

香叶树作为生物柴油原料树种的研究现状及其开发前景

董树斌¹ 张志翔^{1*} 黄佳聪²

(1. 北京林业大学 自然保护区学院, 北京 100083;

2. 云南省保山市林业局 林业技术推广总站, 云南 保山 678000)

摘要 生物柴油作为一种可再生的燃料,用来替代传统能源、缓解能源危机已变得越来越重要,开发利用林业生物质能源资源是解决我国生物柴油发展原料短缺问题的重要途径之一。香叶树广泛分布于我国南方,尤其在西南有比较集中的野生资源,其果实含油率达41%~47%,是加工生物柴油的良好原料。介绍了当前国内外的生物柴油原料,香叶树的研究现状,展望了香叶树在生物柴油开发利用方面的前景,并根据现阶段存在的问题,提出了一些建议。

关键词 香叶树;能源植物;生物柴油

中图分类号 TQ 646.1; S 565.9

文章编号 1007-4333(2014)06-0095-07

文献标志码 A

Research and prospects of *Lindera communis* hemsl as a tree of biodiesel resources

DONG Shu-bin¹, ZHANG Zhi-xiang^{1*}, HUANG Jia-cong²

(1. College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Forestry Technology Extension Station, Baoshan City Forestry Bureau, Baoshan 678000, China)

Abstract As a renewable energy sources to replace conventional fossil fuels, biodiesel fuels have been becoming increasingly important to relieve energy resources crisis. developing and utilizing forestry bioenergy resources is one of important approach to solve our nation's shortage of raw materials in biodiesel production. *Lindera communis* hemsl is a kind of good raw materials to produce biodiesel fuel because it has seeds with a high oil content of 41% - 47%. They are widely distributed in southern China, and especially, there are centralized wild species in the southwest. This paper was to introduce the usage of biodiesel fuels in home and aboard, the present situation of studies on *L. communis*, the prospects of *L. communis* were analyzed and some recommendations for utilization of *L. communis* seed oil in china were proposed according to the current disadvantages.

Key words *Lindera communis* hemsl; energy plant; biodiesel

随着经济的发展,以煤、石油和天然气为代表的化石能源面临着枯竭的危机。能源紧缺已成为各国政府高度关注的战略性课题,发展新能源迫在眉睫。就其能源当量而言,生物质能源仅次于煤、石油、天然气而位列第四^[1],是一种较现实并可以大规模对化石能源替代的可再生清洁能源。生物柴油作为生物质能的一种,具有可生物降解、可再生、安全、清洁等优点。加快生物柴油的发展,缓解能源需求与环

境的压力,是当前亟待解决的重大问题。近些年来,我国对石油的需求逐年增加,来自中国石油集团经济技术研究院编撰的《2013年国内外油气行业发展报告》显示,2013年我国生产原油2.08亿t,与2012年基本持平;进口原油2.82亿t,同比上升4.03%;原油对外依存度达58.1%^[2],创下历史新高。大力发展生物柴油,积极寻找多样化的生物柴油原料是缓解这一状况的有效途径。现阶段欧美发达国家主

收稿日期:2014-02-22

基金项目:“十二五”国家科技支撑项目(2013BAD01B06-2)

第一作者:董树斌,博士研究生,E-mail:dongshubin1@qq.com

通讯作者:张志翔,教授,博士生导师,主要从事植物分类与系统学、能源植物利用等研究,E-mail:zxzhang@bjfu.edu.cn

要以菜籽、大豆等粮食作物为生物柴油原料,然而我国人均耕地面积仅为世界平均水平的1/3,在首先应保障粮食安全的前提下,欧美国家的发展模式不适合我国国情。根据我国制定的《生物质能发展“十二五”规划》发展目标,到2015年,生物燃料乙醇年利用量将达400万t,生物柴油年利用量达100万t^[3],这就需要充分开发利用我国油脂植物资源和山地资源,来提供大量的生物柴油原料。中国木本能源植物种类丰富,大力发展富含油脂的林木作为开发生物柴油的非粮油原料,利用其收获的种子生产生物柴油具有多重优势。香叶树具有果实含油率和产量较高、无结实大小年、对生长环境适应性强、分布范围广等优点,与菜籽、大豆等农作物相比,利用其籽油制备生物柴油具有不与人争地,一次种植多年收获,管理粗放,保持水土,增加经济收入等优点,作为一种开发生物柴油的能源树种具有很大的潜力。笔者结合当前国内外生物柴油原料开发利用的现状,结合香叶树的生物学特性、研究进展,综述了利用其果实油开发生物柴油的前景并提出发展建议。

1 生物柴油原料的研究现状

1.1 国外生物柴油的原料

欧盟是世界上开发和利用生物柴油的主要地区,其主要以菜籽油为原料,除了欧盟,美国 and 阿根廷也是生物柴油的主产国,他们主要以大豆油为原料。另外某些动物脂肪也被用来生产生物柴油,如畜牧业发达的澳大利亚和新西兰利用牛羊肉食品加工中产生的动物脂肪副料进行生物柴油生产,加拿大的 Ocean Nutrition Operation 公司利用海洋鱼类脂肪在自产自用生物柴油^[4],日本和美国利用猪油生产生物柴油等;其他植物油如棕榈油(印度尼西亚和马来西亚)、椰子油(菲律宾)、蓖麻籽油(巴西)、麻疯树籽油(泰国)、棉籽油(印度)、工程微藻(美国)、废食用油(日本)^[5]。总体评价,以当前的技术利用动植物油脂等原料生产生物柴油,其原料成本占总生产成本70%~85%^[6],所以原料成本高是限制生物柴油发展的关键因素,发展生物柴油原料多样化和多渠道供应是必然趋势。世界许多国家依照自己的国情、生物资源,正在探寻和开发多种不同的生物柴油原料,以减少原料成本。如美国的美洲香槐,在每hm²土地上从这种大戟科植物中能得到约1600L(合10桶)燃料油,加利福尼亚生长的黄鼠草,1hm²可提炼1t石油^[7]。此外,还建立了三角叶

杨、桉木、黑槐、桉树等石油植物研究基地^[8]。巴西的一种常绿乔木香胶树,每hm²可年产石油225桶,还有一种油棕榈树,每hm²可年产1万kg生物柴油,还有一种名叫“苦配巴”的乔木,每株成年树每年能产10~15kg生物柴油^[7]。在巴西高原的热带雨林中发现许多这类植物,可从其所产生的乳液中用简单的工艺就能得到高品质的液态燃料。日本发现一种芒属植物“象草”,是一种理想的石油植物,1hm²平均每年可收获12t生物石油,比其他现有的任何能源植物都高产,而且种植成本还不到种植油菜的1/3,可是变成石油所产生的能量却相当于用菜籽油提炼的生物柴油的2倍^[9]。橡胶树汁液是橡胶的主要原料,其种子含有丰富的油脂,印度每年可收获3万t树种子,获得橡胶油约5000t^[10]。挖掘更多油料植物资源,充分利用植物油脂作为生物柴油原料逐渐成为世界各国科学家研究的热点。

1.2 我国制备生物柴油的原料

我国人口多,耕地资源相对短缺,粮食、食用油等进口量逐年增加,据海关统计的数字显示,中国2012年玉米进口增长197%,至520万t,小麦进口增长195%,至369万t,稻米进口增长305%,至234万t,玉米及稻米进口将创纪录,小麦进口则创8年来新高^[11],而大豆进口5838万t,同比增长11.2%^[11]。另外2012年进口食用植物油累计845万t,累计增长28.7%^[11],在国际市场粮油出现供求紧张的情况下,中国粮食安全也将受到严峻考验,所以当前甚至在将来很长时间内,我国不可能像欧美发达国家那样利用大量的耕地来种植油料作物生产生物柴油。早在2006年,国家发改委与财政部就曾联合下发通知,控制粮食乙醇,不打算再发展新的以粮食为原料的燃料乙醇生产。2007年6月召开的国务院常务会议则进一步强调开发利用可再生能源必须“科学规划,因地制宜,合理布局,有序开发,不得占用耕地,不得大量消耗粮食,不得破坏生态环境”^[12]。为了不与人争粮,国家坚决限制以粮食为原料的生物质能源,鼓励非粮方向。

目前我国大部分的生物柴油企业主要以废弃油脂(餐饮废油、地沟油、煎炸食品过程产生的煎炸废油等)为原料,林木油果等原料为辅助,但废弃油脂资源相对有限,且近些年价格一路飙升,比如2006年地沟油的价格是2600元/t^[13],2013年已经是5000~6000元/t^[14],而生物柴油的售价只有6200~6500元/t,由于原料不足和价格过高,生产生物柴油步履维艰,直接导致很多生物柴油企业减

产和停产。另外,近几年来研究比较热的微藻,具有很高的光能生产力,每 hm^2 产油量高于大豆和油菜,但是考虑到养殖微藻需要大面积水域,且当前收获微藻等环节的经济成本太高,利用现有技术从培养微藻到生产燃料仍是赔本的^[15]。虽然目前我国生物柴油原料仍将以废弃油脂为主,但从长远来看,随着国家对能源政策的扶持,能源林建设,生物柴油产业的深入发展,木本生物柴油将在我国未来生物柴油市场占据主导地位,木本生物柴油原料发展潜力巨大。

木本油料植物由于其产油高且不占用耕地,而被广泛关注,已经被一些发展中国家大力开发作为生物柴油的原料来源^[16-19]。我国木本油料植物种类丰富,可用作建立规模化原料基地的乔灌木种近30种^[20],其中分布集中、并能利用荒山和沙地等宜林地进行造林,建立良种供应基地的油料植物有10种左右^[20],其中研究、栽培和开发技术较为成熟的7个树种分别是麻疯树^[21]、黄连木^[22-23]、光皮树^[24]、文冠果^[25]、油桐^[26]、乌桕^[27]和无患子^[28-29],这些树种首先被国家列为能源林基地建设的范畴。虽然这7个能源树种能够提供一定量生物柴油的原料,但是仍然处于开发和利用的初期,所能提供的原料和目前中国生物柴油产能高达200万t/a所需要的原料差距甚远。由于原料短缺,价格又高,目前实际我国生物柴油年产量仅有约88万t,产能利用率不到50%^[30],所以根据能源植物的生物学特征、环境适应性、资源分布等因素,积极开发生物柴油原料多样性,寻找更多新的、优良的能源植物,建立优良能源林是解决生物柴油原料短缺的关键。近几年其他一些较优良的油料植物也陆续进入到研究者的视线,如蓖麻^[31]、亚麻荠^[32]、油棕^[33]、茶籽^[34]、元宝枫^[35]、花椒籽^[36]、石栗^[37]、油瓜^[38]、灯台树^[39]、续随子^[40-41]、橡胶^[42]、棉籽^[43]、白檀^[44]和香叶树^[45-48]等,这些非粮油料植物的陆续开发利用将是我国生物柴油原料发展的极大补充。

2 香叶树的研究进展

2.1 香叶树的形态学特征及生长习性

香叶树(*Lindera communis* hemsl)又名香果,为樟科山胡椒属植物,灌木或乔木,高1~13 m,树皮淡褐色。当年生枝条纤细,平滑,具纵条纹,绿色,干时棕褐色。叶互生,通常披针形、卵形或椭圆形,长4~9 cm,宽1.5~3.0 cm,薄革质至厚革质,羽状脉。花黄色,伞形花序,花期3—4月。果卵形,长

1 cm,宽7~8 mm,有些略小近球形,无毛,成熟时红色,果梗长4~7 mm,被黄褐色微柔毛,果实成熟期为9—10月^[49]。香叶树喜光、喜温暖气候,通常生长在平地、丘陵、坡地、河谷,荒山,在湿润肥沃的酸性土壤上生长较好,香叶树根系发达,耐干旱瘠薄,也常见于干燥砂质土壤,散生或混生于常绿阔叶林中,种子繁殖,幼苗耐荫,在弱光条件下生长良好。在中国东部地区分布于海拔500 m以下,南部分布于海拔300~1 000 m,西部分布于海拔1 000~2 000 m^[50]。

2.2 资源分布

香叶树是亚热带常绿树种,广泛分布于陕西南部、甘肃南部、湖南、湖北、江西、浙江、福建、台湾、广东、广西、云南、贵州和四川等省区,中南半岛也有分布^[49],尤其以我国西南地区比较集中,云南全省分布极为普遍,大部分为野生,广西大部分散生或者混生于丘陵或者山地下的疏林和灌丛中,在次生林中往往形成优势树种,在贵州常成为石灰岩阔叶林的重要建群种。来自从《中国油脂植物》(1987)的资料显示,不同地域的香叶树果实和种子含油率及油脂成分差异较大,所以良种选择应该以优良单株和优良地理种群作为主要的考虑因素,尽管国内已经开始有少量的关于利用香叶树果实油脂生产生物柴油的研究,但目前为止还没有全国性的香叶树优良种质资源调查的研究,考虑到香叶树是雌雄异株植物,要提高能源林单位面积的果实产量,最好通过选择优良的雌雄株育种,且合理搭配雌雄株的比例与空间布局。

2.3 育苗及栽培研究

目前播种育苗是香叶树的主要繁殖方式,为了提高种子的发芽率,播种前需要低温沙藏处理,徐耀庭等^[51]研究发现香叶树种子低温沙藏层积90 d以上,果核胚根露白即可播种,郎思睿等^[52]对香叶树种子休眠及萌发做了相关研究,结果发现香叶树种子的萌发抑制因素主要来源于种皮的内源抑制物,而低温层积处理对香叶树种子较快打破休眠具有重要的生理作用。沈立新^[53]对野生香叶树育苗及栽培做了初步研究,发现香叶树种子冬天播种且播前种子脱脂处理的出苗率显著高于其他情况,达到67%,人工栽培与发展具有较大的发展潜力。然而香叶树作为生物柴油的原料是要大量使用其果实种子,香叶树的无性繁殖可解决育苗用种子和原料用种子的矛盾,利用由李长潇^[54]发明的植物非试管高效快繁技术(TERNPC),对香叶树优良单株的材料(一叶一芽)在特定的技术条件下进行培养,以获得

优质香叶树种苗,无疑可以加快香叶树的能源林产业化进程。

香叶树最常用的造林方式为植苗造林和种子直播造林,每年3月上旬,香叶树芽苗长出床面(子叶留土)。时间适合3月底—4月初,应注意尽量不要损伤根须,带土移栽成活率高,密度一般按行株距2 m开穴,每穴栽苗1株。条件好的地区,香叶树也可以用种子直播,成活率一般在60%以上^[55]。香叶树可在定植成活4~5年后人工剪去主干,促使香叶树幼树从基部萌发几条新枝,形成丛生灌木状,既增加产量又方便采收果实。

2.4 材用、生态功能及药用研究

香叶树木材淡红褐色,结构细致,坚重,耐腐,是农具、家具、车辆和细木工板用的优良木材^[56]。潘标志^[57]对香叶树和杉木人工林生产力进行比较研究,发现香叶树人工林蓄积量明显大于杉木人工林,其林分蓄积量比杉木人工林提高7.09%。刘春华^[58]做了香叶树人工林与天然林群落特征及生长过程比较,结果表明人工林树高速生期比天然林来得早,生长速度也比天然林快,人工林材积速生期和材积生长高峰比天然林来得早,而天然林的数量成熟相对较迟。刘爱琴等^[59]对香叶树和杉木人工林生态功能做了对比试验,发现香叶树具有比杉木林更好的培肥土壤功能和更好的涵养水源功能。谢双喜等^[60]对贵州喀斯特山地灌丛香叶树群落及种群结构做了初步研究,结果表明香叶树种群是该喀斯特森林群落演替的先锋种群,它耐旱耐浅土,抗劣性及无性繁殖更新能力强,生态位宽度宽,能有效地利用环境资源。

香叶树也是一种极具开发潜力的药用植物,香叶树的枝叶或茎皮可入药,民间用于治疗跌打损伤及牛马癣疥^[49]。王发松等^[61]和杨得坡等^[62]分别对

香叶树果实和叶的挥发油成分进行分析并做了抗菌试验,结果发现香叶树挥发油具有明显的抗菌活性。Deng等^[63]从香叶树中分离出一种新的类倍半萜烯,并发现这种烯能显著抑制肺癌细胞H460、卵巢癌细胞ES2和前列腺癌细胞DU145。

2.5 香叶树果实油脂成分及作为生物柴油原料的研究

香叶树的果实富含油脂,根据《中国油脂植物》(1987)的分析资料显示,其果实含油率41%~47%,种子含油率47%~56%,是野生油料植物中含油量相对比较高的一种油脂植物。本实验室对云南保山市的腾冲、龙陵、昌宁和景东4个县的材料做了果实含油率分析,每个县做5个单株的重复,平均含油量在40.8%~49.3%,香叶树果实脂肪酸成分见表1。Wang等^[45]分别测了香叶树果肉和种子中脂肪酸成分含量,结果显示香叶树种子中饱和脂肪酸含量占95.1%(癸酸、月桂酸、肉豆蔻酸和棕榈酸),果肉不饱和脂肪酸含量达73.6%(油酸、亚油酸和棕榈烯酸),利用其果实压榨油生产生物柴油具有巨大潜力。蒋建新等^[46]进行了固定化脂肪酶催化制备香叶树籽生物柴油研究,结果表明脂肪酶催化法可以将香叶树果实原油的甘油三酯完全转变成脂肪酸甲酯。蒋建新等^[47]2009年成功申请“一种以香叶树果为原料制备生物柴油、月桂酸和癸酸及其单甘酯的方法”的专利。颜健等^[48]用两步法从香叶树籽油制备生物柴油研究发现,其生物柴油的一些主要特性与德国生物柴油标准(DIN V51606)相匹配(表2),可以作为潜在的柴油燃料替代产品。通过对香叶树果实生物柴油和我国、德国、美国的生物柴油主要指标比较发现,除了十六烷值偏低外其他都符合3国指标(表2),以上研究充分说明利用香叶树果实提取脂肪酸合成生物柴油是切实可行的。

表1 香叶树果实油脂肪酸的组成及质量分数

Table 1 Fatty acid composition of *L. communis* oil

指标 Index	脂肪酸组成 Fatty acid composition							
	癸酸 (10:0) Capric acid	月桂酸 (12:0) Lauric acid	肉豆蔻酸 (14:0) Myristic acid	棕榈酸 (16:0) Palmitic acid	棕榈油酸 (16:1) Palmitoleic acid	硬脂酸 (18:0) Stearic acid	油酸 (18:1) Oleic acid	亚油酸 (18:2) Linoleic acid
$\omega/\%$	13.75	29.51	0.92	14.67	1.68	0.73	24.84	6.74
Quality fraction								

注:剩余少量其他酸没有列出。

Note: Smaller amounts of the other fatty acid are not shown.

表 2 香叶树生物柴油与德国、美国和中国生物柴油的理化性质的比较^[35,45,48]Table 2 Comparison of physical properties of *L. communis* oil methyl ester with Germany, America and National Standard

理化性质 Physical properties	香叶树生物柴油 Biodiesel from <i>L. communis</i> oil	德国生物柴油标准 (DIN V 51606) German	我国生物柴油标准 (GB/T 20828-2007) China	美国生物柴油标准 (ASTM D6751-02) American
十六烷值 Cetane index	38~48.6	>49	>49	≥47
闪点/℃ Flash point	123	>110	≥130	≥130
密度(15℃)/(g/cm ³) Density	0.875	0.875~0.900	0.820~0.900	—
冷滤点/℃ CFPP	-11	0~10/~20	报告	—
酸值(KOH)/(mg/g) Acid Value	0.034	≤0.5	≤0.8	≤0.8
黏度(40℃)/(m/ms) Viscosity	5.0	3.5~5.0	1.9~6.0	1.9~6.0
硫含量/% Sulfur content	0	≤0.03	≤0.05	≤0.05
水含量/(mg/kg) Water content	0	≤300	≤500	≤500
铜片腐蚀(级) Erode for CU	1	1	1	≤3

注：香叶树油的十六烷值是综合了文献 45 报道的研究结果，因此是个范围值。“—”表示没有做出明确规定。

Note: Cetane index of *L. communis* oil are a range of values from reference 45. “—” indicates no clear stipulations.

3 利用香叶树果实开发生物柴油的优势及前景

香叶树民间的传统利用较早，但只是一些简单的利用，群众用其果实榨油，用作燃料。我国西南华南自然分布着大量优良香叶树，有研究表明云南腾冲地区的香叶树，成株单株果实产量一般为 30~55 kg，一般干果出油率为 48%~51%^[55]。香叶树具有很强的萌蘖能力，主干被砍伐后，可以从树干基部萌蘖新苗，形成灌木林，这样既可以收获木材，也方便人工采收果实。

Klopfenstein 等^[64] 研究对比各种脂肪酸酯用做柴油机燃料的效率，其结果对饱和脂肪酸酯类来说，耗油量随碳链的增长而增加，这是由于在室温条件下，脂肪酸酯的链长与密度之间存在反比关系。油酸甲酯耗油量低，部分原因是由于亚油酸酯的密度随着不饱和程度的增加而增大^[64]。比较燃烧热效率，2 号柴油为 21.17%，而月桂酸甲酯为 24.14%，油酸甲酯为 23.13%，油酸乙酯为 24.18%，其他脂肪酸酯都在 20.13%~23.13%^[55,64]，对比上述研究结果与香叶树果实油的脂肪酸组成，恰好是月桂酸和油酸比例最大，经甲酯化后，其热效率将高于柴油。从生物学特性、自然分布、群众基础、含油量、热效率等各方面分析，利用香叶树果实油开发生物柴油有多方面的优势：

1) 香叶树果实为浆果状核果，果肉和种子都富含油脂，不用剥皮，可直接压榨，利用率高。相比麻疯树、文冠果等果实成熟开裂，种子易掉落损失的油料植物，香叶树果肉和种子成熟不分离，收获率高。

2) 香叶树果实中饱和脂肪酸含量高，利用其籽油生产的生物柴油热效率高，碳排放低环保效益高。

3) 香叶树生长快，3~5 年即可结实，抗逆性强，病虫害少，管理粗放，不与粮食争地，而且是一次栽种，收获多年。适应性强，分布广，对土壤要求不严，耐干旱，条件稍好就可以形成纯林，进而提高单位面积产量。

4) 香叶树的加工副产物较多，可以通过高附加值产品的开发增加利润，降低香叶树油脂生产生物柴油的成本。香叶树果实月桂酸含量占很大比重，是提取月桂酸的良好原料，可以取代大量昂贵的进口椰子油，在生物柴油利润降低的时候可以生产日化产品。另外可以从压榨剩余物提取药用成分。

5) 香叶树有良好的培土和涵养水源的功能，既可以提供生物柴油原料又可以保持水土，绿化荒山，改善生态。

通过调查，香叶树在自然状态下许多地区集中成片，有作为种质资源和良种繁育基地的潜力，同时结合南方退耕还林、荒山造林与生态建设，因地制宜地种植香叶树能源林，既可以利用树体改善生态，又

可以采收种子增加收入,不仅为生产生物质燃料油提供了原料,也保证了生态工程的可持续经营。本实验室正在进行香叶树的野生资源进一步调查、优株选择、脂肪酸合成相关酶基因方面的研究工作,目前已经克隆到2个与香叶树果实脂肪酸合成紧密相关的基因,并做了基因在大肠杆菌异源表达的功能验证,结果将后续另文发表,为香叶树这种新能源植物的进一步开发和利用奠定基础。

4 利用香叶树果实生产生物柴油的发展建议

作为大家比较陌生但具有巨大潜力的生物柴油能源树种,香叶树还没有得到广泛研究和利用,目前国内香叶树大部分资源还处于野生或半野生状态,少数的人工栽培也一般被用来园林街道绿化树种。各地分布的香叶树果实含油量、含油成分依环境条件不同有差异,资源调查、良种选择亟待进行,同时香叶树的基础应用研究及加工利用研究环节也比较欠缺,还处于起步阶段,因此建议:

1)首先需要对香叶树资源进一步的清查与评价研究,建立一套合适的选择指标体系(如资源分布、产量、含油率,推广应用范围等),制订其作为生物柴油原料的中长期发展计划,确定香叶树适宜生长区划和发展栽培区划,建立相应的原料基地,就近原则建立生物柴油企业,从而降低生产成本。

2)香叶树的开发利用还处于初期,人工栽培和良种选育工作较少,很多优良的地理种群还处于野生状态,因此,需要充分利用各种育种手段和生物技术手段对野生资源进行驯化选育。在今后的研究中应综合其生物学和形态学特征,选择结实能力强、含油量高、抗虫抗病的单株,有效保存并合理利用资源,加速香叶树的遗传改良和良种化进程。

3)克隆与油脂生物合成代谢相关的关键酶基因,利用现代生物技术手段通过调控功能基因的表达进行产量、果实油品质的定向改良。

4)香叶树主要分布于我国南方海拔2 000 m以下的地方。最适生长为海拔1 200~1 600 m,为扩大其适宜生长的生境范围,分离克隆香叶树抗冷相关的重要基因,通过分子育种技术进行改良是解决这一问题的有效手段。

5)由于香叶树果实收获需要手工劳力,所以执行“公司+农户”的发展模式、建立产业化香叶树能源林基地,才可望获得价格低廉且丰足、稳定的原料供应,既能增加农户经济收入,又可以为我国生物柴

油产业的发展提供原料保障。

参 考 文 献

- [1] 陈雅琳,高吉喜,李咏红. 中国化石能源以生物质能源替代的潜力及环境效应研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(10): 1425-1431
- [2] 2013年我国石油对外依存度达到58.1%[DB/OL]. (2014-01-21). <http://www.cinic.org.cn/site951/nypd/2014-01-21/716085.shtml>
- [3] 国家能源局关于印发生物质能发展“十二五”规划的通知[DB/OL]. (2013-02-26). http://www.gov.cn/zwqk/2012-12/28/content_2301176.htm
- [4] Biodiesel association of Canada. Economic, financial, social analysis and public policies for biodiesel. [DB/OL]. (2004). <http://www.biodiesel-canada.org/resources/publication-files/20041001-nrcanbiodieselphase1.pdf>
- [5] 丁声俊. 国外生物柴油的发展状况、政策及趋势[J]. 中国油脂, 2010, 35(7): 1-4
- [6] Gerpen J V. Business management for biodiesel producers[R]. NREL Technical Report, NREL/SR-51036342, 2004
- [7] 冯金朝,周宜君,石莎. 国内外能源植物的开发利用[J]. 中央民族大学学报, 2008, 17(3): 26-31
- [8] 万泉. 能源植物的开发和利用[J]. 福建林业科技, 2005, 32(2): 1-5
- [9] 孙红杰,谭燕宏. 能源植物资源的开发利用现状与展望[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7900-7901, 7908
- [10] Ramadhas A S, Jayaraj S, Muraleedharan C. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil[J]. Fuel, 2005, 84: 335-340
- [11] 中国海关: 2012年玉米小麦及稻米进口创纪录高位[DB/OL]. (2013-01-22). <http://www.cngrain.com/Publish/Port/201301/539498.shtml>
- [12] 侯坚,张培栋,张宝茸,等. 中国林业生物质能源资源开发利用现状与发展建议[J]. 可再生能源, 2009, 27(6): 113-117
- [13] 王剑,万杰,李博. 制约地沟油制取生物柴油的因素及对策[C]//魏秀菊. 全国农村清洁能源与低碳技术学术研讨会论文集. 北京:中国工程学会, 2011: 230-234
- [14] 专家称地沟油价格跑赢国内原油[DB/OL]. (2013-03-12). <http://www.chinaoils.cn/article/show.asp?id=1652762>
- [15] Savage N. Next generation biofuels[J]. Nature Outlook, 2011, 474(7352): s2-s5
- [16] 刘轩. 中国木本油料能源树种资源开发潜力与产业发展研究[D]. 北京:北京林业大学, 2011
- [17] Azam M M, Waris A, Nahar N M. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India[J]. Biomass Bioenergy, 2005, 29(4): 293-302
- [18] Kartika A, Yani M, Ariono D, et al. Biodiesel production from jatropha seeds: Solvent extraction and in situ transesterification in a single step[J]. Fuel, 2013, 106: 111-117
- [19] Singh S P, Singh D. Biodiesel production through the use of

- different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2010, 14(1): 200-216
- [20] 王涛. 中国主要生物质燃料油木本能源植物资源概况与展望[J]. *科技导报*(北京), 2005, 23(5): 12-14
- [21] 刘方炎, 李昆, 孙永玉. 中国麻疯树研究进展与开发利用现状[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 178-184
- [22] 刘光斌, 黄长干, 刘苑秋, 等. 黄连木油的提取及其制备生物柴油的研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(7): 83-88
- [23] 段劫, 陈婧, 马履一, 等. 木本油料树种中国黄连木研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 171-177
- [24] 何见, 蒋丽娟, 李昌珠, 等. 绿色能源植物: 光皮树[J]. *西藏农业科技*, 2013, 35(1): 36-40
- [25] 敖妍, 段劫, 于海燕, 等. 文冠果研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 197-203
- [26] 晁月文, 李竞芸, 张广辉. 生物柴油原料树种油桐的研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2009, 37(4): 26-27
- [27] 陈文伟. 乌桕梓油制备升柴油的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2006
- [28] 刘光斌, 赵晓霞, 胡冬南, 等. 无患子油脂的提取、理化性质及其制备生物柴油的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(3): 59-64
- [29] 贾黎明, 孙操稳. 生物柴油树种无患子研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 191-196
- [30] 油料作物可破生物柴油原料瓶颈[DB/OL]. (2013-07-31). <http://www.chinaoils.cn/kjdt/show.asp?id=1751713>
- [31] 王赫麟, 张无敌, 刘士清, 等. 蓖麻油制备生物柴油的研究[J]. *能源工程*, 2007(3): 24-26
- [32] 谢光辉, 秦烁, 薛师, 等. 亚麻荠作为生物柴油原料树种的研究现状与前景分析[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 239-246
- [33] 雷新涛, 曹红星, 冯美利, 等. 热带木本生物质能源树种: 油棕[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 185-190
- [34] 彭忠瑾. 茶叶籽油的提取及制备生物柴油研究[D]. 吉首: 吉首大学, 2012
- [35] 史宣明, 陈燕, 张骊, 等. 从元宝枫油中提取神经酸并制备生物柴油的技术研究[J]. *中国油脂*, 2013, 38(3): 61-65
- [36] 吴占华. 花椒籽油生物柴油制备工艺及排放特性试验研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011
- [37] 梁文汇, 李开祥, 邓力, 等. 广西生物柴油原料树种石栗的综合评价[J]. *广西林业科学*, 2011, 40(4): 333-335
- [38] 孟博, 龙春林, 程治英, 等. 生物柴油原料植物油瓜的开发利用[J]. *北方园艺*, 2007(10): 51-54
- [39] 蒋丽娟, 马倩, 李昌珠. 具开发潜能的生物柴油原料油树种-灯台树[J]. *太阳能*, 2009(9): 13-14, 24
- [40] 龚德勇, 张燕, 王晓敏, 等. 能源油料植物续随子的生物学及开发利用研究[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(8): 39-41
- [41] 危文亮, 金梦阳, 马冲, 等. 续随子脂肪酸组成分析[J]. *中国油脂*, 2007, 32(5): 70-71
- [42] 唐冰. 橡胶籽油的提取与固定化脂肪酶法合成生物柴油的研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2006
- [43] 卡巴罗, 沈本贤, 李泓. 棉籽油制备生物柴油的研究[J]. *当代化工*, 2008, 37(5): 481-483, 546
- [44] 刘光斌, 刘苑秋, 黄长干, 等. 白檀油的理化性质及其制备生物柴油的研究[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(3): 64-67
- [45] Wang W G, Ma L, Jiang J X, et al. Transesterified Chinese Spicehush (*Lindera communis*) seed oil as a biodiesel fuel[J]. *Forestry Studies in China*, 2007, 9(2): 132-136
- [46] 蒋建新, 王卫刚, 吴昱. 固定化脂肪酶催化制备香叶树籽生物柴油研究[J]. *现代化工*, 2009, 29(Z1): 289-292
- [47] 蒋建新, 蒲志鹏, 张志翔, 等. 一种以香叶树果为原料制备生物柴油、月桂酸和癸酸及其单甘酯的方法[P]. 中国CN200810119793.3, 2009-01-28
- [48] 颜健, 邱顿, 陆璐, 等. 高含游离脂肪酸的香果树籽油制备生物柴油的方法[J]. *植物分类与资源学报*, 2013, 35(1): 89-94
- [49] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 408-409
- [50] 代莉. 喀斯特山地适生树种香叶树群落学及苗期水分、光合特性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2005
- [51] 徐耀庭, 邱润生, 魏斌, 等. 香叶树播种育苗技术[J]. *林业科技开发*, 2004, 18(4): 67-68
- [52] 郎思睿, 高逸超, 赵航, 等. 香叶树种子休眠与萌发特性的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2011, 33(6): 124-129
- [53] 沈立新. 野生香叶树育苗及栽培技术研究初报[J]. *经济林研究*, 2001, 19(3): 15-17
- [54] 李长潇. 植物非试管高效快繁技术与农业调整和西部大开发[C]// 周光召. 西部大开发 科教先行与可持续发展: 中国科协 2000 年学术年会文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2000: 1241-1242
- [55] 萧正春, 张卫明, 张广伦, 等. 燃油植物香叶树的开发利用与栽培[J]. *中国野生植物资源*, 2007, 26(6): 9-12
- [56] 蒋宗培. 香叶树人工林生长及生物生产力[J]. *福建林学院学报*, 2005, 25(3): 206-210
- [57] 潘标志. 香叶树和杉木人工林生产力的比较研究[J]. *江西林业科技*, 2005(5): 5-6, 22
- [58] 刘春华. 香叶树人工林与天然林群落特征及生长过程比较[J]. *西南林学院学报*, 2006, 26(1): 10-13
- [59] 刘爱琴, 刘春华. 香叶树和杉木人工林生态功能的比较[J]. *中南林学院学报*, 2005, 25(6): 47-51
- [60] 谢双喜, 彭贵. 贵州喀斯特山地灌丛香叶树群落及种群结构的初步研究[J]. *中南林业调查规划*, 2002, 21(1): 56-57, 62
- [61] 王发松, 杨得坡, 任三香, 等. 香叶树果挥发油的化学成分和抗菌活性研究[J]. *天然产物研究与开发*, 1999, 11(6): 1-5
- [62] 杨得坡, 王发松, 彭劲甫, 等. 香叶树叶精油的 GC-MS 分析与抑菌活性[J]. *中药材*, 1999, 22(3): 128-131
- [63] Deng Z P, Zhong H, Cui S X, et al. Cytotoxic sesquiterpenoids from the fruits of *Lindera communis*[J]. *Fitoterapia*, 2011, 82(7): 1044-1046
- [64] Klopfenstein W E, Walker H S. Efficiencies of various esters of fatty acids as diesel fuels[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1983, 60(8): 1596-1598