

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

王 涛 吴志庄 侯新村 张伯林 著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

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

王 涛 吴志庄 侯新村 张伯林 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目（CIP）数据

中国能源植物黄连木的研究，王涛等著．—北京：
中国科学技术出版社，2012.3
ISBN 978-7-5046-6017-6
I. ①中… II. ①王…②吴…③侯…④张… III. ①黄连木-研究
IV. ①S792.99

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 038610 号

责任编辑：杜筱进
封面设计：长 宁
责任校对：赵丽英
责任印制：张建农

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62173865
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 300 千字
印 张 13.125
印 数 1—1000 册
版 次 2012 年 6 月第 1 版
印 次 2012 年 6 月第 1 次
印 刷 北京长宁印刷有限公司

ISBN 978-7-5046-6017-6/S·555
定 价 80.00 元

（凡购买本社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换）
本社图书贴有防伪标志，未贴为盗版

序

新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，许多发达国家对生物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，是中国木本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的发展空间。可以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，从而保证了林业的可持续经营，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领导的林业生物质能源技术与开发团队，通过组织 33 个省级协作单位开展了木本能源资源植物调查研究、开发与加工工艺研究。十年来，我们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研项目共 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资源植物黄连木、麻疯树、光皮树、文冠果、乌桕、山杏、栎类和丛生竹等资源，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特征进行了研究，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（或高糖）、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。

本书是黄连木研究团队十年研究工作的成果之一。通过十年的调查研究，在对黄连木资源全面普查的基础上，根据黄连木的分布规律与资源量，对其分布区进行了划分。在此基础上，在资源集中分布区进行了优良林分、优良类型与优良单株的选择，建立了种质资源基地，并进行了生物学、生态学、分子生物学及相应商品性状的研究，提出了良种选育与丰产栽培技术体系，为黄连木定向培育提供了可靠的理论与实践依据，为今后黄连木优质生态能源林的发展奠定了良好的基础。

参加黄连木项目研究工作的有 39 个单位、88 位科技人员（其中研究员、教授、正高级工程师 18 人，副研究员、副教授、高级工程师 51 人，中级职称 17 人）（参见本书附录 2）。

前 言

中国黄连木 (*Pistacia chinensis*, 以下简称黄连木) 是一种既耐肥、又耐瘠, 既耐渍、又耐旱, 既耐碱、又耐酸, 适应性很强的乡土树种, 广泛分布于我国境内, 具有多方位的应用价值, 是我国优质木本油料树种, 其果实含油率 40% 左右, 经权威部门检验证明, 以黄连木果实为原料生产的生物柴油的主要理化指标达到美国生物质燃料油以及中国轻质燃料油标准, 因此黄连木是我国极具开发利用前景的生物质液体燃料树种^[1], 是缓和我国能源矛盾的一个突破口, 开发和利用潜力巨大。

近些年来, 随着人们对能源和环境问题的重视, 黄连木作为我国重要的能源树种, 又是优良的绿化、用材、观赏、药用和油料树种而倍受关注^[2], 有关黄连木的研究也日趋活跃^[3-7], 河北、河南、陕西、安徽等地黄连木生态能源林建设呈现出规模化发展的趋势, 但在全国其他自然分布区内黄连木的丰产栽培技术和理论研究才刚起步, 黄连木的多种价值还没有得到应有的重视, 有关黄连木的研究主要集中在育苗技术、栽培技术、病虫害防治、理化成分及利用等几个方面^[8-19]。黄连木播种育苗主要在种子处理^[20]、育苗方式^[21]、容器育苗^[22]、幼苗施肥管理^[23]等方面开展了研究, 但针对不同立地的育苗方法还未见报道。无性繁殖可保持母树的优良遗传品质, 控制雌雄株繁殖比例, 提早结实, 增加产量, 然而由于黄连木枝条内单宁含量高, 扦插生根困难, 嫁接难以愈合, 国内外学者进行了相关研究, 取得了一定进展^[24-30], 但无法满足生产的需要。黄连木栽培管理技术主要针对黄连木合理施肥、经营密度^[14]、更新规律^[15]、飞播造林^[31]等几个方面进行了研究。黄连木种子小蜂 (*Eurgtoma platnikovi Nikolskaya*) 是各产区的主要害虫, 20 世纪 70 年代末以来, 已使河北、河南、山东、山西 4 省黄连木果实连年绝收, 为防治黄连木种子小蜂, 对黄连木种子小蜂的生活习性^[32]、发生规律^[33]、防治方法进行了研究^[34], 并取得了一定成果^[35,36]。有关黄连木的遗传改良才刚起步, 仅根据果实性状初步将太行山区黄连木划分为三种类型^[3], 选出 5 株优良单株^[37,38]。黄连木抗旱生理的研究^[39,40], 说明黄连木是一个适应性极强的树种^[41,42]。对黄连木的分子生物学研究在国内尚未有报道, 国外的研究也不多, 主要是采用分子标记和指纹图谱的方法对黄连木属的种内和种间关系进行系统发育分析和鉴定^[43-45]。

黄连木的经济价值很高, 其叶片的化学成分具有一定的清热解毒作

用^[46-48]，另外根、茎、叶、树皮均可入药，为黄柏皮代用品，用以治疗痢疾、霍乱、风湿病、漆病、疮疗等^[49,50]。由于黄连木鲜叶提取物中的儿茶酚和槲皮素有很强的自由基清除活性，有防病、治病及抗衰老保健作用^[51]。黄连木叶片、树皮及种实含有丰富的单宁，因此是制作栲胶的良好原料^[52,53]。叶片中的单宁经纯化后可代替工业单宁酸制备三甲氧基苯甲酸和三甲氧基苯甲酰肼，它们是合成 TMP 的中间体^[53]。黄连木富含单宁及其他有效药用成分与黄连木根、茎、叶、花、果实维管束韧皮部中的分泌道，幼茎皮层与髓部的独特结构有关^[54,55]。黄连木木材致密坚实，纹理细密，耐腐性强，可供建筑、家具之用，亦可用于雕刻制作，镶嵌多种精细工艺美术品^[49,50]。黄连木五倍子是重要的化工原料，在医药、轻化工、电子、船舶等工业领域有广泛的应用^[52,56-59]。另外黄连木与干果阿月浑子同属漆树科黄连木属，是提高阿月浑子坚果产量和质量的优良砧木^[60-62]。黄连木种实含油率近 40%，种仁含油率则高达 50% 以上。黄连木油含有丰富的脂肪酸，其中油酸与亚油酸的含量高达 77.89%，还含有一定量的亚麻酸，因此是一种营养丰富的食用油^[63-66]。黄连木油还是一种非常重要的化工原料^[67]。黄连木种子油中非皂化物的组成与普通植物油不尽相同，含有高达 48.8% 的三帖醇类，而普通植物油的非皂化物则以甾醇为主^[68]。早在 20 世纪 80 年代祖庸就提出可将黄连木油用作工业原料生产肥皂、润滑油及其他精细化工产品^[50]。

进入 21 世纪，黄连木作为重要能源树种备受关注，已被列入国家科技支撑重大项目，各地的种植积极性很高，呈现出规模化发展的趋势。但目前黄连木生产中存在病虫害严重、果实产量低下、大小年现象明显等问题，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，严重阻碍了黄连木作为我国主要能源树种的应有作用。主要存在以下几个方面的问题：

(1) 黄连木资源在我国的分布范围与分布规律不清，尚未进行资源的收集和保存工作。

(2) 有关黄连木遗传改良尚属空白，优良性状综合评价指标体系尚未建立。优良单株和类型的选择等林木育种的最基础工作还未进行。

(3) 无性繁殖困难，扦插技术尚未突破。缺乏良种壮苗，生产中存在种质资源不纯、种苗质量低下、良莠不齐等现象。

(4) 果实结实率偏低、产量不稳，结实大小年现象严重，结实规律和主要影响因素还不清楚。

(5) 种子小蜂等病虫害发生严重，生产中急需切实可行的综合防治措施。

(6) 黄连木群体的变异和多样性水平还没有进行系统的研究。

(7) 不同立地良种繁育和丰产栽培技术有待于完善。

可以看出,黄连木的研究在理论方面还有许多空白,研究工作远远落后于生产的需要,可谓任重而道远。有鉴于此,我们认为通过系统的资源调查,摸清黄连木在我国的资源分布状况与规律,在此基础上,对黄连木的生物学、生态学特性、新品种选育和高效培育技术进行全面的研究,解决生产的实际问题,并逐步在我国建立起大尺度良种繁育基地和丰产栽培示范基地,缓解我国生物柴油产业化原料不足的主要矛盾,已是大势所趋、形势所迫,是当前发展黄连木生物柴油产业的最为紧迫的任务,具有重大的现实意义。因此课题组近十年来开展了以下几个方面的工作。

(1) 开展资源调查,进行遗传资源保存和地理变异研究。

为了有效地利用黄连木资源,首先进行资源调查,掌握黄连木在我国的分布范围、分布规律,在此基础上,加强种质资源的收集、保存和利用工作,建立种质资源库、基因库。黄连木分布广,存在大量可供利用的地理变异类型,因此充分利用现有变异,通过黄连木地理变异模式研究,区划不同变异类型,为良种选育奠定基础。

(2) 制定育种策略,开展遗传改良研究。

育种策略是一个育种项目的行动纲领,缺乏育种策略,会导致育种项目只注重短期经济效益,而忽视长期改良,以致育种在低水平重复,不利于育种的可持续发展。为了进一步开发黄连木,课题组在资源调查搜集的基础上,进行了优良林分、优良类型和优良单株选择,进而进行全分布区种源试验,循序渐进地开展遗传改良,提高优良群体的基因频率和基因型值,同时应开展多性状联合选育技术研究,缩短育种周期,加速新品种选育过程,为生产提供真正优良的品种。

(3) 加快生理生态学研究,进行种子小蜂等病虫害防治。

当前应加快以下几个方向的研究:①积极开展黄连木抗旱、抗盐碱等生理特性的研究,从生理学角度来探讨黄连木速生优质的理论基础,推进资源高效型品种选育。②利用多种技术手段,在品种改良和抗逆性研究上寻找突破口,综合防治黄连木种子小蜂。③开展黄连木生长发育、开花授粉和种子结实规律的研究,探索种子结实与年份间互作、种子稳产高产的规律,对黄连木结实潜力作深入的探讨,尽量消除种子大小年现象。

(4) 结合现代生物技术,加速育种进程。

林木生长周期长,传统的林木遗传改良方法、测试手段远远落后于其他物种,极大地影响了林木育种的进程。现代生物技术在分子水平上对林木进行遗传操作,有望提高育种质量、缩短育种周期、加速林木育种进程。当前黄连木育种工作才进入起步阶段,为加速育种进程,应在利用现有的遗传资源

和常规改良基础上，积极开展生物技术研究，重点开展基因工程育种、高密度遗传图谱构建及数量性状基因（QTL）定位及分子标记辅助选择育种研究。

（5）进行不同立地丰产栽培技术研究，加快良种繁育与丰产栽培基地建设。

建立能源林基地，实现生物柴油产业化，丰富、稳定、廉价的原料供应，是生物柴油产业化的基本条件和持续发展的保障。黄连木是一种适应性很强的乡土树种，也是优良生物柴油能源树种。利用荒山荒地大力发展黄连木生态能源林，需要有配套的丰产栽培技术，结合林业生态建设工程任务，建立黄连木良种繁育与丰产栽培基地，推进产业化进程。

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

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》

《中国能源植物乌桕的研究》

《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》

目 录

第一章 黄连木的生物学特性	(1)
第一节 黄连木的形态特征	(1)
第二节 黄连木的生长习性	(1)
第三节 黄连木的生态学特性	(2)
第二章 黄连木资源调查及分布规律	(3)
第一节 黄连木资源调查与标准地设置	(3)
第二节 黄连木资源的分布特征	(4)
一、黄连木的分布范围	(4)
二、黄连木分布区内的自然条件与特征	(4)
三、黄连木的分布规律	(6)
第三节 黄连木分布区的划分	(8)
一、黄连木集中分布区	(9)
二、黄连木次集中分布区	(9)
三、黄连木零星分布区	(9)
四、黄连木沿海地带零星分布区	(10)
第三章 不同分布地区黄连木商品性状多样性分析	(11)
第一节 取样及商品性状的测定	(11)
一、取样	(11)
二、商品性状的测量与记录	(12)
三、数据处理与分析	(13)
第二节 黄连木不同分布地区间的商品性状变异规律	(13)
一、黄连木不同分布地区间商品性状变异特征	(13)
二、黄连木分布区内商品性状的变异特征	(14)
三、黄连木分布地区间各性状变异来源及分化	(15)
四、黄连木林分内(株间)商品性状变异分析	(16)
五、不同分布区商品性状聚类分析	(17)
六、不同分布地区黄连木商品性状相关分析	(18)
七、黄连木不同分布地区果实含油率	(19)
第三节 黄连木油脂脂肪酸经济性状	(23)

一、黄连木油脂脂肪酸的分析	(23)
二、黄连木油脂脂肪酸的组成与含量	(24)
第四章 黄连木群体遗传多样性研究与优良林分选择	(27)
第一节 黄连木群体遗传多样性研究	(27)
一、DNA 提取检测及分析	(28)
二、引物筛选和 PCR 反应体系优化	(28)
三、群体内及种内的多样性分析	(29)
四、群体的遗传分化	(30)
五、群体间的遗传距离与聚类分析	(31)
第二节 黄连木优良林分选择	(32)
一、优良林分评价指标体系	(32)
二、优良林分选择	(34)
三、黄连木林分类型	(35)
第五章 黄连木类型划分及优良类型选择	(46)
第一节 黄连木优良类型综合评价指标体系的构建	(46)
一、指标体系设计原则	(46)
二、指标体系的建立	(47)
三、指标体系的评价	(50)
第二节 黄连木类型划分及优良类型选择	(51)
一、标准地调查与类型划分标准	(51)
二、黄连木优良类型选择与特征比较	(56)
第六章 黄连木优良单株选择与苗期测定	(59)
第一节 黄连木优良单株选择	(59)
一、研究地点和自然条件	(59)
二、优良单株选择的方法	(60)
三、选择结果	(64)
第二节 不同立地分布区黄连木优树生长和结实特征	(69)
一、黄连木优树生长特征	(69)
二、黄连木优树结实特征	(70)
三、影响黄连木单株产量的因素	(72)
第三节 黄连木苗期测定	(75)
一、单点黄连木优树子代性状变异	(76)
二、不同试验点方差分析及遗传力	(77)
三、多点联合方差分析	(78)

四、黄连木优良子代早期选择	(78)
第四节 黄连木亲子代性状的相关分析	(80)
一、典范相关分析	(81)
二、综合选择指数	(81)
三、聚类分析	(81)
第七章 黄连木良种繁育技术研究	(83)
第一节 黄连木集中分布区立地区划	(83)
一、燕山太行山山地立地区	(83)
二、华北平原立地区	(84)
三、秦巴山地立地区	(84)
四、大别山桐柏山山地立地区	(84)
第二节 太行山中段石灰岩山地黄连木良种繁育技术	(85)
一、研究区概况	(85)
二、黄连木育苗技术研究	(85)
第三节 太行山南段石灰岩山地黄连木良种繁育技术	(93)
一、研究区概况	(93)
二、黄连木育苗技术研究	(93)
第四节 秦岭南部山地立地区黄连木良种繁育技术	(100)
一、研究区概况	(100)
二、黄连木育苗技术研究	(101)
第五节 黄淮平原石灰岩丘岗地黄连木良种繁育技术	(104)
一、研究区概况	(104)
二、黄连木育苗技术研究	(104)
第六节 黄连木良种繁育基地	(106)
一、建立黄连木良种母树林	(106)
二、采穗圃的建立	(107)
三、种子园的建立	(108)
第八章 黄连木丰产栽培技术研究	(110)
第一节 不同立地区黄连木造林技术研究	(110)
一、太行山中段石灰岩山地黄连木造林技术研究	(110)
二、太行山南段石灰岩山地黄连木造林技术研究	(113)
三、秦岭南部山地立地区黄连木造林技术研究	(116)
四、黄淮平原石灰岩丘岗地黄连木造林技术研究	(118)
第二节 黄连木花粉萌发及传播规律研究	(123)

一、黄连木花粉最佳培养条件的筛选	(123)
二、花粉发育期温度对黄连木花粉萌发率的影响	(125)
三、储藏温度、时间对黄连木花粉萌发率的影响	(125)
四、黄连木花粉传播规律	(126)
第三节 黄连木现有林经营与管理	(127)
一、黄连木现有林管理技术措施	(128)
二、黄连木低产林改造	(134)
第四节 黄连木种子小蜂综合防治技术研究	(137)
一、黄连木种子小蜂生物学与生态学特性	(139)
二、树冠喷药防治试验	(143)
三、施放烟雾防治试验	(146)
四、干基打孔注药防治试验	(147)
五、营林措施防控试验	(150)
六、人工去花去果防控试验	(152)
七、药物地面封闭防治试验	(153)
八、黄连木种子小蜂综合防治技术集成	(155)
参考文献	(159)
附 录	(164)
附录1 中文拉丁文对照表	(164)
附录2 黄连木项目主要研究人员名单	(167)
附录3 图版(彩色)	(169)
附录4 黄连木油脂脂肪酸气相色谱分析图	(181)

第一章 黄连木的生物学特性

第一节 黄连木的形态特征

中国黄连木 (*Pistacia chinensis*, 以下简称黄连木), 别名黄楝, 为漆树科黄连木属落叶乔木。因其木材色黄味苦而得名, 在山东等地别名为“楷木”、“孔木”, 清代《广群芳谱》记载: “孔木生孔子冢上, 其干枝疏而不屈, 以质得其直故也。” 黄连木树干通直, 树皮暗褐色, 鳞状脱落; 小枝灰棕色, 有毛; 叶为偶数羽状复叶或奇数羽状复叶, 小叶互生, 10~14 枚, 有短柄, 卵状披针形或披针形, 先端渐尖, 基部歪斜, 全缘, 幼时有毛, 后变无毛, 成熟的叶片长 4~10cm, 宽约 2~3cm。花单性, 花期 3~4 月, 先叶开放, 雌雄异株, 圆锥状花序, 雄花序长 10~18 cm, 雌花序长 18~24 cm。果实 9~10 月成熟, 倒卵圆形, 正常成熟的果实为铜绿色, 种子饱满, 受种子小蜂危害的果实成熟时变为红色。黄连木树冠开阔, 可达 4m 以上, 是常见的“四旁”绿化树种, 由于其叶片在入秋后变为鲜红色或橙红色, 且持续时间较长, 是典型的红叶树种之一。

第二节 黄连木的生长习性

黄连木生长缓慢, 寿命长, 树龄可达 300 年以上, 天然分布区常见有数百年甚至千年以上古树。河南省嵩县何村乡吕岭村头有一株黄连木树龄约 1900 年, 树高 24 m, 干高不足 1 m, 有 8 个分枝, 最大围径达 8.8 m。黄连木树高速生期为 1~5 年, 胸径速生期在前 15 年, 连年生长量和平均生长量相交于 10 年, 而材积生长一般在 35 年后开始加快至 80 年, 以后连年生长量仍处于上升阶段。黄连木苗期生长可分成出苗期、蹲苗期、速生期、缓慢生长期四个时期, 其中速生期时间短, 仅 30 天左右, 因此加强前期水肥管理, 是培育苗木最重要的时期, 而幼树生长期一般为 180 天左右, 在生长过程中高生长出现 3 次高峰, 以第一次生长高峰时间持续时间长 (3 月中旬~5 月上旬), 生长量大, 与气温、土壤湿度等环境因子关系密切。

黄连木实生苗第一次开花树龄为 12 年以上, 为了提早结实, 需采用嫁接技术。黄连木盛果期为 30~80 年树龄, 甚至更长。在盛果期, 没有受病虫害危害、长势旺盛的黄连木平均株产可达 80 kg, 高产的可达到 150~200 kg。黄连木结实期新梢生长量每年只有一次生长高峰, 即 4 月上旬至 5 月上旬, 之后进入缓慢生长期, 直至 9 月上旬。结果枝的生长高峰期与新梢生长高峰出现的时期相差不大。果实发育早期主要是体积的增长, 速生期很短, 一般只有 15 天左右, 之后主要是种仁充实期, 增长高峰在 8 月上旬至 9 月下旬。这一时期正值黄连木果实种胚膨大及油脂转化期, 是产量增长的决定性时期。

黄连木属雌雄异株植物, 雌雄株开花时间也不相同, 2010 年在河南林州、陕县、浙川三地区对黄连木雌雄株的物候期进行了观察 (表 1-1), 黄连木芽的萌动基本都在 3 月中旬, 花期始于 3 月中下旬, 结束于 4 月底, 果实基本在 9 月上中旬即成熟, 但一般是在 9 月底至 10 月上中旬采摘; 从观察中发现, 黄连木从萌芽期到果实成熟期, 浙川比林州市

要早，陕县居中，但落叶期浙川、陕县相对林州要来得晚一些；黄连木雄株要比雌株在芽的萌动、开花要早3~7天，落叶时间基本相同。当然黄连木的物候期还因生长地区、生态条件不同而有较大差异。

表 1-1 黄连木物候期表

株型	地点	芽萌动期		展叶期		花 期				果 期			落 叶 期		
		膨大	抽枝	开始	盛期	现蕾	始花	盛花	末花	始果	仁膨大	成熟	始变色	全变色	落叶
雄株	林州	3.14	3.26	4.14	4.20	3.18	3.22	4.06	4.12				9.27	11.04	11.15
	陕县	3.12	3.25	4.08	4.21	3.17	3.19	4.07	4.08				9.24	11.06	11.19
	浙川	3.08	3.19	4.07	4.17	3.14	3.17	3.28	4.05				9.18	11.18	11.26
雌株	林州	3.18	4.05	4.16	4.20	3.22	4.05	4.25	4.28	4.26	7.18	9.19	9.28	11.2	11.10
	陕县	3.16	4.02	4.14	4.17	3.19	3.29	4.22	4.29	4.27	7.19	9.16	9.24	11.06	11.19
	浙川	3.10	3.28	4.08	4.16	3.16	3.27	4.21	4.26	4.22	7.11	9.10	9.16	11.18	11.26

物候期划分参考标准：萌芽期为全树25%花芽开始膨大日期；初花期为全树5%花朵开放日期；盛花初期为全树25%花朵开放日期；盛花期为全树75%花朵开放日期；末花期为全树75%以上花瓣凋落日期；落叶期为全树75%的叶片正常脱落日期；果实成熟期为全树75%的果实正常成熟日期。

第三节 黄连木的生态学特性

黄连木为温带树种，性喜光，幼时稍耐阴，喜温暖畏严寒，北方多生于避风向阳之地。海拔600~2000 m均能生长，对土壤质量要求不严，耐干旱瘠薄，微酸性、中性和微碱性的沙质、黏质土均能适应，含5~8 cm砾石较多的山坡、崖边均能良好生长，但以肥沃、排水良好、湿润的山坡地生长快，发育好，结实多。同时，黄连木又对二氧化硫(SO₂)、氯化氢(HCl)及烟尘具有一定的抗性，是城市园林建设的常用树种。

黄连木属深根性树种，主根发达，侧根绵延，抗旱性强。有不少学者对黄连木的耐旱性进行了研究，黄连木叶片水势日变化幅度、蒸腾速率最小，土壤呼吸速率最大，在水分利用效率方面黄连木很高，是干旱地区最适宜的造林树种之一。黄连木萌发力强，砍伐或修枝后能萌发更多新枝，萌芽更新效果好于种子更新，阳坡好于阴坡，中上部幼树明显多于下部，而且更新效果与采伐年限有关，因此在成熟林分中，要注意保留一些健壮实生苗，以便于林分的天然更新。

第二章 黄连木资源调查及分布规律

为研究黄连木在我国的分布规律，于2003~2005年在全国范围内开展了黄连木资源调查工作：如果存在大面积黄连木林分，则设置标准地开展林分调查；如果黄连木主要以单株形式散生于其他树种之间或者以孤立木形式存在，则调查黄连木单株。在此基础上，于2006~2008年从全国调查地点函调补充资料，并结合相关文献，分析确定了黄连木在我国的地理分布范围，开展了黄连木分布区的划分，研究了黄连木在我国的主要分布特征，以期黄连木的开发利用奠定科学依据。

第一节 黄连木资源调查与标准地设置

黄连木资源调查标准地的设置规格为： $(40\sim50)\text{ m}\times(30\sim40)\text{ m}$ ，视具体情况适当调整，保证标准地内包括200株以上的成龄黄连木；平原地区一般设置为矩形，丘陵地区或山地则沿等高线方向设置为带状。

在黄连木全国资源调查中，共设置标准地78处（图2-1）。

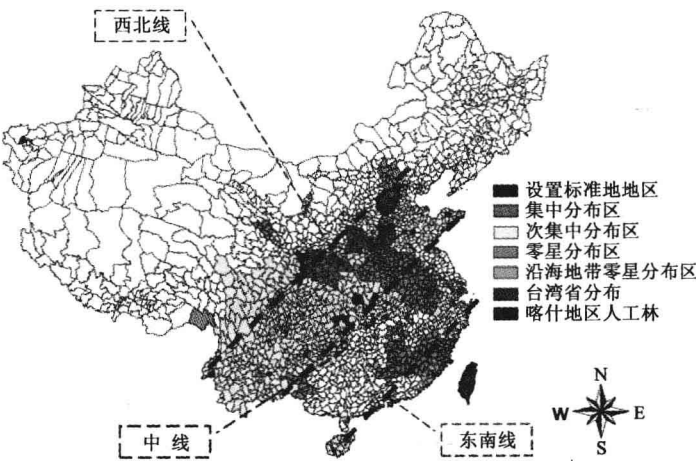


图 2-1 黄连木资源调查及其分布范围与水平分布规律

黄连木资源调查内容如下：

(1) 地理与土壤因素。经度、纬度、海拔高度、地形等地理特征，土壤母岩类型、土壤类型、土壤 pH、土层厚度等土壤特征。经度、纬度的确定：参考调查地点所在县级行政区的经度、纬度的跨度，并考虑调查地点在该县级行政区域内的位置作一定的调整。海拔高度的确定：以在调查地点测定的海拔高度为依据，包括黄连木垂直分布的上限、下限。

(2) 气候因素。以当地气象站提供的多年平均数据为依据，采用热量、水分、光照三大气候因子，热量因子有年平均气温、1月平均气温、7月平均气温、绝对最高气温、绝对最低气温；水分因子主要是年平均降水量；光照因子主要是年平均日照时数。另外采用