

木薯乙醇-柴油混合燃料的生命周期评价

李百成¹，张承亮¹，陈振斌¹，蒋盛军²，刘赛武¹

(1.海南大学机电工程学院，海南海口570228；2.中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所，海南 儋州571737)

摘要：文章对E10，E15，E20及柴油进行生命周期评价。结果表明：与传统柴油相比，E10的全生命周期能耗与柴油相当，E15和E20全生命周期分别节能4.6%和6%；在全生命周期碳排放方面，E10，E15和E20分别减排2%，3.04%，4.1%；在标准排放物方面，除NO_x增排外，SO_x，PM10，CO，VOC均达到减排的效果，其中VOC，PM10的减排效果较为明显。

0引言

化石能源短缺和环境污染的日益严重，已成为中国当今社会所面临的重大问题，考虑到能源安全、环境保护和经济社会可持续发展，许多专家学者和科研机构在积极寻求石油替代燃料。

生物乙醇等车用替代能源具有可再生、环境友好、燃烧性能良好的优势。以木薯为原料生产燃料乙醇符合中国“不争粮，不争（食）油，不争糖，充分利用边际土地”的粮食发展战略。乙醇作为一种含氧燃料，在内燃机燃烧过程中具有自供氧的作用，用乙醇部分替代柴油，可以降低柴油机排放对环境造成的污染。近年来，国内外对乙醇-柴油混合燃料的制备、发动机燃烧和排放性能等方面进行了大量的研究。

生命周期评价是对一种产品从“摇篮到坟墓”全生命周期内对环境的压力进行评价的客观过程。生命周期评价可从系统的角度对产品进行更加全面地认识、评估、改进，以做出正确的、可持续发展的决策。本文对E10（乙醇和柴油体积比为1：9），E15（乙醇和柴油体积比为3：17），E20（乙醇和柴油体积比为1：4）及柴油这4种燃料进行生命周期评价，探讨混合燃料E10，E15，E20的节能减排效果。

1生命周期评价

木薯乙醇-柴油混合燃料的生命周期是指从木薯种植、原油开采开始直至燃料燃烧的系统过程，由原料、燃料、车辆和燃烧使用4个阶段组成。木薯-乙醇全生命周期及各阶段的组成部分如图1所示。

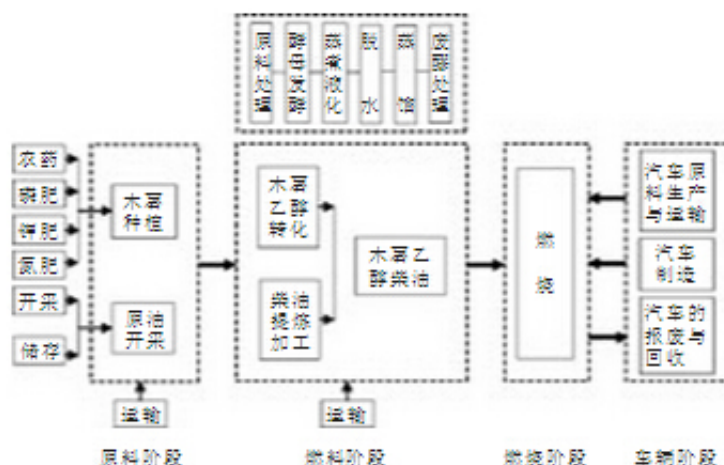


图1 乙醇-柴油的全生命周期系统框图

Fig.1 The overall life-cycle of cassava derived ethanol-diesel blended fuel

1.1功能单元定义

化石能源强度：车辆行驶1km的全生命周期一次化石能源（煤炭、石油、天然气）总消耗量（MJ/km）。

碳排放强度（GHG）：

车辆行驶1km的全生命周期碳排放量（g/km）。温室气体包括CO₂，CH₄，N₂O，计算时都折算成CO₂当量。

标准排放物强度：车辆行驶1km，NO_x，SO_x，PM₁₀，CO，VOC的全生命周期排放量（g/km）。

1.2计算方法

1.2.1全生命周期化石能源计算方法

生命周期化石能源计算方法为

$$E_{IC,j} = \sum_{m=1}^4 [EI_{m,j} \sum_{n=1}^3 (SH_{m,j,n} EF_{IC,n})] \quad (1)$$

式中: $E_{IC,j}$ 为行驶 1 km, 终端能源 j 的全生命周期化石能源强度 (MJ/km); $EI_{m,j}$ 为终端能源 j 的 m 阶段所有工艺能耗总和 (MJ/km); $SH_{m,j,n}$ 为过程燃料 n 在获取终端能源 j 的 m 阶段所有工艺燃料消耗能耗比; $EF_{IC,n}$ 为过程燃料 n 的全生命周期化石能源强度 (MJ/km)。

1.2.2 GHG 排放计算方法

温室气体的测算折算为 CO_2 当量, 根据 CO_2 , CH_4 , N_2O 全球变暖影响潜力指数^{[9],[10]}, 可知温室气体 GHG 排放公式为

$$GHG_{IC,j} = CO_{2,IC,j} + 21CH_{4,IC,j} + 310N_{2O,IC,j} \quad (2)$$

以 CO_2 为例, 测算其全生命周期排放强度。

$$CO_{2,IC,j} = CO_{2,in,j} + CO_{2,d,j} \quad (3)$$

$$CO_{2,d,j} = \frac{44}{12} R_j FOR_j \quad (4)$$

$$CO_{2,in,j} = \sum_{m=1}^3 \sum_n [EI_{m,j} SH_{m,j,n} (CO_{2,d,n} + CO_{2,in,n})] \quad (5)$$

式中: $CO_{2,IC,j}$ 为行驶 1 km 消耗终端能源 j 的 CO_2 排放及燃烧排放总和 (g/km); $CO_{2,in,j}$ 为原料、燃料、车辆阶段 CO_2 排放 (g/km); $CO_{2,d,j}$ 为直接排放 (g/km); R_j 为终端能源 j 的碳含量系数; FOR_j 为终端能源 j 的燃料氧化率; $EI_{m,j}$ 为车辆行驶 1 km 终端能源 j 的 m 阶段的所有工艺能耗 (MJ/km); $SH_{m,j,n}$ 为工艺燃料在 m 阶段所有工艺燃烧消耗比; $CO_{2,d,n}$ 为过程能源 n 的 CO_2 的直接排放 (g/km); $CO_{2,in,n}$ 为过程能源 n 的 CO_2 的间接排放 (g/km)。

其它温室气体 CH_4 , N_2O 的测算方法及标准排放物 (NO_x , SO_x , PM_{10} , CO , VOC) 的计算模型与 CO_2 一致。

2重要数据的收集及整理

2.1木薯燃料乙醇种植阶段数据

木薯燃料乙醇种植阶段主要数据包括肥料和农药的投入。由于部分数据及能源的二次利用的数据难以收集，加之对结果影响不大，故没有考虑在内。表1所示为种植阶段所收集的数据。

将收集的数据,根据为获取该原料所需的一次能源强度系数及相应的碳排放系数，进行相应的换算得出每生产1kg乙醇燃料,木薯种植阶段所消耗的化石能源强度及碳排放强度，结果如表2所示。从表2中数据可以计算出，氮肥的投入是此阶段化石能耗及碳排放的主要因素，分别占到本阶段化石能耗及碳排放的59.6%和71%。

表 1 木薯种植阶段数据
Table 1 Data from cassava planting stage

生物 质 原料	原料 产量	氮肥 投入	磷肥 投入	钾肥 投入	含水 率	淀粉 含量	农药 投入
原料	$t \cdot hm^{-2}$	$/kg \cdot hm^{-2}$	$/kg \cdot hm^{-2}$	$/kg \cdot hm^{-2}$	$\%$	$\%$	$/kg \cdot hm^{-2}$
木薯	13.333	100~225	100~300	100~250	13	75	8

表 2 种植阶段测算结果
Table 2 Calculated results of cassava planting stage

项目	氮肥 投入	磷肥 投入	钾肥 投入	农药 投入
煤/ $MJ \cdot kg^{-1}$	1.53	0.14	0.12	0.31
天然气/ $MJ \cdot kg^{-1}$	0.29	0.20	0.17	0.10
石油/ $MJ \cdot kg^{-1}$	0.21	0.02	0.03	0.28
小计(化石能耗)/ $MJ \cdot kg^{-1}$	2.03	0.36	0.32	0.69
碳排放/ $g \cdot kg^{-1}$	188.5	26.48	23.17	26.51

2.2燃料转化阶段数据

木薯乙醇转化阶段包括原料预处理、蒸煮液化、酵母发酵、蒸馏、脱水、废醪处理等环节。根据文献和燃料乙醇企业的实际生产情况，按照新工艺制备乙醇，收集燃料乙醇生产各工艺阶段蒸汽、电力、化学药品等消耗的化石能源及碳排放，并追溯到源生产这些蒸汽、电力、化学药品所消耗的化石能源及碳排放，测算结果如表3所示。蒸馏、蒸煮液化对本阶段的化石能耗及碳排放贡献值较大，通过计算可知，蒸馏、蒸煮液化分别占本阶段化石能耗的44%，31.77%，占本阶段碳排放的45%，29.8%。提高转化阶段蒸煮、蒸馏液化的技术可以减少木薯乙醇全生命周期的化石能耗及碳排放。

表 3 燃料转化阶段测算结果
Table 3 Calculated results of fuel conversion

转化阶段	原料 预处理	蒸煮 液化	酵母 发酵	蒸 馏	脱 水	废醪 处理	总 计
化石能耗/ $MJ \cdot MJ^{-1}$	0.4	6.1	0.4	8.5	4.2	0.2	19.2
碳排放/ $g \cdot kg^{-1}$	9	158	9	239	107	5	528

2.3其他阶段数据来源

除木薯种植及木薯转化为乙醇方面的数据外，木薯乙醇-柴油的全生命周期数据还包括：原料阶段石油的开采、运输、储存、木薯的运输；燃料阶段柴油的加工与运输；车辆阶段汽车原料生产与运输、汽车制造、车辆的报废与回收；燃烧阶段柴油及混合燃料的燃烧。数据收集与来源如表4所示。

表 4 乙醇-柴油混合燃料生命周期数据收集与来源
Table 4 Data collection and sources of the overall life-cycle cassava derived ethanol-diesel blended fuel

生命周期阶段	数据收集及来源	
原料阶段	原油开采	书籍 ^[9]
	原油运输	统计年鉴 ^[17]
	原油储存	书籍 ^[9]
	木薯运输	统计年鉴、文献 ^{[2],[12]}
	未考虑机械耕作能耗	
燃料阶段	柴油加工	书籍 ^[9]
	柴油运输	统计年鉴 ^[17]
	未考虑乙醇运输油耗、混配能耗	
车辆阶段	汽车原料生产与运输	文献 ^{[15],[16]}
	汽车制造	文献 ^[14]
	车辆的报废与回收	文献 ^[14]
燃烧阶段	行驶阶段	文献 ^{[15],[18],[19]} 、GREET 模型、试验

3全生命周期评价

3.1全生命周期化石能源强度及GHG强度评价

全生命周期化石能源强度及GHG强度测算结果如表5所示。

与传统柴油相比，E10的全生命周期能耗与柴油相当，E15，E20全生命周期分别节能4.6%与6%；GHG排放方面，E10，E15和E20分别减排2%，3.04%和4.1%。

表 5 全生命周期能耗及 GHG 排放
Table 5 The overall life-cycle of energy consumption and GHG emissions

项目	化石能耗/MJ·km ⁻¹				GHG 排放/g·km ⁻¹			
	柴油	E10	E15	E20	柴油	E10	E15	E20
原料阶段	93	112.4	122.1	131.8	13	13.9	14.35	14.8
燃料阶段	396	524.4	588.6	652.8	28	29.7	30.55	31.4
燃烧阶段	2 502.2	2 251.5	2 126.7	2 001.6	194	186.2	182.3	178.4
车辆阶段	355	355	355	355	21	21	21	21
总计	3 346.3	3 243.3	3 192.4	3 141.2	256	250.8	248.2	245.6

3.2全生命周期标准排放物强度

全生命周期标准排放物强度测算结果如图4所示。与传统柴油相比：NO_x

排放量增加，E1

0，E15和E20增排量分别为6.5%

，13.1%和12.8%；CO排放量与柴油排放相差无几；SO_x

排放量减少，E10，E15和E20减排量分别为3.92%，5.5%和8.1%；VOC排放量减少，E10，E15和E20减排量分别为12.5%，9.92%和8.05%；PM10排放量减少，E10，E15和E20减排量分别为8.2%，9.6%和13.3%。

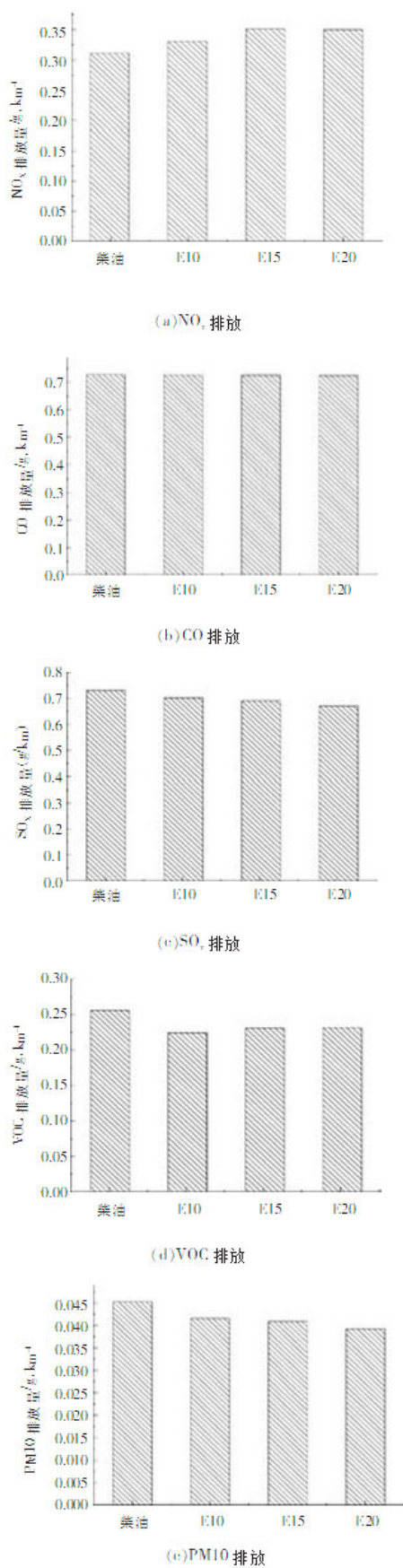


图2 全生命周期 NO_x , CO, SO_x , VOC 和 PM10 排放
Fig.2 The overall life-cycle of NO_x , SO_x , CO, VOC, PM10 emissions

4结论

尽管木薯乙醇-柴油目前尚处在实验室研究阶段，距离规模化生产和商品化应用还有很大差距，但进行木薯乙醇-柴油混合燃料的研究可以为木薯乙醇-柴油的推广应用提供一定的支持。通过对混合燃料E10，E15，E20及柴油进行生命周期评价，给出以下结论。

（1）氮肥的投入分别占到木薯种植阶段化石能耗及碳排放的59.6%和71%。

（2）蒸馏、蒸煮液化分别占木薯转化为乙醇阶段化石能耗的44%，31.77%，碳排放的45%，29.8%。

（3）与传统柴油相比，E10，E15和E20全生命周期分别节能3.1%，4.6%与6%；GHG排放方面E10，E15和E20分别减排2%，3.04%和4.1%。

（4）在全生命周期标准排放物强度研究中，和传统柴油相比，除NO_x增排外，SO_x，PM₁₀，CO，VOC均达到减排的效果，其中VOC，PM₁₀的减排效果较为明显。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/96050.html>