

我国木荷培育和利用研究进展*

李可见 白青松 尧俊 汪迎利
连辉明 张谦 何波祥 蔡燕灵

(广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东广州 510520)

摘要 木荷 *Schima superba* 是我国南方常绿阔叶林的建群树种之一, 也是重要的乡土阔叶树种、用材树种和防火树种, 随着我国木材需求数量与品质的不断提升, 木荷在南方各省日益受到重视。近年来林木培育着重追求质量效益, 现代分子生物学辅助育种技术在林木遗传育种中得到广泛应用, 新型轻基质育苗技术也打破了传统育苗理念的束缚。文章着重介绍了木荷的特性、生态和经济价值, 对其良种选育、苗木培育、造林技术、病虫害防治等培育技术研究进行归纳, 并展望了我国木荷良种选育、种苗繁育以及加工利用等方面研究突破方向, 为我国木荷的良种繁育、造林推广以及产业加工等提供技术支持。

关键词 木荷; 常绿阔叶林; 培育; 利用; 良种选育

中图分类号: S792.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2021) 06-0188-08

Research Progress on Cultivation and Utilization of *Schima superba* in China

LI Kejian BAI Qingsong YAO Jun WANG Yingli
LIAN Huiming ZHANG Qian HE Boxiang CAI Yanling

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract *Schima superba* is one of the main forestry species of evergreen broad-leaved forest in southern China, and it is also an important native broad-leaved tree species. With the continuous improvement of the quantity and quality of wood consumption in my country, *S. superba* has received increasing attention in southern provinces. In recent years, it is difficult to make new breakthroughs in traditional breeding methods, and modern molecular biology-assisted breeding techniques have been widely used in forest genetic breeding, and new light-substrate seedling techniques have also broken the constraints of traditional seedling concepts. This article focuses on the growth characteristics, ecological and economic value of *S. superba*, and summarizes the research on breeding techniques for its improved species selection, seedling cultivation, afforestation technology, pest control, etc. At the same time, this article also points out the development bottlenecks and breakthrough directions in the selection and breeding, seedling breeding and processing and utilization of *S. superba* in my country. Combined with current research, it provides basic technical support for the development of *S. superba* seed breeding, afforestation promotion and industrial processing of *S. superba*.

Key words *Schima superba*; evergreen broad-leaved forest; cultivating; utilization; breeding of improved variety

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2018KJCX015), 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020215002)。

第一作者: 李可见 (1986—), 男, 工程师, 主要从事林业研究, E-mail: lelee213@163.com。

通信作者: 汪迎利 (1970—), 女, 教授级高级工程师, 主要从事森林培育研究, E-mail: wangyl@sinogaf.cn。

木荷 *Schima superba* 别名荷树、荷木，属山茶科木荷属，是亚热带常绿阔叶林中常见的大乔木。以木荷为优势种的常绿阔叶林群落在我国中亚热带地区广泛分布，也是我国中亚热带东部地区分布最为广泛的常绿阔叶林类型之一^[1]。近十几年来，南方各省（区）纷纷大力推广营造木荷林，但造林中出现良种使用率和培育水平低等问题，缺乏产量质量兼优的木荷林。为推进我国木荷标准化培育技术水平、促进其培育向质量效益型转变，本文从木荷的特性、生态和经济价值，以及苗木培育、良种选育、造林技术、病虫害防治等培育技术进行概述，旨在为木荷良种培育和利用提供参考。

1 特性

木荷是一种广域性分布树种，多分布于亚洲热带和亚热带地区，我国广泛分布于长江以南，南至华南，东至台湾，西至四川和贵州，主要生于海拔 800 m 以下，西部 2 000 m 中海拔地区也有分布^[2]。其木材结构均匀致密，力学性状优良，易加工，是制作木地板、家具和工艺品等优质木质工艺用材树种；其适生性强，生长迅速，枝叶浓密，叶片厚革质，含水量大、不易燃烧，具有生态防火功能，是南方生物防火和生态防护林带构建的主要树种；其树体高大，树形美观，四季常青，花形优美，吸收有害气体能力强，是优良的景观绿化和康养树种。木荷是亚热带常绿阔叶林的主要建群种，常与栲属、青冈属、石栎属等壳斗科的树种形成不同群落类型，亦是马尾松 *Pinus massoniana*、樟科、壳斗科等树种较理想的混交造林树种。木荷为中性偏阳树种，幼龄耐阴，成年喜光，适生于夏热冬暖而多雨的气候；对土壤的适应性强，凡酸性的赤红壤、红壤、山地黄壤等均能生长，对肥力的要求不甚苛刻^[3-5]。

2 苗木培育

我国对木荷苗木培育技术的研究开展较早，技术已基本成熟，并制定了行业标准和地方标准，主要采用播种、扦插、组培方式育苗。林业行业标准《木荷培育技术规程》(LY/T 2037-2012)^[6]对木荷的种子苗培育进行了规定，此外还有江西省地方标准《木荷苗木培育技术规程》(DB36/T 541-2017)^[7]、广东省地方标准《木荷育苗技术规程》

(DB 44/T 1437-2014)^[8]、湖南省地方标准《木荷播种育苗技术规程》(DB43/T 144-1999)^[9]等。

目前有关木荷的组织培养研究的报道不多，且主要以种子萌芽茎、嫩枝茎等作为外植体形成组培体系，体细胞胚的体系尚未建立。徐位力等^[10]用木荷种子、2~10 a 生顶芽和嫩枝茎开展组培，根据其研究的培养基和培育条件，增殖系数达 3.3 倍，生根率达 100%，移栽成活率 95% 以上。周丽华等^[11]以木荷优良家系的嫩枝具腋芽茎段为外植体进行组培，GD 培养基比 MS 更适宜其参试的木荷优良家系，试验选出的培养基腋芽萌芽率达 74%，芽苗增殖倍数为 3.1 倍，生根率达 96.67%，移栽存活率达到 92.2%。陈碧华等^[12]选用优良单株基部萌芽条作为外植体，发现须对母株进行预处理，外植体无污染率可明显提高；因外植体褐化严重，加入 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 抗坏血酸 (Vc) 可减少褐化，并采用全暗培养；试验选出的培养基诱导率达 68.5%，增殖倍数达 4.3 倍，生根率 83.3%，成活率达 90% 以上。蒋泽平等^[13]以耐寒速生优良单株的嫩梢具腋芽茎段为外植体，在其筛选出的培养基下，萌芽率达 100%，平均有效芽数达 6.2 个，生根率达 89.9%，移栽成活率达 93.4%。

轻基质容器育苗是近年来林木苗木培育发展的新技术，目前已经在木荷苗木培育中广泛应用。容器苗造林成活率高，6 a 生树高和胸径生长量极显著大于裸根苗造林；不同立地条件下木荷容器苗造林成活率均在 92.02% 以上，裸根苗造林平均成活率仅为 66.25%，而造林成本上容器苗比裸根苗造林成本低 14.6%^[14]。不同类型、规格的容器影响木荷生理生长及造林效果，基质的水分供应能力是决定容器苗生长发育的决定性因素之一，而总 P 含量可能是导致木荷苗生长优劣的关键营养元素之一^[15-16]。培育木荷 1 a 生优质轻基质容器苗，基质为泥炭：谷壳或珍珠岩或树皮粉等体积比 7 : 3，控释肥量 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，容器为直径 4.5 cm、高度 10 cm 的无纺布容器袋，并要控制好树种关键期水肥等管理；培育 2~3 a 生大规格轻基质容器苗，需选择生长较好的 1 a 生容器苗进行换袋移栽后再培育 1~2 a，适宜的基质配比为泥炭：谷壳：黄泥是 4:3:3，选用直径 14~15 cm、高度 16~18 cm 的无纺布育苗袋，缓释肥量 $2.0\sim 3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[5,17]。广东省林业科学研究院采用研发的专利产品——

15孔环保型轻基质育苗容器培育1a生木荷轻基质苗木,容器孔口直径8.5cm、高11cm,具有透气性能好、可进行空气修根、苗木根系发达、便于移植、无环境污染等特点^[18]。

3 良种选育

林木良种的选育是一项周期较长的具有重要战略意义的工程,而丰富种质资源和遗传的多样性是良种选育的基础,能促进林业生态建设和林木产业发展^[19]。利用RAPD分子标记进行我国木荷主要分布区15个地理种源的遗传多样性和遗传结构研究,我国木荷的中心产区可能是25°N左右的南岭山脉附近,并通过分子水平上的种源聚类分析将我国木荷分布区划分为3个种源区:北缘区(安徽南部和浙江北部)、中部区(南岭以北、浙江南部以南)和南部区(南岭以南),而南部和中部区又都再分为东部和西部2个种源亚区^[20]。基于7a木荷生长和木材基本密度进行种源聚类,大致将木荷划分为中心种源区、中部种源区和北部种源区3个种源区^[21]。

根据木荷种源的分布特点,我国林业科研工作者在木荷种质资源的收集和选育工作上付出了巨大的努力,并选育了一大批优良的种质资源。周志春研究团队^[5,22-25]研究发现,木荷地理种源分化明显,为长期育种奠定了基础;初选出一批速生用材和生物防火优良种源,在木荷主要分布区选择1108株优树并保存了903株;建成我国首个和最大的1代育种群体153亩,并被认定为省级林木种质资源库;在不同栽培区综合选育一批速生、优质和适生性强的优良家系和优良个体;此外,研发出木荷矮化种子园营建模式及种子丰产技术,在浙江、江西、福建、广东和重庆等地营建了1800亩1代无性系种子园;还发现木荷异花授粉时最有效的传粉昆虫为中华蜜蜂。熊彩云^[26]对江西木荷种源选择进行研究,发现木荷种源间树高、胸径和单株材积有极显著的差异,且广义遗传力都较高;木荷种源生长主要表现为纬向变异模式;按树高、胸径比对照提高5%、并且单株材积比对照提高20%;选育出适宜江西不同生态区生长的11个优良种源。江苏省林业科学研究院选育的优良耐寒单株也为木荷应对气候变化引起的极端天气以及种植范围北移奠定了基础^[13]。辛娜娜^[27]以树高为选择标准,在福建建瓯和江西永

丰两地分别初选出24个和17个早期速生优良家系。广东省林业科学研究院在广东也开展了种源试验、子代/无性系测定,并选出速生、形质优良的木荷种源1个、家系4个、单株无性系4个,培育出林木良种5个^[28]。对选出的优树进行研究,发现木荷优树的叶果性状在个体及种源间均呈极显著差异,聚类分析显示木荷优树叶果有短叶轻果型、长叶重果型、短叶中果型和中叶中果型4种类型^[29]。

与此同时,随着现代分子生物学的兴起和发展,利用分子生物学技术手段开展木本植物的选育和基础研究工作愈发受到关注。就木荷而言,国内将SSR标记、SNP位点标记、简化基因组测序、高密度遗传图谱构建、转录组以及蛋白组学等先进技术应用到木荷研究工作中^[30-36]。例如依据13对SSR引物的扩增数据,经过多态性谱带的有序编码转换,构建115份木荷核心种质的特异分子身份信息,其置信概率达到99.99%,具有有效性和唯一性^[30];开发16个多态微卫星序列,将有助于研究该物种从大规模模式到精细规模结构的遗传多样性和结构^[27];基于179份木荷种质资源利用RAD-seq测序技术获得丰富的多态性SSR和SNP位点^[32]。以上研究均为木荷选育工作从传统选择育种向现代分子辅助育种的过渡提供了良好的研究基础,有利于物种的精准筛选和早期选择,可缩短育种周期。

4 造林技术

4.1 纯林营建

木荷适应性强,对立地条件要求不严,但选择I、II级立地的中下坡较好^[37]。坡向和坡位对木荷生长和干形影响显著,但对木材基本密度影响较小^[38]。及时调控林分密度可促进林木生长^[39]。不同抚育间伐强度木荷胸径生长有极显著差异,但树高、单株材积及总收获量差异不显著^[40]。培育速生优质的木荷工艺用材林,应选择土壤水肥、光照条件较好的阳坡和下坡林地造林,并加强幼林的抹芽除萌及中龄林的间伐抚育以促进林木生长,抑制分叉干的形成,提高中后期的径生长及径向均一性^[38]。土壤特性中的含水量、有机碳和全N是决定木荷次生林更新的关键因素,采取适当的水肥管理措施能有效提高和改善木荷次生林的天然更新效果^[41]。

人工造林是我国绿化国土的重要技术手段，科学合理开展造林的技术标准也相应出台，包括行业标准和地方标准。目前已推出的相关的林业行业标准有《木荷防火林带造林技术规程》(LY/T 2813-2017)^[42]、《木荷防火林带营造技术规程》(LY/T 2328-2014)^[43]、《木荷培育技术规程》(LY/T 2037-2012)^[44]，这些行业标准都对木荷造林技术进行了规定，此外还有浙江省地方标准《木荷营造林技术规程》(DB33/T 2120-2018)^[45]、江西省地方标准《木荷造林技术规程》(DB36/T 542-2017)^[46]、福建省地方标准《木荷防火林带营造技术规程》(DB35/T 68-2014)^[47]等地方标准。

4.2 混交林营造

近年来，混交林的凸显优势逐渐被研究人员发现，混交林在林分的稳定性和病虫害防御等方面性能优于纯林。木荷是杉木理想的混交树种^[48]，与杉木适当比例进行混交可明显促进木荷胸径、树高、冠幅等生长，修善干形，如从木荷纯林至荷杉比为1:3的混交林，或荷杉比从3:7至1:3，木荷平均胸径、树高、冠幅和枝下高可增加10.32%~39.19%^[38]。混交经营改善了木荷人工林的生境条件，在同一立地营造的荷杉混交林的蓄积量和土壤肥力均大于木荷纯林。初植密度和间伐措施明显影响木荷林分长势和林分木材的基本密度，采用块状整地和表层施肥等措施，改善土壤养分分布状况，可促进木荷和杉木混交林生长^[35]。在营造木荷混交林时，伴生树种选择建议采用针叶树种；若采用阔叶树种，要严格控制混交比例，以免影响目的树种的生长。在营造木荷混交林时，尽量选择生态位相似比例值较小的树种，如马尾松和枫香 *Liquidambar formosana* 等^[49-50]。马尾松、木荷混交比例为5~3:1，初植密度为4 440~6 944 株·hm⁻²^[51]。

5 病虫害防治

病虫害是造成林木损伤的最重要的生物胁迫之一，如何防治病虫害也是农林业生产过程中面临的重大难题。目前已研发出木荷一些主要病虫害的防治措施，并广泛应用。木荷病害主要为褐斑病，危害当年生嫩叶和前年的老叶，用50%多菌灵400~500倍液，或70%甲基托布津500~800倍液，或50%退菌特800~1 000倍液防治，10~15 d喷洒1次，连续2~3次即可^[52-53]。木荷虫害主要

有木荷空舟蛾 *Vaneeckeia pallidifascia*、茶长卷蛾 *Homona magnanima*、茶须野螟 *Nosophora semitritalis*、木荷叶蜂 *Taxonus* sp.、蚜虫、蛴螬、地老虎等。木荷空舟蛾危害木荷纯林或混交林，用4.5%高效氯氰菊酯或1.8%阿维菌素乳油或20%吡虫啉乳油2 000倍液，或25%灭幼脉Ⅲ号35倍滑石粉或“森得保”粉剂进行防治。茶长卷蛾主要危害中、幼林，用40%乐果乳剂1 000~1 500倍液或2.5%溴氰菊酯2 000倍液喷雾防治，冬季人工摘除虫苞。茶须野螟主要危害中、幼林，幼虫发生期用40%乐果乳剂1 000~1 500倍液或50%敌敌畏乳剂1 000倍液喷雾，也可冬季人工摘除虫苞。木荷叶蜂主要取食当年生的嫩叶，用50%敌敌畏乳剂1 000~1 500倍液喷雾防治，或于4龄幼虫前用林用烟剂熏杀。蚜虫主要危害幼苗和幼树，用40%乐果乳剂1 000~1 500倍液或2.5%溴氰菊酯3 000倍液喷雾防治^[52]。蛴螬和地老虎是木荷苗圃地下害虫，蛴螬主要危害幼苗根部，可用50%马拉松800倍液喷洒；而地老虎幼虫则伤害苗木，可堆放鲜草于圃地，清晨揭草捕杀或用黑光灯诱杀成虫，也可用80%敌百虫800倍液或50%辛硫磷1 000倍液喷洒^[5,54]。

6 利用

6.1 生态价值

6.1.1 抵御非生物胁迫 木荷是一种具有较好抗火性、耐旱性的适应性强的常绿阔叶树种。木荷鲜叶的含水量高达56.2%，着火温度可达456℃，燃烧热值4 387 cal/g，含油脂仅6%，该特性促使木荷成为森林防火林带的重要树种^[55]。研究表明木荷抗火性明显强于杨梅 *Myrica rubra*、甜槠 *Castanopsis eyrei*、山矾 *Symplocos sumuntia*、润楠 *Machilus pingii*、青冈等亚热带典型阔叶防火树种^[56]，是南方防火林带的首选树种。与针叶树相比，特别是在火灾中受害较严重的马尾松和杉木 *Cunninghamia lanceolata*，木荷在熏烧到燃烧的时间间隔远长于其他树种，马尾松、杉木分别在熏烧6.3 s和11.3 s后燃烧，而木荷16.6 s后才燃烧。由于木荷树干高大，树冠浓密紧凑，叶片革质较厚，林下枯枝落叶少，木质坚硬，适应性和再生能力强，既能单独种植形成防火带，又能混生于松、杉、樟等林木之中，起到局部防燃阻火的作用^[57-58]。此外，木荷还具有好的抗旱性能，在

干旱条件下木荷叶片的相对含水量以及相对电导率的下降幅度均比火力楠 *Michelia macclurei*、山杜英 *Elaeocarpus sylvestris* 等树种小^[59]，光合速率也比红椎 *Castanopsis hystrix*、乐昌含笑 *Michelia chapensis*、黎蒴 *Castanopsis fissa* 等阔叶树高^[60]。

6.1.2 减少病虫害 在马尾松和木荷的混交林中，木荷可以有效地降低马尾松的受害率，但对不同病菌的防疫作用效果差异显著，例如混交林中马尾松叶枯病 *Pestalotia* sp.、松瘤锈病 *Cronartium quercuum* 的危害率比纯林分别减少 5.05% 和 18%，毛虫 *Dendrolimus punctatus*、松梢螟 *Dioryctria rubella* 危害率更是比纯林减少 55%，对病虫害的抑制作用显著^[61]，因此在营建混交林过程中，可按适当比例配植木荷，以降低混交林主培树种的病害概率。

6.1.3 提高土壤肥力 土壤肥力是植物生长的基础，酸化的土壤是阻碍农林业生产力提高的主要环境因素之一，而木荷人工林凋落物可一定程度上缓解土壤的酸化作用，提高土壤肥力^[62-64]。观测广东鹤山的马占相思 *Acacia mangium*、湿地松 *Pinus elliotii*、木荷人工林发现，木荷林的土壤有机质含量、土壤全 N 和全 P 含量为 3 种林分中最高，酸度最大，在改善土壤状况和调节森林小气候方面的作用更稳定、持久^[65]。此外，低效马尾松、湿地松纯林与木荷等混交改造后林地土壤 pH 值降低，土壤有机质和全量 N、P、K 含量均得到提高，土壤养分状况得到改善^[66]。

6.1.4 良好的碳吸存能力 汇碳是森林的重要生态功能之一，纯木荷人工林在生态系统中的碳汇效果十分突出，其碳储量为 $177.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，乔木层年净吸存量达 $12.04 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，净碳汇为 $3.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[67]。相对于单纯的木荷纯林，木荷混交林则显示出更高的汇碳能力；杉-荷混交林的凋落量大、碳归还量高，具有良好的碳吸存能力^[68]。广东鼎湖山的马尾松、木荷混交林植被碳储量平均值为 $123.04 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，显著高于我国针叶、针阔混交成熟林的平均水平^[69]。此外，飞播马尾松林中补植木荷也能有效提高乔木层及林分植被总碳密度，有利于提高植被的固碳能力^[70]。

6.1.5 涵养水源 木荷在涵养水源方面的作用也十分重要，且在不同部位保水能力差异显著。对 5 年生马尾松、湿地松、枫香 *Liquidambar formosana*、尾叶桉 *Eucalyptus urophylla*、木荷人工林进行

研究，发现木荷的综合水源涵养能力仅次于马尾松林，而在林冠层降水截留率木荷以 41.4% 排首位，土壤最大蓄水量排第二位，具有较强生态保水功能^[71-72]。低效马尾松、湿地松纯林与木荷等混交改造后林地土壤水分状况和渗透性显著提高，改造后的林地土壤最大持水量、毛管持水量、田间持水量增加，土壤蓄水量也显著提高，土壤渗透指标最高可提高 2.73 倍，混交后的低效林地更有利于涵养水源、水土保持^[72]。

6.2 经济价值

6.2.1 速生型大径材树种 木荷早期速生、且持续生长时间较长，符合作为大径材树种的培育要求，可通过与杉木和马尾松混交及纯林经营培育大径阶的优良木材，是我国南方主要大径级木材储备林树种。在良好立地上生长，3~5 a 生树高可达 2~3 m，10 a 生达 5~7 m；一般 20 a 生，树高可达 10 m，胸径达 30 cm ^[4]。对广西南宁 48 a 生木荷人工林进行研究，发现木荷平均单株材积为 0.359 m^3 ；平均树高为 23.54 m，树高生长速生期为 0~14 a；平均胸径为 20.68 cm，胸径生长速生期为 0~12 a，胸高形数为 0.48~3.33，符合培育大径材要求^[73]。在木荷地上部分的生物量中，树干干重所占比重为 66.06%~84.79%，其生物量是群落总生物量的决定性组分，且随着林木径级的增大呈“中间大两头小”变化；木荷种群株数和生物量的径级分布曲线均为单峰型，且基本均呈正态分布，种群 81.10% 的生物量集中在 $11 \text{ cm} < \text{胸径} \leq 27 \text{ cm}$ 径级，显示木荷具有很好的速生特性^[74]。

6.2.2 木材利用 木荷木材是建筑、农具、胶合板、纱锭、纱管和其他旋刨制品的优良用材^[4]。通过与枫香比较发现，木荷的加工利用性能更优，单板质量相对较好；刨切贴面板的刨切效果和贴面后的性能良好，综合指标相对较高，可用于制作家具和家居装修用的贴面板。此外还适合生产胶合板材，试验生产出的胶合板，胶合强度远超国家标准规定的技术要求，且板面的材色及花纹等均很美观。木荷材基本密度 $0.481 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，纤维宽度 $21.6 \mu\text{m}$ ，符合纸浆材要求。木纤维平均长度 $1625 \mu\text{m}$ ，且分布集中合理，在我国的阔叶材树种中属较长纤维树种，有利于制浆和造纸，提高纸浆品位和档次；纤维长宽比高达 75.29，有利于纤维间交织、增加纸张强度。木荷的酸不溶木素平均只有 22.52%，综纤维素含量平均值 80.50%，在

碱法制浆时会较其他木材的用碱量较少，纸浆得率较高。多戊糖含量高，平均含量为 20.54%，纸浆得率高，且能改善纸浆性能，提高纸的机械强度，尤其是在机械制浆中容易磨浆，磨浆耗能较小^[75]。朱卓俊^[76]根据五金工艺材工艺要求，通过对早期生长调查、材性测定以及适应性等调查研究，综合筛选了 12 种五金工艺材优良树种，其中木荷表现优良。梁善庆等^[77]也从不同涂料对木材漆膜色度的角度进行了研究，为木荷木材的加工利用提供了可行性方案。

6.2.3 其他价值 除了作为制革工业的原料，木荷也可作医药用品原料。其树皮、树叶富含鞣质，还可用于提取单宁，具有较高的抑菌活性和杀虫活性，其茎皮、根皮有大毒，可入药，外敷疗疮、无名肿痛，不可内服，茎皮提取物对白色念珠菌有抑菌作用^[78-82]。叶乙醇提取物对部分植物病原菌有很强的抗性，尤其是对稻瘟病有很强的抑制作用^[83]；树皮甲醇提取物对小菜蛾、菜青虫有较高的拒食活性^[84]，还可用树皮晒干研粉能诱杀蟑螂、苍蝇等害虫^[72]，可研究作为植物源杀虫剂。

7 研究展望

木荷研究非常丰富，但在传统林业发展面临严峻挑战的今天，以木荷为对象的选育、栽培、加工利用等方面仍有巨大的发展空间。

在木荷现有的选育研究中，多通过分子标记对群体进行遗传多样性分析，为其优异种质资源保存、杂交亲本选配等提供科学依据，但在育种群体构建方面报道较少。育种群体的构建是林木多世代育种的关键技术环节，一个遗传多样性丰富、结构合理的育种群体，有助于高效交配设计的实施，提高育种效率，获得更大的遗传增益。木荷作为重要乡土阔叶树和防火林带树种，在南方各省广泛种植，良种苗木需求日益增大，建议我国政策与市场相结合加大木荷良种选育研究的投入，以现有资源为材料，开展木荷精选育种群体的构建与利用技术研究，包括生长与形质等重要性状的多年度表型鉴定分析，利用简化基因组测序、三代全长基因组测序和重测序技术等开展全分布区范围内育种资源遗传多样性的分子精准鉴定，综合表型鉴定、群体遗传多样性和个体亲缘关系等分析结果，精选出表型优异且遗传多样性丰富的遗传材料，科学划分群体遗传结构，精

细配置群体内个体间的空间分布格局，构建精选育种群体，利用开放授粉等自然力创制新种质或结合人工干预开展倍性育种，培育适应新时代需求的固碳能力强、材性好、生长快、节疤少、干型通直的优良种质。同时，开展木荷基因功能研究，解析木荷基因功能，创建木荷遗传转化体系，为木荷基因水平的遗传改良育种奠定良好的研究基础。

同时建议加强木荷培育相关的科学研究，为木荷产业化发展提供科学依据，使木荷产业更加规范、科学。开展木荷体细胞胚的组培快繁技术研究，培养基配方改良和优化，提高木荷组培苗繁育效率，缩短木荷组培苗的育苗周期，提高木荷组培苗产量、质量，突破木荷优良家系组培苗产业化技术，以实现木荷优质种苗的稳定供应。也希望加强木荷轻基质育苗技术推广，并改进轻基质育苗容器，优化轻基质育苗配方，实现育苗机械化生产，进一步提高木荷苗木出圃率、造林成活率，降低培育和造林成本，从而加速第一产业的发展，使从事低收入的农林产业人群收入稳步提升，巩固我国脱贫攻坚成果，有效衔接乡村振兴。

此外，由于我国木材消费量高，约占全球消费的 1/5，且大径材原木严重依赖进口，因此在优质种质资源筛选、大径材良种培育的基础上，需要注重木荷木材加工利用研究，例如，与其他树种的优质木材形成复合木材，开发不同品质与价格的复合木材，全方位满足各种生产生活需求，减少我国大径材、高品质木材的进口需求；同时也要更深层次地发掘木荷的用途，开发出更高价值的林副产品，予以更大的附加值，并应用于实际生产，进一步提高木荷的商业价值。

参考文献

- [1] 倪健. 中国木荷及木荷林的地理分布与气候的关系[J]. 植物资源与环境学报, 1996(3): 28-34.
- [2] 黄永芳. 华南乡土树种育苗技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [3] 周铁烽. 中国热带主要经济树木栽培技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [4] 《广东森林》编辑委员会. 广东森林[M]. 广州: 广东科技出版社, 中国林业出版社, 1990.

- [5] 周志春, 张蕊, 范辉华, 等. 中国木荷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [6] 国家林业局. 木荷培育技术规程: LY/T 2037-2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [7] 江西省林业厅. 木荷苗木培育技术规程: DB36/T 541-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [8] 广东省林业厅. 木荷育苗技术规程: DB 44/T 1437-2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [9] 湖南省林业厅. 木荷播种育苗技术规程: DB43/T 144-1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [10] 徐位力, 苏开君, 王伟平, 等. 防火树种木荷和红木荷的组织培养及植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(2): 255.
- [11] 周丽华, 蓝燕群, 何波祥, 等. 木荷优良家系的组织培养研究[J]. 广东林业科技, 2015, 31(2): 1-6.
- [12] 陈碧华, 张娟, 江斌, 等. 木荷组织培养技术研究[J]. 湖北林业科技, 2015, 44(1): 16-19.
- [13] 蒋泽平, 潘林, 姜维华, 等. 木荷耐寒速生优良单株离体培养与植株再生[J]. 江苏林业科技, 2015, 42(4): 14-16.
- [14] 刘伟, 周善松, 张先祥, 等. 不同立地条件下木荷容器苗与裸根苗造林对比试验[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(6): 829-834.
- [15] 郑坚, 陈秋夏, 王金旺, 等. 不同育苗容器对木荷生理生长及造林效果的影响[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(4): 53-58.
- [16] 郑坚, 马晓华, 廖亮, 等. 基质成分对比对木荷容器苗生长及存苗率的影响[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(2): 218-224.
- [17] 陈焕伟, 陈杏林, 何必庭, 等. 密度调控对木荷1年生轻基质容器苗质量的影响[J]. 现代园艺, 2019(17): 9-12.
- [18] 陈一群, 蓝燕群, 陈杰连, 等. 木荷等5个树种不同基质育苗效果分析[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(6): 34-38.
- [19] 曹枫叶, 李海荣, 薛利忠. 乌兰察布市林木良种选育、审定及推广应用情况调查[J]. 内蒙古林业调查设计, 2010, 33(6): 28-30.
- [20] 张萍, 周志春, 金国庆, 等. 木荷种源遗传多样性和种源区初步划分[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 38-42.
- [21] 王秀花, 陈柳英, 马丽珍, 等. 7年生木荷生长和木材基本密度地理遗传变异及种源选择[J]. 林业科学, 2011, 24(3): 307-313.
- [22] 徐肇友, 王云鹏, 肖纪军, 等. 不同产地木荷优树无性系表型多样性[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(2): 5-10; 17.
- [23] 周志春. 应用木荷良种化造林服务浙江大花园建设[J]. 浙江林业, 2019, 25(6): 22-23.
- [24] 王云鹏, 张蕊, 周志春, 等. 10年生木荷生长和材性性状家系变异及选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学报), 2020, 44(5): 85-92.
- [25] 杨汉波, 张蕊, 宋平, 等. 木荷主要传粉昆虫的传粉行为[J]. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1322-1329.
- [26] 熊彩云. 江西木荷优良种源选择研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2011.
- [27] 辛娜娜. 木荷家系遗传及其育种亲本特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [28] 曾令海, 何波祥, 连辉明, 等. 樟树等5种乡土阔叶树种培育技术[Z]. 国家科技成果, 2017.
- [29] 王思红, 蓝燕群, 连辉明, 等. 木荷优树生长与叶果性状分析[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(3): 12-19.
- [30] 杨汉波, 张蕊, 王帮顺, 等. 基于SSR标记的木荷核心种质构建[J]. 林业科学, 2017, 53(6): 37-46.
- [31] NIU H Y, YE W H, WANG Z F, et al. Short Note: Development and characterization of 16 new polymorphic microsatellite loci for *Schima superba* (Theaceae)[J]. Silvae Genetica, 2017, 62(3): 124-127.
- [32] 林艳. 木荷基因组SSR与SNP位点挖掘及种质资源遗传多样性分析[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [33] NIU H Y, LI X Y, YE W H, et al. Isolation and characterization of 36 polymorphic microsatellite markers in *Schima superba* (Theaceae) [J]. American Journal of Botany, 2012, 99: 123-126.
- [34] ZHANG R, YANG H B, ZHOU Z C, et al. A high-density genetic map of *Schima superba* based on its chromosomal characteristics[J]. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 41-52.
- [35] HAN B C, WEI W, MI C X, et al. De Novo Sequencing and Comparative Analysis of *Schima superba* Seedlings to Explore the Response to Drought Stress[J]. PLoS ONE, 2016, 11(12): e0166975.
- [36] CHEN J, HU W J, WANG C, et al. Proteomic Analysis Reveals Differences in Tolerance to Acid Rain in Two Broad-Leaf Tree Species, *Liquidambar formosana* and *Schima superba*[J]. Plos One, 2014, 9(7): e102532.
- [37] 刘其文. 木荷人工林经营效果分析[J]. 福建林业科技, 2008, 35(4): 24-28.
- [38] 王秀花, 马丽珍, 马雪红, 等. 木荷人工林生长和木材基本密度[J]. 林业科学, 2011, 47(7): 138-144.
- [39] 姚宝甲, 楚秀丽, 周志春, 等. 不同养分环境下邻株竞争对木荷和杉木生长、细根形态及分布的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1441-1447.
- [40] 苏培正. 木荷纯林不同抚育间伐强度对比试验[J]. 湖北林业科技, 2005, 132(2): 22-24.
- [41] 曾思齐. 木荷次生林林木更新与土壤特征的相关性[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4242-4250.
- [42] 林思祖, 黄世国, 洪伟. 杉阔混交林杉木与其混交树种种间竞争研究[J]. 林业科学, 2004, 40(2): 160-164.
- [43] 国家林业局. 木荷防火林带造林技术规程: Y/T 2813-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [44] 国家林业局. 木荷防火林带营造技术规程: LY/T 2328-2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [45] 国家林业局. 木荷培育技术规程: LY/T 2037-2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [46] 浙江省林业厅. 木荷营造林技术规程: DB33/T 2120-2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [47] 江西省林业厅. 木荷营造林技术规程: DB36/T 542-

- 2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [48] 福建省林业厅.木荷防火林带营造技术规程:DB35/T 68-2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [49] 胡喜生.木荷天然林与人工林群落结构特征比较[J].福建林业科技,2007,34(1):24-32.
- [50] 胡喜生.木荷种群生态学研究[D].福州:福建农林大学,2005.
- [51] 黄文超,黄丽莉.马尾松-木荷混交造林效果的调查研究[J].林业科学研究,2004,17(3):316-320.
- [52] 魏开炬,詹祖仁,张玲梅.木荷的主要病虫害及防治技术[J].林业科技,2003,28(5):28-29.
- [53] 林沐恩.木荷防火林带营造技术[J].林业科技开发,2004,18(6):71-72.
- [54] 广东省林业局,广东省林学会.广东省商品林100种优良树种栽培技术[M].广州:广东科技出版社,2003.
- [55] 张萍,周志春,金国庆,等.木荷种源鲜叶抑燃和助燃性化学组分的差异[J].林业科学研究,2005,18(1):80-83.
- [56] 曾素平.湖南主要防火树种抗火性能评价研究[D].长沙:中南林业科技大学,2020.
- [57] 凌宏达,马青.木荷生物防火林带营造技术探讨[J].绿色科技,2020(19):156-157.
- [58] 郭惠如,牟正华.防火树[M].北京:中国林业出版社,1988.
- [59] 史小玲,薛立,任向荣,等.华南地区4种阔叶幼苗水分胁迫条件下的抗旱性初探[J].林业科学研究,2011,24(6):760-767.
- [60] 王明怀,陈建新.红锥等8个阔叶树种抗旱生理指标比较及光合作用特征[J].广东林业科技,2005(2):1-5.
- [61] 黄文超,黄丽莉.马尾松-木荷混交造林效果的调查研究[J].林业科学研究,2004,17(3):316-320.
- [62] 陈堆全.木荷凋落物分解及对土壤作用规律的研究[J].福建林业科技,2001,28(2):35-38.
- [63] YAO F F, DING H M, FENG L L, et al. Photosynthetic and growth responses of *Schima superba* seedlings to sulfuric and nitric acid depositions[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2016, 23(9): 8644-8658.
- [64] LI Z Y, DAI P F, WANG Y H, et al. Effects of liming on health and growth of young *Schima superba* trees under canopy of a *Pinus massoniana* stand damaged by soil acidification in Chongqing, China[J]. New Forests, 2016, 47(6): 801-813.
- [65] 林永标,申卫军,彭少麟,等.南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比[J].生态学报,2003,23(8):1657-1666.
- [66] 王会利,唐玉贵,韦娇媚.低效林改造对土壤理化性质及水源涵养功能的影响[J].中国水土保持科学,2010,8(5):72-78.
- [67] 杨智杰,杉木、木荷人工林碳吸存与碳平衡研究[D].福州:福建农林大学,2007.
- [68] 杨智杰,陈光水,谢锦升,等.杉木、木荷纯林及其混交林凋落物量和碳归还量[J].应用生态学报,2010,21(9):2235-2240.
- [69] 方运霆,莫江明,黄忠鼎,等.湖山马尾松、荷木混交林生态系统碳素积累和分配特征[J].热带亚热带植物学报,2003,11(1):47-52.
- [70] 赖国桢,曹梦,潘萍,等.马尾松木荷不同比例混交林植被碳密度特征[J].中南林业科技大学学报,2018,38(2):108-113.
- [71] 李海防,杨章旗,韦理电,等.广西华山5种幼龄人工林水源涵养功能研究[J].中南林业科技大学学报,2010,30(12):70-74.
- [72] 李海防,杨章旗,韦理电,等.广西华山林场5种典型人工林水文功能评价[J].安徽农业大学学报,2011,38(2):170-175.
- [73] 韦昌幸.广西南宁木荷人工林生长规律研究[J].林业与环境科学,2020,36(6):48-54.
- [74] 程煜,洪伟,吴承祯,等.木荷地上部分生物量分布特征与生产力[J].应用与环境生物学报,2009,15(3):318-322.
- [75] 周侃侃.不同年龄枫香、木荷木材性质及加工利用适应性研究[D].杭州:浙江林学院,2009.
- [76] 朱卓俊.浅谈五金工艺材适用优良树种筛选[J].绿色科技,2014(1):102-103;105.
- [77] 梁善庆,彭立民.木荷、鹅掌楸和银杏透明涂饰色度学参数变化研究[J].木材加工机械,2014,25(4):41-44.
- [78] 吴春,王青,黄秀梅,等.木荷茎皮提取物对白色念珠菌抑菌机理的初步研究[J].亚太传统医药,2018,14(11):51-53.
- [79] WU C, WANG H T, WANG Q, et al. Anticandidal Potential of Stem Bark Extract from *Schima superba* and the Identification of Its Major Anticandidal Compound[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2019, 24(8): 1587.
- [80] YANG C P, CHANG X L, ZHANG M, et al. Active compounds of stem bark extract from *Schima superba* and their molluscicidal effects on *Pomacea canaliculata*[J]. Journal of Pest Science, 2018, 91: 437-445.
- [81] WU C, ZHANG R L, LI H Y, et al. Triterpenoid saponins from the root bark of *Schima superba* and their cytotoxic activity on B16 melanoma cell line[J]. Carbohydrate Research, 2015, 413: 107-114.
- [82] 郭惠如,牟正华.防火树[M].北京:中国林业出版社,1988.
- [83] 冯华根,张长伶,霍光华.木荷活性成分的分离及其对稻瘟病菌的室内毒力测定[J].江苏农业科学,2012,40(4):114-117.
- [84] 邓志勇.木荷提取物对小菜蛾和菜粉蝶生长发育的抑制效果[J].江苏农业科学,2013,41(4):129-130.