

桉 树

张荣贵 编著

二〇一〇年四月

一、概述

桉树是桃金娘科 (Myrtaceae) 桉属 (Eucalyptus) 树种的统称, 乔木, 少数为灌木, 叶常为革质, 两面具气孔, 多型性, 一般分为幼态叶和成熟叶, 幼态叶对生, 成熟叶互生。侧脉多数, 在叶缘处汇合成一边脉, 常含鞣质性树脂。枝条可自然脱落, 形成无节干形。树皮脱落或宿存, 脱落后树干光滑。具不害芽或裸芽。两性花, 伞形花序、聚花花序、伞房花序腋生, 圆锥花序顶生, 蒴果木质多形, 由帽状体、萼筒、果盘组成, 种子小, 树干具地下保护器官木瘤, 可萌芽成新株。桉树共有 945 个种、亚种和变种。桉树原产澳大利亚, 只有 5 个种分布在澳大利亚以外的国家和地区。如尾叶桉 (E • urophylla) 分布在印度尼西亚的帝汶岛, 剥桉 (E • deglupta) 分布在巴布亚新几内亚, 印度尼西亚 和菲律宾。桉树天然分布于北纬 7° 至南纬 43° 39' 之间。 桉树种类多, 适生范围广, 生长迅速, 速生潜力大, 木材生产周期短, 用途广泛, 繁殖容易, 是世界上主要速生丰产用材树种, 桉属树种的林学特性和经济价值倍受世界林业科技人员的关注。

我国于 1890 年首先引种桉树于广州, 先后引种桉树 300 多种, 迄今全国共有 16 个省(市), 600 多个县种植桉树, 2008 年面积达 260 多万 h m², 另有四旁植树 18 亿株。我国桉树种植最多的有广东、广西、云南、海南、福建、四川、江西、湖南等省(区)。

云南约 1896 年引种桉树, 最早引种蓝桉 (E • globulus) 于昆明, 先后引种保存桉树 100 种左右, 至 2009 年云南省 129 个县(市) 中有 109 个县(市) 种植桉树, 面积达 400 万亩, 占全省人工林面积的 9.4%, 云南引种桉树分为 3 个阶段, 第一阶段是 1964 年以前, 以观赏为目的的引种阶段, 桉树引种带有极大的随意性, 对桉树的生态生物学特性及生长特性了解甚少, 引种的桉树种类和数量少, 计 10 种左右, 主要种于庭院、寺庙。第二阶段是 1964~1982 年以美化环境为主要目的的引种阶段, 此阶段的桉树引种仍带有一定的随意性, 但对桉树的生态生物学特性、生长特性和用途有一定了解, 引种桉树 30 余种, 大部分从国内引进。第三个阶段是 1983 年开始的有目的、有步骤的生产性引种阶段, 桉树进入商业化发展经营, 与此同时有计划、有系统的开展桉树试验研究工作, 在各项试验研究成果的带动下, 桉树开始从四旁绿化, 农田防护向山地大面积种植, 此阶段引种桉树 60 余种, 种源个, 家系个, 桉树发展速度大大加快, 在云南林产业发展中作出一定贡献, 成为云南人工林主要造林树种之一。占全省林业用地面积的 1% 左右。种植较多的桉树有蓝桉、直干桉 (E • maidenii)、邓恩桉 (E • dunnii)、双肋桉 (E • bicostata)、史密斯桉 (E • grandis)、巨桉 (E. grandis)、尾叶桉、赤桉 (E • comaldlensis)、大叶桉 (E • robusta)、细叶桉 (E • tereticornis)、柠檬桉 (E • citriodora)、巨尾桉 (E • grandisXE • urophylla)、尾巨桉 (E • urophyllaXE • grandis) 等 10 多种。

二、桉树的经济和生态价值

1、桉树的经济价值

桉树用途广泛, 其木材主要作制浆造纸、三板 (纤维板、刨花板、胶合板)、矿柱、建筑、地板、家具等用材, 其中制浆造纸用材量最大, 每生产 1t 木浆需 4m³ 木材; 用赤桉材生产地板条, 颜色、花纹比较美观。云南省种植的材油兼用型桉树如蓝桉、直干桉、史密斯桉、双肋桉等不仅生产木材, 桉叶可以蒸馏桉油, 是云南省的重要出口商品, 2005 年云南省出口桉油 4373t, 桉油是医药、香料、化妆品等工业的重要原料。云南省几种主要桉树木材理化性质见表 1, 云南省几种材油兼用型桉树桉叶油产量, 出油率, 桉叶素含量见表 2。

桉树的经济效益十分显著, 以 2009 年金光集团和云景林纸营造的纸浆用材林为例, 造林树种为尾叶桉、尾巨桉、巨尾桉等无性系, 6 年生平均树均高 17.7M, 平均胸径 12.2CM, 蓄积量 13.7374 M³/亩, 产材量 11.6768 M³/亩, 以木材价格 400 元/ M³ 计算, 每亩产值高达 4670.7 元, 扣除经营成本, 包括地租、营林、采运及各种税费每亩共计 3123.2 元, 每亩纯收入为 1547.5 元。

若以坑木用材为例，经济效益更佳，8年生直干桉，平均树高17.8M，平均胸径16.5CM，每亩可用于坑木的林木88株，每株取2.2M长，小头直径8CM以上的坑木4根，其中小头直径12CM以上的1根，单价32元/根，小头直径9CM以上的2根，单价16元/根，小头直径8CM左右1根，单价8元/根，合计每株价格72元，每亩产值为6336元，扣除经营成本3064元/亩，其中包括营林650元，采运1500元，税费740元，地租174元，每亩纯收入3272元，尚未计入桉油收入。

材油兼用型工业用材桉树经济效益亦很好，根据云南林科院对直干桉多点效益研究，7年一个轮伐期，采用动态财务分析结果，净现值为5059元/h m²，内部收益率达35.6%，费用效益比为1.59。另外，以富民种植的直干桉纤维用材林为例，2004年采伐，树龄7年，蓄积量为10.52 M³/亩，出林量为8.94 m³/亩，木材价格300元/m³，木材产值每亩达2682元，扣除经营成本1240元/亩，其中营林500元，木材采运550元，各种税费120元，地租70元，木材纯收入1442元/亩；7年每亩共产桉油16kg，平均单价30元/kg，桉油产值为480元，扣除桉油加工成本160元/亩，桉油纯收入320元/亩，7年生直干桉纤维用材林每亩纯收入合计1762元。

表1 几种桉树木材理化性质

树种	年龄 /a	基本密度 /kg·m ³	纤维长度 /mm	综纤维素 /%	木素 /%	多戊糖 /%	碱抽出物 /%
蓝桉	5	530	0.91	82.03	30.18	24.23	14.36
直干桉	5	560	1.03	79.44	22.21	23.37	14.36
史密斯桉	5	570	0.90	81.47	25.63	24.82	14.80
双肋桉	5	500	0.99	78.55	24.87	21.85	16.61
巨桉	5	500	1.02	79.15	22.53	22.54	15.01
尾叶桉	5	470	0.76	78.15	26.62	22.65	15.73
尾巨桉	6	500	0.79	79.75	23.18	21.55	15.24
巨尾桉	6	515	0.67	77.96	26.45	22.40	17.32
赤桉	13	644	0.85	42.54	24.31	20.10	24.31

表2 几种材油兼用型桉树桉油产量、出油率、桉叶素含量

树种	桉油产量 /kg·hm ⁻²	出油率 /%	桉叶素含量 /%
蓝桉	75.9	1.14	69.2
直干安	78.3	1.24	71.1
史密斯桉	72.91	1.42	81.6
双肋桉		1.21	78.1

2、生态价值

人工林生态功能下降具有共同性，其主要原因是树种单一，结构简单，生物多样性降低，人为干扰。桉树的生态价值主要从地力、水土保持、生物多样性三个方面加以评述：

地力效应

地力包含土壤肥力和生产力，土壤肥力下降的原因：一是水土流失带走，二是收获林产品带走，三是人为因素造成土壤养分损失。地力下降是人工林共同面临的问题，桉树亦不例外。Davidson (1989) 对不同植物 N、P、K 的吸收量研究表明，茶树分别为 240、20、100

kg/ (h m² · a), 橡胶树分别为 321、33、163 kg/ (h m² · a), 杂种尾叶桉分别为 76、6、4 kg/ (h m² · a), 桉树最低。Campinhos (1993) 在巴西测定, 7 年轮伐的桉树纸浆林对 N、P、K、Ca、mg 的吸收量分别为 455、60、235、607、96 kg/ (h m² · a), 而积累量分别为 833、112、383、111、135 kg/ (h m² · a), 积累量大于吸收量。盛伟彤等研究表明, 9 年生杉木人工林与立地条件相似的次生林比较, 有机质下降 14.66%, 速效 P 下降 12.2%, 速效 K 下降 10.41%。云南林科院研究结果杉木造林第三年与造林前比较, 有机质下降 9.8%, 全 N 下降 3.4%, 速效 P 下降 36%, 速效 K 下降 21%。胥辉等对思茅松林研究结果, 第二代林(天然次生林)土壤现实养分(包括 PH、有机质、全 N、全 P、速效 N、P、K)比第一代林(天然林)土壤养分下降 8.39%, 第三代林(人工林)比第一代林土壤养分下降 32.3%, 比第二代林下降 26.09%。

广东省雷州林业局对造林 6 年后的雷州一号桉林, 土壤养分变化情况研究结果、土壤容重没有大的变化, 有机质提高 13.9%, PH 值下降 8.6%, 全 N 提高 20.2%, 碱解 N 提高 51.1%, 全 P 提高 13.8%, 速效 P 下降 57.5%, 全 K 变化不大, 速效钾提高 40.5%, 由于集约经营桉树生长量从 1986 年 2.42M³ / (h m² · a), 高到 1998 年的 11.83 M³ / (h m² · a)。

云南林科院对蓝桉、直干桉造林后土壤养分变化情况研究结果: 不进行施肥(对照)的蓝桉人工林造林 3 年与造林前比较 PH 值提高 3%, 有机质提高 13.5%, 全 N 下降 47%, 速效 N 下降 17%, 速效 P 下降 43.8%, 速效 K 下降 34%; 施肥区与对照区比较, 施肥区与对照区有机质均有不同程度提高, 其它营养元素施肥区比对照区下降速度大大减小, 而施肥区林木蓄积量比对照区大 83% 以上, 从而说明桉树施肥效应明显。另外, 云南林科院对 2.5 年生直干桉人工林枯落物产量进行调查, 每 h m² 有枯落物 5065kg, 折算成营养元素含量, 每 h m² 含 N 量 58.69 kg, 含 P 量 2.5 kg, 含 K 量 25.83 kg, 含 ca 量 63.3 kg, 含 Mg 量 7.6 kg。再有云南林科院对 19 年生蓝桉、直干桉试验林造林前与 19 年生林地土壤养分变化研究结果, 19 年生林地与造林前比较 PH 值下降 7.6%, 有机质上升 309.1%, 全 N 上升 24.0%, 全 P 下降 8.9%, 速效 N 上升 15.0%, 速效 P 上升 4.0%, 速效 K 下降 5.5%。说明随着树龄的增大, 地力出现营养平衡期或相对富裕期。

水分效应

根据中国林科院热林所在雷州半岛多年实测数据, 年降雨量 1520mm, 桉树人工林的蒸发量小于 1000mm, 一般都是蒸发量大于降雨量, 桉树林则反之据雷川林业局测定, 桉树林内相对湿度 90%, 林外为 86%, 桉林内比林外蒸发量降低 20%。Davidson (1989) 研究结果, 不同植物每生产 1kg 干物质所消耗的水量分别为: 桉树 510L, 合欢属 580L, 针叶树 1000L, 棉花 800L, 向日葵 600L, 蚕豆 600L。西南林学院对相思树种和桉树水分利用效率(用净光合速率与蒸腾速率的比值表示水分利用效率)研究结果, 各树种水分利用效率(mg/g)分别为: 窿缘桉 39.92, 赤桉 33.73, 柠檬桉 33.03, 厚荚相思 21.51, 大叶相思 15.16, 马占相思 5.20。赵庭香等(1988)在东门林场测定结果, 窿缘桉林土壤含水率为 20.4%, 桉樟混交林为 20.80%, 荒山为 18.4%。云南旱季测定结果, 桉林内相对湿度为 59%, 空旷地为 54%。

云南林科院 1993-1995 年对蓝桉人工林水土保持定位监测结果, 造林第 3 年, 撩壕整地与对照(荒山)比较, 径流比值为 0.20, 泥沙流失量比值为 0.42 有机质流失量比值为 0.20; 穴状整地与对照比较, 径流量比值为 0.31, 泥沙流失量比值为 0.26, 有机质流失量为 0.10, 应该说明的是造林第一年上述各项比值要大, 因为通过整地使表土疏松之故。

生物效应

据西南林学院调查结果, 在直干桉人工林内有乔木 5 种, 灌木 17 种, 草本植物 61 种, 共计 83 种。根据中国科学院生态研究中心在普洱市调查结果, 桉树人工林有物种 73 个科, 97 个属, 135 种; 思茅松人工林有物种 68 个科, 88 个属, 106 种; 撂荒地有物种 105 种, 次生常绿阔叶林有物种 270 种。福建岩溪国有林场对尾巨桉人工林调查结果, 尾巨桉人工林内

有植物 29 个科，49 个属，53 种，其中双子叶植物占 69.81%，单子叶植物占 16.98%。桉林四季常青，树体高大壮观，树姿优美，花色美丽，具有较好的园林观赏价值。如灰桉（*E. erythraea*）、红花桉，是很好的园林绿化树种。

综上所述，与其它树种相比，桉树对水分、养分的利用率比较高，在相同的时间内，由于桉树生长快，生产的生物量多，故消耗的水分和养分相对多于生产较少生物量的其它树种，这是人们直观感觉到的印象。进行不同树种水分、养分消耗量的比较应以生产相同数量干物质为基础进行比较才具有科学性。桉树生长快，固碳能力（吸收大气中的 CO₂）强，每 h m² 桉树林每年可固定 8t 碳。利用较少的土地生产较多的林产品满足人类社会的需求，这是人类社会对林业的要求。桉树速生潜力大，作为商品林经营，只要提高经营强度，必然获取高的收入。因此，只有大力发展人工林，才能最大限度的保护好天然林和公益林，充分发挥不同森林类型的经济价值和生态功能。

三.优良树种及无性系介绍

1、蓝桉

蓝桉是云南省引种最早的材油兼用型桉树种。常绿大乔木，树皮灰褐或绿色，成长薄片状脱落，脱皮后的树干光滑，呈绿色或浅灰色，树干稍扭曲。幼苗茎呈紫红色，叶片主脉呈紫红色，叶片正面淡绿色，叶片背面大部呈紫红色，绒毛少，幼态叶对生，抱茎，长椭圆形或长椭圆状卵形；成熟叶互生，镰形或长披针形，1-2 年生小枝绿色。花单生叶腋，偶有 2-3 朵聚生，蒴果较大，倒圆锥形，具 4 棱，多瘤状突起，果瓣与果盘（萼筒）平齐，种子黑褐色或不规则。

蓝桉种植后 6 年左右开花结实，在滇中地区物候：9 月中旬至 11 月上旬开花，蒴果 1-3 月成熟，产籽率 1.5%-2.0%，种子千粒重 2.8-3.4g，每 kg 种子有 30 多万粒，种子室内发芽率 90% 以上。

阳性，深根性树种，生长迅速，喜疏松深厚的土壤，适宜种植的土壤为红壤、黄红壤、紫色土，在土壤干旱，土层浅薄（40cm 以下）的地方生长不良。蓝桉抗寒力强，但不耐较高气温。萌芽力强，可实行萌芽更新。木材边材灰白色，心材浅黄褐色，纹理交错，结构略粗，强度中等。在云南适宜生长的海拔范围及气象因子，生长情况及抗寒性见表 3、表 4、表 5。

2、直干桉

直干桉解放初期引种云南，为材油兼用型桉树。常绿大乔木，树干通直，分枝高，树皮灰褐色，块状脱落，脱皮后的树干灰白或淡黄色，光滑，有斑块。幼苗上部茎绿色，叶背面紫红色，绒毛较多，叶脉和叶片正面均为绿色；幼态叶对生，卵状披针形或长椭圆形，1-2 年小枝圆形，红褐色；成熟叶镰状披针形或窄披针形。伞形花序，有花 5-7 朵。蒴果陀螺形或杯形，果瓣与果盘基本平齐。种子黑色或黑褐色。直干桉种植后 7 年左右开花结实。在滇中地区物候：7 月下旬至 9 月中旬开花，1 至 4 月果实成熟，种子千粒重 1.50-1.52g，每 kg 种子有 60 万粒左右，产籽率 1.2%-1.4%，种子室内发芽率 90% 以上。

阳性树种，喜光，喜温暖湿润的气候条件。深根性树种，适宜种植的土壤、红壤、黄红壤、紫色土。直干桉生长快，但在干旱，土层浅薄的地方生长不良。萌芽力强，萌芽率在 90% 以上，可实行萌芽更新。抗寒力强。木材边材淡黄褐色，心材稍深，纹理较直，结构细，强度中等。木材理化性质及桉油产量、出油率、桉油中桉叶素含量见表 1、表 2，在云南适宜生长的海拔范围及气象因子、生长情况及抗寒性见表 3、表 4、表 5。

3、史密斯桉

史密斯桉 1986 年引种云南，属材油兼用型桉树。常绿大乔木，树干通直，树冠浓密而具光泽，树干下部的树皮宿存，灰褐色，具细条状裂纹，上部树皮成长带状脱落，脱皮后的树干呈灰白色，光滑，幼枝和侧枝红褐色。幼态叶对生，窄披针形至卵状披针形，成熟叶互

生，镰状窄披针形或窄披针形，暗绿色。伞形花序腋生，有花6-7朵，蒴果半球形，外缘有突出褐色斑点，果盘隆起，果瓣外伸。种子小，黑褐色，每g带花籽中有生活力的种子250-365粒，种子千粒重0.54g，带花籽产籽率3%-4%，种子室内发芽率85%以上。

史密斯桉种植后7年左右开花结实。在滇中地区物候：11月中旬至1月中旬开花，果实12月至次年2月成熟。

阳性，深根性树种，生长快，喜疏松深厚的土壤，适宜生长的土壤为红壤，黄红壤，紫色土。史密斯桉抗寒性强，萌芽力强，可实行萌芽更新。木材浅褐色，心材苍白色，硬且重，较耐久。木材理化性质，桉油产量、桉叶出油率，桉叶素含量见表1、表2，在云南适宜生长的海拔范围及气象因子，生长情况，抗寒性见表3、表4、表5。

4、双肋桉

大乔木，树干通直，树皮块状脱落，脱皮后的树干呈灰白色，光滑，在干基有少量树皮宿存。幼态叶对生，卵圆形至长椭圆形，基部心形。成熟叶互生，镰状披针形至披针形，深绿色，有光泽。伞形花序，有花3朵，花蕾有2棱，具白霜，蒴果半球形至钟形，具2棱，种子黑褐色，扁圆至不规则形。

双肋桉种植后8年左右开花结实，但结实量少，9-10月开花，果实2-3月成熟，每kg有生命力的种子10.6万粒，种子发芽率85%以上。

双肋桉耐寒力强，萌芽力强，萌芽率在90%以上。在云南适宜生长的海拔范围及气象因子，生长情况，抗寒性见表3、表4、表5。根据云南林科院试验结果，双肋桉种源差异较小，个体差异较大，4年生时最佳种源生长量比最差种源大35%以下，个体差异在40%以上，桉叶出油率高的种源比出油率低的种源高28%，桉叶素含量高的种源比含量低的种源高13.6%。

双肋桉木材是很好的纸浆原料，心材浅黄棕色，纹理稍交错，强度大，中等耐久。双肋桉属材油兼用型桉树，桉叶出油率高。木材理化性质及桉油产量、出油率、桉叶素含量见表1、表2、在云南适宜种植的海拔范围及气象因子，生长情况及抗寒性见表3、表4、表5。

5、邓恩桉

邓恩桉1988年引种云南。高大乔木，树干通直，树皮成带状脱落，脱皮后的树干光滑，白色或绿白色，树干基部树皮宿存，粗糙，树冠分枝较多，幼态叶对生，宽卵形至近心形，成熟叶互生，披针形。果杯形，果序3-4个，果柄较长，果瓣突起。

在滇中地区的物候：邓恩桉种植后8年左右开花结实，8-9月开花，果实6-7月成熟，种子发芽率85%，每g种子中有生命力种子296粒。

阳性树种，生长迅速，耐寒力较强。木材密度0.494g/cm³，心材呈淡棕色，边材的颜色和心材差异不明显，木质粗细中等，而均匀，有韃、韧性，纹理粗疏，较直，木材主要作纸浆用材。

6、巨桉

1986年引种云南，是很好的纸浆用材树种。常绿大乔木，树干通直，分枝高，脱皮后的树干光滑，银白色，被白粉。幼态叶对生，椭圆形，灰青色；成熟叶宽披针形，镰状下垂。伞形花序有花3-10朵，果梨形，果盘凹陷，果瓣突出，种子小，红褐色，每g带花籽中有生活力的种子195-310粒，千粒重0.355g，种子发芽率80%以上。巨桉种植后2-3年开花结实，一般高海拔地区结实早，低海拔地区结实晚。在滇中地区物候：9-10月开花，9-10月果实成熟。

深根性，阳性喜温树种，不耐低温，喜疏松深厚土壤，适宜生长的土壤为红壤，黄红壤，赤红壤，抗病虫能力较强，生长快，萌芽力强，可实行萌芽更新。木材浅桃红色，纹理较直，结构较粗糙，硬度中等。在云南适宜种植的海拔范围及气象因子，生长情况及抗寒性见表3、表4、表5，木材理化性质见表1。

7、尾叶桉

尾叶桉 1987 年引种云南。常绿大乔木，树干通直，分枝较粗且短，树冠较开阔，树干基部树皮宿存，上部树皮成薄片状脱落。成熟叶宽披针形，顶端呈尾状。花序腋生，有花 5-7 朵或更多，果杯状，种子浅暗褐色，种子小，每 g 带花籽中有生活力的种子 173-743 粒，种子发芽率 80%以上。尾叶桉种植后 3 年左右开花结实，一般 10-11 月开花，果实 5-6 月成熟。

尾叶桉为热性喜光树种，适应性强，能耐一定的干旱瘠薄，不耐低温，适宜种植的土壤为红壤、赤红壤、砖红壤。尾叶桉生长迅速，9 年生平均高 13m，胸径 15.2cm，萌芽力强，可实行行萌芽更新。木材紫红色，坚硬耐腐。在云南适宜种植的海拔范围及气象因子，生长情况，抗寒性见表 3、4、5。木材理化性质见表 1。

8、赤桉

常绿乔木，主干短，树皮光滑，具黄色和灰色斑块，成片状或短条状脱落，树干基部树皮宿存，幼苗和枝的皮淡红色。幼态叶宽披针形至卵形，淡灰绿色，对生、具柄，成熟叶互生，窄披针形至披针形，弯成而渐尖。伞形花序腋生，具花 4-8 朵，帽状体的基部近半球形，长约与萼筒相等，果半球形，果瓣突出。根据帽状体形状和树形的不同，又分为渐尖赤桉，短喙赤桉，垂枝赤桉，钝盖赤桉。

赤桉生态幅度宽，分布广，南亚热带、中亚热带、北亚热带均有分布，耐干旱，瘠薄，耐周期性水淹，抗寒性强。

赤桉为阳性深根性树种，主根发达，枝叶较稀疏，小枝下垂，抗风力强，对立地条件要求不严。赤桉早期生长迅速。

赤桉种植后 6 年左右开花结实，蒴果成熟后可在母树上宿存 1-2 年。赤桉一年开两次花，一次是 5 月中旬至 6 月中旬，另一次是 11 月中旬至 12 月中旬，果实 4-5 月和 10-11 月成熟，以 10-11 月成熟的果实最多。

赤桉结实丰富，但母树单株之间产果量差异大，出籽率 3%-5%，种子褐色或淡黄色，种子千粒重 0.33-0.50g，种子发芽率 90%以上。

赤桉木材淡红色到深红色，结构细致，纹理交错，易于打磨，耐腐性强，是枕木和木地板较好用材。在云南适宜种植的海拔范围及气象因子，生长情况，抗寒性见表 3、表 4、表 5。木材理化性质见表 1。

9、桉树无性系

无性系继承亲本的优良特性，因此，具有与亲本相似的生态生物学特性。目前生长较好的无性系多为尾叶桉和巨桉杂交种选育出的无性系。

9.1 广林-9 号 是广西林科院选育出的尾巨桉无性系，在普洱市 5 年生树高 18.6m，胸径 13.3cm，目前云南普洱市，文山州已有种植。

9.2 DH32-29 是广西东门林场选育出的尾巨桉无性系，目前云南普洱市，文山州已有种植，生长情况 $49.2\text{m}^3/\text{h m}^2 \cdot \text{a}$ 。

9.3 DH32-26 是广西东门林场选育出的尾巨桉无性系。目前云南文山州已有种植，生长情况 $48.7\text{m}^3/(\text{h m}^2 \cdot \text{a})$ 。

9.4 DH201-2 广西东门林场选育出的巨细桉无性系，6 年生树高 17.2m，胸径 11.5cm。

9.5 DH33-27 广西东门林场选育出的尾巨桉无性系，生长情况 6 年生 $42.5\text{m}^3/(\text{h m}^2 \cdot \text{a})$ 。

9.6 LH5 中国林科院热林所选育出的尾细桉无性系，6 年生树高 19.8m 胸径 12.2cm。

9.7 Eg2、Eg5 福建永安岩溪选育出的巨桉无性系，较耐寒，4 年生树高 15.5m，胸径 12.3cm。

9.8 广林 4 号 广西林科院选育出的尾巨桉无性系，6 年生树高 20.25m，胸径 13.4cm。

9.9 DH32-22 广西东门林场选育出尾巨无性系，6年生树高19.57m，胸径13.23。

表3 几种桉树在云南适宜种植的海拔范围及气象因子

树种	海拔高度 /m	年平均 气温/°C	极端最 高气温/°C	极端最 低气温/°C	年降雨量 /mm	年相 对湿度/%
蓝桉	1500-1900	14.5-16.5	34.0	-3.0	900-1100	>72
直干桉	1300-1950	14.5-18.0	35.0	-4.0	900-1100	>72
史密斯桉	1300-1950	14.5-18.0	35.0	-4.0	900-1100	>72
双肋桉	1300-1950	14.5-18.0	35.0	-4.0	900-1100	>72
邓恩桉	1300-1900	15.0-17.5	35.0	-3.0	100-1200	>75
巨桉 (尾巨桉)	800-1650	16.0-20.0	37.0	-2.0	1000-1300	>78
尾叶桉	1500以下	17.5以上	39.0	-1.0	1000-1400	>78
赤桉	400-2300	13.5-22.0	40.0	-5.0	550-1200	>60

注：牢山以东海拔上限下降150-200m。其中巨桉、尾叶桉海拔上限下降250-300m。

表4 几种桉树在云南的生长情况

树种	年龄 /a	平均高 /m	平均胸径 /cm	平均蓄积 /m ³ ·hm ⁻²	种植 地点
蓝桉	7.5	18.0	14.4	203.25	保山
直干桉	7.5	17.5	15.6	231.90	保山
史密斯桉	7.5	19.4	17.4	298.95	保山
双肋桉	7.5	16.8	13.8	174.15	保山
邓恩桉	7.5	15.0	14.5	156.11	富民
巨桉	11	20.8	21.9	399.04	弥勒
尾叶桉	5	14.4	11.6	148.20	思茅
尾巨桉	5	16.6	12.4	187.95	思茅
巨尾桉	5	18.0	13.0	232.35	思茅
赤桉	9	15.0	14.5	174.00	弥勒

表5 几种桉树抗寒级别

抗寒 级别	平均受 害指数	树种	临界 低温/°C	临界低温 持续状况	零度以下 持续低温/°C	零度以下低 温 持续时间
I级最抗寒	0.6以下	樟脑桉、多枝桉	-6.0~-6.5	短暂	-3.5~-4.0	8
II级抗寒	0.6-1.3	史密斯桉、直干 邓恩桉、赤桉、亮果桉 双肋桉	-4.0~-4.5	短暂	-2.5~-3.0	8
III级较抗寒	1.4-2.0	细叶桉、蓝桉	-3.0~-3.5	短暂	-1.5~-2.0	8
IV级不抗寒	2.1-3.0	巨桉、柠檬桉 大叶桉、窿缘桉	-2.0~	短暂	-1.0以上	6
V级极不抗寒	3.0以上	尾叶桉、托里桉	0度以上			

注：在上述低温范围内，桉树不会受冻或轻微受冻。

四、良种选育技术

按树良种选育技术概括起来分为“引、选、育、繁”几个技术层次，其中包括有目的引种，选择育种（包括种源选择，优良林分选择，优树选择及子代测定，无性系选择），杂交育种，抗性育种、建立良种繁殖基地。

1. 种源选择：

种源选择就是通过种源试验，为某一地区或立地类型选择出最佳种源的过程。种源试验即是林木群体测定，就是把自然分布在各地理区域的种源样本（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进行对比试验，最终选择出最佳种源供造林用。种源选择的程序包括：试验材料采集，田间试验，通过统计分析选择出最佳种源，并进行遗传参数估算，性状相关性和地理变异规律分析，进一步了解种源遗传变异规律，进行推广应用。

试验材料采集：种源采集必须包括该树种的全分布区；采种林分应是实生林；每个采集点的母树不少于10株，母树为近似平均木；进行采集点经度、纬度、海拔、气候因子、地形、林分状况、母树年龄等登记，分配种子时应附上相关资料。

田间造林试验一般采用随机区组设计，地势比较复杂，种源数较多的情况下，可采用平恒不完全区组设计或裂区设计，6-4次重复，6-9株小区，试验期为1/2个轮伐期。造林密度一般采用2×3m或2×2.5m，造林技术措施相同，造林后的观测内容：成活率、保存率、生长量、物候、生长节律、抗性、木材理化特性、桉叶出油率等，生长量每年观测一次，生长节律每月观测一次，根据不同的选择目标，观测内容应有所侧重或简化。

优良种源选择指标主要包括：生长量、木材特性、适应性、抗性、桉叶出油率、生产力等。根据不同的选择目标，选择指标应有所侧重。种源评选分单项和综合选择。单项选择如生长性状，桉油产量等分别进行选择；综合选择是对多个性状包括数量性状和质量性状进行选择。单项选择在试验数据整理的基础上采用标准差法，聚类分析法进行评选，如史密斯桉优良种源选择标准是平均数加1个标准差。综合选择一般采用坐标综合评价法或指数法进行评选，如果试验以当地种源作对照，那来优选良种源选择用对照作标准进行选择。

另外，对生长量进行方差分析时可用方差分量估算遗传力。根据云南林科院试验研究结果，史密斯桉种源蓄积遗传力为0.869，遗传增益为0.246。还可利用各项试验数据采用相关分析法进行性状相关性及地理变异规律分析，如生长量与经度、纬度、海拔、气象因子的相关分析，种源稳定性分析，各种源早一晚相关分析，通过各项分析进一步了解种源的生长特性及生态生物学特性，便于推广应用。2005年前云南共选择出蓝桉、直干桉、史密斯桉、双肋桉等树种优良种源28个。筛选出的优良种源蓄积比当地对照直干桉分别大，蓝桉8.7%-12.9%，直干桉8.4%-9.7%，史密斯桉37%-69%。

2、优树选择及子代测定

2.1 优树选择

优树是指在相同立地条件，相同树龄，采用相同营林技术措施的天然林或人工林中，其生长量、品质，材性、抗性、桉叶出油率等方面表现最好的个体。优树选择是一种按优树选择目标和标准进行的表型选择，是为建立良种基地，无性系选择或直接造林提供优良材料。

选择条件：优树必须在立地条件基本一致的林分中进行选择，最好在种源林，子代测定林，优良林分及大面积实生人工林中选择。树龄6-10年。

选择标准：根据树种和选择目标确定标准，并遵循“集中对少数性状进行选择”的原则。选择标准分为数量指标，如树高、胸径、枝下高、生根率、桉叶出油率等，形质指标，如冠形、干形、材质木材纹理等，如果培育纤维用材选择目标侧重生长量、树皮率、木材密度、纤维长度等。选择性状应以数量性状为主，而且注意起主导作用的性状，如云南林科院在以纤维用材为目标对蓝桉、亮果桉、直干桉采用优势木法进行选优，经统计分析发现胸径在数量选择中起主导作用，采用标准差法进行选优，树高性状在数量选择中起主导作用。在进行

纤维用材为目标,采用优势木法进行选优,初步确定的优树标准为:蓝桉优树树高大于优势木树高平均值 10%以上,胸径大于 15%以上,直干桉优树树高大于优势木平均值 12%以上,胸径大于 18%以上。采用标准差法进行选优。初步确定的标准为:蓝桉,亮果桉优树高和胸径分别大于标准地林木树高和胸径平均值 1.8 个标准差,直干桉为 2.0 个标准差,蓝桉树皮率在 14%以下,直干桉树皮率在 17%以下。优树选择方法一般采用优势木对比法,标准差法(小标准地法)及综合指数法。优势木对比法,通过目测初步确定候选优树,以候选优树为中心,在立地条件一致的 10m 半径范围内(应包括有 30 株以上林木),通过目测选出生长量次于候选优树的优树 3-5 株,对优树和优势木进行各项性状实测。将实测结果按事先确定的标准进行比较,候选优树各项指标大于确定标准的即为初选优树,进行复选时优中选优,若事先没有标准的树种应进行试选工作找出标准。标准差法,以候选优树为中心,在立地条件一致,半径 10m 范围内(应包括有 30 株以上林木)实测每木胸径,测 5 株平均木(平均胸径的林木)树高及候选优树胸径,树高,计算标地内林木平均高、平均胸径及标准差,在平均值基础上加事先确定的标准差,达到此标准的即为初选优树,标准差标准因树种、地区不同而不同。如果树种没有事先确定的标准差标准应进行试选工作找到标准差标准。2005 年以前云南共选出蓝桉,直干桉,史密斯桉,亮果桉等优树 348 株。

2.2 子代测定:

子代测定又称后代测定,是一切育种工作的核心,种源选择,优树选择,无性系选择等均均为表型选择,对于遗传特性只有通过子代测定才能反映。子代测定即家系试验一般采用随机区组设计,4-9 株小区,8-5 次重复,如果地形复杂,家系数量太多,可采用平衡不完全区组设计,如果同时进行种源和家系试验可采用裂区设计。造林密度为 $2 \times 3\text{m}$ 或 $1.6 \times 3\text{m}$,造林技术措施相同。试验观测内容主要包括成活率、保存率、生长量、抗性、木材理化性质及桉叶出油率等。

生长量半年或 1 年观测一次,抗性主要观测抗寒性,抗旱性,抗病虫害能力。观测内容可根据试验目的有所侧重和简化。优良家系的评选方法参照优良种源评选方法。至 2005 年云南共选择出蓝桉、直干桉、史密斯桉等树种的优良家系 176 个。云南林科院通过家系试验筛选出的优良家系蓄积遗传力:蓝桉 0.288,直干桉 0.215,史密斯桉 0.565;遗传增益:蓝桉 0.217,直干桉 0.122,史密斯桉 0.276。

3、优良林分选择

优良林分指在相同的立地条件及经营技术措施下,林木生长量大,林分长势良好,林相整齐,林木分化小,树干通直圆满,Ⅰ、Ⅱ级木占优势的林分。桉树优良林分一般选择标准为材积年生长量在 $18\text{m}^3/\text{hm}^2$ 以上,形质指标要求同上述。

4、良种基地

良种基地是为大面积造林提供优质种子的采种基地。良种基地分为母树林和种子园两种。

4.1 母树林:母树林分为改建母树林和新建母树林,改建母树林是选择符合建母树林标准的现有优良林分,实施疏伐、抚育、施肥等集约经营措施建成的母树林,这种母树林简单易行,投资少、提供优良种子快。新建母树林是通过采集良种,培育壮苗,采用超级苗营建的母树林,这种母树林标准较高,种子质量较好,但经营时间较长。母树林经营,疏伐,每隔 3-4 年疏伐一次,疏伐原则是砍小留大,除劣留优,砍密留稀,保留生长快,干形通直,树冠匀称,分枝较低,长势旺盛的林木,每次疏伐后郁闭度保持 0.5-0.6 为宜,最后每亩保留 20 株左右,加强土壤管理,每年进行除草,松土抚育,施肥,施肥量逐年增加,肥料采用混合肥、有机肥或复合肥。建立母树林技术档案,记载造林时间,各种经营措施,物候,生长量,结实量,种子品质等,以便为改善经营措施提供依据。

4.2 种子园:种子园分无性系种子园和实生种子园

无性系种子园：无性系种子园主要是采用嫁接方法建立的种子园。建园程序包括：园址选择，定植砧木，接穗采集，嫁接，无性系配置等。园址选择应根据建园任务，树种生态要求综合考虑，应选择立地条件较好，隔离条件好，避免与其它桉树花粉相互传布，隔离距离应在 1000m 以上，采用本砧嫁接最好，用异砧嫁接成活率低。营建种子园首先从建园桉树的优树上采集种子，育苗定砧；接穗的采集，应在优树中上部向阳面选择半木质化的 1 年生枝条作接穗，所选接穗枝条饱满、通直、粗状、健康，枝条采集后即时进行嫁接，运输中注意保湿。嫁接方法有切接、腹接、皮下接、对接及保湿嫁接等，掌握好熟练地嫁接操作技术十分重要。嫁接时间为春季（2-4 月），嫁接应选择无风阴天进行，嫁接前 2-3 天，每天给砧木淋水一次，保证砧木有充足的水分，提高嫁接成活率。无性系配置，入园无性系至少有 30—50 个，采用阶梯错位法配置无性系。建园方式，可将砧木直接定植到造林地进行嫁接，亦可在育苗地嫁接后再定植到造林地。种子园建立后应加强土壤管理，必要时进行修枝整形，截顶，矮化处理等管理工作，建立种子园技术档案。

实生种子园：建立实生种子园的技术要求基本上与营建无性系种子园相同。不同的是实生种子园是用实生苗营建，培育实生苗的种子来自优树自由授粉种子或从无性系种子园采集的控制授粉种子，实行单系（单株）育苗，营建实生种子园可与子代测定相结合，在子代测定的基础上营建实生种子园，实现家系间和家系内双重选择。

至 2005 年云南共建立蓝桉、直干桉、史密斯桉、巨桉母树林 139.64h m²，建立蓝桉，直干桉，史密斯桉实生种子园 27.06h m²，建立直干桉嫁接种子园 8h m²。

五、育苗技术

1、实生苗培育

实生苗是指用种子繁殖的苗木。

1.1 种子采集

选择树干通直圆满，年平均生长量树高 2m 以上，胸径 2cm 以上，无病虫害，树龄 8-15 年的母树进行采种，建立母树林和种子园的树种，应在母树林和种子园中采种。当蒴果由绿变褐色，果瓣尚未开裂时采集种子，蒴果采集后日晒 2-3d，种子自然脱出，筛簸后收藏，用布袋收藏置于通风干燥地方。进行种子纯度，千粒重，发芽率等品质检验。

1.2 育苗

采用 1-2 级苗造林，一级苗标准为平均苗高加 0.5 个标准差；二级苗标准为平均高以上。育苗方法分两种，第一种为分段育苗，即先在苗地或育苗盘中培育地苗，待苗高达 4cm 左右，将苗木移截至盛有营养土或轻基质的容器内，第二种方法是将种子直接播种在盛有营养土或轻基质的容器内，每个容器播 2-3 粒种子，播种后用细火土复盖，再加盖松针。一般多采用第一种方法，因为第二种方法容器苗管理时间长，第一种方法苗木经一次移栽对促进根系生长有利。

分段育苗：播种前一周左右用 0.3%高锰酸钾液或播种前半月左右用 0.3%福尔马林液进行土壤消毒。苗床经细致整平后撒上一层事先配制好的细营养土，喷水后进行播种，播种时将种子与细土混合进行撒播，播种后用细火土复盖，厚度以不见种子为宜，再加盖松针，喷足第一次水，喷水半天至 1 天后用 500 倍敌百虫和多菌灵液等杀虫杀菌剂对苗床和步道进行消毒。禁止用菜地作苗圃。为了促进苗木生长可在苗床上建简易塑料薄膜大棚，或采用棚内盘式育苗，棚内育苗注意温湿度调控。苗期管理：经常保持苗地湿润，定期用杀菌剂喷洒苗地、步道进行杀菌，浓度根据苗龄确定，常用的杀菌剂为波尔多液，浓度 1: 1: 150，多菌灵、百菌清等杀菌剂浓度 1000-15000 倍。若发现有虫害应即时喷撒杀虫剂。苗木开始出土时，有的树种如史密斯桉进行一周左右遮荫，苗木出土期间要预防暴雨对苗木的损害，复盖苗床的松针分 2-3 次去除。苗木过密应进行间苗。移栽苗木应选择阴天或晴天早晚进行。苗木上容器后喷足第一次水，以后经营保持容器内基质湿润，苗木移栽一定时间可用 0.2%-0.3%的

复合肥液喷浇苗木，促进其健康生长，施肥采取低浓度多次施的方式。苗木高达 20cm 左右即可用于造林。

育苗容器：育苗容器有合成纤维无纺布营养杯，规格直径 4-5cm，高 9-11cm；纸质营养杯，直径 4-5cm，高 8-10cm；塑料薄膜袋，规格高 10-12cm，直径 6-8cm；硬质塑料管（杯）容器，四方形或圆形，内壁有 3-4 个棱状结构，育苗时置于专制的育苗架上；穴盘育苗器，育苗时架空使用，每个盘有穴孔多个。无纺布营养杯和纸质营养杯具有透气，透水、根系易于穿透，与苗木同时种植等优点，容器成本较塑料袋高，硬质塑料管（杯）容器和穴盘育苗器不能与苗木一起栽植，容器要返回，多次使用，从而增加育苗成本。

育苗基质：一般塑料袋容器育苗基质配制：野外腐质土（或心土）90%，火土 10%，普钙 2.5%，复合肥 0.5%，分别加 0.3% 的呋喃丹、多菌灵等杀虫杀菌，充分混合后使用。轻基质配制（参考桉树中心有关资料）：利用农林生产废弃物如秸秆、树皮、锯木屑、稻壳、花生壳、玉米心、椰壳等与轻体矿物质泥炭、珍珠岩、蛭石、炉渣、煤渣等配制而成。有的基质原料如树皮，秸秆、玉米心、椰壳等要进行粉碎，配制的轻基质进行沤堆发酵，基质水分保持 60% 左右，可添加适量的尿素，动物粪便及菌类，湿度不足进行喷水，2-3 周翻动一次，沤堆用透明薄膜加盖，发酵时间 2-3 个月。

2、无性系苗培育

2.1 无性系基本概念

无性系就是某一原始母株通过无性繁殖所产生的无数分株的总称。无性系能保持原始母株的遗传特性。用无性系苗造林具有选种效率高，遗传进展快，生长迅速，产量高，林相整齐，易于集约经营等特点，用优良无性系造林经济效益十分显著。我国桉树无性系选育及造林在国内诸多树种中，居领先地位。

无性系苗主要分两种：一种是扦插苗，另一种是组培苗。有些树种因无性繁殖困难，目前还不能大批量生产无性系苗用于造林如柠檬桉，蓝桉等。目前造林采用的无性系苗多数是利用杂交种培育的无性系苗。

优良无性系苗培育程序：优树选择，幼化处理，建立采穗圃，无性繁殖（包括组培、扦插、嫁接），无性系测定，无性系推广应用。

优树选择前面已讲述，这里不再重复。

幼化处理：幼化处理是无性繁殖的关键，是提高繁殖率的重要技术措施。幼化处理分为优树环剥法，优树本砧嫁接法及砍伐优树让其萌发等方法。环剥法是在优树干基离地面 20cm 左右将树皮剥去一圈的三分之二至四分之三，宽度 3-4cm，深度达形成层，让环剥处产生萌条；本砧嫁接法就是利用优树种子育苗作砧木，再取优树中上部向外的半木质化枝条作接穗，嫁接成活后剪去接穗枝条一部让其产生萌条。选择经幼化处理萌条的芽、茎及半木质化枝条作组培及扦插材料。

建立采穗圃：采穗圃是以苗繁殖的繁殖场。采穗圃用苗来源于经无性系测定选择出的优良无性系组培苗。选择生长健壮，无病虫害及机械损伤，苗高 5-10cm 的组培苗作采穗圃母株定植于苗圃地，种植密度 15×20cm 或 20×20cm。母株种植后当苗高达 14cm 左右，从离地面 4-6cm 处剪去主梢作插穗，伐桩应保留 1-2 对小叶片，待伐桩萌条长至 8-10cm 具 2-3 对小叶片时，可采集萌条作第二次插穗，以后发出的萌芽条可反复使用，所采集的萌条应达到半木质化程度。采穗圃一般连续使用 1.5-2 年必须对母株进行复壮更新。其方法是：将母株从根际伐去，让伐桩重新萌芽，形成新的根桩，继续产生萌条供扦插用。采穗圃应加强水肥管理和病虫害防治。

2.2 扦插苗培育：建立扦插用塑料薄膜大棚，亦可采用玻璃温室作为扦插场地。大棚内配备可进行温、湿度，光照等调控的设备。亦有采用简易塑料棚进行扦插，但必须注意进行人工调控，满足棚内适宜的温、湿度，光照条件。一般中午气温过高应将薄膜四周打开

降温，用遮阴网进行遮阴，避免强光照射。

插穗采集及处理：插穗主要来源于采穗圃，若尚未建立采穗圃，可用优树伐桩、优树环剥或嫁接株半木质化萌条作插穗，插穗长 10-12cm，保留 1-2 对叶，如果叶片过大，可剪去 1/3—1/2，每株萌条根据木质化程度确定选取的插穗数，萌条采集后及时送到工作地进行处理。插穗剪好后用杀菌剂如高锰酸钾，进行消毒处理，消毒后的插穗放入盛有生根促进剂液的容器中浸泡 15 秒钟左右，促进剂液深 3-4cm，经处理后的插穗及时进行扦插，生根促进剂也可配制成糊状进行蘸插。生根促进剂又称激素，一般采用 ABT1 号生根粉，吲哚丁酸（IBA），萘乙酸（NAA），最好采用混合型生根促进剂效果更好，浓度 500-1000PPm，根据不同树种生根难易程度确定浓度。扦插用容器为育苗塑料袋，硬质塑料管、杯、盘等，亦有在苗床上进行扦插，生根后再移栽到容器内。扦插基质采用心土、蛭石、珍珠岩或按一定比例配制的混合物，采用轻基质进行扦插效果更好，扦插后加强管理。扦插棚内光照强度，温度和湿度是扦插繁殖的重要外部条件，温度保持在 25-30℃，湿度 95%以上，用遮阴网进行遮阴，根据不同季节选择不同的透光度，冬春季透光度 60%-70%，夏秋季透光度 30%-40%。定期用杀菌剂如波尔多液，高锰酸钾液进行消毒。一般扦插后 20-30 天生根，当扦插条生根发芽后将其移至全光照炼苗场进行炼苗，加强水肥管理，40 天左右，苗高达 15cm 左右即可出圃用于造林。扦插苗培育从扦插到出圃需要两个半月左右时间。因此，扦插时间应与造林时间相吻合。

2.3 组培苗培育

组织培养是指在无菌条件下，分离并在培养基中培养离体植物组织的技术。组培技术在桉树无性系苗培育中发展很快。组织培养技术主要用于扦插难生根树种的无性繁殖；建立采穗圃；用组培苗直接造林。目前已有 60 种桉树组织培养获得成功。

组织培养技术包括以下程序：繁殖材料选择，接种，芽的诱导、增殖，诱导生根，组培苗移栽。繁殖材料选择非常重要，一般选用优树萌条或采穗圃植株萌条的茎尖或茎段作繁殖材料，外殖体繁殖材料应进行严格消毒，在无菌条件下进行接种。芽的诱导、增殖，诱导生根均采用专门的培养基，不同树种采用的培养基有差别，应参考有关资料选择适宜的培养基或自己进行选择摸索试验。

组培苗移栽：组培苗移栽一般在遮光的塑料大棚内进行。移栽时首先将瓶内培养基松动，随之将培养基和小苗一起从瓶内倒出，将苗木根系和培养基分离后在清水中将根部残留培养基洗净再进行移栽。移栽用容器为塑料袋，硬质塑料杯（盘）、网袋等。基质采用心土，并在心土中加上适量的蛭石、泥炭土，有条件的地方用轻基质进行育苗最好。移栽前用多菌灵液浸泡苗木根系 10 秒钟左右，进行消毒，并剪去过长的根系，用 0.1%-0.2%高锰酸钾溶液对基质进行消毒。苗木移栽后及时喷水，苗期注意保湿保温，防治病虫害，合理施肥，进行逐步透光炼苗，最后移至全光照下培育。组培苗培育技术性较强，具体操作应学习有关专业资料。有条件的地方无性系苗培育实行工厂化育苗。

无性系测定：无性系测定是无性系选择的关键，测定苗木来自优良个体无性繁殖苗木，试验设计、评价方法等参照种源选择和家系测定，无性系遗传力称为重复力或重现力。云南林科院进行蓝桉、直干无性系选择，筛选出蓝桉优良无性系 10 个，直干桉 11 个，5 年生材积大于对照（实生），直干桉 8.9%—246%，蓝桉 6%—270%。

六、造林技术

桉树造林的关键是良种选择，进行立地控制，密度控制，时效控制。

1 造林地选择：

根据适地适树原则，首先依据当地的海拔及气象因子，选择适宜的树种，进而选择立地条件。影响桉树生长的主要立地因子：土类、土层厚度、质地、坡向、坡度、坡位等。根据上述立地因子将立地条件划分为两类。I 类：土壤为红壤、黄红壤、赤红壤，土层深 100cm

以上，质地疏松，坡向 ES、EN、WS、WN，坡度 10° 以下，坡位中、下；II 类：土壤为紫色土、黄红壤、砖红壤，土层深 50-100cm，质地稍紧，坡向 N、S，坡度 10° -20°，坡位上。坡度 25° 以上，土层深度 40cm 以下一般不适宜种桉树。不同的桉树适宜的土壤类型有一定差异，桉树最佳立地条件是立地指数在 15 度以上。云南林科院应用 430 块标地材料，采用 5 株优势木法编制了蓝桉立地指数表 6，数量化立地质量评定表 7，直干桉，史密斯桉生态条件及生长特性与蓝桉相似，可参考使用立地指数及数量化立地质量评定表。数量化立地质量评定表使用方法：如通过造林地环境因子调查得到以下数据：红壤、土层深 50-100cm，质地为轻、中壤，坡向 S，坡度 10° -20°，调查项目为 5 项，用数量化立地质量评定表 7 中 ×5 栏中的数据进行相加：13:1124+1.6117+1.6266+0+0.1406=16.4913。从计算结果的数据查表 6 立地指数表得到上述环境因子的造林地立地指数近似 17 级，该造林地林木 7 年生优势木预估平均高为 17.5m。

表 6 蓝桉立地指数表（部分）

年龄	立地指数级					
	12	14	16	18	20	
3	6.9	8.0	9.2	10.4	11.5	12.7
4	8.3	9.7	11.0	12.5	14.0	15.4
5	9.5	11.1	12.8	14.4	16.0	17.7
6	10.6	12.4	14.2	16.0	17.9	19.7
7	11.5	13.5	15.5	17.5	19.5	21.5
8	12.3	14.5	16.7	18.8	21.0	23.1
9	13.1	15.4	17.7	20.0	22.3	24.6
10	13.8	16.3	18.7	21.1	23.5	25.9

注：标准年龄为 7 年

表 7 数量化立地质量评定表（部份）

项 类 得 项	X1	X2	X3	X4	X5	
目 目 分 目						
土类	红壤	16.0989	13.50	13.2173	12.1867	13.1124
X1	黄红壤	14.1589	12.0189	12.6853	10.9268	11.8911
	紫色土	12.2766	11.9869	11.5604	10.5442	11.5937
土层深	>100cm		4.3263	3.6648	4.0443	3.5704
A+B 层)	50-100cm		2.7193	1.7962	1.9387	1.6117
X2	<50cm		0	0	0	0
土壤质地	轻、中壤			1.8376	1.5987	1.6266
	重 壤			1.6246	1.2097	1.4690
X3	粘 壤			0	0	0
坡向	ES、WS、EN、W2、WN				2.2884	1.7808
X4	N				1.3862	1.3685
	S				0	0

坡度	>20°	-1.1822
X5	10° -20°	0.1406
	<10°	0

2、造林技术措施

整地：整地规格要与造林密度相吻合。整地方式一般分为穴状整地，撩壕整地。穴状整地规格 50×50cm，撩壕整地壕宽 60cm，深 50cm。整地时间造林头一年的 11-12 月最佳。整地施工时尽量保留原生地被物。

施肥：底肥以磷为主，追肥以氮为主。肥料种类采用桉树专用肥，其参考配方为：底肥 N6P22K6 加 B 1000PPM，ZN 500PPM；追肥 N20P12K8。施肥量，I 类立地条底肥每株施 300g，追肥第一年每株施 200g，第二年每株施 300g，II 类立地条件底肥、追肥量每株增加 50g。如果没有桉树专用肥，可采用混合肥，底肥每株施钙镁磷 400g，氯化钾 40g，尿素 80g，硼砂 10g，硫酸锌 5g，各种肥料按上述比例混合后施放；追肥第一年施三元复合肥每株 200g，尿素 50g，第二年每株施复合肥 300g，尿素 100g。施肥时间为雨季开始后及时施放。施肥方法，底肥施放挖定植穴后将肥料和农药同时施入穴内，与土壤充分混合后定植苗木；追肥采用半环状或双穴状施。

3、造林

造林密度：采用宽行窄株配置，规格 2×3m，或 1.5×4m，1.6×3m。立地条件差的地方，一般造林密度要大一些，培育大、中径级材林密度要小一些，培养小径级材如纸浆材林密度可大一些。

定植：造林前进行回土挖定植穴，在穴内施放底肥和呋喃丹，多菌灵等杀虫杀菌剂，每穴分别施 3-4g，肥料，农药要与土壤充分混合再定植苗木。植苗时须将苗木塑料袋（容器）去掉，网袋、纸袋容器无需去，并保持苗木根际土壤完整，苗木根系疏展，复土后轻压土壤，植苗深度以复土后看不到苗木根际为限，并使坑内土壤与周围地面平齐，苗木定植后在距苗木 10cm 左右地方撒一圈呋喃丹、白蚁灵等杀虫剂，每株 5-6g。

5、造林时间

造林时间为雨季开始后表层土壤已湿润及时进行，即 5 月中、下旬至 6 月。若造林当年成活率低于 90%应在造林后 1 个月左右进行补植。

6、营造混交林

混交林有改善生态环境，降低病虫害发生的作用。混交树种选择原则：有一定耐阴性，生长速度次于主要树种，有改善生态环境的作用。混交类型有针阔混交，乔灌混交，林农混交。混交方式采用行状或带状混交，混交比例为桉树 4 混交树种 1 或桉树 5，混交树种 1。桉树的混交树种有黑荆树，马尖相思或豆类作物等。根据调查 3 年生直干桉与黑荆树混交每公顷蓄积为 32.49m³，直干桉纯林每公顷蓄积为 33.92 m³。

七、幼林经营管理

1、幼林经营技术

造林后根据杂草生长情况进行除草抚育，特别是造林当年和第 2 年应注意除草抚育，避免杂草影响幼树生存和生长，结合追肥进行环状松土抚育，环的范围距幼树茎基半径 50cm 左右，抚育时尽量保留范围以外的原生地被物，以实现环保要求。

经营材油兼用型桉树，每次修叶量不能超过树冠长度的 1/2。

定期进行林木生长量、土壤、植被等观测。加强病虫害观测和防治，做好防火工作。

2、主要病虫害及防治

桉树病虫害一般较少，但随着桉树面积的扩大，病虫害亦增加。

2.1 苗期主要病害：

灰霉病：症状是先在桉苗顶部出现不明显的白色水渍状病斑，逐步向茎枝蔓延，进而出现失水、皱缩、枯梢，叶片出现透明小黄点，迅速扩展为灰色至褐色大班块，最终导致苗木枯死。幼茎被害初期出现暗绿色水渍状条斑，渐变褐色，最后腐烂干枯，用手轻弹病株，有灰色烟雾状分生孢子出现。防治方法：播种苗木不宜过密，若苗木过密进行间苗，通风透光；阴雨天湿度过大，注意排水；定期用 1:1:150 波尔多液，70%多菌灵 1000-1500 倍液交替喷洒苗木。

茎腐病：症状是先在苗木离地面 0.5-1cm 的茎上出现不明显的水渍状病斑，并向上蔓延，迅速包围整个茎基，叶片失水失绿下垂，发病严重时根部亦会腐烂，最后整株苗木枯死，苗木死后 3-5 天病部皮层出现干枯皱缩，木质部变为褐色至暗褐色。防治方法：禁止用菜地作苗圃，老苗圃地播种前一週左右用火烧法或用 0.4%高锰酸钾液对土壤进行消毒。

2.2 苗期虫害：苗期主要虫害有地老虎、金龟子、蟋蟀、蝼蛄、白蚁等。防治方法：播种前 1 个月左右禁止使用油枯、人畜粪，播种后用杀虫剂喷洒苗地和步道，发现虫害即时用杀虫剂如 90%敌百虫 1000 倍液，50%马拉硫磷 2000 倍液等喷洒苗床，根据苗龄掌握好浓度。

2.3 幼林期病害：

青枯病：主要危害巨桉、尾叶桉及其杂交品种，多发生在 1-2 年生桉树。青枯病分为急性型和慢性型两种，症状：急性型症状，病株叶片快速失水萎蔫，青枯，不脱落，树干表面出现褐色或黑褐色条斑，木质部逐渐变黑褐色，根部腐烂，皮层剥落，木质部坏死，表面有乳黄色或浅白色的菌溢浓产生，该类型从症状出现到全株枯死一般 7-20 天；慢性型症状：该病一般表现为植株发育不良，下部叶片变紫红色，且逐渐向上发展，最后导致叶片脱落，部份枝条出现不规则褐色或坏死，部分根系出现细菌溢浓，该类型从症状出现到全株死亡需 3-6 个月或更长时间。

防治方法：桉树青枯病是一种土传病害，病原菌可广泛分布于土壤，病菌生命力较强。不同桉树种发病率差异较大。因此，选育抗病种非常重要，蓝桉、直干桉、柠檬桉等尚未发现此病害，引种无性系苗应引入组培苗，不能引入扦插苗；提前整地，使土壤较长时间曝晒；移苗时对基质进行消毒，用 1000 倍托布津苯胺咪唑啉液杀菌；禁止用菜地作苗圃；禁止施用垃圾肥；在易发病地区用石灰对土壤进行消毒。

枯梢病：表现症状为桉树主梢和侧梢枯死。初期梢部呈黄褐色，后变为黑褐色，上部主干变为褐色至黑褐色，树皮纵裂，树干变脆，枝条分枝处明显肿大。此病害主要由于干旱和经营措施低下，肥料中大量和微量元素严重偏低或施肥时间过晚，肥料难以吸收，造成林木实际上缺肥；土层浅薄亦是引发该病的原因。防治方法：选择适宜的树种和造林地，干旱严重的地方不宜种植桉树，保证肥料质量和施肥时间，施肥应在雨季开始后及时进行。

肿枝病：该病在蓝桉、直干桉中发病率较高，是一种危害比较严重的病害，属生理性、侵染性混合病害，主要发病原因是林地土壤干旱，林地质量差，林木长势弱，抵抗力低，从而引发病菌入侵。该病一般发生在 1-2 年生幼树。表现症状：发病初期幼叶不平展，叶片出现网状紫红色斑块，继而全叶变紫红，叶片肥厚，向内卷曲，嫩梢紫红，幼枝节间缩短，叶基、枝、枝茎节、上部茎肿大，变形、变脆、弯曲，随之树干皮层与木质部变黑褐，树干遇风折段，枯萎后的树干中、下部发出的新枝不能形成主干，呈丛生状。防治方法：提高育苗基质配方质量，注意早期观察，发现幼树外形变异，叶、枝、茎生长异常及时进行早期防治，增施硼肥，每株施硼砂 15g 左右，有灌溉条件的进行灌溉；对发病严重的病株进行伐除，

用杀菌剂对伐桩进行消毒，加施硼肥，每株施 20g 左右，伐桩萌发后保留 1-2 株萌条让其生长成林。提高经营强度，沙质土，土壤瘠薄地块不宜种植桉树。

2.4 幼林期主要虫害

幼林期的虫害有大蟋蟀，小地老虎，蛴螬等，主要危害刚定植苗木的茎基和根部。防治方法：定植苗木施放肥料时加施杀虫剂，苗木定植后在其周围撒一圈杀虫剂，具体方法前面已有讲述，一般待苗木成活，木质化程度提高后上述虫害很少发生。

白蚁（主要是土的蚁）：

白蚁主要危害幼苗，幼树茎，树皮，使幼苗、幼树长势减弱，甚至死亡，有时从树木伤口侵入木质部，使树体空心。

防治方法：苗地发现白蚁危害苗木，淋氯水保苗，小苗氯水浓度控制在 0.3% 以内，大苗浓度 0.8% 以内，天气干热施氨水后淋清水。幼林期防治方法：营造混交林，可减少白蚁危害；育苗，整地前清除苗地、造林地及周围草根、腐木、伐根等，造林回坑时清除草根，切断白蚁食源；在定植穴内施放肥料同时施放呋喃丹、灭蚁灵等杀虫剂，每株 3-4g，复土后在苗木周围撒一圈农药，每株 5-6g；苗木定植前将苗木装入箩框内放入 1000 倍敌百虫或灭蚁灵液中浸泡 1-2 分钟或用杀虫剂喷灌容器苗再进行定植。根据白蚁活动季节，造林前或造林后进行诱杀。其方法有两种：挖坑诱杀，造林前进行整地时，每亩挖上 15 个左右诱杀坑，规格 40×40×15cm，坑内堆置劈开的松柴枯木，竖立放置，淋上淘来水或红糖水，覆土堆成包状，在白蚁活动季节轻揭坑顶，发现有白蚁取食松柴，对准蚁体喷撒灭蚁灵，福美双等杀虫粉剂，控制土白蚁发生。毒饵诱杀：在造林前对林地白蚁进行预测调查，若发现有白蚁活动，在林地内每亩挖 15 个左右诱杀坑，规格 40×40×15cm，在坑内垫一层枯枝、朽木，再施放配置好的诱杀包，加盖枯枝等物，覆土踏实成包状，投放诱杀包应在造林前 1 个月进行。

八、采伐与更新技术

1、主伐年龄

桉树用材林的主伐年龄应根据经营目的，不同桉树种类的工艺成熟，数量成熟，经济成熟来确定合理的主伐年龄。桉树用途十分广泛，经营目的亦有多种，经营小径级纤维用材如纸浆用材，各种纤维板用材；经营中径级原木作矿柱、建筑、地板条用材；经营大径级材作锯材、胶合板用材。不同的经营目的是确定主伐年龄的主要依据。工艺成熟龄是林分通过主伐能提供目的材种的最佳年龄，同一桉树种因立地条件，经营措施不同工艺成熟龄亦不相同，不同桉树种因生长速度不同工艺成熟亦不相同；数量成熟龄是指林分木材数量达到最大时的年龄；经济成熟是指经济效益达到最佳的年龄。桉树人工林主伐年龄的确定主要考虑经营目的，工艺成熟和经济成熟参考数量成熟。作为纤维用材，根据云南林科院从生长量、经济效益、木材基本密度三个方面研究结果，蓝桉，直干桉主伐年龄 7-8 年，作矿柱材主伐年龄 8-10 年比较合适，根据有关研究资料尾叶桉、巨桉、尾巨桉作纤维用材主伐年龄为 5-9 年，有的地方因选用良种，提高经营强度，作纤维用材主伐年龄为 5-7 年。

2、主伐方式，根据桉的生物学特性和生长特性，采用块状皆伐，一般保留块和采伐块大致相等，采伐块和保留块应相间分佈，当采伐块幼林基本郁闭，再采伐保留块，或今年采一块明年再采另一块，采伐块和保留块的面积根据树龄，地形条件、作业条件综合考虑确定，一般每一林分采伐面积不应超过林分总面的 1/2，以利保护林区小气候和维护生态平衡。

3、更新方法

大多数桉树萌芽力强，可采用萌芽更新恢复森林，一般可实施萌芽更新 2-3 代。萌芽林的生理活动旺盛，树木根系庞大，因此，生长迅速。根据云南林科院试验结果蓝桉萌芽率 90%，直干桉萌芽率 87%，蓝桉、直干桉第一代萌芽林比同期实生林树高分别大 38%、39%，胸径分别大 27%、42%，蓝桉第二代萌芽林比同期实生林树高大 31%，胸径大 15%。窿缘桉萌

芽林4年生树高8.5m，胸径6.5-7cm，比实生林生长量大。总的来看，萌芽林生长量一代较一代小，速生期亦较实生林提前。萌芽更新的时间以春季至初夏最适宜。萌芽更新方法，伐桩高10-15cm，砍伐时不能破坏树皮及木质块茎，桉树的木质块茎在根茎附近，采伐工具用刀、斧采伐比锯伐萌芽好，采伐后的萌芽林应加强管理，进行松土，抚育，施肥。

九、桉树造林中的环保措施

桉树生长快，与其它树种相比，在相同的时间内生产的生物量多，因此消耗的养分和水分亦较多，作为短周期工业原料林发展的桉树应采取下列对策：(1)统筹合理规划造林地，在商品林规划范围内，选择立地条件较好的地块种植桉树，注意森林类型的共融性和双赢性，森林景观的协调性；(2)根据不同的气候和土壤条件选择适宜的树种和无性系；(3)在降雨极少，湿度低的地方不适宜发展桉树；(4)实施科学经营，集约经营，进行平均施肥，补充土壤养分；(5)选择合理的造林密度和配置方式，桉树造林密度不宜过大，采用宽行窄株配置，如2×3m，1.5×4m配置；(6)在山地条件下，桉树造林应采用沿等高线穴状或撩壕整地，禁止全面整地，尽量保留原有地被物；(7)营造混交林，用黑荆树，马尖相思等作混交树种；(8)保留山顶、山脊、山箐生长较好的原生植被，与桉树形成大块状混交；(9)实施近农业经营，充分发挥桉树的速生潜力，实现丰产；(10)禁用国家禁止使用的农药。

十、产业化规模经营前景

桉树是一类较好的速生工业用材树种，在云南桉树主要用途作纸浆、三板（胶合板、纤维板、刨花板）、矿桩、建筑等用材，材油兼用型桉树如蓝桉、直干桉、史密斯桉、双肋桉、柠檬桉等树种，叶可蒸馏桉油。因此，人们称此类树种为一棵树，两个产业（木材、桉油产业）。纸是人类不可缺少的物资，随着人类社会的发展，生产、生活、文化等领域对纸的需要量亦随之增加，从而大大推动林纸一体化产业的发展。2008年我国纸和纸板产量7980万t，较2007年的7350万t，增长8.57%，2008年我国纸浆消费总量7360万t，其中进口木浆952万t，进口废纸浆1936万t，分别占纸浆消费总量的13%和26%，共占纸浆消费总量的39%，在纸浆总消费量中木浆占22%，其中进口木浆占13%。以本浆为主的造纸业是今后制浆造纸发展的方向。根据2007年国家发布的“造纸产业发展政策”明确提出到2010年我国木浆量应占纸浆消费量的26%，发达国家木浆在纸浆中所占比例在90%以上。作为纸浆原料的桉树，在发展林纸一体化循环经济中占有重要位置。原料是纸浆工业的基础，因此，桉树作为纸浆用材树种发展前景十分广阔。2004年2月19日省委省政府关于加速林业发展的决定中将林浆纸一体化产业列为八大产业之首。根据省发改委的规划，到2010年在规划区普洱、红河、文山、临沧、保山、德宏、玉溪等地（州）建立纸浆原料林1680万亩，树种主要是桉树、松树、竹子等，根据纸浆生产情况桉树在原料树种中约占60%，也就是说需要营造桉树人工材840万亩左右，至2009年上述地区已发展桉树300万亩左右，根据规划还需种植桉树500多万亩，若2010年以后纸浆原料林基地增加，桉树种植面积亦随之增加。另外，桉树材亦是生产三板的重要原料在林板一体化发展中占有一定的位置。桉油是我省重要出口物质占全国桉油出口量的70%，大力发展林油一体化产业具有重要意义。

根据桉树林在发展国民经济中的重要作用，在适宜的地区大力发展桉树整合林业资源，促进林纸、林板、林油产业的大发展。根据各种桉树生态生物学特性的不同，将云南有发展前途的桉树大体分为两类。一类是喜温型，另一类是温凉型，亦有交叉类型如抑桉、赤桉。从气象因素和行政区域两方面综合考虑，我省西双版纳、普洱、临沧、德宏及文山、红河一部分地区海拔1700m以下，适宜发展喜温型桉树种如尾叶桉、巨桉、韦塔桉、柳桉及其杂交种无性系，海拔1700m以上地区发展温凉型桉树；昆明、楚雄、大理、保山及红河、文山海拔1300m以上，曲靖、丽江海拔1700m以下地区适宜发展温凉型桉树如直干桉、史密斯桉、蓝桉、邓恩桉、双肋桉、巴吉桉、亮果桉、多枝桉等树种，在易遭低温危害的地方可考虑发展樟脑桉、灰桉等树种。我省地势复杂，上述树种规划并非绝对的，各地应根据当地的

气象因素参考表 3，表 5 中各种桉树适宜的每拨范围，气象因素及抗寒性选择树种。

桉树作为产业化树种发展，应与纸浆企业，三板企业统筹规划，纸浆企业、三板企业应有自己的原料林基地，树立林纸、林板一体化循环经济理念。作为产业化原料林基地种植桉树要具备一定规模，成片种植，原料林基地应建立在国家规划的商品林规范范围内，规划基地时应注意生态安全和森林景观格局的合理性，植被类型的协调性和共融性。选择立地条较好的地块种植桉树，充分利用当地光、热、水、土自然条件，发挥桉树的速生潜力。