

玉米秸秆基纤维素乙醇生命周期能耗与温室气体排放分析

田望^{1,2}, 廖翠萍², 李莉², 赵黛青²

1 中国科学院研究生院, 北京 100049

2 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640

摘要: 生命周期评价是目前分析产品或工艺的环境负荷唯一标准化工具, 利用其生命周期分析方法可以有效地研究纤维素乙醇生命周期能耗与温室气体排放问题。为了定量解释以玉米秸秆为原料的纤维素乙醇的节能和温室气体减排潜力, 利用生命周期分析方法对以稀酸预处理、酶水解法生产的玉米秸秆基乙醇进行了生命周期能耗与温室气体排放分析, 以汽车行驶 1 km 为功能单位。结果表明: 与汽油相比, 纤维素乙醇 E100 (100% 乙醇) 和 E10 (乙醇和汽油体积比 = 1 : 9) 生命周期化石能耗分别减少 79.63% 和 6.25%, 温室气体排放分别减少 53.98% 和 6.69%; 生物质阶段化石能耗占到总化石能耗 68.3%, 其中氮肥和柴油的生命周期能耗贡献最大, 分别占到生物质阶段的 45.78% 和 33.26%; 工厂电力生产过程的生命周期温室气体排放最多, 占净温室气体排放量的 42.06%, 提升技术减少排放是降低净排放的有效措施。

关键词: 纤维素乙醇, 生命周期, 能耗, 温室气体

Life cycle assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions of cellulosic ethanol from corn stover

Wang Tian^{1,2}, Cuiping Liao², Li Li², and Daiqing Zhao²

1 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

2 Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: Life Cycle Assessment (LCA) is the only standardized tool currently used to assess environmental loads of products and processes. The life cycle analysis, as a part of LCA, is a useful and powerful methodology for studying life cycle energy efficiency and life cycle GHG emission. To quantitatively explain the potential of energy saving and greenhouse gas (GHG) emissions reduction of corn stover-based ethanol, we analyzed life cycle energy consumption and GHG emissions of corn stover-based ethanol by the method of life cycle analysis. The processes are dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis. The functional unit was defined as 1 km distance driven by the vehicle. Results indicated: compared with gasoline, the corn stover-based E100 (100% ethanol) and E10 (a blend of 10% ethanol and 90% gasoline by volume) could reduce life cycle fossil energy

Received: October 10, 2010; **Accepted:** January 6, 2011

Supported by: Knowledge Innovation Project of The Chinese Academy of Sciences (No. 0907y11001), Energy Foundation (No. G-0911-11745).

Corresponding author: Daiqing Zhao. Tel: +86-20-87057601; Fax: +86-20-87057761; E-mail: zhaodq@ms.giec.ac.cn

中国科学院知识创新工程重大项目 (No. 0907y11001), 美国能源基金会 (No. G-0911-11745) 资助。

consumption by 79.63% and 6.25% respectively, as well as GHG emissions by 53.98% and 6.69%; the fossil energy consumed by biomass stage was 68.3% of total fossil energy input, N-fertilizer and diesel were the main factors which contributed 45.78% and 33.26% to biomass stage; electricity production process contributed 42.06% to the net GHG emissions, the improvement of technology might reduce emissions markedly.

Keywords: cellulosic ethanol, life cycle, energy consumption, greenhouse gas emission

随着石油危机和温室气体排放的增加,以农业和林业等废弃生物质为原料的纤维素乙醇已成为全世界共同关注的焦点。纤维素乙醇作为第二代生物燃料乙醇,与第一代生物乙醇相比,生产原料具有不与粮食争地的优势,是目前的研究热点。

生命周期评价是对某个产品或生产工艺过程在其整个生命周期的所有投入以及产出对环境所造成的潜在影响进行的分析和评价。利用生命周期分析方法对纤维素乙醇生产和使用过程的能量效率与温室气体排放进行系统分析和评价,对于纤维素乙醇产业的发展和替代燃料战略规划的制订都具有重要意义。

目前,国外针对纤维素乙醇的生命周期能耗、环境和成本评价已有部分研究成果^[1-5],但是至今国内还没有相关研究成果。

本文利用生命周期分析方法,对以玉米秸秆为原料的酶水解法制乙醇进行能耗与温室气体排放分析,并根据纤维素乙醇在生命周期各阶段的能耗和温室气体排放特征提出相应建议,以期为促进我国纤维素乙醇的产业化发展提供依据。

1 研究对象与研究范围

在目前第二代生物燃料乙醇技术路线的选择上,中国专家指出应优先发展玉米秸秆酶水解路线^[6]。本文采用美国可再生能源实验室(NREL)的玉米秸秆稀酸预处理、酶水解法制乙醇的技术路线^[7]。Yang等^[8]研究表明,在中国,该技术路线在成本方面是有可行性的。本文以纤维素乙醇E100(100%乙醇)、E10(乙醇和汽油体积比=1:9)为研究对象,分析其生命周期能耗和温室气体排放特征,并将其与普通汽油的情况进行对比,提出相应改进建议。

以汽车行驶1 km为功能单位。系统边界如图1所示。整个系统分为4个阶段:生物质阶段、燃料生产阶段、燃料运输分销阶段和燃料使用阶段。生物质阶段包括秸秆种植、收集、储存运输等过程;燃料生产阶段包括乙醇生产、汽油生产、混配等过程。本文考虑了生物质阶段的生产设备制造能耗和排放情况,但对于乙醇工厂基础设施建设,由于数据缺乏,仅对其温室气体排放作了估算,并未考虑其能耗情况。燃料运输分销、使用阶段汽车的制造及人力消耗不在系统边界内。

2 计算方法及评价指标

2.1 生命周期能耗

总能耗计算公式:

$$E_{\text{总}} = E_{\text{化}} + E_{\text{生}} \quad (1)$$

$$E_{\text{化}} = E_{\text{物}} + E_{\text{能}} \quad (2)$$

$$E_{\text{物}} = EF_j \times MF_{i,j} \times M_i \quad (3)$$

$$E_{\text{能}} = EF_j \times N_j \quad (4)$$

$$E_{\text{生}} = S \times e \quad (5)$$

式中, $E_{\text{总}}$ 为纤维素乙醇生命周期投入的总能量, MJ; $E_{\text{化}}$ 为生命周期投入的化石能量, MJ; $E_{\text{生}}$ 为生命周期投入的生物质能, MJ; $E_{\text{物}}$ 为生命周期投入的物质(化肥、石灰等)所带来的化石能量, MJ; $E_{\text{能}}$ 为纤维素乙醇生命周期直接投入的化石燃料(柴油、电力等), MJ; i 为投入的物质种类; j 为化石燃料 j 的类别; EF_j 为得到1 MJ化石燃料 j 所需投入的能量, MJ/MJ; $MF_{i,j}$ 为得到1 kg物质 i 所需投入的化石燃料 j 的量, MJ/kg; M_i 为生命周期投入的物质 i 的质量, kg; N_j 为生命周期直接投入的化石燃料 j 的量, MJ; S 为投入的秸秆量, kg; e 为单位秸秆所包含的能量, MJ/kg。

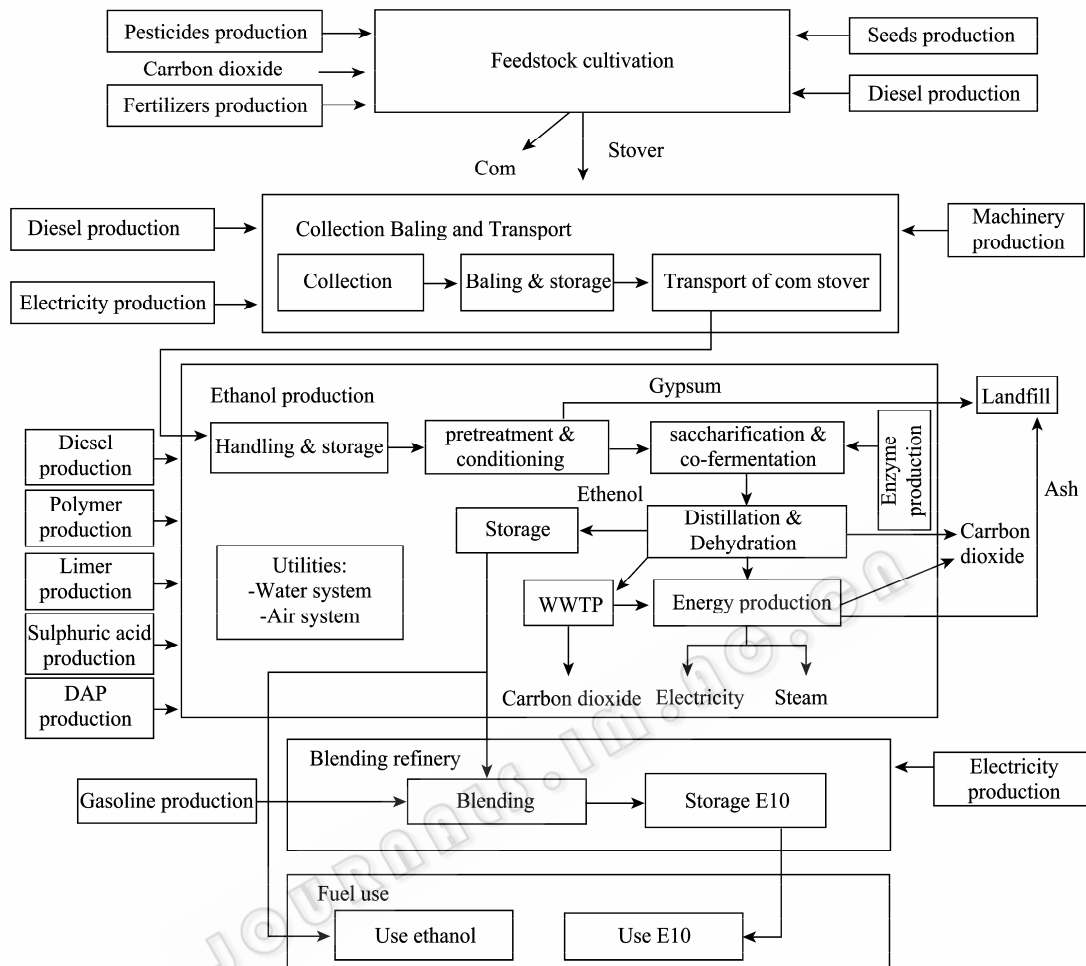


图 1 玉米秸秆基乙醇生命周期过程

Fig. 1 Life cycle of corn stover-based E10 and ethanol.

纤维素乙醇生命周期能耗评价指标包括能量转化效率 (E_{TE})、净能量输出 (NEV)、化石能效比 (NER)。

$$E_{TE} = E_{乙醇} / E_{总} \quad (6)$$

$$NEV = E_{乙醇} - E_{化} \quad (7)$$

$$NER = E_{乙醇} / E_{化} \quad (8)$$

$E_{乙醇}$ 为对应产出的乙醇所含的能量。

2.2 温室气体排放

根据文献[9], 全球变暖潜值计算公式为:

$$GHG = CO_2 + 23CH_4 + 296N_2O \quad (9)$$

纤维素乙醇生命周期温室气体净排放量 (NGEV)

计算公式如下, 公式中的元素见表 1:

$$NGEV = GHG_{fossil} + GHG_{non-fossil} + GHG_{use} - C_{sequestration} \quad (10)$$

$$CO_{2,fossil} = \sum_i \sum_j (MF_{i,j} \times M_i + N_j) \times (CC_j FOR_j 44 / 12 + TCO_{2,j}) \quad (11)$$

$$CH_{4,fossil} = \sum_i \sum_j (MF_{i,j} \times M_i + N_j) \times (ERCH_{4,j} + TCH_{4,j}) \quad (12)$$

$$N_2O_{fossil} = \sum_i \sum_j (MF_{i,j} \times M_i + N_j) \times (ERN_2O_j + TN_2O_j) \quad (13)$$

表 1 计算公式 (10-13) 中元素解释

Table 1 Elements explanation of formula 10-13

Elements	Explanation	Unit
GHG_{fossil}	GHG emissions from fossil fuel	g CO _{2,eq}
$GHG_{\text{non-fossil}}$	Non-fossil GHG emissions	g CO _{2,eq}
GHG_{use}	GHG emissions from car driving	g CO _{2,eq}
$C_{\text{sequestration}}$	CO ₂ sequestration of corn stover	g CO ₂
$CO_{2, \text{fossil}}$	CO ₂ emissions from fossil fuel	g CO ₂
$CH_{4, \text{fossil}}$	CH ₄ emissions from fossil fuel	g CH ₄
$N_{2}O_{\text{fossil}}$	N ₂ O emissions from fossil fuel	g N ₂ O
CC_j	Carbon content factor of fossil fuel j	g C/MJ
FOR_j	Fuel oxidation rate of fossil fuel j	-
$ERCH_{4,j}$, $ERN_{2}O_j$	Direct CH ₄ and N ₂ O emissions from fossil fuel	g/MJ
$TCO_{2,j}$, $TCH_{4,j}$, $TN_{2}O_j$	Indirect CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O emissions from fossil fuel	g/MJ

3 数据采集与分配程序

3.1 生命周期各阶段的基础输入

3.1.1 原料种植

玉米种植以我国河北地区为例。玉米种植过程中所需的氮、磷、钾肥、农药施用量以及玉米产量来自于文献[10-11]。化肥生产能耗排放来自文献[12]，种子和农药生产的能耗排放数据来自文献[13-14] (表 2)。由于施用氮肥引起的土壤 N₂O 排放，按文献[15]估算。吨钢生产能耗取自文献[16]。

表 2 原料种植过程中农资生产的能耗

Table 2 Energy consumption in the production of fertilizer, seed and pesticide in the growth of rape

Name	$MF_{i,j}$	Unit
N-fertilizer, urea	59.40	MJ/(kg urea)
P-fertilizer, P ₂ O ₅	20.36	MJ/(kg P ₂ O ₅)
K-fertilizer, K ₂ O	9.50	MJ/(kg K ₂ O)
Seed	53.36	MJ/(kg seed)
Pesticide	178.85	MJ/(kg pesticide)

3.1.2 玉米秸秆的收集、储存和运输

玉米秸秆能量密度较低，分布分散。秸秆收集区域是一个以收储站为圆心的圆形区域。物质、能量消耗及排放主要来自运输设备的使用。计算公式如下，

公式中的元素见表 3。

$$Q_n = k_1 \cdot k_2 \cdot q \cdot \pi R_n^2 \quad (14)$$

$$FC_n = 2 \int_0^{R_n} k_1 \cdot k_2 \cdot q \cdot 2\pi r \cdot rdr \cdot \frac{FCR_{\text{tractor}}}{100} \cdot 0.85 = \frac{4}{3} R_n \cdot Q_n \cdot \frac{FCR_{\text{tractor}}}{100} \cdot 0.85 \quad (15)$$

表 3 计算公式 (14-15) 中元素解释

Table 3 Elements explanation of formula 14-15

Elements	Explanation	Unit
Q_n	Stover collection quantity of storage area n	t/y
k_1	Ratio between agricultural acreage and total acreage	-
k_2	Stover collection and available factor	-
q	Stover output per agricultural acreage	t/hm ²
R_n	Stover collection radius of storage area n	km
FC_n	Fuel consumption during stover collection	kg/y
r	The transportation distance to storage area	km
FCR_{tractor}	Fuel consumption rate of tractor	L/(100 t·km)

秸秆在收储站经过打包、转运、堆垛、拆垛、装车等工序后，运往乙醇生产工厂。这个过程基本参数如表 4 所示。

3.1.3 燃料乙醇生产

纤维素乙醇工厂的数据来自于文献[7]。工厂基础设施建设的温室气体排放为产品乙醇使用排放的 10%^[17]。工厂在生产过程中加入的净水剂、石灰、硫酸、酶等物质的上游能耗来源于文献[18-22]。生产过程中排放的废渣运往垃圾填埋场处理，运输距离和填埋场的数据来自于文献[23-24]。

乙醇出厂后运往混配厂进行 E10 的生产，运输距离假设为 350 km^[12]。混配厂的能耗数据取自文献[12]。汽油生产的能耗排放数据来自文献[25]。

3.1.4 燃料运输分销和使用

燃料乙醇运输分销距离假设为 500 km^[23]。燃料

使用阶段排放的数据来自文献[26]。对与同一辆试验车，汽油车百公里消耗普通汽油 9.28 L^[26]，百公里消耗 E10 为 9.66 L^[26]。假设 E100 可直接在汽车上使用，其百公里消耗按照与汽油的热值比折算。

3.2 生命周期计算公式的输入数据

能源系数 (EF_j)、碳潜在排放系数 (CC_j)、排放因子等数据如表 5 所示。

3.3 分配程序

共生产产品的分配是生命周期评价中重要的环节。由于工厂有多余电力输出，在纤维素乙醇整个生命周期过程中，有 2 个需要分配的地方：玉米和秸

秆；乙醇和多余电力的输出。本文采用价值比分配方法对其生命周期能耗和温室气体排放进行分配。

玉米的草谷比为 1.25 : 1^[28]。秸秆和玉米的市场价格分别为 0.269 元/kg、1.9 元/kg。Sheehan 等^[29]的研究表明，至多 60% 的秸秆可用来收集并进行乙醇生产，即秸秆可利用系数为 60%。

工厂每生产 1 kg 乙醇，就有 0.04 (kw·h) 的电力输出。河北省生物质电厂的价格为 0.813 元/(kw·h)^[30]，在中国，燃料乙醇的出厂价格等于 90# 汽油出厂价格乘以 0.911，即 6.63 元/kg。通过计算，分配结果如表 6 所示。

表 4 收储站各个工序基本参数

Table 4 Basic parameter of each procedure in storage areas

Procedure	Machinery required	Weight (kg/set)	Capacity (t/h)	Fuel type	Consumption (kW) (kg/h)
Shredding	Shredding machine	18 000	4	Electricity	54.25
Conveying	Forklift	2 650	18	Electricity	9.70
Storage	Straw grab crane	16 000	20	Electricity	30.00
Remove	Straw grab crane	16 000	20	Electricity	30.00
Loading	Forklift	4 682	20	Diesel	7.61

表 5 化石燃料能源系数、排放因子^a

Table 5 Energy factors, GHG emission factors for fuel j^a

Fuel j	EF_j (MJ/MJ)	$TCO_{2,j}$ (g/MJ)	$TCH_{4,j}$ (g/MJ)	TN_2O_j (mg/MJ)	$ERCH_{4,j}$ (g/MJ)	ERN_2O_j (g/MJ)	CC_j (gC/MJ)	FOR_j
Crude coal	1.05	4.26	0.42	0.06	0.001	0.001	24.08	0.90
Crude oil	1.17	16.00	0.05	0.27	0.002	0.000	20.00	0.98
Coal	1.17	5.73	0.43	0.17	0.001	0.001	24.74	0.90
NG	1.20	16.58	0.05	0.12	0.001	0.001	15.32	0.99
Diesel	1.33	27.87	0.08	0.44	0.004	0.002/0.028 ^b	20.20	0.98
Gasoline	1.33	28.83	0.09	0.47	0.080	0.002	18.90	0.98
Residual oil	1.23	25.33	0.07	0.41	0.002	0.000	21.10	0.98
Electricity	3.25	265.22	1.01	3.92	0.000	0.000	0.00	0.00

a: source from reference [27]; b: for vehicles, the utilization value is 0.002, while for other applications this value is 0.028.

表 6 经济价值比分配

Table 6 Partitioning ratio for economic allocation

Allocation	Agricultural production		Ethanol production	
	Stover (%)	Corn (%)	Ethanol (%)	Electricity (%)
Percentage	9.6	90.4	99.5	0.5

4 结果与分析

以前述计算方法和数据，对每一过程单元进行清单分析。各过程单元之间的系统连接及影响分析通过生命周期评价软件 GaBi 4.3 实现，如图 2 所示 (以 E100 为例)。

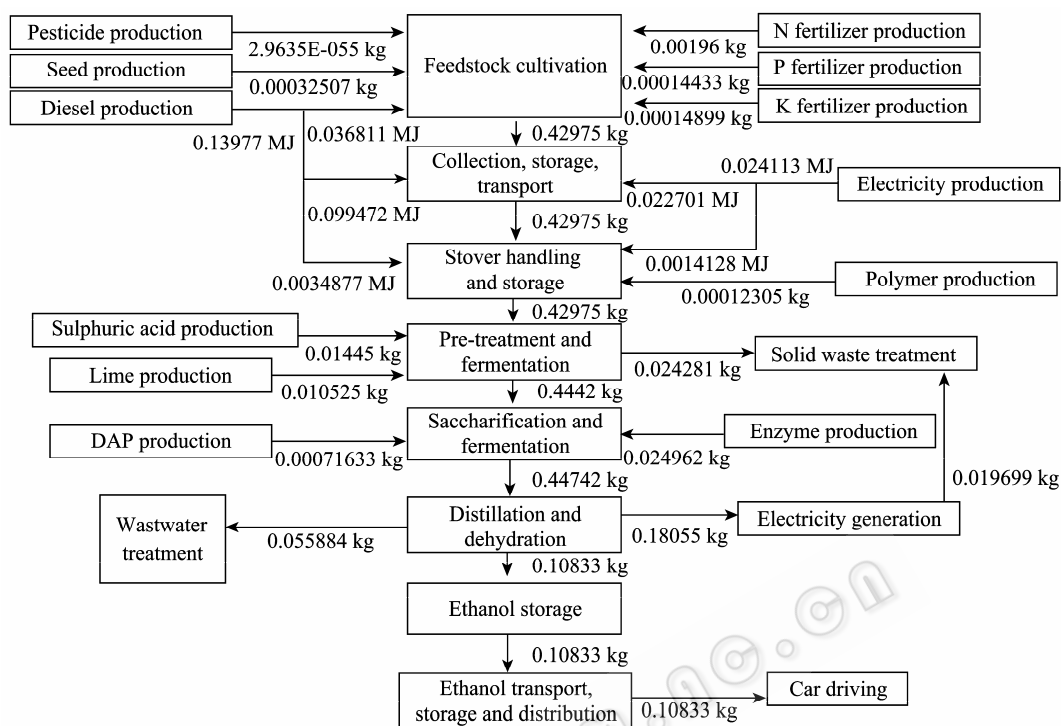


图2 纤维素乙醇 E100 生命周期输入输出分析

Fig. 2 Input-Output analysis of each process.

4.1 生命周期能耗

纤维素乙醇 E100、E10 的生命周期总能耗与汽油总能耗的对比见图 3。每功能单位对应的 E100、E10 生命周期总能耗分别为 7.442 MJ、4.162 MJ，比汽油分别高 91.1%、6.86%，但是纤维素乙醇的能耗主要来自可再生能源，E100 和 E10 的生命周期化石能源消耗分别较汽油减少 79.63% 和 6.25%。

纤维素乙醇 E100 生命周期各个阶段化石能耗如图 4 所示。原料种植和秸秆收储运是化石能耗最大的两个过程，尤其是原料种植过程占到生命周期化石总能耗的 40.8%。

以 E100 为例，在生物质种植过程中，共投入生命周期化石能耗 3.39 MJ/km，按价值比分配，分配到秸秆上的能耗为 0.325 MJ/km；同理，在乙醇出厂之前共投入化石能源 0.752 MJ/km，分配到乙醇上的能耗为 0.748 MJ/km。

图 5 详细展示了生物质阶段的各个因素的化石

能耗贡献，其中氮肥生命周期化石能耗最大，占到该阶段的 45.78%，柴油占到 33.26%。在燃料生产阶段，预处理过程的生命周期化石能耗最大，这是因为该阶段投入的石灰和硫酸的上游生产能耗较大。

降低纤维素乙醇生命周期能耗采取以下措施可带来明显效果：1) 提升农机的柴油使用效率；2) 减少煤基氮肥的生产，改用天然气为原料的氮肥生产；3) 提升预处理效率，减少石灰和硫酸的使用量。

纤维素乙醇的能量转化效率 (ETE)、净能量输出 (NEV)、化石能效比 (NER) 情况如表 7 所示。

4.2 生命周期温室气体排放

纤维素乙醇 E100、E10 的生命周期温室气体排放与汽油排放的对比见表 8。结果表明，纤维素乙醇在温室气体排放方面比汽油更有优势。纤维素乙醇 E100、E10 生命周期温室气体净排放量 (NGEV) 分别比汽油明显降低了 53.98% 和 6.69%，这是因为秸秆在生长过程中吸收了大量的 CO₂。

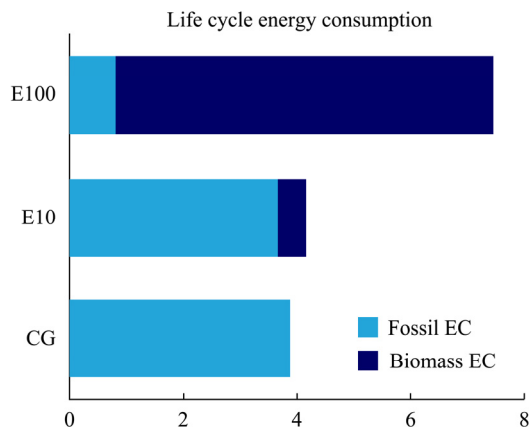


图3 纤维素乙醇 E100、E10 与汽油的生命周期总能耗
Fig. 3 Life cycle energy consumption of E100, E10 and gasoline.

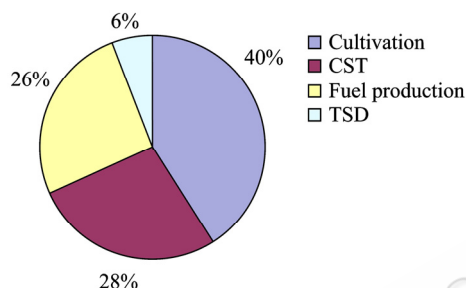


图4 纤维素乙醇 E100 生命周期各个阶段化石能耗
Fig. 4 Fossil energy consumption of each stage. CST: collection, storage and transport; TSD: fuel transport, storage and distribution.

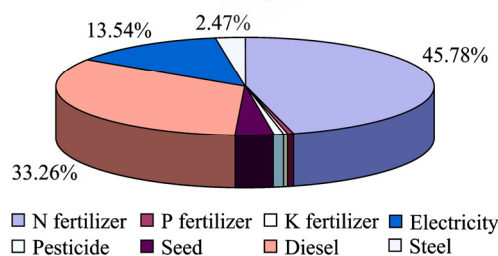


图5 生物质阶段各个因素的化石能耗贡献
Fig. 5 Factors decomposition of fossil energy input in biomass stage.

纤维素乙醇生命周期各个过程温室气体排放如表9所示。对于E100，乙醇生产阶段温室气体排放最多，占到净排放量62.32%，这是因为乙醇工厂中仅电力生产过程的排放已达到净排放量的42.06%。提升乙醇工厂技术以减少温室气体排放是有效措施之一。

表7 纤维素乙醇能耗评价指标结果

Table 7 Results of energy indexes of cellulosic ethanol

	Gasoline	E10	E100	Relative percent change (%)	
				E10	E100
ETE	0.744	0.692	0.389	-6.99	-47.67
NEV(MJ/kg)	-0.997	-0.771	2.104	+22.65	+311.11
NER	0.744	0.789	3.653	+6.02	+390.93

ETE: energy transfer efficiency; NEV: net energy value; NER: net energy ration.

表8 温室气体排放分析结果

Table 8 GHG emissions results

Fuel types	Gasoline (g CO _{2,e} /km)	E10 (g CO _{2,e} /km)	E100 (g CO _{2,e} /km)
Emission value	298.29	320.25	683.15
CO ₂ sequestration	0.00	-41.93	-545.88
NGEV	298.29	278.32	137.27

NGEV: net greenhouse gas emission value.

表9 纤维素乙醇生命周期各个过程温室气体排放

Table 9 GHG emission of each process

Fuel types	E10 (g/km)	E100 (g/km)
1 Biomass stage	-38.35	-499.24
1.1 Cultivation	2.17	28.30
1.2 Collection, storage and transport	1.41	18.34
1.3 CO ₂ uptake	-41.93	-545.88
2 Fuel production stage	32.69	425.74
2.1 Stover handling and storage	0.09	1.16
2.2 Pre-treatment and conditioning	0.56	7.33
2.3 Saccharification and fermentation	0.48	6.22
2.4 Solid waste treatment	0.03	0.33
2.5 Distillation and dehydration	7.84	102.12
2.6 Electricity generation	22.07	287.34
2.7 Wastewater treatment	0.04	0.49
2.8 Chemicals transportation	0.01	0.15
2.9 Infrastructure	1.58	20.60
2.10 Ethanol transported to blending	0.19	0.00
2.11 Gasoline production and transportation	82.49	0.00
2.12 Blending	0.07	0.00
3 TSD	2.28	3.52
4 Car driving	198.82	207.23

以E100为例，在生物质种植过程中，生命周期温室气体排放为294.8 g CO_{2,e}/km，按价值比分配，分配到秸秆上的排放为28.3 g CO_{2,e}/km；同理，在乙醇出厂之前共排放474.8 g CO_{2,e}/km，分配到乙醇

上的排放量为 472.4 g CO_{2,e}/km。

4.3 与国外研究结果对比

文献[31]对玉米秸秆基纤维素乙醇 E100 也做了生命周期分析研究,其采用的纤维素乙醇生产路线与本文的一致。该文献的基础数据全部来自于加拿大。本文在秸秆收集系数、运输方式和距离等基础参数的选择上与文献[31]的对比如表 10 所示,其中秸秆运输距离和乙醇运输距离差别较大。但从表 11 可以看出,秸秆运输和乙醇运输过程排放的温室气体的基数很小,而且文献[31]与本研究的差距主要在于乙醇生产过程的温室气体排放。本研究的净排放量 (NGEV) 约是文献[31]的 3 倍 (表 11)。这主要是由于: 1) 中国的化学物质上游生产的排放较高,例如硫酸、石灰等化工品的生产排放; 2) 中国的能源上游生产的排放较高,如电力、柴油等燃料的生产排放。

表 10 基础参数对比

Table 10 Comparison of underlying parameter

Parameter	Canada ^[31]	China (this study)
Stover available factor	62%	60%
Transport tools	Diesel vehicle	Diesel vehicle
Transport distance of stover	90 km	40 km
Transport distance of ethanol distribution	46 km	500 km

表 11 玉米秸秆基乙醇生命周期温室气体排放对比

Table 11 Comparison of GHG emission results for corn stover-based ethanol between Canada and China

Process	Canada ^[31]	China (this study)	Unit
Crop production	13.37	13.29	g CO _{2,eq} /MJ
Sequestration	-188.38	-188.38	
Stover transport	1.61	2.89	
Ethanol production	117.30	147.69	
Ethanol distribution	0.38	1.22	
Use	71.52	71.50	
NGEV	15.80	48.22	

Corn stover cultivation, collection and baling are included in crop production, while stover transport is not included.

5 结论与展望

以玉米秸秆为原料,采用稀酸预处理、酶水解法生产的 E100、E10 生命周期化石能源消耗分别为 0.793 MJ/km、3.651 MJ/km,分别较汽油减少了 79.63% 和 6.25%。

原料种植和秸秆收储运是化石能耗最大的两个过程,氮肥和柴油是导致该阶段高能耗的主要因素。在燃料生产阶段,预处理过程的生命周期化石能源消耗最大。降低能耗的具体措施包括:提高农机的柴油使用效率;减少煤基氮肥的生产,改用天然气为原料的氮肥生产;提高预处理效率,减少石灰和硫酸的使用量等。

玉米秸秆基乙醇的净能量输出、化石能效比均好于汽油, E100 化石能效比高达 3.653。与汽油相比,玉米秸秆基乙醇可显著减少温室气体排放, E100 和 E10 的净排放减少率达 53.98% 和 6.69%。乙醇工厂中,电力生产过程温室气体排放最多,提升生产技术可以明显减少温室气体排放。本文基于生命周期评价理论对纤维素乙醇的能耗与温室气体排放进行了分析,下一步将对纤维素乙醇的其他环境影响进行评价。

REFERENCES

- [1] Uihlein A, Schebek L. Environmental impacts of a lignocellulose feedstock biorefinery system: an assessment. *Biomass Bioenergy*, 2009, 33(5): 793–802.
- [2] Luo L, van der Voet E, Huppes G, et al. Allocation issues in LCA methodology: a case study of corn stover-based fuel ethanol. *Int J Life Cycle Assess*, 2009, 14(6): 529–539.
- [3] González-García S, Gasol CM, Gabarrell X, et al. Environmental aspects of ethanol-based fuels from *Brassica carinata*: a case study of second generation ethanol. *Renew Sustain Energy Rev*, 2009, 13(9): 2613–2620.
- [4] Lavigne A, Powers SE. Evaluating fuel ethanol feedstocks from energy policy perspectives: a comparative energy assessment of corn and corn stover. *Energ Policy*, 2007,

- 35(11): 5918–5930.
- [5] González-García S, Luo L, Moreira M^T, et al. Life cycle assessment of flax shives derived second generation ethanol fueled automobiles in Spain. *Renew Sustain Energy Rev*, 2009, 13(8): 1922–1933.
- [6] Li SZ, Chan-Halbrendt C. Ethanol production in (the) People's Republic of China: potential and technologies. *Appl Energ*, 2009, 86(1): S162–S169.
- [7] Aden A, Ruth M, Ibsen K, et al. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover. NREL/TP-510-32438, June 2002.
- [8] Yang B, Lu YP. The promise of cellulosic ethanol production in China. *J Chem Technol Biotechnol*, 2007, 82(1): 6–10.
- [9] IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change [EB/OL]. [2010-06-15]. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.
- [10] 河北经济年鉴 2009[EB/OL]. [2010-07-15]. <http://www.hetj.gov.cn/article.html?id=3831>.
- [11] Liang L, Chen YQ, Gao WS, et al. Life cycle environmental impact assessment in winter wheat-summer maize system in north China plain. *J Agro-Environ Sci*, 2009, 28(8): 1773–1776.
梁龙, 陈源泉, 高旺盛, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米种植系统生命周期环境影响评价. *农业环境科学学报*, 2009, 28(8): 1773–1776.
- [12] Yu SR, Tao J. Energy efficiency assessment by life cycle simulation of cassava-based fuel ethanol for automotive use in Chinese Guangxi context. *Energy*, 2009, 34(1): 22–31.
- [13] West TO, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agric Ecosyst Environ*, 2002, 91(1/3): 217–232.
- [14] Ecoinvent Database [EB/OL]. [2010-07-15]. <http://db.ecoinvent.org>.
- [15] Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories [EB/OL]. [2010-06-10]. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/4_Agriculture.pdf.
- [16] 节能中长期专项规划[EB/OL]. [2010-06-15]. <http://www.ndrc.gov.cn/xwfb/W020050707568608679047.doc>.
- [17] Kaltschmitt M, Reinhardt GA. *Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung* [Biobased energy sources. Basics, procedures, ecological assessment, in German]. Wiesbaden: Vieweg, 1997.
- [18] Zhang QH, Wang XC, Xiong JQ, et al. Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project—Case study of Xi'an, China. *Bioresour Technol*, 2010, 101(5): 1421–1425.
- [19] Sun YG. Application of GJH mix burner with burning coke oven gas and blast furnace gas in lime rotary kiln. *Gas & Heat*, 2001, 21(1): 87–89.
孙贻公. 混合燃烧器在石灰回转窑掺烧高炉煤气的应用. *煤气与热力*, 2001, 21(1): 87–89.
- [20] MacLean HL, Spataro S. The contribution of enzymes and process chemicals to the life cycle of ethanol. *Environ Res Lett*, 2009, 4(1): 014001.
- [21] 关于北京水泥厂水泥产品全能耗分析的调研[EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.amr.gov.cn/qikanshow.asp?articleid=598&cataid=2>.
- [22] Ou JP, Wang F, Wu QJ, et al. Research on energy-saving program of the metallurgical lime industry. *Energy Metal Ind*, 2009, 28(2): 15–18.
欧俭平, 王芳, 吴青娇, 等. 冶金石灰企业节能规划探讨. *冶金能源*, 2009, 28(2): 15–18.
- [23] 从玉米到汽车燃料: 中国燃料乙醇开发前景[EB/OL]. [2010-06-12]. <http://www.chem.pku.edu.cn/bianj/paper/09/4.pdf>.
- [24] Wei BR, Wang J, Wang XZ, et al. LCA inventory development of landfill in Suzhou. *Environ Sci Technol*, 2008, 31(11): 89–95.
韦保仁, 王俊, 王香治, 等. 苏州垃圾填埋生命周期清单分析. *环境科学与技术*, 2008, 31(11): 89–95.
- [25] Ou XM, Zhang XL, Chang SY, et al. Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in (the) People's Republic of China. *Appl Energ*, 2009, 86(1): S197–S208.
- [26] Wang CJ. Research on effect of E10 motor ethanol gasoline on exhaust performance of light vehicles [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2004.
王春杰. 轻型汽车燃用E10车用乙醇汽油排放影响研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2004.
- [27] Ou XM, Zhang XL, Chang SY. Alternative fuel buses currently in use in China: life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 406–418.

- [28] Cui M, Zhao LX, Tian YS, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China. Transactions of the CSAE, 2008, 24: 291-296.
崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价. 农业工程学报, 2008, 24: 291-296.
- [29] Sheehan J, Aden A, Riley C, et al. Is ethanol from corn stover sustainable? Adventures in cyber-farming: a life cycle assessment of the production of ethanol from corn stover for use in a flex fuel vehicle. Draft report for peer review, Colorado, NREL, 2002.
- [30] 关于调整河北省电网电价的通知[EB/OL]. [2010-06-20]. http://www.sjzwj.gov.cn/art/2009/11/20/art_2986_350503.html.
- [31] Spatari S, Zhang YM, MacLean HL. Life cycle assessment of switchgrass- and corn stover-derived ethanol-fueled automobiles. Environ Sci Technol, 2005, 39(24): 9750-9758.



科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

现场细菌学

徐建国 等著译

开本: 大 16 开 营销分类: 生物 装帧: 圆脊精装

ISBN 978-7-03-030126-0 ¥ 260.00 2011 年 1 月出版

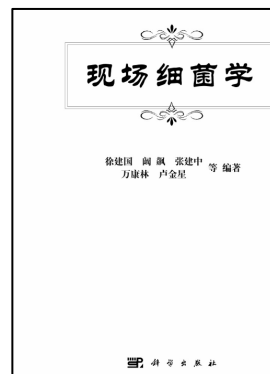
内容简介

本书是为了帮助解决细菌性传染病预防控制现场遇到的问题,根据专业人员的经验和体会编写的。目的是为从事细菌性传染病疫情实验室调查和研究的人员提供一本参考书和技术手册。和传统的细菌学不同,现场细菌学的章节编排不是以分类学为基础,而是以病原菌所致的传染病或感染性疾病为基础;除了病原菌的分离、鉴定和血清学诊断外,更多的是分离菌株的分析,是传染源和传播途径的调查,分子分型等。本书主要介绍方法,强调可操作性,包括样品的采集和保存、运输,试剂的选择和评价,以及每个病原菌的生物安全须知,实验活动的风险性分析和防护措施等。

读者对象 本书重在实用和数据共享,是我国近年来细菌性传染病实验室调查的经验和体会的总结。是从事细菌性传染病或感染性疾病调查研究的实验室工作人员,也是从事细菌性传染病预防控制工作的流行病学家、管理专家、传染病医生、医学院校教师等必备的参考书。

编辑推荐 《现场细菌学》是为了帮助解决细菌性传染病预防控制现场遇到的问题,根据专业人员的经验和体会编写的。目的是为从事细菌性传染病疫情实验室调查和研究的人员提供一本参考书和技术手册。

全书重在实用和数据共享,是我国近年来细菌性传染病实验室调查的经验和体会的总结。是从事细菌性传染病或感染性疾病调查研究的实验室工作人员,也是从事细菌性传染病预防控制工作的流行病学家、管理专家、传染病医生、医学院校教师等必备的参考书。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书 (免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 周文字 (010-64031535)

网上订购: www.dangdang.com www.joy.com www.amazon.cn www.beifabook.com

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目