

短轮伐期 巨桉人工林 生态系统

Ecosystem Researches
on Eucalypt (*Eucalyptus Grandis*)
Short-term Rotation Plantation

张健 杨万勤 著

Edited by Zhang Jian & Yang Wanqin



四川出版集团 四川科学技术出版社

张 健 杨万勤 著

Edited by Zhang Jian & Yang Wanqin

短轮伐期巨桉人工林 生态系统

Ecosystem Researches
on Eucalypt (*Eucalyptus Grandis*)
Short-term Rotation Plantation

四川出版集团 四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

短轮伐期巨桉人工林生态系统/张健,杨万勤著. - 成都:四川科学技术出版社,2008.4

ISBN 978 - 7 - 5364 - 6390 - 5

I. 短… II. ①张…②杨… III. 轮伐期 - 桉树属 - 人工林 - 生态系统 IV. S792.390.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 042119 号

短轮伐期巨桉人工林生态系统

著 者 张 健 杨万勤
责任编辑 田 霞
封面设计 申 融
版面设计 叶 兵
责任校对 任 泽
责任出版 周红君
出版发行 四川出版集团·四川科学技术出版社
成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031
成品尺寸 260mm × 185mm
印张 22.5 字数 480 千
印 刷 四川省农科院情报所印刷厂
版 次 2008 年 4 月成都第一版
印 次 2008 年 4 月成都第一次印刷
定 价 86.00 元
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6390 - 5

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。

地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734081

邮政编码/610031 网址:www.sckjs.com

作者简介

张 健(1957.8~), 男, 汉族, 重庆人, 中共党员, 教授, 博士生导师, 国务院政府津贴获得者, 国家留学归国有突出贡献的专家, 四川省学术和技术带头人。1983年和1986年在四川农业大学相继获学士和硕士学位。1990~1992年于德国哥廷根大学进修, 1993年破格晋升为副教授, 获国务院特殊津贴, 1996年破格晋升为教授, 现任四川农业大学教授、博士生导师、科研处处长, 全国普通林业高校教学指导委员会委员。过去20年, 主要从事水土保持、森林培育、林木营养的教学和科研工作。主持或主研科技部“十五”国家重大攻关项目、国家西部专项项目、国家“七五”、“八五”和“九五”项目以及其他省部级科研项目20余项, 在国内外重要学术刊物上发表论文60余篇, 出版专著4部, 获国家科技进步奖二等奖1项, 省部级一等奖2项, 二等奖1项, 三等奖6项, 国家教学成果二等奖1项。培养博士、硕士研究生50余名。

杨万勤(1969.9~), 男, 汉族, 四川乐山人, 中共党员, 博士, 教授, 硕士生导师, 中国土壤学会、中国林学会森林土壤专业委员会委员, 《世界科技研究与发展》编委, 四川省学术和技术带头人后备人选, 教育部新世纪优秀人才支持计划入选者。1994年、1997年和2001年相继于四川师范学院、西南师范大学和西南农业大学获学士、硕士和博士学位。2001年6月博士研究生毕业时作为“优秀科研人才”引进到中国科学院成都生物研究所工作, 被聘为基地副研究员; 2004年11月作为“引进人才”到四川农业大学林学院园艺学院工作, 被聘为副教授、硕士生导师, 现为四川农业大学教授。过去5年, 主要从事土壤生态、森林生态、全球变化、森林水文等方面的教学和科研工作, 主持和主研国家自然科学基金项目等国家级和省部级项目10余项。过去5年, 在《Pedosphere》《生态学报》《林业科学》《植物生态学报》《应用生态学报》《生态学杂志》等著名刊物上发表论文60余篇, 编写专著4部, 指导硕士研究生20名。

前言

水土流失加剧、水源涵养功能下降、生物多样性丧失严重、全球气候变化等无一不与天然林破坏有关,然而经济社会发展对木材的需求增加了人类对森林的需求。如何在满足人类生存与发展所需要的木材、防治水土流失和减缓全球气候变化的同时保护天然林和生物多样性?中国自20世纪70年代以来先后实施了长江防护林工程、“三北”防护林工程、天然林保护和退耕还林(草)工程、速生丰产林基地建设等一系列大型生态建设工程,这些大型生态建设工程在减缓全球气候变化、保育生物多样性、防治水土流失、调节区域气候以及为人类提供木材的同时,也带来了诸如人工林树种单一、化感作用、“绿色沙漠”、“抽水机”、“抽肥机”等一系列的人工林生态问题。加强人工林生态系统的科学研究,提高人类经营和管理人工林生态系统的水平,改善人工林生态系统的结构和功能,可持续经营和管理人工林生态系统,已成为当前林业生态工程研究的重点内容,出版一部反映人工林生态系统研究的专著对于指导速生丰产林基地建设和低效人工林改造等具有十分重要的科学价值。

建筑业、造纸业等工业发展对木材的需求、桉树的速生性和生态适应性以及桉树纤维在造纸、人造板、人造纤维工业工艺等方面的优势使桉树工业原料林基地建设受到各国政府、企业和科研人员的青睐和关注。目前,供桉树人工林基地建设的树种主要有巨桉(*Eucalyptus grandis*)、柳桉(*E. saligna*)、蓝桉(*E. globulus*)、赤桉(*E. camaldensis*)、细叶桉(*E. tereticornis*)、尾叶桉(*E. urophylla*)、斑皮桉(*E. maculate*)、斑叶桉(*E. punctata*)、多枝桉(*E. viminalis*)、大叶桉(*E. robusta*)、大桉(*E. delegatensis*)、斜叶桉(*E. oblique*)等10余个种类。巨桉是全世界500多个桉树树种中栽培面积最大的树种,全世界巨桉人工林面积已达200多万 hm^2 ,占全世界桉树人工林面积的50%。其中,巴西100多万 hm^2 ,南非30多万 hm^2 。为了提高巨桉人工林的经营与管理水平,科学家们对桉树人工林进行了大量的定位研究,运用营养诊断技术,建立了系统的施肥模型,使桉树人工林的生产力不断提高。如南非的Zululamd(足鲁兰)和NaTal(纳塔尔)地区,30年生巨桉人工林材积超过 $1000\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

中国于1890年开始引种巨桉,浙江、福建、广东、广西、海南、云南等省均有零星栽植。20世纪80年代在南方一些省市相继引种,近年来已建成有一定规模的短轮伐期工业用材林基地,并取得良好效益。四川于1910年开始引种桉树,之后先后从印度和南非等地引入桉树20多种。20世纪50~60年代分别从国内外引入40余种桉树。20世纪70年代中期,

由于随意用种和种质资源基因面窄等原因导致四川桉树主栽种大叶桉严重退化,在特大寒害中严重受冻。鉴于此,1969年四川林业科学研究院黑龙滩林木良种场成立,引进收集国内桉树优势种,开展桉树品种对比试验,选育出长势好、树干通直、生长量大的一些桉树品种。1986年,在“七五”桉树良种选育课题中,四川省林业科学研究院从“东门桉树栽培项目”获得巨桉种子,在重庆市丰都县和四川省富顺国营林场首次引入巨桉,并与赤桉、蓝桉种源种子开展了品种对比试验。研究表明,巨桉在四川盆地桉树栽培区长势良好,生长量大,无特殊病虫害,在当地均表现出良好的适应性和经济性状,因而被确定为取代多年栽培种大叶桉的优良树种,成为四川盆地迹地更新、造纸、人造板工业原料定向培育林的主要树种之一。“八五”期间,四川开展的巨桉种源试验选择了巨桉自然分布区的三大地理种源群的13个种源和巴西2个种批号,分别在黑龙滩林场、泸州市林科所、宜宾市林科所、合江县林业局、资中县林业局、四川农业大学都江堰分校(原四川省林业学校)林场等进行引种试验。通过4~5年的试验观测,综合多项性状因子选择出性状好、经济价值高,适合四川栽培的几个种,并于1992年开始在盆地推广,现营建示范推广林2900hm²。此外,在主栽种选择的同时开展了巨桉的种源试验,选择出优良种源和单株,培育出巨桉无性系苗。“九五”期间,引进了巨桉全分布区的32个种源400个家系,建立了一定面积的试验林,为四川桉树良种选育奠定了育种资源基础。20世纪90年代初期开展的巨桉区域试验、示范表明,四川盆地自然环境能满足巨桉生长发育生物学特性需要,并具有生长迅速(年树高和胸径生长量分别为2~3m、2~3cm,蓄积年生长18.0~22.5m³·hm⁻²)、树干通直饱满、侧枝小、年产材率高(13.5~18.0m³·hm⁻²)、6~8年可培育成工业纤维材等特点。1992年营造的巨桉第一子代林,目前已成为四川桉树的主要栽培种,分布在川中、川南、川东南、川西南边缘地带,主要栽培区在泸州、宜宾、富顺、荣县、沙湾、沐川、眉山、丹棱、洪雅等地。随着退耕还林工程的深入,巨桉人工林栽培面积将可能进一步扩大,因此如何合理营造和经营巨桉人工林生态系统已成为森林生态学家关注的重大科技问题。

著者及其所在的科研团队在“七五”“八五”“九五”和“十五”科技攻关等国家级和省部级项目的支持下,自20世纪80年代开始从事人工林生态系统研究,先后开展了马尾松、柏木、杉木、柳杉等低效人工林的改造、长防林工程体系建设、退耕还林(草)工程等的科学研究,尤其是“九五”以来,开展了短轮伐期巨桉人工林基地建设及其关键科学技术的研究,从巨桉生物与生态学特性及引种、巨桉人工林生态系统生物多样性维持、巨桉人工林营造技术、巨桉人工林立地类型划分和立地质量维持、巨桉人工林养分管理以及巨桉人工林经营技术等方面对短轮伐期巨桉人工林生态系统进行了深入系统的研究,取得了显著的研究成果。基于这些研究成果,出版了《短轮伐期巨桉人工林生态系统》一书,以期对巨桉工业原料林的大规模发展提供技术支持,丰富森林生态和林业生态工程的研究内容。本专著具有以下几个显著的特点:

(1) 书中90%以上的数据来源于著者和研究团队过去十多年来在巨桉引种、巨桉人工林

培育、巨桉人工林生态系统生物多样性、巨桉人工林立地分类与立地质量维持、巨桉人工林营造技术、巨桉人工林生态系统养分循环及管理、巨桉人工林经营技术等方面所取得的研究成果,是指导相似区域的短轮伐期巨桉人工林原料林基地建设的重要依据。

(2) 本书体现了基础理论与应用技术相结合的学术思想。将生物(林下植物、土壤动物和微生物)多样性、生态系统养分循环、化感作用、立地分类等基础理论与巨桉人工林生态系统的营造和经营等应用技术相结合,强调基础理论在改善人工林生态系统的结构和功能、提高人工林生态系统生产力、保育生物多样性和可持续经营等方面的科技支撑作用。

(3) 本书体现了“大面积搞生态,小面积搞生产”的学术理念,强调巨桉人工林生态系统的可持续经营是通过小面积的速生丰产工业原料林基地建设,为人类提供更多更好的木材工业原料,缓减人类对天然林的木材需求,间接保育天然林的生态系统功能,同时通过合理的人工林经营与管理,在人工林基地建设的过程中保育生物多样性,防治水土流失,增强人工林在减缓全球气候变化中的作用。

(4) 本书反映了人工林生态系统的可持续经营与管理必须向集约化和精细化方向发展的趋势。长期以来,森林生态研究的重点是天然林或天然次生林,而人工林生态系统的研究明显不足,这就导致了粗放的森林生态系统经营与管理方式,这不利于现代化林业的发展。通过对人工林种源特征和引种栽培、人工林生态系统生物多样性维持、人工林立地分类与立地质量维持、人工林营造技术、人工林生态系统养分管理及经营技术等进行深入系统的研究,可为集约化和精细化的人工林生态系统经营与管理提供十分重要的科技支撑。

本书的出版得到了“十一五”国家科技支撑计划课题“长江中上游西南山区退化生态系统综合整治技术与模式(No. 2006BAC01A11)”、“十五”国家科技攻关课题“四川盆周低山丘陵区水土流失综合治理技术与示范(No. 2001BA606-06)”、四川省“九五”重点科技攻关项目“四川巨桉短周期工业原料林经营技术体系研究”等项目的资助,特此致谢!

由于著者水平有限,书中难免存在观点和认识上的不足和不妥之处,恳请专家和读者批评指正!

张 健

2008年2月

本书涉及的研究内容及本书的出版得到如下课题资助：

- 1. “十一五”国家科技支撑计划课题：**长江中上游西南山区退化生态系统综合整治技术与模式(No. 2006BAC01A11)
- 2. “十五”国家科技攻关项目：**四川盆周低山丘陵区水土流失综合治理技术与示范(No. 2001BA606-06)
- 3. 四川省“九五”重点科技攻关项目：**四川巨桉短周期工业原料林经营技术体系研究
- 4. 四川省“十一五”重点应用基础研究项目：**四川省典型生态系统碳源/汇功能及减排增汇机制研究(No. 2006J13-007)
- 5. 四川省“十一五”重点科技攻关项目：**岷江上游典型生态系统服务功能价值评估

目 录

前 言	1
第 1 章 巨桉的特性及引种	1
1.1 巨桉的生物学特性	1
1.2 巨桉的生态学特性	2
1.3 巨桉的栽培学特性	2
1.4 巨桉的经济价值	2
1.5 巨桉的种源选择	3
1.6 四川巨桉引种栽培适生区域区划	6
第 2 章 巨桉人工林生态系统生物多样性	9
2.1 研究区域及样地	9
2.2 植物多样性	10
2.3 土壤动物多样性	23
2.4 土壤微生物多样性	35
2.5 巨桉根际土壤微生物	48
2.6 根际土壤酶活性	50
2.7 巨桉化感作用	52
第 3 章 巨桉立地类型划分及立地质量	94
3.1 立地类型划分	95
3.2 巨桉人工林立地分类	97
3.3 地位级表编制	107
3.4 立地指数表编制	111
第 4 章 巨桉人工林营造技术	117
4.1 苗木培育	117
4.2 造林技术	127
4.3 抚育管理	132

第5章 巨桉人工林养分管理	136
5.1 巨桉人工林主要养分元素积累与分配	136
5.2 养分归还、转移及分解	143
5.3 养分诊断指标体系	173
5.4 施肥效应	229
5.5 菌根研究	239
第6章 巨桉人工林经营技术	257
6.1 巨桉人工林生长规律	257
6.2 巨桉人工林生物量及生产力	275
6.3 巨桉人工林定向培育及工艺	307
附 录	334
附录 I 桉树菌根真菌检索系统	334
附录 II 菌根真菌制剂生产技术要点	336
附录 III 桉树菌根化育苗技术要点	338
主要参考文献	339

Contents

Preface 1

Chapter 1 Features of *Eucalyptus grandis* and its introduction 1

1.1 Biological characteristics 1

1.2 Ecological characteristics 2

1.3 Cultivation characteristics 2

1.4 Economic value 2

1.5 Provenance selection 3

1.6 Zonation of adaptation area for introduced *Eucalyptus grandis* in Sichuan 6

Chapter 2 Biodiversity in *Eucalyptus grandis* forest ecosystem 9

2.1 Study region and plots 9

2.2 Plant species diversity 10

2.3 Soil animal diversity 23

2.4 Soil microbial diversity 35

2.5 Rhizospheric soil microbial diversity 48

2.6 Rhizospheric soil enzymatic activity 50

2.7 Allelopathy of *Eucalyptus grandis* 52

Chapter 3 Site classification and site quality of *Eucalyptus grandis* plantation 94

3.1 Site classification 95

3.2 Site classification of *Eucalyptus grandis* plantation 97

3.3 Establishment of site class table 107

3.4 Establishment of site-quality index 111

Chapter 4 Afforestation technology on *Eucalyptus grandis* plantation 117

4.1 Seedling cultivation 117

4.2	Silvicultural technology	127
4.3	Nurturing and management technology	132
Chapter 5	Nutrient management on <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	136
5.1	Accumulation and allocation main nutrient elements in <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	136
5.2	Nutrient returns, transfer and decomposition	143
5.3	Indice of nutrient diagnosis	173
5.4	Fertilization effect	229
5.5	Mycorrhizal research	239
Chapter 6	Management technology of <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	257
6.1	Growth model of <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	257
6.2	Biomass and productivity of <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	275
6.3	Cultural operation and technology of <i>Eucalyptus grandis</i> plantation	307
Appdix		334
Appendix I	Index system of eucalypt mycorrhiza fungus	334
Appendix II	Production techniques of mycorrhiza preparations	336
Appendix III	Technique for nursing seedling with mycorrhiza fungi	338
References		339

第 1 章

巨桉的特性及引种

巨桉(*Eucalyptus grandis*)属桃金娘科(*Myrtaceae*),桉属(*Eucalyptus*),双蒴盖亚属(*Subgenus symphy Myrtus*),横脉组(*Transversara*),柳桉系(*Saligance*),是优良速生用材树种。成熟巨桉林的树高通常为 45~55m,胸径 1.2~2.0 m。在澳大利亚天然林中尚可见到树高 75m、胸径 3.0m 以上的大树,南非栽培 75 年的人工林,最高株达 85m。

1.1 巨桉的生物学特性

巨桉属于强阳性树种,顶端优势强,速生,造林后 10 年内年均高生长可达 2~3 m,树冠、侧枝没有交错,干形通直、圆满,自然整枝良好,枝下高达全树的 2/3 以上,不受杂草竞争影响,具有较强的萌蘖能力,一般 10 龄以下树木伐桩萌芽力在 95%以上,可更新二代,萌条扦插生根率较高,便于无性系选择和繁殖。

原产地的巨桉一般在树龄 3~4 年时发育成熟并开花结籽,其花期较长,盛花期出现在 8 月中旬至 10 月上旬,翌年 12 月果实成熟。其年生长节律与当地气候变化节律同步。当气温上升到 12℃时,树木开始迅速生长,速生期出现在降水丰富、气温适中的 3~11 月,降水减少、气温降低的 12 月至翌年 2 月生长速度减慢,生长高峰出现的时期与当地降水量和气温有密切关系。四川于 1986 年引入的巨桉生长发育正常,一般 3 年试花,4 年开花株数达 40%,4~5 年即可获得种子,在立地条件较好的地方 5 年开始开花。栽培于云贵高原高海拔的巨桉,栽培当年或第 2 年开始开花结籽,低海拔地区生长的巨桉一般在 3~4 年就开花结籽。

巨桉是一个自交和近交衰退比较严重的树种。据研究,巨桉的自交率约为 98%,控制自交和杂交的每个蒴果的种子数量分别为 4.6 粒和 32.2 粒,自由授粉条件下每个蒴果的种子数量为 8.3 粒。11~18 个月生的巨桉自交子代与异交子代相比,前者的苗高比后者普遍低 8%~40%,前者的干形一般比较弯曲,而且约有 30%的苗木生长异常,因此,必须进行遗传改良。

1.2 巨桉的生态学特性

巨桉的天然分布区为澳大利亚东海岸(16~33° S), 主要分布区为 26~32° S 的区域, 其从海岸线向内陆延伸的界线小于 100 km。总体上, 其主要分布在昆士兰州南部和新南威尔士州北部(26~33° S)。此外, 昆士兰州的中部和北部地区有两个间断分布的地理种群。从海拔高度来看, 其垂直分布范围一般从海平面到 300 m(某些地区可达海拔 600 m), 但在分布区北部的昆士兰亚瑟高原可达海拔 900 m, 北部刘易斯山最高可达 1260 m, 而最适生长高度在 160 m。自然分布区的气候温暖湿润, 中心分布区的最热月平均温度为 24~30℃, 最冷月平均温度为 3~8℃, 年平均温度为 18~20℃。由于海滨地区一般无霜(在离沿海较远的地区偶有轻霜), 因而是其最适宜的分布区域。

巨桉在年均温 $\geq 14^{\circ}\text{C}$ 的地区生长良好, 能忍受正常极端低温 -6°C , 不耐严寒。观测表明, 在灾害性低温条件下, 巨桉受冻极限温度为 -4°C , 在常年低温条件下无冻害现象。巨桉最适宜分布区的年平均降水量为 1000~1750 mm(某些地区为 1000~1880 mm), 雨量集中在夏季, 为明显夏雨型, 不耐沼泽条件, 耐短期水淹。巨桉对土壤要求不严, 喜生长在玄武岩发育而成的土层深厚、排水良好的冲积土、壤土和沙壤土或火山土以及微酸性的冲积黄壤、红壤、紫色土、壤土、轻黏壤土。我国巨桉造林品种的适宜分布区为 26~32° N, 常见于海拔 300 m 以下的平缓山坡和肥沃的雨林边缘, 形成高受光林群系。最热月平均温度为 29~32℃, 最冷月平均温度为 5~6℃, 年降水量 1000~1750 mm, 属于明显的夏雨型气候。

1.3 巨桉的栽培学特性

巨桉人工林经营一般采用一次造林、萌生二代的方式。生长在适宜区域的巨桉人工林的年生长量可达 $15\sim 50\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 4 年生鲜重可达 $91.28\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 干重可达 $42.38\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。轮伐期因经营目的不同而有所差异, 纸浆林一般为 8~12 年, 大径材为 16~28 年, 小径材为 4 年。巴西等国家用于制造硫酸盐浆和矿柱材的巨桉人工林的轮伐期为 6~10 年, 一般不再进行疏伐。巨桉短轮伐期人工林因其树冠密集, 所以不适合择伐和隔年补植。

1.4 巨桉的经济价值

巨桉作为一种重要的速生丰产树种, 其人工林除了在防治水土流失、吸收大气 CO_2 和调节区域气候方面的生态价值以外, 还具有十分重要的经济价值。

巨桉是良好的木材。巨桉是高大乔木，干形直，分枝高，木材桃红色，结构粗，纹理直，易开裂。巨桉成熟木材的容重为 $805\sim 900\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，顺纹抗压强度为 $62.2\sim 69.0\text{ MPa}$ ，剪切强度为 $15.5\sim 17.2\text{ MPa}$ ，是良好的造纸材和中密度纤维板材，可用于建筑、枕木、矿柱、桥梁、桩木、家具、火柴、旋制品、农具、纺织器具、体育运动器具、乐器、车轮、船舶、电杆、围篱以及薪材等。巨桉的木材埋在地下能耐腐，适于修筑码头和桥梁，也适于作矿柱和桩木，还可以代替针叶材使用。随着木材防腐技术的发展，巨桉在建筑、工程、农业及园林等方面的耐用性大为提高。据野外测定，经过防腐处理的巨桉木材，40年后仍能保持良好的状态。

巨桉是优良的纸浆原料。澳大利亚在20世纪初开始用巨桉阔叶材造纸，第一个商品性的造纸厂就建在塔斯马尼亚州的波纳市。1938年开始制造书写纸和新闻纸，1957年纸浆产量约为 $3.4\times 10^4\text{ t}$ 。其后在维多利亚州的玛利伐尔市建立纸厂，生产包装纸和硬板纸，1960年产量达 $8.7\times 10^4\text{ t}$ ，在塔斯马尼亚的波易市新闻纸有限公司，每年生产新闻纸 $10.0\times 10^4\text{ t}$ 。巨桉的纤维平均长度为 $0.75\sim 1.30\text{ mm}$ ，它的色泽、密度和抽出物的比率都适于制浆。澳大利亚50%以上的新闻纸是用桉材制造的，还有些大型纸厂用于生产牛皮纸和打印纸，但纸浆生产工艺与世界其他国家相比，存在着两个重要的值得注意的差别，澳大利亚多数纸浆用材由巨桉成熟林与过熟林林分取得，而在其他国家都用巨桉幼林或未成熟的人工林作造纸原料。此外，澳大利亚的桉树天然林一般生长速度比其他的人工林慢得多。就化学浆的品质而言，利用生长迅速的木材最佳，由未成熟木材生产的纸浆制造的商品纸张在断裂和张力方面均具有很高的强度。中国的8~10年生巨桉木材密度为 $480\sim 520\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，纤维含水率为13.5%，纤维素含量为49.55%~50.00%，纤维长为 $0.910\sim 0.944\text{ mm}$ ，宽为 $17.2\sim 18\text{ }\mu\text{m}$ ，长宽比为49.41~54.73，是良好的纸浆原料。

巨桉还是良好的短径材。巨桉是短轮伐期的速生树种，一般3~5年可生长10m高，10cm粗，因而巨桉适合做短径材的培育。

此外，巨桉亦可提炼单宁、精油、芦丁等轻化工原料。由于巨桉的单宁、精油、芦丁等含量较低，生产工艺成本较高，因而有关产品的开发利用较少，但在其他树种资源较短缺的情况下，仍可暂时用来缓解需求压力。

1.5 巨桉的种源选择

种源选择是为某一造林地区或立地类型选出最佳种源(供种区)的过程，是引种驯化的基础。种源试验是把自然分布在各地地理区的种源样本(种子或苗木)集中于一个或多个地点，对其生长、形态以及生理特性等所进行的对比试验。种源选择和试验能揭示种群的变异模式，确定种源产地在一定地区(生境)中的适应能力和生产力，确定种苗的调拨区，是研究

林木群体遗传变异的依据。林木种源试验是充分利用现有林木基因资源的主要选种内容之一,不仅是改良造林材料的手段,而且也是其他育种工作不可缺少的基础。通过种源选择可以提高林木生长量,提高林木的适应性和抗逆性,改进干形和木材品质。

种源试验根据生长阶段的不同分为苗期试验和造林试验,根据环境条件和需要的不同又分为单点和多点试验。种源试验研究的具体内容包括林木生长量、适应性、抗性、种子特性和品质、种子发芽与环境的效应、苗期各种形态特征、幼林期各种形态特征、物候、成活率及保存率、木材性质、生理生化指标等,在实际工作中,应根据不同树种和试验目的选择试验研究的重点。

我国 20 世纪 80 年代初开始进行桉树种源选择,据不完全统计,先后进行了赤桉(*E. camaldoensis*)、巨桉(*E. grandis*)、尾叶桉(*E. urophylla*)、细叶桉(*E. tereticornis*)、大叶桉(*E. robusta*)、斜叶桉(*E. oblique*)、蓝桉(*E. globulus*)、多枝桉(*E. viminalis*)、双肋桉(*E. bicostata*)、窿缘桉(*E. insulana*)、柠檬桉(*E. citriodora*)、刚果 12 号桉(*Eucalyptus* 12ABL)、柳桉(*E. saligna*)、邓恩桉(*E. dunnii*)等 14 个树种的种源选择。参试种源 483 个,经过种源试验筛选出优良种源 116 个。

我国南方桉树重点栽培省(自治区),在开展桉树引种的基础上,对主要栽培种进行种源试验并通过了种源试验,为试验地区和与之相似的地区选择出一批优良种源及产地,同时研究种源群体的变异规律,为我国桉树生产提供了丰富的优良造林材料。

1.5.1 中国巨桉种源选择

在种源研究方面,澳大利亚和美国最早进行试验和育种改良。国际林联组织了 15 个国家协作的巨桉种源试验,大部分试验发现种间差异不显著,指出科夫斯港中心分布区种源表现最好,而另一些试验并未得出这一结论。南非大面积种源试验表明,树龄 3~4 年生时,总的立木材积在不同种源间差异明显,但树木平均高、平均总立木材积和树形并不因种植地与种源地的纬度或海拔高度表现出明显的变化规律。

我国先后进行了 24 个巨桉种源试验,筛选出优良种源 14 个。中国林业科学研究院林业研究所在福建漳州市开展巨桉种源试验,筛选出澳大利亚昆士兰 14393 号优良种源,其 4.5 年的单株材积 0.5487m^3 ,比最差种源大 63%。中国林业科学研究院热带林业研究所在海南琼海进行了巨桉种源试验,筛选出澳大利亚昆士兰 14420 号、14210 号、13431 号优良种源,这些品种的 5 年生平均树高达 13.2m,胸径达 10.8cm,蓄积量达 $81.80\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,优良种源蓄积量是最差种源的 304%。在福建长泰县进行的同一试验筛选出优良种源澳大利亚昆士兰 14509 号、14393 号。广西东门林场的巨桉种源试验筛选出澳大利亚昆士兰 1389 号、136 号等 9 个优良种源,其 7.3 年生的平均单株蓄积量达 $78.36\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,比平均值大 21.5%。浙江乐清桉树良种繁育站进行的巨桉种源试验筛选出澳大利亚昆士兰 0017 号、14849 号、

15120 号(新南威尔士)优良种源,蓄积量为最差种源的 156%。福建林木种苗总站在永安东坡林场进行巨桉种源试验,筛选出澳大利亚 18595 号、18592 号等 6 个优良种源,以 18592 号种源为例,其 4.5 年生的树高达 10.28m,胸径达 8.39cm,其材积是对照巨桉的 154%。江西赣州地区林业科学研究所进行的巨桉种源试验筛选出澳大利亚新南威尔士 18146 号优良种源,其材积比平均值大 42.2%。云南省林业科学研究院在弥勒进行的巨桉种源试验,筛选出澳大利亚 14012 号优良种源。四川省林业科学研究院在富顺及丰都进行巨桉种源试验,筛选出澳大利亚昆士兰 14431 号、15219 号以及新南威尔士 17709 号、18146 号优良种源,其 4 年生的树高达 11.5~12.1m,胸径达 9.9~10.6cm,蓄积量比总体平均数大 15.66%。在四川乐山进行的种源试验筛选出了澳大利亚昆士兰 18705 号优良种源,蓄积量是最差种源的 216%。

1.5.2 四川巨桉种源选择

20 世纪 80 年代初期,四川林科院在该院黑龙滩林场引种了全国桉树主栽种和澳大利亚新种 32 个,建立了引种对比试验林 1.1 hm^2 。20 世纪 80 年代中期又引进栽培了世界应用最为广泛的优势种 13 个(50 余个种批号),建立了引种对比林 1.7 hm^2 ,较为系统地研究了各个树种的生长习性和生态适应性,并在宜宾、泸州、合江、资中、都江堰等地设置了引种观测试验点。通过 6~8 年观测和试验,初步筛选出适合四川栽培、树干通直和生长量大的桉树树种 7 种(直干桉、巨桉、尾叶桉、柳桉、班叶桉、耐寒的邓恩桉、耐干旱的赤桉)。

四川省的巨桉人工林发展是建立在桉树主栽种选择的基础上的,所选用的巨桉种多数来源于云南省的引种区。胡天宇等(1999)选择了巨桉自然分布区两大地理种群种源进行种源试验,该种源纬度分布大致为 16°S 、 26°S 、 30°S ,分别对应于低、中、高纬度。分布的海拔为 100~500 m、600~900 m、1000~1250 m,对应于低、中、高海拔。来源于中纬度、低海拔地区(26°S)的昆士兰南部种源总体上表现了良好的遗传性,造林保存率高,林相整齐,生长量大,长势优良,树干通直,变异幅度小,是最适合四川栽培的种群。低纬度(16°S)的种群种源变异的幅度大,高海拔的山地种源良好,抗寒能力强,干形好,而低海拔种源的抗性差,个体差异大,平均生长量小,林相不整齐。来源于科夫斯港(30°S)的种源,造林后前两年生长量比优势种源小,第三、第四年连年生长量大,4 年生时与昆士兰南部种源(26°S)生长量无显著差异,且抗寒性较强,树干直,林相整齐。通过试验对比分析,各种源性状差异明显,种源间的遗传变异不规律,与王豁然在我国长秦、琼海的试验和美国、澳大利亚试验结论一致。由此筛选出优良种源 4 个,即分布在 26°S 附近的 14431 号、15219 号, 17°S 的山地种源 17709 号以及 30°S 的科夫斯港种源 18146 号。4 个种源平均树高 11.73m,胸径 10.34cm,单株材积 0.049 m^3 ,比其他种源的平均生长量分别大 12.37%、6.3%、25.75%,比对照种大叶桉的单株材积大 81.0%。其中优良种源 17709 号、15219