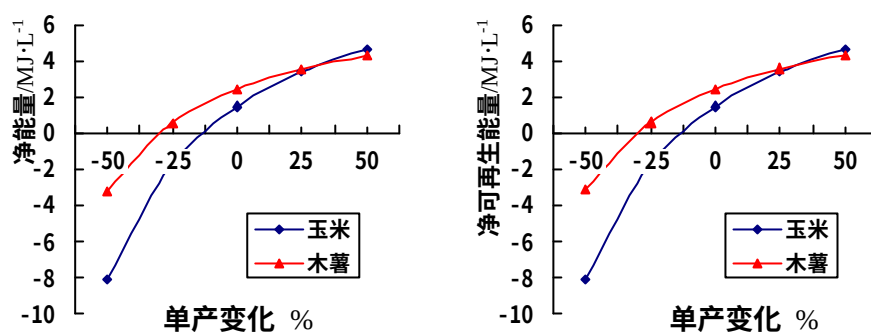


图3 玉米、木薯单产变化时净能量和净可再生能量

Fig. 3 NEV and NREV of corn and cassava under changed yields

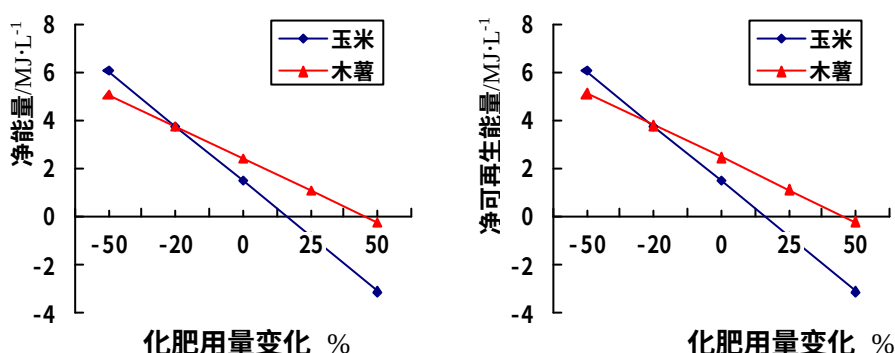


图4 玉米、木薯化肥用量变化时净能量和净可再生能量

Fig. 4 NEV and NREV of corn and cassava under changed chemical fertilizer uses

4. 结论

- 1) 在目前生产水平条件下,玉米和木薯燃料乙醇项目在能源利用和可再生能源利用上都是有效率的和可行的,而且木薯的比玉米要更好。
- 2) 在燃料乙醇生产中,加强副产品综合开发对提高系统能效有较大的促进作用。
- 3) 玉米和木薯的单产和化肥用量是影响净能量和净可再生能量的重要因素,单产的降低和化肥用量的增加都会导致能源利用和再生能源利用上的效率降低甚至无效率。使得项目从能量的角度不可行。
- 4) 肥效不变的前提下,用有机肥替代化肥能减少能耗提高系统的能量生产效率。
- 5) 用单产高而化肥用量少的淀粉类生物质作为燃料乙醇原料有利用提高系统的能源利用和再生能源利用效率。
- 6) 燃料乙醇项目的能量和可再生能源效率评估可以为项目决策者充分利用当地的生物质资源,发展燃料乙醇项目的决策提供科学依据。

参考文献

- [1] 孙振钧. 中国生物质产业及发展取向[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5):1-5
- [2] 方芳, 于随然, 王成焄. 中国玉米燃料乙醇项目经济性评估[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3):239-242
- [3] Shapouri H, Duffield A, and Graboski S. Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol [R]. Washington DC: U.S. Department of Agriculture: 10-15.

- [4] Shapouri Hosein, Duffield James and Wang Michael. The 2001 net energy balance of corn-ethanol. U.S. Department of Agriculture (USDA), Office of the Chief Economist (OCE)[EB/OL]. <http://www.usda.gov/agency/oce/oepnu/net%20energy%20balance.doc>.
- [5] Shapouri Hosein. Estimating the net energy value of corn-ethanol. Fuel and Energy Abstracts [J]. 1998, 39(3):198.
- [6] David Lorenz, David Morris. How much energy does it take to make a gallon of ethanol [R]. Washington, DC: Institute for Local-Self Reliance, 1995:1-5
- [7] Fava J, Consoli F, Denniso R and Dickson K. A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment [R]. Pensacola, US: SETAC and SETAC Foundation for Environmental Education, 1993: 5-7.
- [8] Rebitzera G, Ekvallb T, Frischknecht R et al. Life cycle assessment, Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International [J]. 2004,30:701-720.
- [9] M. Q. Wang. GREET 1.5-Transportation Fuel-Cycle Model Volume 1: Methodology, Development, Use, and Results [M]. Illinois, USA: Argonne Information and Publishing Division, 1999:18-19.
- [10] GB18350-2001, 变性燃料乙醇[S].
- [11] 国家统计局. 中国统计年鉴 2003 [Z]. 北京:中国统计出版社, 2004:270-271
- [12] 国家环境保护局科技标准司. 工业污染物的产生和排放系数手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社,1996:72-73.
- [13] 《中国电力年鉴》编辑委员会. 中国电力年鉴 2000[Z]. 北京:中国电力出版社, 2001:572-573.

《CIMS 论文的天地》声明

本站免费向大家提供论文全文, 本站论文除了特别说明的以外都是从作者手中征集得到的。目前网上论文网站较多, 有人非法转载本站论文, 在此提出警告, 本站保留对这类行为进行追究的权利。

本站镜像：

- 1、上海电信镜像：<http://www.cimspaper.com> <主站, 付费空间, 推荐访问>
- 2、虚拟域名：<http://xcchen.yeah.net>

欢迎您参加我站提供的邮件列表 希网提供的列表 分类首页/科学.技术/另类科学

<http://www.cn99.com/cgi-bin/catalog?viewcat=58>

为您提供《CIMS 论文的天地》更新通知, 以及有关的论文和学术信息, 每月至少发送一次。