

中国木本能源植物资源研究丛书

中国能源植物 山杏的研究

王 涛 王利兵 于海燕 等/著



科学出版社

中国木本能源植物资源研究丛书

中国能源植物山杏的研究

王 涛 王利兵 于海燕 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是木本能源植物山杏的研究工作成果之一,是在对山杏资源全面调查,确定具体分布范围,分析其分布规律,根据资源量进行分布区划,制定优良性状综合评价指标体系,利用综合评分和关键指标控制(包括山杏优良种质资源生物柴油特征评价)的方法进行优良类型和优良单株选择的基础上,进行山杏种源试验(不同种源山杏种子及苗期种源变异分析)、不同林分商品经济性状特征、制备生物柴油及其工艺的优化、现有林更新复壮技术、苗木繁育与丰产栽培技术、基地建设规划等方面的研究,为山杏生态能源林的发展奠定良好的基础,具有重要的理论意义和指导生产的价值。

本书可供林业、农业、生物质能源等领域的大专院校师生、科研院所研究人员、管理部门管理人员和广大基层工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国能源植物山杏的研究/王涛,王利兵,于海燕等著. —北京:科学出版社, 2013. 10

(中国木本能源植物资源研究丛书)

ISBN 978-7-03-038713-4

I. ①中… II. ①王…②王…③于… III. ①杏属—研究 IV. ①S662. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 229469 号

责任编辑:张会格/责任校对:宣 慧

责任印制:赵德静/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 10 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2013 年 10 月第一次印刷 印张: 12 1/4 插页: 8

字数: 250 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

王涛院士简介



王涛 (1936.6~2011.8)，中国工程院院士，中国林业科学研究院首席科学家，中国林学会副理事长。长期从事森林培育、社会林业工程和生物质能源的研究与开发工作。作为第一完成人先后获国家科技进步奖特等奖、林业部科技进步奖特等奖等 8 项国家科技奖励，在国际上获 6 个国家和国际组织的 12 项奖励，出版编、著书籍 42 部。

深切怀念我们的导师
——敬爱的王涛院士

《中国木本能源植物资源研究丛书》编委会

主 编：王 涛

副主编：张伯林 于海燕

编 委（按姓名汉语拼音排序）：

敖 妍 陈 放 侯新村 蒋丽娟 李 凌 李昌珠
李迎超 厉月桥 林善枝 刘 云 牟洪香 秦兆宝
王利兵 吴志庄 徐 莺 张志翔

中国木本能源植物资源研究丛书

- 《中国能源植物黄连木的研究》
- 《中国能源植物文冠果的研究》
- 《中国能源植物麻疯树的研究》
- 《中国能源植物光皮树的研究》
- 《中国能源植物乌柏的研究》
- 《中国能源植物山杏的研究》
- 《中国能源植物蒙古栎的研究》
- 《中国能源植物辽东栎的研究》
- 《中国能源植物栓皮栎的研究》
- 《中国能源植物麻栎的研究》
- 《黄连木生物生态学特征及分子生物学研究》

《中国能源植物山杏的研究》编撰委员会

主要作者：王 涛 王利兵 于海燕

其他作者(按姓名汉语拼音排序)：

范明浩	淦 洪	郭建英	侯彦飞	胡小龙	李 雪
李迎超	李玉航	刘克武	刘巧哲	刘婉荣	龙作义
陆文生	逢宏扬	秦兆宝	尚忠海	田金萍	佟立君
汪泽军	王德军	王志学	鲜宏利	徐贵军	徐生旺
薛 博	杨文智	张 萍	张顺捷	钟 显	周腊虎
周怡娟					

自序

21 世纪将面临能源问题的严峻挑战，开发利用可再生能源是事关国民经济可持续发展、国家安全和社会进步的重大课题。

生物质能源是可再生能源，是通过植物的光合作用固定于地球上的太阳能。据估计，植物每年贮存的能量约相当于世界主要燃料消耗的 10 倍。为了保护生态环境，减缓温室效应，世界各国对生物质能源的现代化利用越来越重视。

实现生物质能产业化，需要丰富的可再生生物质原料的供应。据统计，生物质能制备成本的 70% 是原料成本，因此，寻求充足而廉价的原料供应，提高转化率，是生物质能产业化的关键。

目前发展最快的生物质液体燃料产业，一是乙醇燃料；二是生物柴油。目前，生产生物柴油的原料，美国以大豆为主，德国和其他欧盟国家主要以油菜籽为原料，日本则以每年消耗的 200 万 t 食用油所产生的 40 万 t 废油为原料。

我国人均耕地不到 0.1hm^2 ，不可能用食用粮油来生产生物柴油。我国政府已经规定了发展能源作物和生物燃料要做到“不与人争粮，不与粮争地”的原则。我国现有多种木本油料植物、淀粉植物、纤维植物，是生物质能源的优良资源，目前可利用的生物质原料资源量达 11.71 亿 t 标准煤。此外，我国 1.8 亿 hm^2 的林地和 1.2 亿 hm^2 的宜林地，存在着广阔的能源林发展空间。结合生态建设工程因地制宜地营造生态能源林基地，既可以利用树体保护生态，又可以为生物质能源产业提供丰富的可再生原料，还可以增加农民收入，繁荣农村经济，对保障能源安全和生态安全将产生重要和深远的影响。

为了推动我国木本能源的研究与开发，为发展生物质能源提供丰富稳定的林业生物质能源资源，充分发挥森林生态功能、碳汇功能和能源功能，使森林生态系统不但成为我国庞大的碳汇库，而且成为可再生能源资源库，由中国林业科学研究院牵头的林业生物质能源技术研究与开发团队，组织全国 33 个省级协作单位开展了木本能源植物资源调查研究、开发与加工工艺研究。十年来，在生物质

能源开发与利用研究方面先后承担了国家科技部、财政部与国家林业局等有关生物质能源的科技攻关、行业专项等项目共 25 项。通过对我国木本生物质能源资源的普查,筛选出了适宜作生物质液体燃料的木本植物黄连木 (*Pistacia chinensis*)、麻疯树 (*Jatropha curcas*)、光皮树 (*Comus wilsoniana*)、文冠果 (*Xanthoceras sorbifolia*)、乌桕 (*Sapium sebiferum*)、山杏类 (*Armeniaca* spp.) 和栎类 (*Quercus* spp.) 等资源,并对其资源量、分布规律、生物学特性、商品性状及分子生物学进行了研究,在其集中分布区建立起资源基地。进行了能源植物优良性状评价指标体系的构建,选出相应的优良林分、优良类型和优良单株;进行了高产、高油、抗逆性强优良类型(或品种、品系)的选育和能源植物基因工程与生物技术育种研究,利用基因克隆和辐射诱变育种等现代生物技术手段培育新的优良品种。同时,开展了能源植物良种繁殖技术与丰产栽培技术的研究,初步提出能源植物高效培育与丰产栽培技术,建立起良种繁育基地及能源林丰产栽培示范基地。在此基础上,在其分布区范围内,根据不同的立地条件进行了良种的区域化试验及丰产栽培技术体系的建立。

本书是木本能源植物山杏的研究工作成果之一。研究团队通过 7 年的调查与研究,旨在为山杏生态能源林的建设提供资源和技术的借鉴,也为山杏能源林的发展奠定良好的基础。



2010 年 12 月

前 言

当前全球对石油的需求不断增长与化石能源日渐枯竭的矛盾日益突出, 能源供给形势紧张, 国际市场原油价格大幅震荡, 化石能源大规模使用导致的环境恶化已引起人们的普遍关注。因此, 能源的多元化、可再生化和清洁化已成为人类社会发展的必然选择, 开发生物质能源是解决全球能源危机的方向之一。生物柴油, 是指以各类动植物油脂为原料, 与甲醇或乙醇等醇类物质经过酯交换反应, 使其最终变成可供内燃机使用的一种燃料, 具有优良的环保性、低温启动性、润滑性及可再生性, 是理想的石化柴油补充燃料, 对缓解当前巨大的能源和环境压力具有很大作用。

生物柴油制备成本的 70%~80% 来自于原料成本, 实现生物柴油产业化, 必须有丰富的可再生生物柴油原料供应链。近年来, 生物柴油生产原料主要源于蓖麻、油菜和大豆等粮食作物, 但是这样会导致粮食和能源生产之间的耕地竞争问题。随着世界人口数量的不断增加和耕地面积的逐渐减少, 各国政府和科学界普遍意识到, 开发利用非粮能源植物是解决全人类面临的能源危机的有效途径之一。为了减缓生物液体燃料发展对粮食安全的不利影响, 许多国家陆续将生物柴油原料的生产转移至产油高、适合非耕地种植的本木植物上, 如麻疯树 (*Jatropha curcas*)、桐棉 (*Thespesia populnea*)、辣木 (*Moringa oleifera*)、大果巴豆 (*Croton megalocarpus*)、桑橙 (*Maclura pomifera*)、水黄皮 (*Pongamia pinnata*) 等, 但目前大多仍处于实验室研究或示范推广阶段。我国人均耕地面积小, 采用粮食作物生产生物柴油不符合我国基本国情, 但山地、丘陵、沙地等非适耕土地面积广阔, 且本木油料植物资源丰富。经过近十年国内科研工作者的筛选, 筛选出的我国目前具有开发潜能的生物柴油树种主要有麻疯树、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、文冠果 (*Xanthoceras sorbifolia*)、光皮树 (*Comus wilsoniana*)、乌桕 (*Sapium sebiferum*) 等几种, 总体来说, 可利用的生物柴油树种还较少, 因此, 寻求充足而廉价原料的供应、开发新型的本木生物柴油物种是发

展我国生物柴油产业的关键。

山杏类 (*Armeniaca* spp.) 植物 (本书所涉及的山杏均指山杏类植物, 特殊说明的除外) 均属蔷薇科李亚科杏属 (或李属) 木本植物, 是亚洲特有的生态经济型树种, 通常为落叶乔木或灌木, 多分布于半干旱、半湿润的风沙平原、山地和丘陵地区, 喜光、抗寒、耐旱、耐瘠薄、耐风沙、根系发达、萌蘖能力强、容易繁殖、生长快、病虫害少, 是固沙保土、涵养水源、改善生态环境的优良乡土树种, 并且有较高的经济价值及药用价值。杏仁油可以作为功能性食品保健植物油、高级润滑油、高级化妆品和高级涂料的优质原料, 杏仁蛋白是一种食用价值极高的植物蛋白, 杏壳作为优质活性炭的原料也是其重要的副产品。但山杏杏仁中苦杏仁甙含量较高, 食用后可分解为氢氰酸和苯甲醛, 具有剧毒性, 过量服用可能导致中毒, 甚至死亡。因此, 山杏仁在食品和医药行业中不宜大量使用。我国山杏分布面积达 227 万 hm^2 之广, 年产杏核可达 20 万 t 之多, 并且杏仁含油率高达 50%。作者对山杏生物柴油的特性进行了测定, 结果证明山杏是一个极具开发潜力的非传统木本生物柴油物种, 可以为解决生物柴油原料问题提供又一新型木本生物质资源。

尽管山杏作为生物柴油生产原料具有天然优势和巨大潜力, 但目前山杏生产中存在产量良莠不齐、总体产量低下、大小年现象明显、病虫害严重等问题, 仅有的研究与生产严重脱节, 缺乏有力的科技支撑体系, 尤其是在种质资源保存、遗传改良和丰产栽培技术方面仍很薄弱, 不能有效地解决许多实际的生产问题, 严重阻碍了山杏作为我国主要能源树种应有的作用。主要存在以下几个方面的问题。

(1) 长期以来, 山杏资源一直没有系统的资源调查研究, 存在着资源本底不详实的现状, 前人对其资源状况缺乏系统的研究, 只限于树木志、植物志及相关单位内部资料的笼统记载, 因此, 进行系统的资源调查, 确定其具体的分布范围, 分析其分布规律, 根据资源量划分其分布区, 分析各分布区的分布特征, 找出最适宜发展山杏能源林的分布区及其林分类型刻不容缓。

(2) 目前国内山杏种源试验选取的种源均较少, 仅限于极少种源范围的试验, 参考价值不高, 在一定程度上影响了山杏的生产发展和经济效益的发挥。为了给山杏优良繁殖材料的调拨提供可靠依据, 进行大范围的种源试验研究, 解决

生产中存在的实际问题,也是迫切需要解决的问题。

(3) 现有山杏存在着产量良莠不齐、总体产量低下、大小年现象明显等问题,因此,进行大范围良种选育及丰产栽培技术研究,提高其种子的质量和产量,解决生产中存在的实际问题,也是迫切需要解决的问题。

(4) 从丰产、高油及抗逆性强等方面进行山杏良种选育,指标中缺乏关于生物柴油特性的指标,因此,发展山杏能源林,必须从生物柴油指标方面进行评价,为选定生物柴油优良种质资源提供一定的理论依据。

(5) 山杏生物柴油的生产工艺方面国内外研究较少,为了最大限度地把山杏资源优势转化为经济优势,对山杏生物柴油工艺参数进行优化,可以为合理利用山杏生物柴油提供理论依据,促进我国林木生物柴油产业发展。

(6) 山杏现阶段综合利用程度不高,销售渠道主要靠外贸出口,国内除用于生产杏仁露和杏仁霜,其他加工利用还较少。因此,加大对山杏综合开发利用的研究力度,研发新产品,以发展生物柴油为主,综合开发利用山杏,进行深加工,最大限度地把资源优势转化为经济优势,才可以充分发挥山杏良好的经济效益、生态效益和社会效益。

综上所述,山杏作为生物柴油树种的研究工作远远落后于生产的需要,可谓任重而道远。王涛院士领导的工作团队在近年对开发利用生物柴油树种山杏存在的问题进行逐一探索,通过对山杏资源的系统调查,摸清了山杏在我国的资源分布状况与规律,在此基础上,对山杏的生物学、生态学特性、新品种选育和高效培育技术进行全面的,解决生产中的实际问题,并建立了良种繁育基地和丰产栽培示范基地,具有重大的现实意义。

《中国能源植物山杏的研究》是王涛院士领导下的工作团队近年工作的体现,在研究的构思、试验分析、撰写等一系列工作中,无不倾注着先生的心血。2011年8月,恩师王涛院士因病医治无效而逝世,先生在住院前夕,仍然关心我们的研究任务及“中国木本能源植物资源研究丛书”。《中国能源植物山杏的研究》是先生主持编撰的“中国木本能源植物资源研究丛书”中的一部著作,现谨以此书向我们的恩师王涛院士表示深深的怀念!若此书能对科研工作者或者基层生产者有所裨益,则是我们最能感到欣慰之事,我想这是先生编著这一系列丛书的初衷,也是我们编著本书的根本出发点。

在此著作完成之际，再次向给予我谆谆教诲的王涛院士表示深切的怀念、崇高的敬意和衷心的感谢！同时，也感谢中国林业科学研究院林业研究所的领导和同事在我学习和工作期间给予的热情帮助！感谢在野外试验中，黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、北京、天津、河南、陕西、山西、甘肃、宁夏等省、自治区、直辖市生物能源协作组的领导和工作人员给予的大力支持和无私帮助！

本书的出版得到了林业公益性行业科研专项“新型木本生物质能源资源培育及开发利用研究”（201004001）和科技部“十二五”科技支撑“生物质液体燃料资源植物品种选育和丰产栽培技术示范”（2011BAD22B08）的资助，特此感谢！

由于作者水平有限，书中有不足之处，望读者给予指正！

王利兵

2013年5月

目 录

自序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 山杏国内外研究现状	2
1.2.1 山杏的形态特征及分布	2
1.2.2 山杏栽培技术研究	4
1.2.3 山杏资源开发利用研究	6
第 2 章 山杏资源调查及分布规律	10
2.1 研究方法	10
2.1.1 调查范围的确定	10
2.1.2 调查方法	10
2.1.3 调查内容	12
2.1.4 山杏分布区资源区划	14
2.1.5 山杏分布区自然条件收集	14
2.2 山杏在我国的分布范围	14
2.3 山杏在我国的分布规律	17
2.3.1 山杏的水平分布规律	17
2.3.2 山杏的垂直分布规律	19
2.4 山杏在我国的总体分布特征	23
2.5 山杏在我国各分布区的分布特征	25
2.5.1 集中分布区	27
2.5.2 次集中分布区	27
2.5.3 零星分布区	30
2.5.4 山杏集中分布区和次集中分布区山杏资源量分析	30

第3章 不同种源山杏种子及苗期变异分析	31
3.1 材料与方法	31
3.1.1 试验材料收集	31
3.1.2 试验方法	32
3.1.3 测试数据处理和分析	34
3.2 不同种源山杏种子形态性状变异	34
3.3 不同种源山杏种子性状相关分析	38
3.4 不同种源山杏种子性状地理变异规律	39
3.5 不同种源山杏苗期表现	41
3.5.1 不同种源山杏苗期性状地理种源变异	41
3.5.2 不同种源山杏苗期性状间相关分析	43
3.5.3 山杏苗期性状与种子性状相关分析	44
3.5.4 山杏苗期性状与种源地地理气候因子相关分析	45
3.6 山杏种源的初步区划	46
第4章 山杏的良种选育	51
4.1 研究方法	52
4.1.1 山杏优良性状综合评价指标体系结构设计	52
4.1.2 林分类型选择标准和选择方法	52
4.1.3 优良类型选择标准和选择方法	53
4.1.4 优良单株选择标准和选择方法	54
4.1.5 山杏优良种质资源生物柴油特征评价	55
4.1.6 杂交育种试验	58
4.2 山杏优良性状综合评价指标体系建立	58
4.2.1 指标体系设计的指导思想和原则	59
4.2.2 指标体系结构设计	60
4.2.3 指标权重的确定	64
4.2.4 评价方法	65
4.3 山杏林分类型的选择	66
4.3.1 西伯利亚杏纯林	66
4.3.2 西伯利亚杏虎榛子混交林	67

4.3.3 西伯利亚杏油松混交林·····	67
4.3.4 西伯利亚杏绣线菊混交林·····	68
4.3.5 西伯利亚杏酸枣混交林·····	68
4.3.6 东北杏蒙古栎混交林·····	69
4.3.7 野杏野苹果混交林·····	69
4.4 山杏主要形态特征变异程度·····	70
4.5 山杏优良类型的选择·····	72
4.5.1 西伯利亚杏·····	74
4.5.2 东北杏·····	79
4.5.3 野杏·····	81
4.6 山杏优良单株的选择·····	82
4.6.1 初选和复选优树·····	82
4.6.2 决选优树·····	83
4.7 山杏优良单株不同分布区表型特征的比较·····	86
4.8 山杏优良种质资源生物柴油特征评价·····	87
4.8.1 山杏含油率和脂肪酸组成·····	87
4.8.2 生物柴油的特征值·····	89
4.9 杂交育种试验·····	92
4.9.1 杂交杏 F1 代种子遗传性状的研究·····	92
4.9.2 杂交杏 F1 代苗木培育·····	93
第 5 章 山杏商品经济性状特征研究 ·····	95
5.1 材料与方法·····	95
5.1.1 取样方法·····	95
5.1.2 山杏不同分布区不同林分类型商品经济性状特征的比较·····	95
5.1.3 油脂和脂肪酸含量测定·····	96
5.1.4 生物柴油特征值计算·····	96
5.2 不同分布区不同林分类型商品经济性状特征比较·····	96
5.3 不同分布区山杏脂肪酸组成及生物柴油特征分析·····	98
5.3.1 不同分布区山杏脂肪酸组成分析·····	98
5.3.2 山杏作为生物柴油原料的特征分析·····	100

第 6 章 山杏杏仁油制备生物柴油及其工艺优化	101
6.1 材料与方法	101
6.1.1 材料	101
6.1.2 油脂制备及其含量测定	102
6.1.3 脂肪酸甲酯(生物柴油)制备	102
6.1.4 脂肪酸甲酯含量测定及产率计算	102
6.1.5 山杏油脂制备生物柴油工艺优化	102
6.1.6 工艺的验证	104
6.2 山杏生物柴油制备工艺优化	105
6.2.1 响应面结果的方差分析	105
6.2.2 山杏生物柴油数学模型拟合	105
6.2.3 影响因素对山杏生物柴油产率的响应面分析	108
6.2.4 山杏生物柴油制备最佳工艺确定及验证	109
6.3 山杏生物柴油特性分析	109
6.3.1 冷滤点	109
6.3.2 十六烷值	110
6.3.3 密度和运动黏度	111
6.3.4 氧化安定性	111
6.3.5 闪点	112
6.3.6 其他燃料特性指标	112
第 7 章 山杏林更新复壮技术	113
7.1 更新复壮技术	113
7.1.1 更新复壮期选择	113
7.1.2 更新复壮时间	113
7.1.3 更新复壮措施	114
7.2 更新复壮配套技术	115
7.2.1 平茬后植株管理	115
7.2.2 断根施肥复壮	115
7.2.3 挖蓄水坑	115
7.2.4 割草压绿肥	116