广东省生物质能源林发展潜力及前景的探讨*

郭彦青

(广东省林业调查规划院 广州 510520)

摘要 在能源日益紧缺的今天,发展生物质能源林,无疑是开发新型可替代能源的一种有效途径。文章针对广东省自然地理特点,对发展生物质能源林的潜力及前景进行了概述,力求在全省发展林木生物质能源方面探索出一条新思路,为林业的可持续发展提供依据。

关键词 生物质能源林 发展潜力 前景

中图分类号: S727.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-4427(2010)01-0113-07

Discussion on the Develop Potential and Prospects of Biomass Energy Forest in Guangdong Province

Guo Yanqing

(Forestry Inventory and Planning Institute of Guangdong Province, Guangzhou, 510520)

Abstract The biomass energy forest plays an important role on the development of new energy nowadays. It is necessary to develop and improve the energy species in Guangdong province. The paper elaborated the situation of environment and forest resources, analyzed the adaptation of energy species in Guangdong. In additionally, the prospects of biomass energy forest was also discussed.

Key words biomass energy forest, develop potential, prospects

生物质能源林(简称能源林)是以生产生物质能源为主要培育目标的林木,按其属性分为油料能源林和木质能源林。油料能源林是以利用林木所含油脂为主,将其转化为生物柴油或其它化工替代产品的能源林;木质能源林是以利用林木木质为主,将其转化为固体、液体、气体燃料或直接发电的能源林。培育生物质能源林,主要是利用宜林荒山荒地以及不适宜种植粮食作物的边际性土地进行开发建设,不与粮争地、不与人争粮,既可增加能源资源、减缓气候变化,又能加快造林绿化建设、提高森林质量,还可有效增加农民收入、促进新农村建设。

近年来,受石油价格上涨和全球气候变化的影响,可再生能源(水能、生物质能、风能、太阳能、地热能和海洋能等)开发利用日益受到国际社会的重视,技术水平不断提高,产业规模逐渐扩大,成为促进能源多样化和实现可持续发展的重要举措。世界相关组织相继研究制定了《蒙特利尔议定书》、《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等公约、协定,提出了通过财政激励、税收和关税等政策,提高能源利用效率,限制和减少废物及有害气体排放,可再生能源成为世界能源中发展最快的领域。德国、瑞典、丹麦、美国、巴西、芬兰、荷兰、印度等国家多年来一直在生物质能源开发与利用方面进行研究与开发,并取得显著成绩^[1-6]。我国在生物质能源开发利用方面起步较晚,大多数生物质能技术尚处于初期发展阶段,自我持续发展能力欠缺。

我国政府高度重视开发利用可再生能源。在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中明确提

* 基金/项目:广东省生物质能源林发展规划(2009~2020年)。

作者简介:郭彦青(1978-),男,山西省忻州市五寨县人,主要从事林业调查规划设计工作。E-mail:hanbb2008@163.com。

出：“实行优惠的财税、投资政策和强制性市场份额政策，鼓励生产与消费可再生能源，提高在一次能源消费中的比重”。2006年正式实施《可再生能源法》，激励发展生物质能等可再生能源，以保障经济社会发展对能源的需求。为满足国家能源战略发展需求，广东省委、省政府高度重视生物质能源发展，早在2005年通过的《广东省能源发展“十一五”规划》中就明确指出：“要加快可再生能源发展，建立清洁、高效、安全、稳定、多元化的能源安全和供应体系”。实现能源林培育资源产业化需具备几个条件：优越的自然地理条件、丰富的林地资源、优良的能源林树种、巨大的市场需求、良好的产业发展环境和有力的政策支持等。以林业为依托，利用广东优越的自然地理及社会经济条件，大力培育和开发能源林，既是应对广东经济发展中面临的能源和环境问题的一种有益尝试和探索，同时也符合林业生态建设和产业建设的双重任务，对实现林业可持续发展具有十分重要的战略意义。

1 有利条件

1.1 自然地理条件

1.1.1 地质地貌 广东省自然地貌因在历次地壳运动中，受褶皱、断裂和岩浆活动的影响，形成山地较多，岩石性质差别较大，具有山地、丘陵、台地、平原交错，地貌类型复杂多样的特点。

山地主要集中在粤北、粤东和粤西，多呈东北—西南走向，由花岗岩或花岗岩侵入变质岩系构成。北部的南岭是珠江水系与长江水系的分水岭，山脉则多为向南拱出的弧形山脉，其间夹有南雄盆地、英德盆地、韶关盆地和一些南北切向的谷地。全省最高峰石坑崆，地处粤北韶关市，海拔1902 m。这些山地都属于纬向构造体系，是华中地区与华南地区气候的分界线。

丘陵占全省大部分，大都分布在山地周围，或零星散落于沿海平原与台地之上，尤以粤东南丘陵最为广阔。主要分布在粤北的南雄、仁化、连州，粤东的兴宁、梅县、五华、龙川、平远、紫金，粤西的罗定，海拔一般都在250 m以下。

台地分布较广，以雷州半岛—电白—阳江一带和海丰—潮阳一带分布较多。雷州半岛是一个近代熔岩、浅海堆积和侵蚀形成的台地，粤东海丰、陆丰则是大片的花岗岩台地。台地海拔一般不超过80 m，坡度小于10°。这类土地地势开阔平坦，但土壤相对贫瘠。

南部分布有河谷冲积平原和三角洲平原，其中，河谷冲积平原有北江的英德平原，东江的惠阳平原，粤东的榕江平原、练江平原，粤中的潭江平原，粤西的鉴江平原、漠阳江平原和九洲江平原。

1.1.2 气候 全省气候特征可以概括为：热量丰富，夏长冬暖；降雨量充沛，干湿季分明；夏秋多台风，热带气旋频繁。全省平均日照时数为1745.8 h，年平均气温22.3℃。1月平均气温约为16~19℃，7月平均气温约为28~29℃。年太阳总辐射量在4200~5400 MJ/m²之间，年平均降水量在1300~2500 mm之间，全省平均为1777 mm。全省地跨热带、亚热带，气候带从南向北划分为热带季风气候带、南亚热带季风气候带和中亚热带季风气候带。

各地由于纬度、距海远近和地形的不同，气候仍有一定差异。年均气温从北向南逐步升高，从粤北平均气温19℃升至西南雷州半岛23℃。降水季节分配极不均匀，雨季、旱季分明，4~9月降水量占全年的70%~85%。历年风力6级大风区的北界在信宜—云浮—清远—佛冈—河源—丰顺—一线以南。洪涝和干旱灾害经常发生，台风的影响也较为频繁，平均每年有3.5个台风登陆，占全国台风登陆数的37%。春季的低温阴雨、秋季的寒露风和秋末至春初的寒潮和霜冻，也是广东多发的灾害性天气。

1.1.3 土壤 地带性土壤主要有砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤等。其中，赤红壤是南亚热带地区地带性土壤类型，适合发展热带、亚热带果树和其他经济林、农作物和一些珍贵用材林树种。砖红壤是热带地区地带性土壤，适宜种植热带作物和果树。红壤是中亚热带地区的地带性土类，分布在广东省北部山区，适合发展杉木和马尾松用材林、经济林和多种珍贵阔叶树种用材林。黄壤主要分布于北部山区高海拔地区，以自然形成的低矮灌木林和草甸为主。

非地带性土壤类型有紫色土、石灰土、粗骨土、石质土、火山灰土、潮土、滨海盐土、滨海沙土、酸性硫酸盐土和水稻土等。全省土壤大致可以分为6个区^[7]（表1）。

表1 广东省土壤地理分区

序号	分区	面积(万 hm ²)	百分比(%)
I	粤北山地丘陵红壤、黄壤水稻土区	371.26	20.8
II	粤东山丘盆地赤红壤、黄壤、水稻土区	468.59	26.3
III	粤东滨海丘陵台地赤红壤、滨海沙土、水稻土区	205.29	11.5
IV	珠江三角洲及其临近地区平原低丘水稻土、堆叠土、赤红壤区	223.57	12.5
V	粤西北山地丘陵,赤红壤、黄壤、水稻土,以林为主,林、农并重地区	382.27	21.4
VI	粤西台地平原,砖红壤、赤土田,以农为主,农、热带作物、果并重地区	131.66	7.4

1.2 林地资源条件

据统计,2008年全省林业用地面积1 085.75万 hm²,包括:有林地面积919.30万 hm²(乔木林面积884.39万 hm²,竹林面积33.55万 hm²,红树林面积1.36万 hm²),灌木林地面积68.56万 hm²(其中国家特别规定灌木林地面积47.34万 hm²),疏林地面积9.41万 hm²,未成林地面积37.45万 hm²,无林地面积50.49万 hm²,苗圃地0.34万 hm²,辅助林地0.21万 hm²。

在林地面积中,现有疏林地、宜林荒山荒地、宜林沙荒、采伐迹地、火烧迹地、暂难利用地及其它无立木林地共59.9万 hm²,占林业用地的5.5%;灌木林地68.56万 hm²,占6.3%。部分有林地只要进行科学造林或补植,加强经营管理,可成为生产力较高的能源林林地。预计全省林地可利用的空间为75~120万 hm²。

据历次全省森林资源连续清查和二类调查资料统计,全省林地平均单位面积蓄积量较低,用材林仅有29.2 m³/hm²,与南方十省现有的平均水平(43.26 m³/hm²)仍有较大差距。搞好低产林改造和实行集约经营,可大幅度提高林地单位蓄积量。

1.2.1 油料能源林发展潜力 发展油料能源林主要以新建基地为主,主要利用其果实进行提炼油脂。据初步测算(表2),现有林地资源发展潜力约40万 hm²,在政策予以扶持和引导下,可将1/10的三类林和四类林地进行改造,还可增加约40万 hm²的林地,这样发展油料能源林的林地面积可达80万 hm²。

表2 广东省油料能源林林地资源发展潜力测算表

序号	地类	面积(万 hm ²)	比例(%)	可利用林地(万 hm ²)
1	疏林地	9.40	50	4.70
2	宜林荒山、荒沙及暂难利用地	19.92	60	11.95
3	采伐迹地	9.98	30	2.99
4	火烧迹地	1.05	10	0.11
5	其它无立木林地	19.55	50	9.78
6	灌木林地(除国家特别规定灌木林地)	22.21	60	12.73
7	三类林	291.91	10	29.20
8	四类林	104.16	10	10.40
9	合计			81.86

1.2.2 木质能源林发展潜力 木质能源林主要来源于现有薪炭林、已建能源林基地和各种抚育剩余物(部分用材林、薪炭林、中幼龄林抚育间伐、灌木林平茬复壮和林业生产三剩物)。全省木质能源林现有约50万 hm²,在政策予以扶持和引导下,通过林种调整,对部分低效用材林改造而成的能源林仍有30万 hm²左右的发展空间(表3)。全省各种林业生产剩余物是木质能源林的重要来源之一,经测算,各种抚育剩余物可利用资源量约为857万 t(表4),折合489万 t标准煤。

充分利用丰富的薪炭林及各种剩余物,启动废弃物综合利用热电联产、林木生物质火电开发、林业废弃物固体燃料加工、木质纤维素转化酒精开发等综合项目,尽可能地降低对煤炭、石油等化石能源的依赖。

表3 广东省木质能源林地资源发展潜力测算表

序号	地类	面积(万 hm ²)	比例(%)	可利用林地(万 hm ²)
1	疏林地	9.40	20	1.88
2	宜林荒山、荒沙及暂难利用地	19.92	20	3.98
3	采伐迹地	9.98	10	1.00
4	火烧迹地	1.05	10	0.11
5	其他无立木林地	19.55	20	3.91
6	灌木林地(除国家特别规定灌木林地)	22.21	10	2.22
7	用材林(低效林改造)	627.70	5	31.39
8	薪炭林	6.67	100	6.67
	合计			51.16

表4 广东省木质能源林(基地除外)资源量测算表

林型	资源类型	蓄积/面积 (亿 m ³ /万 hm ²)	总生物量 (亿 m ³)	可获得生物量 (亿 t/a)	备注 (利用方式)
森林	过熟林	0.23/33.2	0.18~0.20	0.0180~0.0200	采伐剩余物和死木清理
	成熟林	0.60/100.3	0.44~0.50	0.0400~0.0500	采伐剩余物和死木清理
	近成熟林	0.86/157.2	1.10~1.18	0.0300~0.0350	抚育修枝
	中龄林	1.35/282.3	1.13~1.20	0.0280~0.0300	抚育间伐
	幼龄林	0.56/234.3	0.42~0.46	0.0056~0.0060	抚育
	合计	3.60/807.3	3.27~3.54	0.1216~0.1410	用材、防护、特有和能源林
各种林地	经济林	72.7	0.15~0.18	0.0025~0.0030	修剪
	竹林	33.7	0.07~0.09	0.0070~0.0090	剩余物
	四旁、散生、疏林	19.1	0.42~0.48	0.0420~0.0480	抚育修枝等
	合计	125.5	0.64~0.75	0.0515~0.0600	
灌木林	灌木林	69.2	0.04~0.05	0.0100~0.0130	隔年平茬
其它	林下灌丛	75.7	0.22~0.28	0.0110~0.0140	
	苗圃苗木	0.3	0.04~0.05	0.0270~0.0330	截干
	城市绿化、绿篱	8.8	0.15~0.20	0.0075~0.0100	抚育修剪
	合计	84.8	0.41~0.53	0.0455~0.0570	
总计		3.79/1086.8	4.36~4.87	0.2286~0.2710	0.085725 亿 t(可作为能源利用)

注:依据最新森林资源与生态状况监测报告,结合广东实际,参照中国森林资源类型以及生物量测算表^[8-9]。

2 树种适宜性分析

早在上个世纪80年代,世界各国已经开始了能源树种的选择、富油树种的引种栽培和遗传改良等工作与研究,筛选出一批适合本国种植的能源树种和相应的经营种植模式。我国生物质能源油料植物种类丰富,现已查明的油料植物(种子植物)为151科697属1554种^[10],其中种子含油量在40%以上的植物有154个种。目前国内已有学者对开发木本油料植物作为生物柴油原料进行相关的研究。2007年罗艳、刘梅^[11]针对开发木本油料植物作为生物柴油原料进行相关研究,共筛选出53种木本油料植物,其种子油可作为发展生物柴油最适合的原料,其中适合广东省发展的油料树种约有33种。结合树种特性及广东实际,通过适宜性分析,笔者选出最适合广东发展的油料树种为小桐子(*Jatropha curcas*)、油桐(*Vernicia montana*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)、光皮树(*Cornus wilsoniana*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)和油茶(*Camellia oleifera*)。其中小桐子、光皮树和黄连木作为生产生物柴油重点发展树种。乌桕和油桐是人们比较熟悉的油料植物,产油率较高,其油脂主要用于油漆、油墨、肥皂等工业原料,也被认为是具有潜力开发为生物柴油的原料。但根据实验表明^[11],油桐具有过高的碘值(164.7)和过低的十六烷值(37.0),而乌桕的十六烷值也较低(<51),还含有较多的亚麻酸(19.9%),目前用它们作为生产生物柴油的原料还不能获得高质量的生物柴油,其转化技

术还需要进一步研究。在木质能源林方面选取桉树(*Eucalyptus*)、黎蒴(*Castanopsis fissa*)、速生相思(含马占相思 *Acacia mangium*、大叶相思 *Acacia auriculaeformis*)等速生树种作为重点发展的主要树种,为固体成型燃料、液态燃料和气态燃料提供后备资源。

表5 广东省生物质能源林种植基地建设范围

序号	市	县(市、区)
1	汕头市	南澳县
2	韶关市	乐昌市、仁化县、南雄市、始兴县、翁源县、新丰县、曲江县、乳源瑶族自治县
3	河源市	东源县、和平县、龙川县、紫金县、连平县
4	梅州市	梅江区、兴宁市、梅县、蕉岭县、大埔县、丰顺县、五华县、平远县
5	惠州市	惠东县、龙门县
6	汕尾市	海丰县、陆河县
7	阳江市	阳春市
8	茂名市	高州市、信宜市
9	肇庆市	高要市、广宁县、德庆县、封开县、怀集县
10	清远市	英德市、连州市、佛冈县、清新县、连山壮族瑶族自治县、连南瑶族自治县、阳山县
11	潮州市	饶平县、潮安县
12	揭阳市	普宁县、揭西县
13	云浮市	罗定市、新兴县、云城区、郁南县、云安县

发展生物质能源林应根据所选树种的生物学特性、经济价值并结合广东省的气候、土壤条件进行布局,共涉及全省13个地级市的50个山区县(表5)。油料能源树种中的乌桕和黄连木属喜光且不耐严寒的阳性树种,对土壤条件要求不严,适应性较强,种植范围应以北回归线附近及以南地区为主,建议以揭西、揭东、惠东、博罗、高要、德庆、云安、郁南、罗定、新兴、信宜、高州、阳春、开平等地为重点发展区。油桐是我国重要的木本油料树种,适应性强,桐油又是优质环保型新材料和新能源材料,上个世纪80年代,在粤北、粤东北等地有广泛种植,根据其特性及种植经验,建议在粤北、粤东北及粤西部分地区大力培育种植。小桐子又名麻疯树,适应性较强,但不耐寒,种子含油量很高,具有较高的经济价值,是世界上公认的生物能源树,也是最有潜力的油料作物品种,建议在南澳、汕头、惠州、广州、肇庆、罗定以南及沿海地区大力发展。光皮树喜光,耐寒,喜深厚、肥沃且湿润的土壤,在石灰岩土壤环境下生长良好。以光皮树油为原料生产的生物柴油与0#石化柴油燃烧性能相似,是一种安全、洁净的燃料油。建议在连山、阳山、英德、连南、乳源、仁化、南雄等地适度发展,既能缓解化石能源利用的压力,又能提高当地林地的利用率和生态环境的质量。木质能源林方面,桉树、速生相思和黎蒴的生长速度较快,且在广东省的种植技术比较成熟,各地可以根据实际情况适度发展,在充分利用林地资源的基础上,为生物质能源的发展提供储备资源。

3 存在的问题

过去,广东省关于能源林(薪炭林)的建设和利用主要是以解决农村能源短缺、农民生活和脱贫致富为主要目标。而当前能源林的培育、发展目标和方式已发生转变,实现从农村能源向国家能源的战略转变,以林业生物质能源对油、汽、电进行替代或部分替代,使广东省林业全面介入能源领域。因此,传统的能源林培育状况已经与新时期国家能源发展战略对林业生物质能的需求不相适应。

3.1 认识上不到位

对能源林的理解仅停留在对薪炭林的认识上。由于对林木生物质能在国家能源发展战略中的地位认识不足,目前我国的树种分类中,尚没有真正用于工业化利用生物能源的专用能源林,虽然同为满足国民经济发展对各类林产品的需求,但能源林培育的各个环节,如能源树种的选择、良种育苗、丰产栽培技术、收获利用等,都远远落后于经济林、速生丰产林的培育,从而使能源林培育相对滞后,直接导致有关部门在实施农林生物质能源建设工程中出现了重农业秸秆的开发、轻林木生物质利用的倾向,严重影响了林木生物质能源的开发进程。

3.2 规模小而分散

现有的可为林业生物质能源提供原料的森林资源较为分散,大多数是天然次生残林和过量樵采的人工残林,不仅不成规模,而且经营管理技术不规范,发展速度缓慢,具有局部性、自发性和低产性的特点。因此,这种小规模、分散的薪炭林无法满足工业化利用对规模化、基地化等方面的要求。

3.3 产品结构单一,生产技术落后,产业化程度低

在木质能源林方面,传统的能源林利用多为提供薪材并被直接燃烧,利用率低,易造成环境污染。油料能源林方面,如乌桕等木本油料树种加工仍处于原始状态,产品附加值低。同时,无论是木质能源林还是油料能源林,都受规模小、分布零散等因素的制约,产业化程度非常低。

3.4 技术与推广应用相对滞后

科技进步和林业自主创新是能源林培育利用快速壮大和持续发展的根本保证。目前,对能源林的培育利用,尽管在科学研究方面已取得不少成果,但在树种选择、良种选育、规模化栽培、系列加工及深加工技术和设备开发等方面还相对滞后。

3.5 政策及激励措施力度不够

在现有技术水平和政策环境下,除了水电和太阳能有能力参与市场竞争外,大多数可再生能源开发利用成本高,再加上资源分散、规模小、生产不连续等特点,在现行市场规则下缺乏竞争力,需要政策扶持和激励。目前,在支持风电、生物质能、太阳能等可再生能源发展的政策体系尚未完全配套,经济激励力度弱,相关政策之间缺乏协调,政策的稳定性差,没有形成支持可再生能源可持续发展的长效机制。

3.6 市场还不够完善

长期以来,我国可再生能源发展缺乏明确的发展目标,没有形成连续稳定的市场需求。虽然国家逐步加大了对可再生能源发展的支持力度,但由于没有建立起强制性的市场保障政策,无法形成稳定的市场需求,可再生能源发展缺少持续的市场拉动,致使我国可再生能源新技术发展缓慢。

因此,为了满足国家能源发展战略对林业生物质能的需求,需要通过现有林改造和新造林相结合的方式,对能源林的培育、经营、收获及产品的加工利用进行升级,形成林业生物质能源产业链。

4 发展前景

随着经济的发展和社会的进步,世界各国将会更加重视环境保护和全球气候变化问题,通过制定新的能源发展战略、法规和政策,进一步加快可再生能源的发展,能源林建设将面临较好的发展前景。

4.1 薪材和木炭消费量仍将呈增长趋势,能源林将对经济社会发挥越来越重要作用

据世界粮农组织(FAO)预测,到2025和2050年世界薪材和木炭消费量分别将增长到31.3亿 m^3 和39.3亿 m^3 ,其中热带地区增长得最多,其次是温带地区,而北方地区保持不变。巴西专家Moreira JR认为,由于生物能源对社会和环境无不良影响, CO_2 排放量少,对将来大量使用生物能源的可能性应持乐观的态度。并倡导发展中国家应当很好地利用这个机遇来提升自己市场的份额,以改善人民的生活水平。

4.2 随着科学技术不断进步和社会可持续发展的需求,能源林必然向集约经营和短轮伐期方向发展

能源林建设必须走可持续发展的道路,向集约经营和短轮伐期培育技术方向发展,培育多用途能源林。以基地的形式、集约经营的模式选育速生、高热能的新品种,营造速生能源林是今后发展的必然趋势。

4.3 强调节约利用,各种木材剩余物的综合利用水平将不断提高

许多发展中国家都在不同程度上进行改革炉灶,提高了热能利用率。例如,中国、印度等国在改灶方面取得了很大的进展,热能利用率有较大的提高,已由原来的8%提高到25%,代表着农村节能的发展方向。而发达国家正在积极开发利用木材加工剩余物的能源。如美国、加拿大、瑞典、芬兰等国均已建立了完整的木材剩余物收集加工系统,使木材加工剩余物得到了利用。而木质能源将继续向成型燃料方向发展,发展燃木锅炉集中供电。

4.4 随着木质能源转换技术的不断成熟,能源林应用将会更加广泛

木质能源从传统利用方式向现代化利用方式转变已是必然的发展趋势。近年来,许多发达国家木质能源转换新技术已成熟,如热解碳化技术。美国研制出一种新技术,可提高碳化率2倍,既提高了总能利用率,又解决了木炭生产过程对环境的污染。木材剩余物的气化技术有了长足的发展,气化效率一般达到了60%~80%,可燃气体不含硫,可用做燃料和发电,并可再经液化制取甲醇。目前,研究低能耗的木质纤维酶法水解技术,先使其变成单糖类化合物,再转换成乙醇,前景广阔。在用木质燃料经生物化学处理制取甲烷方

面,美国等一些国家采用加热法预处理原料和改进发酵微生物等技术已取得了可喜的成果。

总体来看,最近20多年来,大多数可再生能源技术快速发展,产业规模、经济性和市场化程度逐年提高,预计在2010~2020年,大多数可再生能源技术将会有更快的发展,并逐步成为主导能源。

参考文献

- [1] 潘晓芬,崔会平. 我国林木生物质能源的资源及培育问题[J]. 华南农业大学学报,2007,28(增刊1):1-3.
- [2] 刘继芬. 德国生物质能源开发利用的经验和启示[J]. 可再生能源,2005(122):77-78.
- [3] 蓝增寿,张彩虹,张大红,等. 瑞典、丹麦林木生物质能源开发昂首前行[J]. 北京林业大学学报:自然科学版,2004,3(2):50-54.
- [4] Randerson P F,董宏林,Slater F M. 世界若干国家生物质能源利用及有关问题研究[J]. 宁夏农林科技,1999(5):5-8.
- [5] Ma F, Hanna M A. Biodiesel production: a review[J]. Bioresour Technol,1999,70:1-15.
- [6] Azam M M, Waris A, Nahar N M. Prospects and potential of acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India[J]. Biomass Bioenerg,2005,29:293-302.
- [7] 曾昭璇. 广东自然地理[M]. 广州:广东人民出版社,2001.
- [8] 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究(1)[J]. 中国能源,2005,27(11):21-26.
- [9] 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究(2)[J]. 中国能源,2005,27(12):29-33.
- [10] 王涛. 生态能源林(未来生物质原料油原料基地)[J]. 绿色中国:综合版,2007(3):30-33.
- [11] 罗艳,刘梅. 开发木本油料植物作为生物柴油原料的研究[J]. 中国生物工程杂志,2007,27(7):68-74.