

我国西南地区

吴伟光 黄季焜◎著

生物柴油原料麻疯树发展潜力研究

WOGUO XINAN DIQU SHENGWU CHAIYOU YUANLIAO
MAFENGSHU FAZHAN QIANLI YANJIU

浙江省哲学社会科学规划课题
教育部人文社会科学规划课题

成果



 中国农业出版社

浙江省哲学社会科学规划课题
教育部人文社会科学规划课题 成果

我国西南地区生物柴油原料 麻疯树发展潜力研究

吴伟光 黄季焜 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

我国西南地区生物柴油原料麻疯树发展潜力研究/
吴伟光, 黄季焜著. —北京: 中国农业出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-109-15200-7

I. ①我… II. ①吴…②黄… III. ①大戟科—油脂
植物—研究 IV. ①S794.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 228503 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张 欣

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 5.375

字数: 130 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 20.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

近年来，出于对能源安全与环境污染的担心，生物液体燃料发展受到了世界各国的普遍关注与重视。美国、欧盟、巴西、印度等国家和地区纷纷制定了中长期生物液体燃料发展战略。当前，生物液体燃料生产主要以玉米、甘蔗、大豆、油菜等传统农作物为原料，生物液体燃料产业的迅速崛起对全球粮食安全构成了一定的威胁，引起了世界范围的广泛争议。为此，许多国家开始冷静思考生物液体燃料未来的发展战略和政策问题，并积极推进非粮原料生物液体燃料的发展。

中国既是能源消耗大国，也是粮食消费大国，选择适合国情的生物液体燃料产业发展战略与政策显得尤为重要。中国自 20 世纪 90 年代开始从事生物液体燃料研究与利用，21 世纪初开始较大规模的商品化生产，是目前世界第三大玉米燃料乙醇生产国。因 2006—2008 年粮食价格大幅上涨，中央政府紧急出台政策，限制粮食在生物液体燃料生产中的使用，促使生物液体燃料产业发展重点转向非粮原料领域。

以麻疯树为代表的林业生物柴油因具有“不与人争粮、不与粮争地”的优点，开始受到包括中国在内的许多发展中国家的重视。自 2006 年，我国开始在西南地区大规模种植生物柴油原料（麻疯树）基地，麻疯树生物柴油加工企业也在筹建之中，麻疯树生物柴油产业在我国呈现出了迅速崛起的态势。但是，作为一个新兴的产业，与该产业发展相关的许多重要问题均尚不明确，比如适宜于麻疯树种植的土地潜力有多大？在人工种植条件下，单位面积麻疯树的产量水平如何？大规模种植，是否会带来生物

多样性减少等生态环境问题?

本书以我国目前最主要、最具代表性的生物柴油原料——麻疯树为对象,围绕适宜种植的土地潜力、种植的经济可行性、未来发展潜力等重要问题展开了探索性研究,以期在学术研究的基础上同时能为政府制定产业政策和企业投资决策提供参考依据。首先,基于GIS等多源数据,采用农业生态区划方法(AEZ),对我国麻疯树集中分布区域(西南地区)适宜种植的土地潜力进行了定量评估。其次,基于实地调查数据,在建立麻疯树投入产出生产函数的基础上,构建了麻疯树种植者生产决策优化模型。最后,利用生产决策优化模型,对不同情景下麻疯树发展潜力进行了模拟分析。

研究结果表明:①从土地潜力来看,我国西南地区适宜麻疯树种植的土地潜力有限,且省际间分布很不均衡,难以达到预期发展目标;②目前,因作为生物柴油原料的麻疯树种子市场尚未真正形成,且生产中缺乏良种与丰产栽培技术,农户种植积极性不高,投入产出水平与经济效益低下;③模拟结果表明,在最优化投入产出条件下,麻疯树种植投入产出水平与经济效益均有大幅度提高,但受适宜土地制约,发展潜力仍然有限;④产出品(麻疯树种籽)与主要投入品(劳动与肥料等)价格、技术进步等是影响未来麻疯树发展潜力最主要的因素。

基于上述研究结果,本研究认为:①虽然中国发展以麻疯树为原料的生物柴油的方向是正确的,但考虑到适宜土地规模有限且分布不均衡,林业生物柴油发展目标应适度,区域布局应有所侧重;②目前,生物柴油原料麻疯树种籽市场需求尚未真正形成,也缺乏可供大规模商业化生产的良种与丰产技术,农户种植麻疯树经济效益低下,积极性不高,故林业生物柴油产业推进速度不宜过快,否则将会对种植者利益以及产业自身发展造成损害;③当前,应重点加强良种培育与丰产栽培技术的研究与示范,开展林业生物柴油产业对经济社会与环境影响等相关研究,

前 言

为产业健康持续发展提供必要的技术支撑。

作为一部研究生物柴油原料发展潜力和经济影响的专著，我们希望该书不但能够为读者提供更好了解以麻疯树为原料的生物柴油发展的经济问题，而且也能为未来从事相关研究的学者在分析同类问题时在研究方法与思路上有一定的借鉴。

作者

2010年12月

目 录

前言

第一章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 问题的提出	6
1.3 研究目标与研究内容	7
1.4 本书结构	9
第二章 文献回顾	11
2.1 生物液体燃料及其迅速崛起的缘由	11
2.1.1 几个相关概念	11
2.1.2 生物液体燃料产业迅速崛起的缘由	12
2.2 生物液体燃料特别是林业生物柴油发展相关研究综述	14
2.2.1 生物液体燃料发展的可能影响及其争论	14
2.2.2 林业生物柴油发展相关研究现状	18
2.3 已有研究存在的不足	27
第三章 研究框架、研究方法与数据来源	29
3.1 研究框架	29
3.2 研究方法	30
3.2.1 土地适宜性评价方法：农业生态区法	31
3.2.2 麻疯树投入产出生产函数及其参数估计	33

3.2.3 麻疯树种植者生产决策模型与模拟方案	39
3.3 数据来源及其说明	43
3.3.1 土地适宜性评价数据集	43
3.3.2 麻疯树种植地块投入产出数据	44
第四章 国内外林业生物柴油发展现状及相关政策	49
4.1 全球生物液体燃料发展的总体态势	50
4.2 世界主要国家生物柴油发展目标	52
4.3 世界主要国家林业生物柴油发展现状及相关政策	53
4.3.1 中国林业生物柴油发展现状及相关政策	54
4.3.2 印度林业生物柴油发展现状及相关政策	57
4.3.3 东南亚国家林业生物柴油发展现状及相关政策	59
4.3.4 非洲国家林业生物柴油发展现状及相关政策	62
4.3.5 南美国家林业生物柴油发展现状及相关政策	63
4.4 本章小结	64
第五章 我国西南地区适宜麻疯树种植的土地潜力分析	65
5.1 我国西南地区发展麻疯树的潜在优势	65
5.2 土地适宜性评价的方法与数据处理	67
5.2.1 麻疯树土地适宜性评价的总体框架	67
5.2.2 麻疯树对自然环境条件要求与标准	67
5.2.3 相关数据的处理	70
5.3 麻疯树土地适宜性评价结果	72
5.3.1 麻疯树土地适宜性单因子评价结果	72
5.3.2 麻疯树土地适宜性多因素综合评价结果	74
5.3.3 对自然条件适宜性和经济社会限制因素的综合 评价结果	75
5.4 主要结论与相关讨论	77
本章附录: 土壤适宜性评价方法与步骤	79
第六章 我国西南地区麻疯树种植成本收益初步分析	83
6.1 麻疯树种植主体与种植时间分布	83

6.2	麻疯树种植地块特征	85
6.3	麻疯树种植管理技术采用情况	87
6.4	麻疯树造林成本结构分析	89
6.5	麻疯树种植的成本收益初步分析	92
6.6	麻疯树种植者的种植意愿	95
6.7	本章小结	97
第七章 麻疯树投入产出函数估计与生产决策模型构建		99
7.1	麻疯树投入产出生产函数的设定与参数估计	99
7.1.1	麻疯树投入产出生产函数的设定	99
7.1.2	麻疯树种植地块已投产样本数据描述	100
7.1.3	麻疯树投入产出生产函数参数估计与校正	102
7.2	麻疯树种植者生产决策模型的建立	106
7.2.1	生产决策模型的目标函数	106
7.2.2	生产决策模型的生产约束条件与决策变量	107
第八章 我国西南地区麻疯树发展潜力模拟分析		110
8.1	情景模拟方案与相关参数的设定	110
8.1.1	情景模拟方案的设定	110
8.1.2	相关参数的设定	111
8.2	基准方案下麻疯树发展潜力分析	112
8.2.1	单位面积最优投入与产出水平	112
8.2.2	不同发展方案下麻疯树发展的总体潜力	113
8.3	产出品价格变化对麻疯树发展的影响分析	114
8.3.1	产出价格对单位面积最优投入产出水平的影响	115
8.3.2	不同产出价格水平下麻疯树发展潜力	116
8.4	投入品价格变化对麻疯树发展的影响分析	119
8.4.1	用工工资对单位面积投入产出水平的影响	119
8.4.2	不同用工工资水平下麻疯树发展潜力	120
8.5	技术进步对麻疯树发展的影响分析	123

8.5.1 技术进步对单位面积投入产出水平的影响	124
8.5.2 不同技术进步水平下麻疯树发展潜力	125
8.6 贴现率水平对麻疯树发展的影响分析	127
8.7 用工与肥料产出弹性的敏感性分析	128
8.8 本章小结	129
第九章 主要结论与政策含义	131
9.1 主要结论与政策含义	131
9.1.1 主要结论	131
9.1.2 政策含义	133
9.2 本研究的创新点与不足	135
9.2.1 本研究的创新之处	135
9.2.2 研究不足与展望	137
参考文献	140
附录	152
致谢	159

第一章 引言

1.1 研究背景

面对国家能源安全和气候变化双重压力，生物液体燃料（生物燃料乙醇和生物柴油）作为一种可再生的新型能源，其重要性日益凸显，受到了各国政府和企业界的广泛重视（黄季焜等，2008）。保障国家能源安全、减少温室气体排放以及促进农业发展，是推动生物液体燃料产业迅速发展的三大主要动因（Rajagopal et al., 2007）。目前，欧美等发达国家以及巴西、印度、印度尼西亚和中国等发展中国家已相继制定了生物液体燃料中长期发展规划，并开始大规模发展。据统计，2008 年全球生物燃料乙醇与生物柴油产量，分别达到 67 000 百万升和 12 000 百万升（REN21, 2008; Earth Policy Institute, 2008）。其中，美国和巴西是全球生物燃料乙醇最主要生产国，两国合计占全球总产量的 90%，主要生产原料分别为玉米和甘蔗；欧盟则是最主要的生物柴油生产地区，约占全球生物柴油总产量的 2/3，主要原料为油菜籽。

以传统农作物为主要原料的第一代生物液体燃料产业的迅速崛起，在世界范围内引起了广泛的争议，许多国家开始冷静思考生物液体燃料未来的发展战略和政策问题。2006—2008 年上半年，国际粮食价格出现持续性大幅度上涨，对全球粮食安全（特别是贫困缺粮国家）构成了严重威胁，引发了一系列社会问题。研究表明，生物液体燃料产业的急速扩张是导致全球粮食价格持续大幅上涨的主要原因之一（FAPRI, 2007; Yang et al.,

2008)。与此同时, 尽管减少温室气体排放是各国发展生物液体燃料的主要动因之一, 但是已有研究对于生物液体燃料发展真正能否实现减少温室气体排放, 目前还存在很大的争议 (Pimentel et al., 2005; Farrell et al., 2006; Searchinger et al., 2008)。有鉴于此, 世界上许多国家开始重新审视或调整生物液体燃料未来发展战略与政策。欧美等发达国家, 在加紧研发第二代纤维素燃料乙醇和“工程海藻”生物柴油技术的同时, 也对近期生物液体燃料发展战略作出了相应的调整 (Hecht, 2008)。例如, 欧盟决定推迟实施“到 2020 年生物液体燃料替代 10% 交通能源的发展目标”; 美国政府则要求对生物液体燃料发展实施可持续性评估与监测; 在东南亚地区, 中国、印度、马来西亚等国家则开始重点发展林业生物柴油。

中国是世界生物液体燃料主要生产国之一, 出于粮食安全考虑, 自 2007 年开始将发展重点转向“非粮”原料领域。中国政府自 20 世纪 90 年代开始, 通过科研项目 (如“863 计划”) 资助的方式鼓励生物液体燃料技术开发。21 世纪初, 中央政府投资 50 亿元, 建立了 4 家以陈化玉米和小麦为原料的燃料乙醇加工厂企业, 生物液体燃料产业在中国开始步入商业化发展时期; 与此同时, 数家以餐饮废油为主要原料的生物柴油加工企业也相继建成并投产。随后, 中国政府又相继颁布了《可再生能源法》(2005 年颁布, 2009 年修订) 和《可再生能源中长期发展规划》(2007 年), 进一步明确了生物液体燃料发展的目标与方向, 并加强了生物质能源领域的相关研发投入与政策支持。据统计, 2007 年中国燃料乙醇和生物柴油产量分别达到 133 万吨和 10 万吨, 其中燃料乙醇产量仅次于美国与巴西位居世界第三 (黄季焜等, 2008)。但是, 自 2006 年下半年全球粮食价格持续大幅上涨后, 出于粮食安全考虑, 2007 年中央政府紧急出台政策, 限制以粮食为原料燃料乙醇的扩展, 将发展重点转向包括林业生物柴油在内的“非粮”原料领域。

林业生物柴油^①，因具有“不与粮争地、不与人争粮”的优点，开始受到包括中国在内的许多发展中国家的重视，并制定了相应的发展规划。在众多林业生物柴油原料树种中麻疯树 (*Jatropha Curcas* L.，又名膏桐、小桐子等)是目前研究最多，被认为最具发展潜力的原料树种(钱能志，2007)。在中国，林业部门已明确提出要从国家能源安全与应对气候变化的战略高度加强林业生物质能源发展，并相继编制了《全国能源林建设规划》(2006)、《林业生物质能源发展战略报告》(2008)以及《应对气候变化林业行动计划》(2009)等以一系列重要政策文件。计划“十一五”期间种植生物能源林 83 万公顷，到 2020 年达 1 333 万公顷，满足年产 600 万吨生物柴油和 1 500 万千瓦生物发电的原料需要，其中最主要生物柴油原料树种为麻疯树^②(国家林业局，2006、2007、2008)。印度政府于 2003 年制定了“麻疯树生物柴油发展计划”，计划到 2012 年种植 1 100 万公顷生物柴油原料——麻疯树，预期替代 20 %普通柴油(Planning Commission of Government of India, 2003)。马来西亚、印度尼西亚和菲律宾等国家则准备重点发展以棕榈油和可可为原料的林业生物柴油(Koizumi et al.，2007)。此外，马里、坦桑尼亚、南非等许多非洲国家也制定了相应的麻疯树林业生物柴油发展计划。

在政府与企业的积极参与和推动下，目前以麻疯树为原料的林业生物柴油产业已呈现出迅速发展的态势(Ye et al.，2009)。在我国，麻疯树主要分布于西南地区 and 广西、海南及台湾一带，尤其以云南、四川与贵州三省最为集中，据初步统计，云南、四川与贵州三省野生麻疯树面积已达 3.61 万公顷。自从 2006 年开

① 林业生物柴油是指以木本油料植物果实、种子、植物导管乳汁以及枝叶等为原料，通过化学方法转化所含油脂获得的生物柴油(钱能志等，2007)。

② 麻疯树为大戟科多年生小灌木，原产于南美洲热带地区，具有很强的环境适应性，种籽含油率约为 30%，在农业、化工、医药与生物燃料等领域均有广泛的应用。

始,上述三省相继制定了麻疯树生物柴油发展规划,计划在未来的10~15年内利用荒山荒地人工种植麻疯树166.7万公顷,其中云南66.7万公顷,四川60万公顷,贵州40万公顷;并相继与中国石油等企业签订“林油一体化”开发协议,着手大力发展林业生物柴油原料基地(麻疯树)。据国家林业局统计,到2008年底三省合计人工种植麻疯树超过17万公顷,占中国人工种植麻疯树面积的95%以上。与此同时,2008年6月,国家发展与改革委员会正式批准了中国石油、中国石化和中国海洋石油总公司3家以麻疯树为原料的林业生物柴油产业化示范项目,合计生产能力约为20万吨/年。

虽然,以麻疯树为代表的林业生物柴油已呈现出快速发展的态势,但是作为一个新兴产业,它的发展仍面临着诸多的不确定性。其中,原料生产是决定林业生物柴油产业发展前景的关键环节,也是目前不确定性最大的环节。林业生物柴油产业涉及原料生产、生物柴油加工、产品销售与使用等多个环节。从生物柴油生产成本构成来看,原料生产成本约占生物柴油总成本的70%~80%,因此,原料供给潜力与经济可行性是决定整个林业生物柴油产业发展潜力与经济可行性的关键环节(闵恩泽等,2007; Luque et al., 2008)。同时,林业生物柴油生命周期的石化能源消耗和温室气体排放等环境表现,也主要取决于原料生产环节的能源、化肥与机械等投入状况及相应的可能产出水平。当然,林业生物柴油发展的其他环节也存在不确定性,但最大的不确定性在于原料生产环节。

麻疯树生物柴油原料生产的不确定性主要表现两个方面,一是适宜于麻疯树种植的土地潜力的不确定性,二是麻疯树种植的投入产出水平(即经济可行性)的不确定性。就适宜种植的土地潜力而言,虽然政府已经制定了宏伟的以麻疯树为代表的林业生物柴油发展目标,但是到底有多少土地(荒山荒地)可用于麻疯树等原料树种的种植,这些土地质量状况(或者说适宜性)如

何?目前尚未经过科学的评估与测算。就麻疯树种植的经济可行性而言,由于现有林业生物柴油树种(如麻疯树)均处于野生或半野生状态,缺乏大面积人工种植经验,也尚未培育出可用于大面积商业化种植的优良品种及相应的丰产栽培技术,因此在大面积人工种植条件下的经济可行性如何目前尚难以估计(Jongschaap et al., 2007; Achten et al., 2008)。与此同时,林业生物柴油原料生产环节的环境效应,比如是否会对当地原生植被造成破坏?种植环节的能源效率与碳排放水平如何,等等,也是人们普遍关注的问题。

从已有相关研究文献积累来看,林业生物柴油发展相关研究尤其原料生产环节的相关研究尚十分薄弱。以目前被研究最多的麻疯树为例,已有相关研究也主要集中于麻疯树生理生态特征、可能的用途、麻疯树生物柴油的加工提炼技术、生物柴油的理化特征及燃烧排放特征等技术层面(Banerji et al., 1985; Ishii et al., 1987; Foidl et al., 1996; Gubitz et al., 1999; Achten et al., 2008)。虽然,也有为数不多的学者,基于生命周期视角对林业生物柴油产业发展的经济可行性和环境可持续性进行了尝试性研究(Prueksakorn et al., 2008; Mulugetta, 2009; Ndong et al., 2009);但是,由于缺乏原料生产环节可靠的投入与产出经验数据,往往只能基于小规模、短时期的实验数据甚至是人为估计数据,对其生命周期经济可行性和环境可持续性作出初步判断,使得研究结论缺乏科学性与可信度(Openshaw, 2000; Achten et al., 2008; Kumar et al., 2008)。因此,基于原料生产环节的可靠的投入与产出数据,对生物柴油产业发展的经济可行性与环境可持续性进行实证研究,显得十分必要和迫切。

基于上述分析,笔者认为,虽然林业生物柴油产业在我国已经呈现出快速发展的态势,但是在没有科学论证和充分技术储备的情况下,如果贸然大规模推进林业生物柴油产业发展,可能会

对该产业未来健康发展带来损害。因此，有必要对以麻疯树为代表的林业生物柴油产业发展（特别是原料生产环节）的经济可行性或环境可持续性，开展全面、深入、系统的研究，为该产业未来持续健康发展，提供充分的技术储备与保障，为制定科学合理的产业发展规划与政策提供决策依据。

1.2 问题的提出

中国政府已经制定了宏伟的林业生物柴油发展目标与规划，并且开始着手建立原料林基地和生物柴油加工企业，林业生物柴油产业已呈现出快速发展态势。根据《可再生能源法》（2005年颁布、2009年修订）和《可再生能源中长期发展规划》（2007年）精神，国家林业局及相关省份纷纷制定了各自林业生物柴油发展目标与规划（具体目标见前文所述）。并且，在中国石油以及众多民营企业的积极参与和推动下，我国已经开始大规模种植林业生物柴油原料林，相应的加工企业也正在规划和建设之中。可以说，在中国以麻疯树为代表的林业生物柴油产业已呈现出迅速发展的态势。

尽管，林业生物柴油产业已呈现出迅速发展的态势，但该产业是否能够实现健康持续发展，很大程度上取决于原料供给潜力、原料种植的经济可行性、以及环境可持续性等诸多因素。从微观层面来看，对于作为追求利润最大化的企业或农户来说，在既有的技术条件与政策激励下，如果能够获得预期的利润水平，将会参与林业生物柴油产业发展，也就是说经济上可行是产业发展的必要条件。从宏观层面来看，对于作为追求社会福利最大化的政府而言，除产业发展的经济可行性以外，还必须考虑林业生物柴油产业发展的环境效益，因为保护与改善环境是各国政府积极推动生物液体燃料产业发展的主要目标之一，同时也是政府制定生物液体燃料产业政策的重要依据。

然而，林业生物柴油产业发展特别是原料生产潜力、原料种

植的经济可行性以及环境可持续性等方面，目前仍然存在很大的不确定性。如前所述，林业生物柴油产业是一个新兴的产业，它涉及原料生产、生物柴油加工、产品销售与使用等多个环节，在每一个环节均存在诸多的不确定性，但关键是取决于原料生产的潜力与经济可行性。比如，虽然政府已经制定了宏伟的麻疯树生物柴油发展目标，但是到底有多少土地（荒山荒地）可用于麻疯树种植？这些土地质量状况如何或者说适宜性如何？具体分布情况如何？目前是否有足够的优良品种和丰产栽培技术，可应用于大面积原料林人工种植？通过大面积人工种植，能否获得预期的产量水平，原料种植环节的成本收益状况如何？林业生物柴油产业生命周期的能源效率和环境效应如何？林业生物柴油产业发展将会对当地土地利用结构、农户收入与就业、以及生态环境等方面产生何种影响？面对麻疯树生物柴油产业发展，政府应做出何种政策选择？所有这些都是目前急需回答，但又尚未回答的重要问题。

在上述提到的众多问题当中，适宜麻疯树种植的土地潜力和麻疯树种植的经济可行性，是眼下最为急迫需要加以回答，同时也是最为重要的问题。因为，这两个问题直接关系到我国林业生物柴油产业未来发展前景及其可能的发展规模。因此，本文将我国麻疯树生物柴油产业发展重点地区（西南地区）为例，重点研究该地区适宜原料种植的土地潜力和麻疯树种植的经济可行性，为政府制定合理的产业发展政策提供决策参考。

1.3 研究目标与研究内容

本研究的总目标是以我国目前最主要、最具代表性的生物柴油发展原料树种——麻疯树为研究对象，对麻疯树集中分布区域（我国西南地区）的适宜种植的土地潜力进行评估；在估计麻疯树投入产出生产函数的基础上，构建麻疯树种植者生产决策模型，为原料种植的经济可行性研究提供分析平台；利用种植者生