

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.01.004

大花序桉国内遗传育种现状与研究展望

黄振¹, 张俊², 陈炙¹, 王丽华¹, 郭洪英^{1*}

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 乐至县林业局, 四川 乐至 641399)

摘要:大花序桉是优良的珍稀用材树种,其木材品质与黄花梨相当。通过论述大花序桉在我国南方各省的遗传育种进程,包括引种试验、耐寒性研究、木材材性等方面的研究进展,指出了当前阻碍大花序桉发展的瓶颈,并提出了今后大花序桉遗传育种的发展方向。

关键词:大花序桉;遗传育种;引种;耐寒研究;木材材性

中图分类号:S792.39

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)01-0017-05

Development and Prospects of Heredity and Breeding Researches on *Eucalyptus cloeziana*

HUANG Zhen¹ ZHANG Jun² CHEN Zhi¹ WANG Li-hua¹ GUO Hong-ying¹

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Lezhi Forestry Bureau, Lezhi 641399, Sichuan, China)

Abstract: *Eucalyptus cloeziana* is an excellent rare and endangered species, and its lumber quality of *E. cloeziana* is similar to that of rose wood. This paper deals with the progress of heredity and breeding of *E. s. cloeziana*, including introduction test, cold resistance and wood properties research. The bottleneck of the current development of *E. cloeziana* was pointed out, and the development direction of genetic breeding was given in the end.

Key words: *Eucalyptus cloeziana*, Heredity and breeding, Introduction test, Cold resistance research, Wood property

大花序桉(*Eucalyptus cloeziana* F. Muell)天然分布于澳大利亚昆士兰州,故又名昆士兰桉,为桉树属昆士兰桉亚属(*Idiogenes*)的高大乔木,最高可达55 m^[1],天然分布于昆士兰东南部向北延伸到汤斯维尔后,出现间隔,然后向北至库克敦西部热带地区,与巨桉分布区重叠度较高。垂直分布于海拔40 m~1 000 m的地区,分布区年降水量550 mm~2 300 mm。

大花序桉具有干形通直、尖削度低、木材颜色和材质与老挝、缅甸、越南花梨类似的特点,是制作实木家具、实木地板的优良材料,因此,大花序桉的木

材价值远高于短轮伐期工业原料林桉树,被称为桉树中的“红木”,享有“澳洲大花梨”的美誉。已被列入珍贵树种之列,具有广阔的发展前景。

桉树的开发利用以巨桉、尾巨桉等速生型桉树的培育和无性系化为主,由于大花序桉的生长速度稍慢于其他桉树,国内研究以引种试验和资源保存为主^[2~5],随着引种大花序桉的生长,各地陆续开展了种间对比试验^[6]、生长适用性^[7,8]、材性特性^[9~15]以及无性繁殖技术^[16,17]等进一步的研究和开发,对大花序桉在国内的育种研究做一综述,包括引种试验、种源和家系试验,木材材性特征及其与生长性状

收稿日期:2017-10-11

基金项目:桉树良种壮苗繁育技术(2016YFD0600501)

作者简介:黄振(1984-),男,博士,助理研究员,主要从事林木遗传育种研究,邮箱:h7210@126.com。

* 通讯作者:郭洪英(1973-),女,博士,研究员,研究方向:林木遗传育种。

的关联度等,为大花序桉的下一步研究提供参考。

1 大花序桉引种研究

引种是从外地或外国引入有价值的植物进行栽植,经过一个轮伐期的生长观察,测算种源、家系和个体的表现,选择适宜于本地生境材料的过程。引种是外来物种在本地进行良种审认定和推广前所必需的育种程序。林木生长周期长的特点导致林木引种试验具有长期性,这是林木育种与农作物育种、花卉育种最大的差别。

国内对大花序桉的研究均始于20世纪70年代,即与其他桉树的引种研究同时进行,而系统的引种研究则从20世纪80年代开始,广西、广东、海南、福建、湖南和四川等南方省份均进行了引种试验。

广西对大花序桉的研究起步较晚但引种研究最为系统深入,囊括引种试验、种源试验、家系试验、遗传参数估算和种植经济效益评估等。

20世纪80年代,广西的东门林场、沙塘林场、象州茶花山林场均进行了种源试验,其中东门林场1983年引种了3个种源的大花序桉进行了初步试验,1989年引种了11个种源,27 a生时试验林保存率26.3%,林分平均胸径30.9 cm,平均树高29.3 m,平均单株材积 1.10 m^3 ,平均蓄积 $379.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。最优单株胸径59.5 cm,树高40 m,材积 5.56 m^3 ,最终筛选出了4个生长材性兼优,可用于培育中大径材的种源。

随着林分生长和数据积累,计算大花序桉引种林分的遗传参数,研究大花序桉种源生长的遗传规律成为可能,王建忠等^[9]以25 a生时胸径、树高、材积、树干通直度和树干圆满度5个性状为指标,构建大花序桉种源及单株选择指数方程,结果表明,各个性状在种源间呈极显著差异,家系遗传力 $0.634 \sim 0.895$,单株遗传力 $0.136 \sim 0.342$ 。研究还发现,大花序桉生长性状与形质性状之间存在弱的相关,两类性状相互独立遗传。阚荣飞^[18]对11个种源的18 a生大花序桉材性的研究也获得了相同的结论。

叶露等^[19]在广西玉林市和钦州市分别开展了19个种源共计119个家系的大花序桉家系试验,2.5 a生的生长量分析发现,两个试验点大花序桉的树高、胸径、单株材积等生长性状在种源间和家系间均存在显著差异;种源的树高生长与地点有明显的交互作用,而胸径、单株材积与地点的交互作用则不显著;家系的树高、胸径、单株材积生长与地点的交

互作用显著。种源的生长表现与原产地地理位置无显著相关关系。

韦国洁^[8]则从大花序桉密度调控与经济效益之间的关系进行了研究,结果发现,大花序桉从第2年开始,树高年均生长量为3 m,7 a生时进行间伐,保留 $600 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均高度为22.4 m,平均胸径20.5 cm,材积为 $141.9 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,12 a主伐时,平均高度28 m,胸径30 cm,材积 $322.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,经济效益十分可观。

四川对桉树的研究始于1973年,通过引种幼龄期的10个桉树种(白桉、铁木桉、棒头桉、斑叶桉、圆锥花桉等)进行了栽培试验,1980年至1990年经过国家林业局“桉树引种选育”攻关课题组、中澳合作东门项目等途径引入和收集了桉树40多个种,栽培在四川盆地中部仁寿黑龙滩林木良种试验场,其中大花序桉于1982年引入,经过多年对比观察,四川优先发展了赤桉、巨桉、尾巨桉和直杆蓝桉,对大花序桉一直停留在资源保存阶段^[3]。

陈添基^[20]在广东龙川县进行了大花序桉等4种桉树引种试验,发现大花序桉2 a生长明显低于其他桉树。赵汝玉等^[21]在广东江门调查了4.5 a生大花序桉种源试验林的生长表现,研究发现,除1.5 a生时种源间树高性状外,其他性状的年度生长指标在种源间并无明显差异,形质性状中,干形在种源间存在显著差异,分枝性状差异不显著。不同种源生长性状的差异在1.5 a生时最大,随着年份的增加差异在逐渐缩小。因此,利用干形指标结合生长表现进行选择,有望获得生长迅速、干形优良的种源。

黄世能等^[22]对海南3 a生大花序桉林进行了伐桩处理,伐桩高度10 cm~15 cm,25 d后萌芽率96.2%,伐桩存活率28%,萌条3 a后成林,存活后的大花序桉平均胸径(5.56 cm)和平均树高(6.38 m)与其他桉树相比差异不显著,但林地的生物量显著低于其他桉树林地,因此,大花序桉林不适宜以矮林作业方式经营。

大花序桉引种试验结果均表明了大花序桉是适宜于我国南方地区栽植的桉树类型之一,尽管大花序桉是昆士兰桉亚属的唯一一种,但各地的种源引种试验均发现种源间存在显著的差异,说明大花序桉具有较高的遗传多样性,各地采用从大花序桉种源试验林分中选择优良种源或家系进行良种审认定和推广是最为稳妥的育种策略,加之对大花序桉各性状之间关联分析的结果均发现大花序桉生长性状和

材性性状之间关联度不高,表明对某一类性状的改良,不会对另一类性状造成大的影响,因此,对生长量选择的同时可兼顾形质指标的选择,以这 2 类性状作为筛选指标,可获得生长快速,干形良好,且具较高遗传增益的优良种源。所以,大花序桉在珍稀大径级材领域具有广阔的发展前景。

2 大花序桉耐寒性研究

中国和澳大利亚同属中纬度国家,因此气候类型有很多相似之处,均为大陆性气候,但中国的大陆性气候特征更为明显,气温年变化大,冬季寒冷,夏季炎热,是全球同纬度冬季最冷而夏季最热的国家。因此,有必要对生活的气候相对温和地区的大花序桉引种后的耐寒能力进行研究,特别是随桉树栽培区向北推移,开展桉树耐寒研究,能判断大花序桉对中国气候环境的适应性,降低大花序桉轮伐期内栽培风险^[23,24]。

华南地区^[25~33]、西南地区^[3,33~36]、华中地区^[35,37~44]均有研究桉树耐寒能力的报道,其中巨桉^[30]、尾巨桉^[45]、赤桉^[46]由于引种数量和种植区域最为丰富,耐寒性研究最为深入。可以发现,桉树耐寒研究经历了常规的表型选择到多指标选择的转变,在结合电导率、可溶性总糖、膜脂不饱和度和丙二醛含量等生理生化指标的测定^[32,47~50]以及 RNA-seq^[51]技术从转录组层面为耐寒桉树的耐寒能力提供多层次的数据支撑^[52]。

大量桉树种源引种试验发现,同树种不同的种源其耐寒性有很大的差异,对于引自原产地的桉树,同一树种来自高纬度、高海拔地区的种源抗寒性强,反之较差。地理分布上,来自澳大利亚南部地区的种源抗寒性较强,北部地区的种源抗寒性较差^[31]。

与其他桉树相比,大花序桉耐寒性的研究相对较少且缺乏系统性。尚未有不同种源大花序桉耐寒性比较的报道,广东龙川县引种的大花序桉在造林 1 a 后,83% 的大花序桉幼苗在寒潮中被冻死^[2],广西茶花山林场 5 a 生大花序桉能耐受 -4°C 的低温冻害,说明大花序桉幼龄林在桂中地区具有较强的耐寒性^[8]。

陈云峰等^[11]则结合生长性状和材性性状对 10 a 生的多种桉树进行了主成分分析,综合考虑了林木生长、立木材性方面,认为巨桉、大花序桉和本沁桉适合于冷寒地区发展。但该研究没有考察温度变化对桉树的影响。

综合以上研究发现,大花序桉耐寒能力随树龄的增加而增强,但弱于邓恩桉、巨桉等桉树^[7],从现有试验林分中能挑选出抗寒性好的大花序桉种源和单株,在进行无性系开发后能将大花序桉的种植区域适度北移,但北移的风险极大,特别是对大花序桉幼苗和幼龄林,笔者认为,大花序桉的种植区域以不越过当前巨桉种植范围为宜。

3 大花序桉材性研究

大花序桉作为硬木树种,材性是其不可缺少的研究内容,我国学者从种源、单株的水平对不同材性指标的大小及其相关性进行了研究。

木材密度是决定木材质量的关键因子,是材性研究首先考虑的指标。Bootle 等^[53]于 1998 年测得大花序桉成熟材的气干密度约为 $1\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,仅次于柠檬桉。阚荣飞^[18]对 11 个种源的 18 a 生大花序桉的基本密度进行了研究发现,种源间木材基本密度为 $0.617\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}\sim 0.753\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,变异系数为 5.22%,10 个种源内基本密度变异系数均小于 10%,说明各种源木材基本密度在株间的变异不大,该结论与杨中宁对 9 个种源大花序桉基本密度的研究一致^[54]。种源间各高度木材基本密度的变异规律不同,4 个种源的木材基本密度沿树干向上基本密度逐渐增大,4 个种源的木材密度沿树干向上呈先增后减的变化,最后 3 个种源的基本密度沿树干向上先减后增。翟新翠^[55]研究了同一林分木材密度径向变异规律,发现密度自髓心到树皮以曲线形式降低,在半径处最大,树皮处最小。阚荣飞还研究了大花序桉弦向全干缩率、体积全干缩率小于巨桉、粗皮桉、尾巨桉,力学性质除低于柠檬桉之外,均高于其他桉树,是很好的锯材树种。

其次,木材纤维参数是衡量材性性状的重要指标。周维等^[10]以 6 a 生 9 个种源的大花序桉为材料,测量了大花序桉木材的纤维长度、纤维宽度、纤维腔径,并比较了木材纤维特性。结果表明,种源间纤维长度、宽度、长宽比存在显著差异;种源的纤维形态(宽度除外)与树高、胸径生长性状相关关系不显著,据此可对各性状进行独立选择。项东云等^[10]以广西 18 a 生的 11 个大花序桉种源木材为研究对象,对它们的木材基本密度、弦向干缩率、径向干缩率等物理性质进行了测定分析,发现不同种源间、相同种源在不同树干高度间所测定的物理性质指标均存在显著的差异。3 个种源的最大基本密度分别

为:0.7530 g·cm⁻³、0.7386 g·cm⁻³、0.7274 g·cm⁻³。参试的11个种源中有8个种源属于差异干缩小的类型(<1.5),其余3个种源属于差异干缩中等类型;种源的树高、胸径生长性状与木材基本密度、差异干缩、体积全干缩率物理性状相关关系不密切,据此分别对树高、胸径等生长性状和木材基本密度、干缩率等木材物理性状进行独立选择可望获得较好的生长和物理性状改良效果。

对大花序桉木材性质的研究,除木材密度、纤维特性、木材干缩性等与木材性能紧密相关的指标外,对力学性质也有研究,如顺纹抗压强度和生长应力。顺纹抗压强度是指在短时间内沿木材顺纹方向缓缓施加压缩荷载时,木材所能承受的最大能力,它是木材作为结构和建筑材料中至关重要的力学性质。

陈建波等^[12]以18a生大花序桉种源木材为研究对象,分析了种源间、单株间、树干高度上的木材顺纹抗压强度的变异情况。结果表明,大花序桉部分种源间、株间及高度间木材顺纹抗压强度均有显著差异,顺纹抗压强度最大值为83.4 MPa,最小值为69.8 MPa。大花序桉部分种源间木材顺纹抗压强度有极显著差异,同种源部分单株间的木材顺纹抗压强度差异显著,因此对大花序桉进行种源选择及对部分种源进行单株选择均可获得较好的改良效果。研究同时发现,大花序桉顺纹抗压强度与生长性状是相互独立的性状,单独进行顺纹抗压强度选择不会明显影响生长性状的改良;反之,单独进行树高、胸径选择也不会对顺纹抗压强度改良有明显影响,可单独对顺纹抗压强度或生长性状进行改良。

在树木维管形成层细胞分化过程中,生长应力不断产生并累积,最终导致生长应力以一种不均匀的连续变化方式在树干中分布。采用圆周测量法对尾叶桉、大花序桉、尾叶桉、粗皮桉和圆角桉生长应变水平进行研究,不同树种间,同一高度4个方向测量的活立木生长应变平均值差异显著;而活立木同一高度的不同方向,生长应变差异不显著。在5种树种中,尾叶桉生长应变水平最高,大花序桉具有最低生长应变水平^[56]。

综上所述,引种到我国的大花序桉不仅均能长成乔木林,而且材性研究表明大花序桉密度高,应力变化小,是优良的硬木材,是制作高档家具材的优良材料。同时各材性性状和生长性状关联分析结果均显示两类性状相关度不高,在制定大花序桉育种策略时,可根据育种目标的需要,即可对单一性状进行选择,也可以对多个性状同时进行选择。

4 结语与展望

自我国南方各省引进大花序桉建立种源试验林以来,以大花序桉为材料,在生长调查、生理观测、木材材性等方面取得了一定进展,但当前尚没有能进行市场化推广应用的大花序桉良种,因此,缺乏良种和成熟的无性扩繁技术是当前大花序桉发展的瓶颈所在。

随着研究较为系统的种源试验林和家系试验林林龄进入半个轮伐期,审/认定大花序桉良种成为可能,也为下一步的研究和应用打下了坚实的基础。今后大花序桉的研究将主要集中在以下方面:

(1)遗传育种。继续引入大花序桉种源,开展更为丰富的种源试验;加强现有资源的评价,深入研究现有种源试验林和家系试验林,测算遗传参数,选择优良种源、家系和单株,开展良种审/认定;优化现有林分,建立母树林或种子园,开展杂交授粉等育种改良。

(2)基础研究。细胞学领域,重点开展大花序桉生殖生物学研究,即以引种后能开花的大花序桉为材料,研究大花序桉减数分裂特点和成花成种机理,为种子园建设提供理论和技术支撑。分子辅助育种领域,以巨桉基因组为参考,进行大花序桉木材形成、树形发育等重要功能基因挖掘、遗传图谱构建和全基因组关联分析等基础研究,重点解析大花序桉生理特性、生长过程、心材形成和材质材色等遗传机理,从本质上解析生长性状和材性性状发生和相关的机制。

(3)繁殖技术。大花序桉种子量少价高,且缺乏成熟可用的无性繁殖技术是妨碍大花序桉发展的瓶颈。因此,今后繁殖技术主要集中在种子园的建设 and 无性系化研究上,即从当前林分中,选择已开花的大树花枝为材料进行嫁接,建立以收集种子为目的的无性系种子园;开展多层次的无性系化研究,特别是以巨桉等桉树成熟的组培技术为基础,进行大花序桉组培无性系化研究。

(4)定向培育技术。国内尚未进行大花序桉定向培育技术的研究,尤其缺乏培育大径级无节材的技术。合理的种植密度、间伐和修枝强度等,是培育无节材,提高改善木材质量的关键。

参考文献:

- [1] 王豁然. 桉树生物学概论[M]. 北京东黄城根北街:科学出版

- 社,2010.
- [2] 陈添基. 几种优稀桉树引种试验初报[J]. 中国园艺文摘,2009(06):39~40.
- [3] 李晓清,胡天宇. 四川桉树基因收集及培育技术[J]. 四川林业科技,2004(01):26~30.
- [4] 李晓清,胡天宇. 四川桉树基因收集及利用[J]. 桉树科技,2003(01):52~56.
- [5] 项东云,陈健波,陈崇征,等. 广西耐寒桉树研究进展[J]. 广西林业科学,2002(04):178~180.
- [6] 薛华正,吴之扬,陈霞,等. 桉属树种与种源、家系比较试验[J]. 林业科学研究,1997(06):32~39.
- [7] 刘涛,龙永宁,张维耀,等. 几种桉树在冷寒地区的早期适应性研究[J]. 桉树科技,2005(02):23~31.
- [8] 韦国洁. 大花序桉在桂中地区的发展前景[J]. 桉树科技,2002(1):32~34.
- [9] 王建忠,熊涛,张磊,等. 25年生大花序桉种源生长与形质性状的遗传变异及选择[J]. 林业科学研究,2016(05):705~713.
- [10] 周维,卢翠香,杨中宁,等. 6年生大花序桉不同种源木材纤维特性的差异分析[J]. 西部林业科学,2016(02):29~34.
- [11] 陈云峰,林武,蒋雪刚,等. 桂北桉树生长与材性的比较研究[J]. 桉树科技,2014(03):17~21.
- [12] 陈健波,项东云,张照远,等. 大花序桉木材顺纹抗压强度变异研究[J]. 林业科技开发,2009(04):63~66.
- [13] 项东云,陈健波,申文辉,等. 大花序桉种源间木材物理性质变异研究[J]. 广西林业科学,2008(02):57~65.
- [14] 刘媛,卢翠香,苏勇,等. 大花序桉木材干燥特性研究[J]. 桉树科技,2016(02):39~43.
- [15] 李昌荣,项东云,陈健波,等. 大花序桉木材基本密度的变异研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012(06):158~162.
- [16] 刘仁坤. 大花序桉扦插育苗技术研究[J]. 武夷科学,2010,26:105~108.
- [17] 唐庆兰. 大花序桉组织培养的研究[D]. 广西大学,2006.
- [18] 阚荣飞. 大花序桉种源材性遗传变异研究[D]. 广西大学,2008.
- [19] 叶露,陈健波,项东云,等. 大花序桉种源/家系试验的早期研究[J]. 广西林业科学,2007(04):187~191.
- [20] 陈添基. 几种优良桉树引种试验初报[J]. 粤东林业科技,2006(02):11~13.
- [21] 赵汝玉,陆钊华,徐建民,等. 韦塔桉与大花序桉在粤中地区的生长表现[J]. 热带林业,2006(03):31~33.
- [22] 黄世能,郑海水,赖汉兴. 热带薪材树种萌芽更新的研究[J]. 林业科技通讯,1990(12):3~7.
- [23] 黄舜仪,杨民胜. 桉树耐寒品种选育的重要性可行性[J]. 桉树科技,1997(02):1~3.
- [24] 罗建中. 我国耐寒桉树的种质资源及其遗传改良[J]. 桉树科技,2006,23(01):24~31.
- [25] 黄德先,邓元德. 巨尾桉在龙岩市引种状况的调查分析[J]. 福建林业科技,2002,29(02):50~53.
- [26] 郭建闽,邓元德. 龙岩市桉树冻害调查与分析[J]. 闽西职业大学学报,2001(02):78~79.
- [27] 钱国财,杨仁标,黄日奎,等. 亮果桉等10种26个种批抗寒试验初报[J]. 福建林业科技,2001,28(S1):19~20.
- [28] 林平. 永安桉树造林及其冻害情况调查[J]. 桉树科技,2001(01):15~20.
- [29] 姚庆端,洪长福,何水东,等. 闽南桉树无性系抗逆性选择[J]. 福建林学院学报,2001,21(02):139~141.
- [30] 福建省林木种苗总站. 福建省耐寒桉树遗传改良项目进展[J]. 桉树科技,1999(02):12~15.
- [31] 陈健波,项东云,张建明,等. 广西耐寒桉树育种研究现状与对策[J]. 广西林业科学,2003,32(1):7~11.
- [32] 吕成群,黄宝灵. 高硼处理增强巨尾桉苗木对零下低温的适应[J]. 云南植物研究,2003,25(06):693~699.
- [33] 徐建民,李光友,陆钊华,等. 南方桉树人工林雨雪冰冻灾害调查分析[J]. 林业科学,2008,44(07):103~110.
- [34] 刘奕清,陈泽雄,刘长春,等. 重庆桉树无性系引种评价与选择效果[J]. 桉树科技,2008,25(2):16~19.
- [35] 巨桉引种试验课题组. 巨桉引种试验研究[J]. 西南林学院学报,1993,13(03):146~154.
- [36] 杨俊陶,陈炳林. 桉树抗冻性种质的筛选[J]. 桉树科技,1990(Z1):37~56.
- [37] 陈茜文,杨模华,李志辉,等. 耐寒桉树的纤维形态特征的变异[J]. 中南林学院学报,2002,22(04):61~65.
- [38] 林睦就,李榕. 中亚热带赤桉耐寒性选择[J]. 桉树科技,1999(01):13~19.
- [39] 李志辉,沈中瀚,何立新. 中亚热带赤桉种源试验调查初报[J]. 湖南林业科技,1994(01):36~44.
- [40] 饶红欣,彭信海,夏晓敏,等. 湖南耐寒赤桉优良无性系性状分析研究[J]. 湖南林业科技,2001,28(02):39~40.
- [41] 彭信海. 耐寒赤桉组培无性系研究简报[J]. 湖南林业科技,2001,28(01):24~25.
- [42] 王琳,曾玲玲,杨喜田,等. 桉树幼苗耐寒性评价中生理生化指标的选择应用[J]. 上海农业学报,2007,23(2):11~16.
- [43] 李晓储,黄利斌,施士争. 北移引种耐寒桉树苗期试初报[J]. 桉树科技,1999(02):7~11.
- [44] 张露,张俊红,温忠辉,等. 引种桉树苗期的抗寒性分析[J]. 江西农业大学学报,2011,33(01):47~51.
- [45] 阚文婧,朱宁华,邱运亮. 桉树对低温反应的生理生态学基础[J]. 经济林研究,1994,12(S1):1~6.
- [46] 何体生. 耐寒桉树丰产栽培试验初报[J]. 湖南林业科技,2001,28(03):108~110.
- [47] 张学明. 桉树细胞膜脂肪酸含量与抗寒性关系的研究[J]. 经济林研究,1994,12(S1):7~9.
- [48] 李志辉,汤珧华,孙汉洲,等. 耐寒性桉树早期选择 III. 巨桉种源和家系膜脂肪酸组成、含量与抗寒性关系[J]. 中南林学院学报,2000,20(03):80~85.
- [49] 汤珧华,李志辉. 耐寒性桉树早期选择 I. 耐寒性桉树早期选择研究综述[J]. 中南林学院学报,2000,20(03):70~74.
- [50] 黄月华. 五种桉树苗期耐寒性能的初步研究[D]. 华南热带农业大学,2003.
- [51] 刘奕清. 低温胁迫下两种桉树的生理响应特征及转录表达差异研究[D]. 中国农业大学,2015.
- [52] 赵娟娟,洪伟. 我国桉树抗寒性研究进展[J]. 福建林学院学报,2005,25(03):284~288.
- [53] Bootle K. Wood in Australia: Types, properties and uses[M]. Sydney, Australia Mo Graw~Hill Book Company,1983:433.
- [54] 杨中宁. 大花序桉幼龄材纤维与力学特性种源变异的研究[D]. 广西大学,2011.
- [55] 翟新翠. 大花序桉的遗传变异与适应性研究[D]. 广西大学,2007.
- [56] 吕建雄,殷亚方,赵有科,等. 我国南方地区不同桉树人工林树种生长应变水平的评估[J]. 北京林业大学学报,2005,27(4):69~72.