

文章编号: 1001-1498(2009)01-0007-07

我国生物柴油树种选择与评价

侯元凯¹, 刘松杨^{2*}, 黄琳¹, 周海江¹

(1. 中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 河南 郑州 450003; 2. 河北农业大学园林与旅游学院, 河北 保定 071000)

摘要: 本文对生物柴油树种进行了筛选与评价, 认为珍稀树种、优质干果树种、出种率低的树种、优质食用油料树种、大面积造林具有困难的树种不宜选作生物柴油树种。初步筛选文冠果、花椒、黄连木、乌桕、油桐、光皮树、麻疯树、绿玉树、椰子、油棕等 10 种作为生物柴油树种。分别对以上树种的形态特征、生态习性、苗木培育、栽植方法、病虫害、自然分布、种子产量、利用年限、目前的应用、含油量、提炼的生物柴油性质及与 0 号石化柴油燃料特性对比等做了调查和评价。对生物柴油树种发展的制约因子如黄连木种子小蜂、文冠果“千花一果”、麻疯树等产生的有毒物质进行了探讨。以花椒为例, 对生物柴油林的经济效益进行了评估。

关键词: 生物柴油; 树种筛选; 树种评价

中图分类号: S759.3⁺1

文献标识码: A

Selection and Evaluation of Bio-diesel Tree Species in China

HOU Yuan-kai¹, LIU Song-yang^{2*}, HUANG Lin¹, ZHOU Hai-jiang¹

(1. Research and Development Center of Non-timber Forestry, CAF, Zhengzhou 450003, He'nan, China;

2. College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: Bio-diesel tree species were selected and evaluated. The conclusion was that rare tree species, tree species with high-quality dried fruit, tree species with few seeds, tree species with high-quality edible oil materials, and the tree species which have difficulties for afforestation in large area should not be selected as bio-diesel tree species. *Xanthoceras sorbifolia*, *Zanthoxylum bungeanum*, *Pistacia chinensis*, *Sapium sebifenun*, *Vemicia fordii*, *Swida wilsoniana*, *Jatropha curcas*, *Euphorbia tinucalli*, *Cocos nucifera*, *Elaeis guineensis* were initially selected as bio-diesel tree species. The survey and evaluation on the morphological characteristics, ecological habits, nurturing seedlings, planting methods, pests and diseases, natural distribution, seed production, the term of utilization, the current application of tree species above-mentioned, oil content and natural comparison between bio-diesel extracted from plants and of petrochemical diesel fuel were done. The factors restricting the development of the tree species such as *Eurytma plotniko* of *Pistacia chinensis*, low rate of fruit of *Xanthoceras sorbifolia*, the toxic substances in *Jatropha curcas* and others were discussed. Taking *Zanthoxylum bungeanum* as an example, economic benefits of bio-diesel forest were assessed as well.

Key words: bio-diesel; tree species selection; tree species evaluation

能源短缺已经成为当前面临的最大问题之一, 而生物柴油的应用和推广有助于解决我国能源的短缺^[1]。近 20 年来, 利用植物油制备生物柴油作为石油燃料, 已引起了世界各国的广泛关注^[2]。而生物

收稿日期: 2008-09-02

基金项目: 2008 年河南省重点科技攻关项目“生物柴油树种黄连木等品种选育及综合培育技术研究”(082102150001)及上海中电绿科集团资助项目“甘肃山丹马场生物质能源树种引种栽培及综合培育技术研究”部分内容

作者简介: 侯元凯(1963—), 男, 河南浙川人, 博士, 主要从事森林培育研究。E-mail: 13937116081@sohu.com

* 通讯作者。

柴油产量的瓶颈则是原料的供应,为此,在 20 世纪 50 年代,美国农业部门就组织专门机构,对世界各地野生油料植物进行筛选研究。经他们筛选和评价过的种类有 6 500 种之多^[3]。在我国,现已查明的油料植物(种子植物)种类为 151 科 697 属 1 554 种,其中种子含油率在 40% 以上的植物有 154 种。但是,分布广,适应性强,可用其建立规模化生物柴油原料基地的乔灌木物种不足 30 种^[4]。本文通过对我国生物柴油树种选择与评价,以期加快我国生物柴油原料林基地建设,促进生物柴油产业的发展。

1 生物柴油树种选择

1.1 我国不适宜选作生物柴油的树种

1.1.1 珍稀树种不宜选作生物柴油树种 我国一些珍稀树种,如南方红豆杉(*Taxus chinensis* var *mairii* (Lénee L. & C. H. Cheng et L. K. Fu) 种仁含油率高达 69.1%,但由于红豆杉是中国特有古老残遗种,国家一级保护植物^[5],生长速度极慢,10 年后植株才开花结实,正常结实期也在 20 年以后^[6],60 年才进入速生期^[5],种仁现主要用于提取紫杉醇(Taxol),紫杉醇为有效的抗癌药剂^[7]。竹柏(*Podocarpus nagi* (Thunb.) Zoll. et Mor.) 种仁含油率高达 55%,但 10 年后才开花结实,正常结实期在 15 年以后,且为渐危种^[6]。上述二者均不适于生产生物柴油。

1.1.2 优质食用干果树种不宜选作生物柴油树种

我国优质食用干果树种丰富,如核桃(*Juglans regia* L.)、阿月浑子(*Pistacia vera* L.)以及松类(*Pinus* spp.)等,其种仁含油量都很高,例如华山松(*Pinus armandi* Franch.) 种仁含油率高达 42.76%^[8]。作为食用干果,种籽产地价高达 20 元·kg⁻¹(2008 年 8 月价格,以下同),超市价格 76 元·kg⁻¹;红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) 种仁含油率高达 67.24%,种籽超市价格高达 99 元·kg⁻¹。榛子(*Corylus heterophylla* Fisch.) 种仁含油率高达 51.6%,超市售价高达 99 元·kg⁻¹。上述果品在今后依然是重要的食用干果,用其炼制生物柴油尚无可行性。

1.1.3 出种率低的树种不宜选作生物柴油树种

臭椿(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) 种仁含油率高达 56%,栾树(*Koelreuteria paniculata* Laxm.) 种仁含油率高达 38.59%,梧桐(*Fimiana simplex* W. E. Wight) 种仁含油率高达 30.1%^[4],但是由于这些树种出种率极低,无采收价值且不易形成规模,所以不能用其生产生物柴油。

1.1.4 优质食用油树种不宜选作生物柴油树种 如茶油是一种优质高级食用油,产量低,价格高^[9-10],在国外,茶油经过精加工可制成高级凉拌油、人造奶油、起酥油、蛋黄酱等多种用途的油脂食品^[11-12]。种植油茶(*Camellia* spp.),一般 5 年可以开花结果,8~10 年进入盛果期,产油量 75~225 kg·hm⁻²,精炼茶油售价 50 元·kg⁻¹左右,郑州市场 1 800 mL 茶油现售价 118 元。在日本,茶油价格是菜籽油的 7.5 倍,在美国茶油价格高达 12 美元·kg⁻¹,香港高达 150 港元·kg⁻¹。目前,茶油产量和市场占有率仍处于很低的水平,全国年产茶油(1.5~1.8)×10⁴ t,占我国年均植物食用油消耗量的 1.5%^[11]。因此,油茶不宜用作生物柴油树种。

1.1.5 不易栽培,难以大面积造林的树种不宜选作生物柴油树种 油橄榄(*Olea europaea* L.)、元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)、翅果油树(*Elaeagnus mollis* Diels)、白檀(*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.)、多花山竹子(*Garcinia multiflora* Champ.)、核桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)、蒜头果(*Malania oleiferu* Chun et S. Lee)、蝴蝶果(*Cleidocarpon cavalerii* (Lécl.) Airy Shaw)、山桐子(*Idesia polycarpa* Maxim.)等虽然为著名油料树种,含油率均在 30% 以上,最高可达 64.5% (蒜头果)。但由于这些树种多数不为人们所熟知,造林群众基础差。其中如多花山竹子、竹柏、元宝枫、核桃楸等生长缓慢,难以形成具有一定规模的丰产林。

1.2 我国适宜选作生物柴油的树种

根据以上生物柴油树种应当满足的条件,同时要求其具备分布广泛(见表 6)、含油率高(见表 7)、适应性强的特性(见表 2),初步选择漆树科(Anacardiaceae)的黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge),无患子科(Sapindaceae)的文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge),芸香科(Rutaceae)的花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.),山茱萸科(Comaceae)的光皮树(*Comus wilsoniana* Wanger),棕榈科(Palmae)的椰子树(*Cocos nucifera* L.)、油棕(*Elaeis guineensis* Jacq.),大戟科(Euphorbiaceae)的麻疯树(*Jatropha curcas* L.)、绿玉树(*Euphorbia tinucalli* L.)、油桐(*Vernicia fordii* (Hemsl.) Airy Shaw)、乌桕(*Sapum sebifenum* (L.) Roxb.)为我国生物柴油树种。

2 生物柴油树种评价

2.1 生物柴油树种的形态特征及生态习性

2.1.1 生物柴油树种的形态特征 由表 1 可以看

出,所选生物柴油树种中黄连木、光皮树、油棕、椰子、乌桕等均为高大乔木;油桐则为小乔木;文冠果、麻疯树、绿玉树、花椒则呈灌木状。

表 1 我国生物柴油树种形态特征比较

树种	树高 /m	胸径 /cm	常绿或落叶	花期	果期
麻疯树	10	-	落叶灌木或小乔木	4—5月	10月
黄连木	25	150	落叶乔木	3—4月	9—10月
文冠果	2~8	90	落叶灌木或小乔木	4—5月	7月
光皮树	5~18	-	落叶乔木	5—6月	10—11月
乌桕 ^[13]	15	60~100	落叶乔木	4—5月	10—11月
油桐 ^[6]	9	12~60	落叶小乔木	3—4月	10月
椰子	20~30	20~30	常绿乔木	全年	7—9月
油棕	10~20	50	常绿乔木	全年	9月
花椒	3~7	-	落叶灌木或小乔木	3—5月	7—9月
绿玉树	2~9	-	灌木或小乔木	春季	7—10月

2.1.2 生物柴油树种的生态习性 由表 2 可以看出,所选生物柴油树种均为阳性树种,其中黄连木、文冠果、绿玉树为阳性树种且稍耐阴。耐寒性由强到弱依次为文冠果、花椒、黄连木、光皮树、乌桕、油桐、麻疯树、绿玉树、椰子、油棕。从耐干旱程度上

看,较耐旱的种类有文冠果、绿玉树、花椒、黄连木,而油棕、椰子、乌桕要求年降水量在 1 000 mm 以上。从耐瘠薄程度上看,除油棕、油桐外,其他树种均耐瘠薄。对土壤酸碱性的适应性来看,油棕、油桐、椰子适宜酸性土壤,其他树种对土壤酸碱性要求不严。

表 2 我国生物柴油树种生态习性

树种	光照	温度	水分	土壤
麻疯树 ^[14]	喜光	适于在年平均气温 18.0~28.5 地区	适宜年降水量 480~2 380 mm	可在石砾质土、粗质土、石灰岩裸露地上生存
黄连木 ^[15]	喜光且较耐阴	适生地年平均气温 12~15	适宜年降水量为 650~1 300 mm	适宜中性、微酸性或微碱性土壤
文冠果 ^[16-17]	喜光且耐半荫	耐最低气温 -42.4	适宜年降水量 140.7~948.3 mm,但不耐涝	对土壤要求不严,适宜土壤 pH 值 7.5~8
光皮树	喜光	耐最低气温 -11.3	耐干旱	对土壤要求不严,适宜土壤 pH 值 4.5~8
乌桕 ^[3]	喜光	要求年均温 16~19,耐极端低温 -10	适宜年降水量 1 000~1 500 mm,较耐水湿	对土壤要求不严,沙土、粘土、石灰岩上都可生长,适宜土壤 pH 值 4.8~8.5
油桐 ^[3]	喜光	适于年均气温 15.5~17	适宜年降水量 1 000~1 600 mm	不耐瘠薄,适宜土壤 pH 值 6~7
椰子 ^[3]	喜光	最低温度不能低于 24	适宜年降水量 1 300~2 300 mm	对土壤要求不严,适宜土壤 pH 值 5~8
油棕 ^[4]	喜光	要求年均温 25~28,低于 15 则生长停止	不耐旱,要求年平均降水量 1 800~3 000 mm	适宜疏松、肥沃、深厚的土壤,适宜土壤 pH 值 4~6
花椒 ^[3]	极喜光	耐 -18~-20 低温	适宜年降水量 500~1 400 mm,但不耐涝	耐瘠薄,适宜土壤 pH 值 6.5~8.0
绿玉树 ^[18]	喜光且耐半荫	适宜年均气温 21~28,耐最低温 9	耐旱,适宜年降水量 250~1 000 mm	耐贫瘠,适宜土壤 pH 值 6~8.5

表 3 生物柴油树种的繁育方法、造林密度及关键管理环节

树种	繁育方法	1年生苗高 /cm	造林密度	栽培管理关键环节
麻疯树	扦插、播种	50	4 m ×4 m	-
黄连木	播种、扦插、嫁接	60~80	1 500株 · hm ⁻²	防治黄连木种子小蜂;黄连木林中雄株均匀分布并占总株数的 5%~10%
文冠果	播种、根插、嫁接	50~100	1.5~3 m ×2~3 m	防治立枯病;移栽过程不要伤根;防涝
光皮树	播种、扦插、嫁接	30~100	3 m ×3 m	-
乌桕	播种、扦插、根插	60~100	6 m ×6~7 m	栽植后一般无需修剪
油桐	播种、嫁接	50~100	4 m ×4 m	-
椰子	播种	80~100	6~7 m ×8~9 m	-
油棕	播种	-	6 m ×9 m	收获果实时须适当割掉一些叶片。割叶期应在雨季末期进行,每年 1 次。注意人工授粉
花椒	播种、嫁接、分蘖	70~100	2~4 m ×2~4 m	保花保果;修剪、整形
绿玉树	扦插	50	75 000株 · hm ⁻²	-

2.2 生物柴油树种的苗木培育、栽植及病虫害

从表 3 可以看出,所选生物柴油树种的繁殖是比较容易的,除绿玉树外有多种繁殖方法,麻疯树、黄连木、文冠果、光皮树、乌桕、花椒等树种,除播种繁殖外(播种参数见表 4),还可用扦插、嫁接等繁殖方法,所选生物柴油树种的 1 年生苗高一般不超

过 100 cm。生物柴油树种的主要病虫害见表 5,其中对生物柴油树种危害最为严重的为黄连木种子小蜂,可造成黄连木种子绝收,而其他病虫害,虽然对生物柴油树种带来不同程度的损害,但其损害程度远不及黄连木种子小蜂,且这些病虫害的防治也较容易。

表 4 生物柴油树种的播种参数^[4,6-7,13]

树种	种子千粒质量 /g	种子处理	发芽率 /%	播种量 / (kg · hm ⁻²)	覆土厚度 /cm
麻疯树	670	无需处理	60 ~ 85	450 ~ 525	2 ~ 3
黄连木	92	浸泡 + 层积	50 ~ 60	150	3 ~ 5
文冠果	600 ~ 1 250	层积催芽	58 ~ 69	300 ~ 375	3 ~ 4
光皮树	23.3 ~ 29	层积催芽	50 ~ 60	225 ~ 375	1.5
乌桕	160 ~ 360	浸种 + 层积	80	(大粒) 112.5; (小粒) 75	1.5
油桐	1 900 ~ 5 700	温水浸种或层积	87.5 ~ 90	300 ~ 375	3 ~ 4
椰子		有短期休眠,置于室内通风阴凉处	65	播种株行距 40 cm × 50 cm	椰果全埋或埋果实高度的 2/3
油棕	1 350 ~ 2 310	种子无休眠习性,混沙湿藏	80	1 500 ~ 2 100	3
花椒	12.5 ~ 22.0	湿沙层积	58	90 ~ 180	1

表 5 生物柴油树种病虫害

树种	主要病害	主要虫害
麻疯树 ^[19]	根腐病、灰霉病、叶斑病等	油桐尺蠖、白蚁、乌桕蚜等
黄连木	立枯病等	黄连木种子小蜂、黄连木尺蠖、黄连木缀叶丛螟等
文冠果	黄化病、黑斑病、立枯病等	木虱、黑绒金龟子等
光皮树	烟煤病等	红蜘蛛等
乌桕	立枯病等	乌桕毛虫、乌桕卷叶蛾、乌桕毒蛾、橇蚕、蚜虫等
油桐 ^[4]	角斑病、炭疽病、枯枝病、枯萎病、腐烂病等	云斑白条天牛、油桐尺蠖、大袋蛾、菟丝子等
椰子 ^[4]	泻血病、椰子芽腐病、败生病、叶腐病、黄化病、红环病、椰子灰斑病等	红棕象幼虫、粉蚧、椰子象鼻虫、二瘤犀甲、黑色椰子金龟等
油棕 ^[4]	芽腐病、茎腐病、冠腐病、果腐病、果房萎缩病等	果穗螟、刺蛾、象鼻虫等
花椒	菟丝子、花椒锈病、落叶病、疮痂病、叶斑病等	蚜虫、花椒天牛、黄凤蝶、黑绒金龟子、金花虫等
绿玉树 ^[20]	灰霉病、根结线虫病等	

2.3 生物柴油树种自然分布及目前应用

由表 6 可以看出,所选树种的分布(北界)从北到南依次为文冠果、花椒、黄连木、乌桕、油桐、光皮树、麻疯树、绿玉树、椰子、油棕。从我国各地区适宜的生物柴油树种来看,东北地区宜选择文冠果,西北

地区宜选择文冠果、花椒,华北地区选择黄连木、文冠果、花椒,西南地区选择麻疯树、油桐、乌桕,东南地区选择光皮树、油桐、乌桕,华南地区选择麻疯树、椰子、油棕、绿玉树。

表 6 生物柴油树种的主要产地和目前应用情况调查^[4,9]

植物	利用部位	主要产地	目前应用
麻疯树	种仁	粤、桂、滇、黔、川、闽、琼等地	60%的轻柴油与 40%的麻疯树油的混合油
黄连木	种仁	北自河北中部、山东,南至广东、广西各地,其中以河北、河南、山西、陕西等地栽培最多	润滑油,生物柴油;油可食用但口感不佳
文冠果	种仁	东北、西北、华北	药用;少量食用油
光皮树	种仁	黄河流域至西南、东南各地,主要分布于陕、甘、川、渝、黔、闽、浙及中南各地	食用、医用,润滑油,油漆原料,燃油替代品
乌桕	种仁	我国热带、亚热带及暖温带地区	肥皂、蜡烛、润滑油、蜡纸
油桐	种仁	黄河流域中下游及以南各地,湖南、湖北、四川、贵州为中心产区	油漆、印刷、塑料、人造革及医药
椰子	椰肉	我国最适栽培区限于海南,广东亦有栽培	肥皂、去垢剂、洗涤剂和其他清洁剂的高发泡剂
油棕	种仁	我国华南及西南地区有栽培	生物柴油、食用油
花椒	种仁	在我国除内蒙古及东北地区外,各地均有栽培,其中以华北、西北、西南地区栽培较多	生物柴油
绿玉树	茎干中白色乳汁	原产非洲,在我国西南地区及粤、湘有引种	为石油原料最有希望的候选者

从利用部位来看,生物柴油原料主要是树木的种仁,如麻疯树、文冠果等;绿玉树利用其树干上的汁液,椰子树则利用其果实上的椰肉。

从目前的应用情况来看,已用于生物柴油生产的有花椒(西安宝润实业)、麻疯树、油棕(马来西亚等国)、椰子(菲律宾等国)。

从目前生物柴油树种的种实价格来看,黄连木种子价格高达 $10 \sim 13 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。文冠果种子由于苗木供不应求,种子多用于苗木和医药生产,价格高达 $100 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因此,黄连木、文冠果还不能用于生物柴油生产。油桐籽(去种皮)价格 $3 \sim 4 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$,桐油 $1.4 \text{万} \sim 1.6 \text{万元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。花椒籽(去种皮)价格 $0.6 \sim 1.6 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$,脂肪酸甲酯价格 $8500 \text{元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。油桐、花椒炼制生物柴油尚具可行性。

2.4 生物柴油树种种子含油量、种子产量、利用年限及现有资源

由表 7 可以看出除黄连木、乌桕利用初始期长达 8 年以上,油桐、文冠果、椰子、油棕、花椒利用初始期均在 1~3 年。利用年限除油桐外一般在 20 年以上。其中黄连木、光皮树利用年限长达百年。从现有资源量来看,油桐储量最大,其次为黄连木,第三为麻疯树。近几年麻疯树和文冠果造林面积正在迅速增大。从种实产量来看,生物柴油树种均为森林组成树种,所处立地条件复杂,多散生在森林中,其产量极不稳定。在内蒙古翁牛特旗,2007 年 $1300 \text{多} \text{hm}^2$ 40 年生文冠果,仅收 $7 \times 10^4 \text{kg}$ 种子。从目前各地产量看,表 7 中所列树种产量超过 $7500 \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 就已十分困难。

表 7 生物柴油树种种仁含油率、种子产量、利用年限及现有资源情况调查表^[3,5-6,21-23]

树种	含油率/%	种子产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	利用初始期/a	利用年限/a	现有资源/万 hm^2	原料产量/万 t
麻疯树	50.2~61.5	3000~6000	3~5	30~50	2.1	19.6
黄连木	25.6~52.6	1500~4500	5~8	50~100	28.5	32.2
文冠果	59.9	1500~4500	2~3	30~80	0.5	1.2
光皮树	33~36	3000~6000	3~5	50~100	0.45	1.1
乌桕	22.8~41.6	2250~4500	3~8	20~50	2.7	3.0
油桐	49.4~58.6	3000~6000	3~4	10~20	77.9	37
椰子	59.3(椰肉)	6000~10500个	3~4	20~70	3.12	1.48亿个
油棕	41.5~45.5	-	2~3	25~30	-	-
花椒	24.4~26.7	6000~7500	3	20~40	-	-
绿玉树	70(乳汁)	干物质 19500(2年生)	1~5	20年造林一次	-	-

2.5 部分省区生物柴油需求及所需要原料林基地面积分析

由表 8 可以看出,各省对柴油以及生物柴油的需求量都比较大,其中河北省对柴油的需求量最大,其次是安徽、四川、湖南、云南,最后是内蒙古。能够

利用麻疯树作为生物柴油树种的省份是四川和云南,利用黄连木作生物柴油树种的省份是河北和安徽,湖南则可利用光皮树作生物柴油树种,内蒙古可选择文冠果。

表 8 部分省区生物柴油需求及所需原料林基地面积分析^[22]

省份	2010年柴油消费量 预测/万 t	2015年 B5生物柴油 需求量预测/万 t	需要果实量预测/ 万 t	配套原料林基地 面积/万 hm^2	树种
四川	430	21.5	71.67	15.93	麻疯树
云南	335	16.75	55.83	12.41	麻疯树
河北	775	38.75	129.17	34.44	黄连木
安徽	449	22.45	74.83	19.96	黄连木
湖南	423	21.15	70.5	11.75	光皮树
内蒙古	267	13.35	44.5	29.67	文冠果
(合计)	2679	133.95	446.5	124.15	

2.6 生物柴油与 0 号石化柴油燃料特性对比

由表 9 可以看出,生物柴油比 0 号石化柴油相

比热值稍低,水分略高是其不足之处,其他性质方面与石化柴油相近或优于它。

表 9 生物柴油与 0 号石化柴油燃料特性对比

燃料	密度 (15) / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	运动黏度 (40) / ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	闪点 /	灰分 / %	水分 / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	热值 / ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)
餐饮业废油生物柴油 ^[24]	0.877 5	4.1	152	无	240	37.99
小桐子油生物柴油 ^[24]	0.875 2	3.6	153	无	280	38.96
菜籽油生物柴油 ^[24]	0.876 4	4.0	156	无	200	38.61
麻疯树籽油生物柴油 ^[25]	0.874 2	3.6	110~240	无	280	39.6~41.8
乌桕籽油生物柴油 ^[26]	0.860 6	4.25(20)	63	0.006 6	痕迹	-
棕榈油生物柴油 ^[24]	0.875 4	4.3	152	无	200	39.74
ASTM 标准 ^[24]	-	1.9~6.0	>100	<0.02	<0.05	-
0 号柴油 ^[24]	0.785 0(实测值)	2.7(实测值)	>60	<0.025	痕迹	44.95

3 生物柴油树种发展的制约因子

3.1 黄连木的制约因子

黄连木种子小蜂 (*Eurytma plotniko* Nikolskaya) 隶属膜翅目 (Hymenoptera) 广肩小蜂科 (*Eurytomidae*), 是我国重要的森林植物检疫性害虫。它主要危害漆树科黄连木属 (*Pistacia* L.) 的黄连木和阿月浑子的果实。曾使河北、河南、山西、陕西 4 省的黄连木果实连年绝收, 现在安徽、山东也有这种小蜂分布^[27]。虽然防治黄连木种子小蜂有一定的方法, 但在生产中, 防治却十分困难。此外, 黄连木结实母树为高大乔木, 存在采种困难的问题。

3.2 文冠果的制约因子

文冠果座果率和结实率极低, 存在“千花一果”现象, 致使各地文冠果产量低下。目前尚无有效的解决方法。

3.3 大戟科生物柴油树种多为有毒植物

中国预防医学院病毒所在 1693 种植物中发现 52 种含有促癌物质。这些植物大多是大戟科和瑞香科 (*Thymelaeaceae*) 植物, 其中包括大戟科的山乌桕 (*S. discolor* (Champ.) Muell-Arg)、乌桕、圆叶乌桕 (*S. rotundifolium* Hemsl)、油桐、千年桐 (*Vernicia montana* Lour)、续随子 (*Euphorbia lathyris* L.)^[28] 等生物柴油树种。麻疯树种子中毒性最强的物质有毒蛋白 (curcin)、二萜酯 (佛波酯, diterpene esters), 甲醇提取物也具有一定的毒性, 其中佛波酯为肿瘤促进剂^[3, 29-30]。解除麻疯树毒性的研究在进行中, 但其可行性还未在大范围内得到调查和确认。麻疯树体中的有毒物质是妨碍其广泛应用的主要原因。

4 生物柴油树种栽培效益评估——以花椒为例

据调查, 花椒的栽植密度按 $1\ 800$ 株 \cdot hm^{-2} 计

算, 5 年生平均每株产果实 (带皮) 3.5 kg , 则果实产量为 $6\ 300$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中, 种籽占果实质量的 57%, 那么种籽产量为 $3\ 591$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。种籽价格为 $1\ 000$ 元 \cdot t^{-1} , 则种籽的产值为 $35\ 910$ 元 \cdot hm^{-2} 。由于种籽含水率为 3%~5%, 含油率为 25%~28% (萃取法提取), 则产油量为 $898 \sim 1\ 005$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 脂肪酸甲酯 (生物柴油) 价格为 $8\ 500$ 元 \cdot t^{-1} , 则生物柴油产值 $7\ 635 \sim 8\ 550$ 元 \cdot hm^{-2} 。产生的油渣质量为 $2\ 586 \sim 2\ 693$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (油渣可作肥料添加剂), 油渣价格为 500 元 \cdot t^{-1} , 则油渣产值为 $1\ 293 \sim 1\ 346$ 元 \cdot hm^{-2} 。种皮占果实质量的 43%, 年产种皮量为 $2\ 709$ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 种皮价格 $20 \sim 40$ 元 \cdot kg^{-1} , 则种皮产值为 $54\ 180 \sim 108\ 360$ 元 \cdot hm^{-2} 。那么 5 年生花椒的产值为 $63\ 108 \sim 118\ 256$ 元 \cdot hm^{-2} 。

另外, 生物柴油的生产成本为 300 元 \cdot t^{-1} (包括工资、水电、利息、设备折旧)。生产 1 hm^2 花椒的年成本为: 采收用工费 + 运输费 + 土地使用费 + 林地管理费 + 生物柴油加工费 = $12\ 600$ 元 + $1\ 260$ 元 + 75 元 + 750 元 + 285 元 = $14\ 970$ 元。

综上所述, 5 年生花椒的年收益为 $48\ 138 \sim 103\ 286$ 元 \cdot hm^{-2} 。

生产 1 t 生物柴油所需的花椒籽费用为 $3\ 570 \sim 4\ 000$ 元, 那么生产 1 t 生物柴油的收益为 $8\ 500 - 300 - (3\ 570 \sim 4\ 000) = 4\ 200 \sim 4\ 630$ 元 \cdot t^{-1} 。

由以上计算可以看出, 花椒种皮的收益远高于利用其种籽生产生物柴油的收益, 从单纯的利用其种子生产生物柴油的经济效益上来看不合算, 但是, 由于大面积种植花椒的主要目的是取得种皮收益, 种籽用于加工生物柴油是增加花椒种植收益的另一途径, 从整体来看, 种植花椒的经济效益是十分显著的。

5 结语

(1) 珍稀树种、优质干果树种、出种率低的树

种、优质食用油料树种、大面积造林具有困难的树种不宜选为生物柴油树种。作为生物柴油树种还必须具备分布广泛、适应性强、含油率高等特性。据此,文冠果、花椒、黄连木、光皮树、乌桕、油桐、麻疯树、绿玉树、椰子、油棕等宜选作我国生物柴油树种。

(2)花椒的生长幅度大,尤其适宜在西北、华北、中南各省生长,目前在这些地区的退耕还林中,又有了大面积栽培,产油量也比较好,因此,可以投入加工生产,研究丰产措施为当前我国石化柴油代用品起到立竿见影的效果。麻疯树是良好的干热河谷造林树种,云南、四川、重庆已有规划大力发展,出油率较高。热带的油棕有较高产量,有的热值也较高,很有发展前途。

(3)生物柴油树种种籽价格在短期内仍居高不下,成为限制生物柴油生产的主要因素。多数生物柴油树种的种籽尚未用于生物柴油炼制,有些用于药物生产,有些用于苗木繁殖。生物柴油一定要单位面积产量达到一定要求,生产生物柴油才有利可图,但由于土地、良种及栽培技术等原因,大面积丰产目前尚没有技术上的储备,因此要加大选育力度和提高栽培技术,达到提高产量的目的。

(4)生物柴油树种利用的瓶颈,诸如黄连木种子小蜂、文冠果的“千花一果”、大戟科生物柴油树种的有毒物质等问题亟待解决。

参考文献:

- [1] 赵晨,付玉杰,祖元刚,等. 研究开发燃料油植物生产生物柴油的几个策略[J]. 植物学通报,2006,23(3):312-319
- [2] 朱建良,张冠杰. 国内外生物柴油研究生产现状及发展趋势[J]. 化工时刊,2004,18(1):23-27
- [3] 朱太平,刘亮,朱明. 中国资源植物[M]. 北京:科学出版社,2007:311-460
- [4] 侯元凯,刘庆雨. 生物柴油树种栽培与利用[M]. 北京:中国农业出版社,2007:1-3
- [5] 胡芳名,谭晓风,刘惠民. 中国主要经济树种栽培与利用[M]. 北京:中国林业出版社,2006
- [6] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子[M]. 北京:中国林业出版社,2001
- [7] 侯元凯,段绍光,赵水. 中国退耕还林主要树种(北方分册)[M]. 北京:中国农业出版社,2004
- [8] 王宗训. 中国资源植物利用手册[M]. 北京:中国科学技术出版社,1989
- [9] 何方,何柏. 油茶栽培分布与立地分类的研究[J]. 林业科学,2002,38(5):64-72
- [10] 刘跃进,欧日明,陈永忠. 我国油茶产业发展现状与对策[J]. 林业科技开发,2007,21(4):1-4
- [11] 余才鼎. 油茶生产的经济效益和生态效益初探[J]. 科协论坛,2007(7):90-91
- [12] 路放,傅军. 油茶栽培研究的现状与我省油茶发展对策[J]. 安徽林业科技,2007(3):11-12
- [13] 中国树木志编委会. 中国主要树种造林技术[M]. 北京:中国林业出版社,1981
- [14] 夏九成,刁毅,韩洪波,等. 麻疯树资源的综合开发利用[J]. 攀枝花科技与信息,2007,32(3):29-34
- [15] 钱学射,张卫明,顾龚平,等. 燃料油植物黄连木的利用与栽培[J]. 中国野生植物资源,2007,26(5):12-12,20
- [16] 吴杨,贾斌英. 文冠果的繁育技术[J]. 辽宁林业科技,2007(6):55-58
- [17] 田建保,陈双健,王占和,等. 文冠果生长结果习性及其主要栽培技术[J]. 山西果树,2002(4):19-20
- [18] 李凌,李政. 绿玉树分布状况的调查研究[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(5):644-647
- [19] 张国腾,徐德全,周世敏. 罗甸麻疯树常见病虫害的危害与防治[J]. 山地农业生物学报,2008,27(1):90-94
- [20] 窦彦霞,肖崇刚,易龙. 重庆试种期间绿玉树病害初报[J]. 植物保护,2007,33(3):99-102
- [21] 国家林业局. 2006年中国林业发展报告[M]. 北京:中国林业出版社,2006:113-133
- [22] 钱能志,费世民,韩志群. 中国林业生物柴油[M]. 北京:中国林业出版社,2007
- [23] 朱积余,陈国臣,马锦林. 广西生物质能源树种资源及其发展前景[J]. 广西林业科学,2007,36(2):114-117
- [24] 孟中磊,蒋剑春,李翔宇. 生物柴油的发展近况及趋势[M]//2007工业生物技术发展报告. 北京:科学出版社,2007:46-55
- [25] 孙纯,梁玮. 麻疯果资源分布、种植及利用情况调查[C]//2008生物产业技术研讨会会议文集,2008:86-96
- [26] 杨志斌,齐玉堂,王晓光,等. 乌桕籽制取生物柴油研究初报[J]. 湖北林业科技,2007(6):32-34
- [27] 高步衢. 森林植物检疫[M]. 北京:中国科学技术出版社,1998
- [28] 侯元凯. 植物解密[M]. 北京:中国农业出版社,2008
- [29] Hue V, Tricia P, Paul S, et al. Phorbol ester-induced expression of arivsq squamous cell differentiation marker, SPRR B, is regulated by protein kinase C/Ras/MEKK1/MKK1-dependent/AP-1 signal transduction pathway[J]. J Biol Chem, 2000, 275(41):32250-32259
- [30] Menaya J, Clemens M J. Phorbol ester-induced inhibition of proliferation of Daudi Burkitt's lymphoma cells by impairment of cytokinesis[J]. Exp Cell Res, 1991, 194(2):260-266