

柚木

Tectona grandis Linn.f.

一、形态特征

落叶或半落叶大乔木，树高达 50m，胸高直径可达 2.4m。树干通直，基部生板根，树皮浅灰色至暗褐色，条状纵裂或块裂，小枝四枝形，具土黄色绒毛，髓心方形。叶交互对生，广椭圆形或近圆形，先端突尖，基部楔形，全缘，厚纸质。叶表面粗糙，仅延脉有微毛，前面密被灰褐色至黄褐色星状绒毛；叶长 15~60cm，宽 20~50cm，具侧脉 7~15 对，主脉及侧脉于脊面凸起；叶柄粗壮，长 2~4cm；幼叶红色，深浅不一。花两性，由二歧聚伞小花序组成大型的顶生圆锥花序，长 25~40cm，或更长；花序直径达 35cm；花梗被黄褐色毛；小花极多，浅黄色或白色，芳香；花冠筒状，长 5mm，直径 6~8mm，花冠筒被毛及腺点，顶部 5~6 裂，裂片 1mm，顶部圆形。花萼钟状，长 3~4mm，被白色星状绒毛，上部 5~6 裂枝生于花冠筒基部，花药卵形或椭圆形，雌蕊花柱长 6mm，柱头分叉；子房圆球形，4 室（稀 6 室），每室一胚球。坚果球形，径 1.2~1.9cm，外果皮被具柄树枝状的厚层绒毛，内果皮骨质，整个坚果由宿存花萼发育而成的气泡状膜质种苞所包裹。种子 1~2 粒，稀 3~4 粒。

二、分布与生长特性

1 分布特性

（1）原产地及其生长环境

柚木原产印度、缅甸、泰国、老挝。天然分布于北纬 9° ~25° 33'，东经 79° ~103°。垂直分布从海平面至海拔 1300m，主要生长于海拔 1000m 以下的地区。

柚木原产地为热带季风气候，温暖、多雨，较为湿润。其年平均气温 20~27℃，≥10℃积温 8000~9000℃，极端最高气温 48℃，极端最低气温 2℃；年降水量 560~5080mm。最好柚木林生长地的年降水量为 1300~3800mm，有 3~5 个月的明显旱季（月降水量<50mm），旬年均风速小于 2m/秒。

柚木天然生长于多种热性阔叶林类型，也能组成柚木纯林。

柚木天然生长的地貌有山地、丘陵、高原、盆地、河岸阶地、平原等多种，而以海拔 800m 以下的低山、丘陵、台地为主。在土层深厚的山洼、沟谷、坡麓、山脚、小盆地及无季节性水淹的海岸阶地、冲积扇等处柚木生长良好。

柚木天然生长的土壤以钙质沙页岩、碳酸岩及盐基性火成岩等发育的多种石灰土、砖红壤、钙性紫色土为主。

（2）国内外的柚木引种概况

国际上认为柚木最早的引种地在印度尼西亚的爪哇岛，种植时间距今 400~600 年前。目前，柚木已成为全球热带最主要的造林树种，引种范围遍及亚洲、非洲、美洲澳洲的 50 多个国家。柚木人工林总面积约 1600 万 hm²(2.4 亿亩)，其中印尼的柚木人工林面积最大，达 1080 万 hm²，占其总面积的 67.5%。

中国对柚木的引种，据现存古树推算可追溯到 1820 年，早期的引种上主要在云南南部边境的庙宇中，作为庭园绿化树种零星栽培，数量不多。

1901 年台湾高雄开始有柚木引种栽培的记载。在台湾南部面积发展至 5000 hm²。1940 年日本侵占海南岛后计划种植柚木等用材树种 1.1 万 hm²，日军投降后所种柚木林几经毁坏，残存约 2 hm²，均为多次萌芽更新所成。

1950 年以后的新中国时期，开始对柚木进行全面的引种试验，从多渠道引种种子，先后在

琼、粤、闽、桂、滇、川、赣、浙的南部广泛试种。除赣、浙因冻害不能正常生长外，其余各省（区）有 60 多个县（市），100 年试验点引种的柚木林木生长结实正常。

从 20 世纪 60 年代开始，柚木的引种栽培被列入国家重点科研项目。先后在云南德宏自治州、海南岛南部开展生产性造林；20 世纪 80 年代又在桂南及滇南红河自治州进行了较大规模的造林，4 个地区约有柚木人工林 3000 hm²。

在台湾省，自 1951 年起以年平均每年 400 hm²（最多为 718/hm²年）的速度营造柚木人工林，至 1965 年该省计有柚木人工林 5700 hm²。

（3）云南省的桫木引种史及适种区的生境条件

云南至今并未发现天然分布的柚木，现有的柚木均为引种栽培。云南是中国引种柚木最早的省分，从百年以前至 1960 年为云南柚木的早年引种期。西双版纳的大勐龙、勐腊，德宏州盈江县那邦坝、陇川县南部至今尚有数十株柚木古树保存。胸径最大者达 220cm，树龄均在百年以上。普洱地区的景东县、景谷县保留有小片柚木人工林，于 20 世纪 70~80 年代已采伐利用。1960 年开始，云南省的林业部门在德宏州的畹町、勐秀、陇川、盈江四个林场先后区营造柚木人工纯林 780hm²（1.17 万亩）。据 1978 年调查，保存的成片柚木人工林有 320hm²（4800 亩），其中生长良好的约 200hm²（3000 亩）。造林失败的原因是选地不适，林木受低温霜冻危害及林地土壤肥力不足。而生长良好的桫木人工林均在河岸阶地及山麓山地土壤深厚肥沃的地方。同期，还在 18 个县市的多个地点也开展了柚木的引种工作，多为庭院及四旁的绿化种植。引种区域从滇南边境起，北达北纬 26°10′；海拔范围从 100m 至 1120m（河口城关至元谋普登），引种点遍布云南省的北热带及南亚热带南部。在温暖的无霜区或微霜区，柚木树做为四旁庭园绿化树种种植生长都比较好，并能正常开花结实，产出可供育苗用的种子。

1980 年以后，在云南热区开发中，柚木作为珍贵用材树种培育又引起重视，并着眼作柚木商品材林的基地建设。经过 20 多年持续发展，云南省现在已形成了 6 个柚木人工林的规模种植区：

①元江下游柚木人工林规模种植区。该种植区包括河口、元江下游柚木人工林规模种植区。该种植区包括河口、金平、屏边、元阳、红河、元江等县。

②李仙江下游柚木人工林规模种植。该种植区包括绿春、江城、墨江等县。

③澜沧江河谷，西双版纳州柚木人工林规模种植区。

④南汀河下游柚木人工林规模种植区，该种植区涵耿马、双江、镇康、永胜等县。

⑤怒江下游河谷区柚木人工林规模种植区。该区包括镇康、龙陵、保山等县市。

⑥德宏州柚木人工林规模种植区。该区包括瑞丽（畹町）、盈江、芒市等县市。

据 2003 年的调查统计，云南省的柚木人工林保存面积约为 1.3 万 hm²（19.49 万亩）。其柚木人工林发展得较早的地区，如河口、盈江、瑞丽等县已进入柚木人工林的主伐利用期。

从引种地多年多点的气象资料及柚木林木生长状况的综合分析，得出，云南的柚木林种植区处热带边缘地区，并不在其最适宜区内，而只有适宜区和次适宜区之分。云南柚木的适宜区和次适宜区位于滇南及多条河流河谷的无霜热区。两区的气候指标如下。

①适宜区：年均气温 21.0~23.9℃，≥10℃活动积温 7500~8800℃，极端最低气温 0.7~2.7℃，年降水量 1150~2800mm，年干燥度<1.0，旱季（月降水量<50mm 的月份）4~5 个月，此气候指标所指区域，相当于云南省农业气候区划中的北热带湿润区域，为河口、金平等为代表的元江下游及李仙江下游海拔 400m 以下的河谷区；在西双版纳州南汀河及怒江河谷为海拔 700m 以下地区；在德宏州为海拔 600m 以下的地区。

②次适宜区：年均气温 19.0~21.0℃，≥10℃活动积温 7000~7500℃，极端最低气温-1~-2℃，年降水量 1000~1100mm，年干燥度 1.0~1.2，旱季 5~6 个月，此气候指标所指区域，相当于云南省农业气候区划中的南亚热带南缘区，为一是比柚木适宜区海拔升高 200m 左右的区

域，另是纬度较高的河谷区，如元江河谷可上溯到元江及新平嘎洒，澜沧江河谷可上溯到到云县、南涧境内。怒江河谷可上溯到到潞江坝及勐宽等地。

柚木次适宜区中会出现霜冻的地区，对因热量不足而影响柚木林木的生长，并能产生霜冻枯梢不宜种植柚木。另在降水量少于 1000mm 的干热河谷区，蒸发量特别大，也不宜柚木造林。但在有灌溉条件的地方，如水沟边，庭园中仍可种植柚木。云南的柚木种植后，虽可到无霜或偶有轻霜的南亚热带南部地区，但具有经济价值，产量较高的地方为北热带气候区，这一气候区在红河下游的河口、金平、屏边等地为海拔 400m 以下的地区，在西双版纳及临沧南汀河流域为海拔 700m 以下的地区，在怒江河谷及滇西德宏州等地为海拔 800m 以下的地区。

柚木适生的土壤类型虽多种多样，但在深厚疏松肥沃的河岸冲积土上林木生长最好，柚木是喜钙喜磷的树种，喜好高钙质和含磷量高于 50~70mg/kg 的土壤，最适宜的土壤 pH 值为 6.5~8.0（以水为溶值的 pH 值测定法）为弱酸性、中性及弱碱性的土壤。云南省红河州河口县柚木种植区的土壤 pH 值（H₂O）经测定为 5.74~6.68。在云南热区的石灰岩溶区，只要土层深厚，柚木生长表现均好，而在土壤 pH 值为 5.5 以下的偏酸性土上，就不宜种植柚木了。

2. 林木的生长特性

由于云南南部已为柚木分布的边缘区，因此，生长于云南南部的柚木林木对环境的变化特别敏感，温度、海拔高度、坡向、土壤等对柚木林木生长的影响都很显著。影响最大的环境因子是温度和土壤的理化性质、肥力等。大致柚木林林木材积生长量能达到 1m³/亩·年的林分都处于北热带气候区。如生长于盈江县那邦坝，海拔 266m 的 13 年生柚木人工林，林分的林木蓄积量 14.41 m³/亩，年均林木材积生长量为 1.28m³/亩·年，为云南省柚木人工林生长量最大的地方。其林木的树高年均生长量为 1.42m，胸径年均生长量为 1.68cm。又如河口县海拔高度 165m 的五道河 14 年生的柚木人工林，其林分的林木蓄积量为 15.00 m³/亩，年均林木材积生长量为 1.07m³/亩·年，林木树高年均生长量为 1.34m，胸径年均生长量为 1.25cm。在河口同地，海拔 750m 的红沙沟，7 年生柚木人工林，林分的林木年均材积生长量只达 0.37m³/亩·年。而在西双版纳景洪、勐腊等地的柚木人工林，其林分的林木年均材积生长量为 0.64~0.92 m³/亩·年。

有关云南柚木林木生长过程的资料很少，且各地的柚木林木生长资料差异很大，仅举元江及陇川两地的柚木解析木资料以说明不同地点的柚木林木的生长过程（见表 2-1、表 2-2）。

表 2-1 柚木-3 生长过程表

从以上两地的两株柚木解析木可以看到，不同生长地的柚木林木的生长量差异明显，陇川比元江的生长量小许多。陇川的柚木-3 号。胸径的平均年生长量为 0.78m，最高年生长量为 1.28m，出现在 20 年生时，20 年后，胸径生长量趋降；树高：最高连年生长量仅为 1.0m，出现在 15 年，以后明显降低，材积连年生长量，也以 20 年生最高，以后逐渐降低，材积连年生长量，也以 20 年生最高，以后逐渐降低，但到 36 年生尚高于平均生长量，说明未达数量成熟龄。

元江较陇川气温高，柚木林木的生长较快，8 年前其林木的生长速度较快。胸径连年生长量最大为 1.85m，出现于 4 年生时，树高连年生长量最大为 2.08m，也出现在 4 年生时。至 12 年生时林木的材积连年生长量与平均生长量相等，说明已达数量成熟龄，显出柚木作为速生树种的林木生长特性。

河口的水热条件更优于元江，柚木林木初期的速生生长特性，表现得更加突出，据河口柚木综示区的测定资料，其 I 类立地，3 年生的柚木林其林木的胸径 9.53cm，树高 8.87m，林分的林木蓄积量达 2.0879m³，林木的年平均生长量胸径达 3.18cm，树高达 2.96m。

柚木为最喜光的强阳性树种，要求充足的光照，才能充分发挥林木的生长力。柚木喜静风环

境。其原产地没有台风，林木在静风环境中生长发育最好。云南南部热带地区多静风天气是对柚木林木生长有利的环境。

柚木萌芽力强。伐后可行萌芽更新。即使是柚木幼苗、幼树，截干后都能萌芽而茁壮生长。因此，利用这一特性，柚木多用截干根株造林。据孟加拉国和印度报道，将根径为 2.5cm 左右的柚木苗低截干劈成 4 瓣进行栽植，效果仍然很好。也可以用其根系培养根蘖苗。

柚木是耐火树种，快速的地表火不会烧伤它的树皮，在东南亚至今仍保留柚木林烧除抚育的方法，林火有时还有助于柚木种子的萌发，促进其的天然更新。

柚木林木 8 年生开始开花结实，12 年生后大量结实，柚木林每年都有丰盛的结实，能生产大量的种子。

三、经济及生态价值

1. 经济价值评价

柚木的经济价值主要体现在用材上，柚木的木材是世界上著名的珍贵用材之一，列为世界船舰用材的首位；是军需航海的重要用材，高档的室内装修用材、家具用材，贴面板、镶嵌工艺雕刻用材。百年以前装修的柚木地板，至今完美无损；柚木雕刻的大象等物，都成为知名的品牌。

柚木木材气干密度与硬度中等，不属硬质木材，但材性优良，强度知足，材内含油质，可以满足多方面的工艺要求。柚木木材的心材比例大，呈黄褐色至深褐色。有的柚木品种的木材心材为全褐色，或夹有黑色条纹。边材黄白色，可能为粉蛀虫危害之故。其用材主要是心材部分。柚木木材的结构致密，花纹美观，纹理直，加工性能良好，切削不难，切面光滑；胀缩率很小，经充分干燥后，很少变形；耐腐抗虫性极强，对腐木菌、海生蛀虫和白蚁等均有较强的抵抗力，品质系数高。

云南产柚木木材的物理力学指标：

气干容重： $0.601\text{g}/\text{cm}^3$ ，干缩系数：径向 0.144%，弦向 0.263%，体积 0.413%，静曲极限强度（弦向） $1053\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，顺纹剪刀极限强度：径面 $41\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，弦面 $48\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，冲击强度（弦向）： $0.233\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，硬度：径向 $441\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，弦向 $451\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，体积 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

柚木除木材外，其它的一些组织器官亦另有用途：花和种子有利尿作用，可入药。绿叶搓揉后可生产些红色素，加之叶大易采集，被产区的农民用作绿肥。由此，突显出柚木具有多种经济应用价值。

2. 生态价值评价

对柚木生态价值虽还缺乏系统的研究评定。但至少有以下 4 个方面具有突出的作用。

(1) 柚木是热带地区广泛的而又速生、珍贵的造林树种。大面积柚木林的栽培，能生产大量的珍贵木材，对于日益稀少的一些珍贵用材树种的天然林，起到了替代和保护的作用。特别对热带森林的保护发挥了重大作用。

(2) 与其他树种的人工林一样柚木人工林规模化发展，对固定空气中的碳，有着重要作用。据测定，森林每生产 1m^3 木材，将吸收固定空气中 850kg 的 CO_2 。这些碳都将作为木制品和建筑物长久地被保存起来，而成为永久性的碳库。这在当前，对减缓全球气候变暖来说，具有重大而深远的意义。

(3) 柚木是东南亚热带季雨林的标志性树种。是东南亚热带的乡土树种。云南南部地区，与东南亚柚木分布区相毗邻。其所营造的柚木人工林可使大量热带森林植物得以进入与恢复而能保持很高的生物多样性水平。可以说，柚木人工林的成长起有相当于热带季雨林恢复的作用。这对于热区生物多样性的保护与发展及热带地区的植被恢复来说，意义特别重大。

(4) 在城镇中种植柚木，不但能起到很好的绿化、净化环境的作用，而且，其高大挺拔的树干、硕大的树叶，又可作为一种热带气候的地理标志。成为热带城市的重要象征，避免了绿化树种的趋同性。因此，滇南的许多城镇都已将柚木大树重点保护，并配以景点加以利用，

而显示出柚木的城市园林生态效应。

四、良种选育技术

由于柚木的大面积造林对良种产生了强烈的需求，特别在柚木造林多的国家里，都开展了柚木的良种选育工作。通过长期的研究与试验，已经取得了很多的成果。

研究认为，柚木的各种优良特性遗传力是较强的。当前，柚木的良种选育工作主要是在种源选择和优树选择上。

1. 种源选择

为各造林地区选择生产力高、稳定性好的种源称为种源选择。通过田间试验，可使各种源数据的对比建立在更加可靠的基础上。

(1) 国外的柚木种源概况。国外多国的柚木种源试验结果表明，不同的柚木种源在种子的生活力、林木生长量和分枝习性等方面都存在显著的差异。在一些有柚木天然分布的国家，均认为用本地种源繁育的柚木林木比外地种源繁育的柚木林木生长得更快更好。一些国家也从柚木分布区到种源进行试验，其中也有一些表现良好。

印度的柚木天然分布区位于北纬°以南，按年降雨量分为很干旱(<900mm)、干旱(901~1200mm)、半湿润(1201~1600mm)、湿润(1601~2500mm)、很湿润(>2500mm)共5个生态类型区。各生态类型区的生境差异很大，导致柚木的林木生长状态差异也很显著。在各地的种源试验中，都以用本地种源繁育的柚木林生长最好。这可以理解为各地的柚木种源对本地特有的生态环境已有了长期的适应能力。而对异地不同的生态环境则不很适应，而影响林木的生长。

泰国在1979年将全国柚木天然林划分为4年种源带，带内划出种源采集区，作原地保存。在南邦、素可泰、清迈等府建立了多处的柚木种源试验林，共收集了泰国国内的柚木种源30个、印度尼西亚的柚木种源5个，老挝的柚木种源4个、印度的柚木种源12个、象牙海岸的柚木种源1个，于1966年、1969年、1974年开始营建其柚木种源试验林，而作为异地种源长期保存。以便从中筛选出优良的柚木种源加以利用推广。

印度尼西亚的柚木种源试验，收集了从印、缅、泰、越和爪哇采集的不同生态型环境中生长的柚木林木的种子，经种植试验后，选出爪哇和印度马拉巴尔两个种源应用推广。

缅甸于1981年开始收集18个柚木种源地的种子因马纳和奥克特温(两地年雨量分别为1372mm和2032mm)建立了柚木种源试验林。在对柚木种源试验林的生长测定结果表明，林木的树高和胸径在种源间都有差异，但幼林期间的差异还未达到显著的程度。

(2) 中国的柚木种源试验状况。由中国林业科学研究院热带林业研究所主持的柚木种源试验，开始于1974年，在海南省尖峰岭、广西省大青山、云南省红河、福建省林县、海南省崖县、广东省金肯县、云南省河口等7个试验点进行，到1989年止，共选出75个种源、80个家系、49个无性系，并建立63.7hm²柚木基因库加以保存。其中具林木生长量高，抗旱性好，抗柚木锈病(*Olicea tectona*)等优良特性的柚木种源有3070号(印度逊嘉姆)、3071号(斯特瓦尔特2)、3072号(马沙尔谷)、3074号(维尔若果)和8023号(尖峰岭、中国、缅甸)。用柚木优良种源繁育的林木材积生长量为柚木标准种源繁育的林木材积生长量的125%~90%。

从1986年起云南省红河州林科所在河口县进行了云南省内的柚木种源试验，共收集了来自8个国家和国内的柚木种源126个。至1996年经10年总结，初选出9个柚木优良种源，其中原产地为缅甸的5个(6615、8411/8412、9602/86、8603/86、85717/4)，原产地为老挝的有2个(7404/8018、8443-4)；原产地为印度的1个(3072x)；原产地为印度尼西亚的1个(8507/86)。用这些柚木种源繁育的林木早期生长迅速林分的林木材积增长快、综合各项指标，可定为河口地区营造柚木林用的优良种源。柚木优良种源为其试验平均水平相比较(不进行种源选择)，其柚木林林木的材积增益为53.19%~103.48%，超最差柚木种源2.29~8.56

倍。据此，建议将这一批筛选出的柚木优良种源在河口及立地条件与之类似的地区进行区域性的推广试验，以进一步主各地区评选出实用的柚木优良种源。

2. 品种（类型）选择。

在柚木的商品林中，分有“金柚木”、“黑丝金柚木”、“石柚木”、“牛屎柚木”、“蕉杆柚木”、“黄柚木”等，是其林木个体的材性变异。其中以“黑丝金柚木”最受市场欢迎，木材单价可为普通“黄柚木”的3倍，按木材的材质及叶的形态来分，柚木主要有以下品种（类型）。

（1）黑丝金柚木：有金黄褐色的心材，中具黑色条纹，材质细致油腻，十分美观。（2）泡柚木：林木的叶片大而圆，表面粗糙；（3）细柚木：林木的叶片细而长，表面光滑；（4）石柚木：材色暗、纹密、材重如石；（5）牛屎柚木：材色暗绿如牛屎；（6）蕉杆柚木：材色偏白，纹理粗疏、质软；（7）黄柚木：材黄褐色，纹理直，重量中等是中缅边境种植出售较多的类型。

1981年黑丝金柚木已在中林院热林所引入种植，其林木木材的黑纹发生率为22.5%，并选出了10个柚木黑丝纹理类型的家系，进行子代测定和组培繁殖。在西双版纳也发现有黑纹柚木品种类型。其繁育用的种子从泰国引进。

故黑丝金柚木品种（类型）有望成为云南柚木种植区采用的优良柚木品种。

3. 优树选择

优树是指在相同立地条件下，林木生长量、材性、干形、适应性、抗逆性等均超过同种同龄林木的林木。柚木优树的选择可在天然林中进行，也可在人工林中选择。应设立4方面的指标。一是林木的生长量指标。一般以单株林木蓄积平均生长量为指标。其优树的林木蓄积生长量一般大于该成树所在林分的单株林木蓄积平均值的柚木林源起的20%~70%。具体的标准，可根据供选地的种质资源情况来定，种质资源多，林木个体间差异大的，大于平均值的标准可定得高些，反之，则应降低标准；二是干形指标。所选的柚木优树应顶端优势强，主干挺直，分枝较小较细，树冠窄小而紧凑。用具这种干形的柚木的种子育苗造林可提高其的造林密度，而获取木材的大收获量；三是材性指标。柚木的材性有颇多类型，其利用价值与市场价值各不相同。所评选的柚木优树应是高价值材性类型的林木。四是抗逆性指标，柚木优树应具包括抗有害生物、抗旱、抗寒等的生物学特性，在海南省尖峰岭林场选出的柚木优树其抗病与抗旱遗传增益为20%~36%，在云南，柚木锈病（*Olivea toctona*）是柚木人工林比较突出的病害能显著影响林木的生长。在樱木林种林木个体的抗锈病能力的差异也很显著，经过选择有望获得较强的抗性植株。在林木的抗旱、抗寒力上，对于处于热带边缘的云南柚木种植区来说，都非常重要。经多年种植比较，各种植点能存活下来的柚木植株都具有较强的抗旱与抗寒害能力。可对这些柚木植株作其它指标的优树综合选择，其选择效果会更好。

进行柚木造林的世界各国，只要开展了柚木树种改良工作的，都进行了柚木的优树选择和繁殖，印度在全国选出约1000株柚木优树，泰国选出的柚木优树为260株，孟加拉国选出319株柚木优树，缅甸产的柚木被认为世界上最好的柚木，他们仍选择出柚木优树61株。用作建立柚木种子园的材料来源。中国林科院热带林业研究所曾从缅甸、泰国、越南和印度尼西亚引进了150株柚木优树，经子代测定，淘汰30株，其余则种植保存于其的柚木基因库中。云南省引种柚木优良家系（柚木优树后代植株）与其的种源试验同时进行。选出的柚木最优家系，其林木的蓄积生长量超过最差家系304.66%。入选的柚木优良家系林木的干形普遍通直，分枝高，无节主干木的比例大。按林木的分枝粗细和分枝方式以综合评分法进行评价，其柚木优良家系林木生长性状的平均分值为3.5，为其平均的109.4%。从抗锈病性能作评选，有两个家系的柚木优树最优，其的锈病病株率和病情指数均为0。平均得分为4.0，而其余家系的柚木优树的该项得分为3.0~4.0。说明通过柚木优树抗锈病的评选是有可能避免所发展的柚木林分罹此病的。

柚木优树的利用有 3 种途径:

(1) 是直接由柚木优树取其组织器官, 进行无性繁殖育苗造林, 现多用扦插繁殖或组织培养两种方式;

(2) 取柚木优树的枝、芽等作嫁接材料通过嫁接培育成柚木的种子园或采穗圃, 而为柚木的造林生产种子及插穗穗条;

(3) 将柚木优树种植于柚木基因库内, 作为柚木进一步的育种改良遗传材料。

4. 种子园的营建

同其他树种的种子园一样, 柚木种子园是用柚木优树无性系或家系营建的, 以生产优质种子为目的的特种林分。柚木种子园按其营建的繁殖方式, 可分为无性系种子园和实生苗种子园。柚木无性系种子园多以嫁接方式培育柚木优树的苗木而营建。也有以柚木的扦插苗或组培苗作为营建材料的。

(1) 种子园的规划

在作柚木种子园的规划时需明确两点。

①营建柚木种子园的供种区域必须明确。建立其种子园所用的柚木优树资源应适宜供种造林地区的立地条件。云南的柚木种植区东起元江流域河口、金平、屏边等县, 西至德宏州盈江县那邦坝, 含元江、澜沧江、南丁河、怒江等流域。气候与土壤条件差异较大, 各地建立柚木种子园时应有针对性地选用适宜本地区的柚木优树无性系(家系)作为建园材料。

②营建柚木种子园的规模与产量必须明确: 应根据本种子园供种地区的柚木造林用种需要量和种子园单位面积的种子产量, 来确定建园的面积经营规模。云南的几个适宜柚木的造林区域由于地处热带边缘地区, 面积都不大。而柚木是柚木种子高产量的树种。因此, 柚木种子园的面积都不适宜规划过大。按我国林业部门规定的标准: 生产性种子园面积一般不应小于 10hm²。柚木种子园的建园规模可参照此标准进行规划。

(2) 园址选择

主要选在气候及土壤条件为柚木的最适宜区内。以有利于种子园柚木林木的大量结实。其次要考虑施工与管理条件有利。

园址选好后按功能要求, 对预建的柚木种子园进行区划。其内容包括优树(无性系或家系)收集圃、采集圃、种子生产区、试验林及排溉系统、道路、能源通讯、管理住房等设施。区划要留出余地, 作为今后升代种子园发展用。

(3) 建园无性系(家系)的数量配备

为防止近亲繁殖, 扩大种子的遗传基础, 柚木种子园需配备有足够数量的无性系和家系。另外, 可能一部分无性系(家系)花期不遇, 所以用作柚木种子园建园无性系(家系)的数量会有增加。

目前, 国外初级无性系种子园规定要有 30~50 个无性系。我国规定 10~30hm²的种子园, 应含不少 50~100 个无性系。若经子代测定, 再筛选出的新标准优树, 建立第一代无性系种子园时, 其所用的无性系数数量可较初级种子园减少 1/2~2/3。家系由于比无性系的遗传多样性要高, 建园数量可适当减少一些。

①表 4-1 列出各国柚木种子园面积及所配备的无性系数量的资料, 以供云南建立柚木种子园时参考。

(4) 种子园的栽培技术要点

①栽植密度: 考虑柚木是高大乔木, 林木的林冠要有充分的生长空间, 才能正常开花结实, 到采种收获时林木的株距应达 8m×8m (156 株/hm²), 但初植密度可定为 4m×4m, 4m×5m 或 4m×6m, 以备种子园采取云劣疏伐措施后能保障植株的有效密度。

②无性系(家系)的配置。柚木种子园中无性系植株的配置要考虑到让同一无性系的植株尽量分开, 保持最大间隔距离, 避免自交和近交; 也要避免无性系间的固定搭配, 而能随机授

粉；还要考虑便于施工及管理，便于对测定数据作统计分析。种子园常用的无性系配置方式是：

a.随机排列：可做到不按主机愿望的无定序排列。

b.分组随机排列：首先把种子园的生产小区划分成面积相等的组，每一组种等数的无性系林木，组内随机排列。在种子园所纳无性系数数量多时可用此配置方式。

c.顺序错位排列：将种子园所纳的各无性系编号，在每一行中按序号（作错位）排列，这种无性系配置方式的优点是，简单易行，便于定植、嫁接、管理；又可使同一无性系的植株在行内相距最大。目前，这种配置方式在种子园的无性系配置中应用较为普遍。

其它还有固定或轮换式的区组排列、棋盘式排列及计算机设计配置等。在作柚木种子园的无性系配置时，也可选用。

③苗木准备。营建柚木无性系种子园的用苗可为嫁接苗，也可为扦插苗。嫁接苗可用事先嫁接好的苗木，也可以在园内先定植砧苗，待砧苗成活稳定后进行嫁接。

柚木实生种子园用的苗木，为播用柚木优树自由授粉所获的种子或控制授粉所获的种子培育的苗木。

无论是柚木无性系种子园或柚木实生种子园，都应在种子园规划后，定植前一年开始育苗，因柚木种子园的苗木定植以用1年生苗为宜。所育苗木数理按设计要留有余地，以便补植之用，一般应多准备15%的苗木。

④整地和苗木定植。柚木种子园整地内容包括先清除区划好的定植区内的植被和采伐剩余物，再行整地。平缓的园地可用机械全面整地，坡地台地采用块状整地，也可采用筑水平台地及带状整地的方式。所挖定植穴应达到50cm×50cm×50cm规格。并在苗木定植前4个月进行，以便使穴内心土充分熟化并蓄水。

柚木种子园的整地与定植均按设计的排列配置图进行，并做好各小区及植株的编号标志工作。施工时要与设计图反复对照，不使错乱。

苗木定植后的一个月內，要不时逐株检查成活情况，发现死亡植株要及早补植，不使缺塘。

（5）种子园的管理

①园地管理：包括中耕除草、施肥、灌溉与间作，对柚木种子园应采取集约经营的方式，增加管理的强度，地处热带的柚木种子园内杂草生长快，一年中应进行3~4次的中耕除草，以保证定植树苗的顺利成活与生长。园地施肥的时间及用量应根据柚木树苗的生长状况及土壤状况而定。有灌溉条件的柚木种子园应进行园地灌溉。以提高林木的生长量。建于城镇附近的柚木种子园可引用城市污水进行灌溉。

柚木种子园由于林木的初植密度小，植株的间距大，特别是在其定植后的幼林期，很适合进行间作。柚木种子园幼林期的间作作物可以是农作物，也可是绿肥、水果、药材，可因地制宜选择。间作作物可以以耕代抚，并增加林地收入。柚木传统的混农林业经营一汤雅制，即在造林后的头几年实行混农林业，完全可以移用于柚木种子园的园地管理之中。

②疏伐及树体管理：同园地管理一样，对柚木种子园的林木采取疏伐及树体管理措施，目的是促进种子园林木的开花结实能力，而增加种子的产量。通过疏伐而先淘汰柚木种子园中生长不良的植株，亦可调整林木的株距，使之有充分的生长空间。

柚木种子采集的方法是成熟后任其落下，由地面捡拾，在干季中也不易遭受损害，因此，对柚木种子园中的林木可不必作易采种的去顶树体管理。但如果园中的一些林木分枝过于庞大，斜伸，妨碍了其它植株的生长，可适当进行修剪。

③病虫害控制，云南柚木林的主要病害是柚木锈病，主要害虫有几种天牛（*Cerambycidae* spp.）、吉丁虫（*Buprestidae* spp.）及螟蛾（*Pyrausta* sp.）、夜蛾（*Trisuloides* sp.）等。对柚木种子园的病虫害控制，要从园址选择开始，尽量避开在病虫害危害多的地段建园。维护种子园生物多样性，特别要保护病虫害的天然；精心管理，迟早发现病源、虫源，及早清除烧毁；

在害虫活动期设置灯光白布幕、粘虫胶等诱杀，以减少其的成虫虫口密度。结合采种每年清理园地的植被，注意观察树干有无天牛、吉丁虫的卵块斑及蛀洞，若有发现及时进行清除。只有当这些营林措施还不足控制虫害大发生时，才采用药物防治。其药物防治方法，见六育林期的营林技术虫害控制一节。目前，对于处于热带边缘的云南柚木种植区中柚木植株的开药结实性能尚研究不足。柚木植株的花序大，花小，每花序可长小花 5000~10000 朵，但结实仅 40~100 个，因此，在柚木种子园的经营管理过程中，提高种子产量的潜力很大的，应开展这个课题的研究。

五、采种育苗技术

1. 种实的采收与调制

柚木 8 年生开始开花结实，12 年生后大量结实，亚洲主产区国家一般选择 30~100 年生的柚木健壮林木作为采种母树，柚木林木果实的产量差异很大，从 2.9kg/株到 4.0kg/株。

已达开花结实年龄的柚木植株，每年 6~8 月开花，11 月至次年 2 月为果实成熟期。一个花序上的花朵陆续开放，果实的成熟也前后不一。

柚木的果实为核果。当柚木核心果的种苞呈棕黄色或浅黄棕色时即为果熟，果实成熟后会自然脱落，可在地面捡拾（柚木的树体通直高大，不宜人工上树采果）。由地面捡回的果实多是干燥的，可放在麻袋或竹箩里，经反复搓揉，除去种苞，并淘汰发育不良或过小的核果后，用麻袋、布袋、竹箩等装盛，置于通风干燥贮藏，若方法得当，可保存数年。

事实上，营林中所称的柚木种子为其的核果，核果骨质且十分坚硬，每个核果有 4 室，一般有种子 1~2 粒，少有 3~4 粒，贮藏柚木核果有利于长期保存。

(2) 种子检验

①千粒重：印度产的柚木种子的千粒重为 286~1000g，每公升约 1000~3500 粒，平均 2000 粒。云南省西双版纳产的柚木种子千粒重为 440~588g，每公斤约 1320~3080 粒。

②优良度：西双版纳产的柚木种子空粒较多，占 30%~50%。经水浮选后饱满度可达 70% 左右。

③室内发芽率：西双版纳产的柚木种子的室内发芽率为 50%~50%，低者仅有 20% 左右。种子开始发芽的天数为 10~43 天。

④种子尺寸：种子（核果）近球形，长 1.5~2.6cm，直径 1.8~2.2cm，为一层坚实的绒毛所包裹。

2. 田间育苗技术

柚木育苗用的圃地，需具备以下条件：要有充足的光照；土壤宜为砂壤土，透水透气性要好；有充足的水源供灌溉用，又能防渍排涝。对选用的苗圃，按其常规要求筑建苗床、步道及其相关设施。

(1) 实生苗培育

以种子培育苗木是柚木常规的育苗方法。由于柚木具有很强的萌芽力，实生苗都培育为裸根苗，多数以一年生苗出国造林。

①种子处理：未经处理的柚木种子发芽率低（3.1%~5.7%），而慢（53 天），且不整齐，甚至播后一年还会陆续出苗，为提高柚木种子的发芽率，缩短发芽时间，需对其种子进行处理。柚木种子处理有几种方法：

a.石灰浆沤种法：用与所要处理的柚木核果体积相等的石灰和水搅拌成浆，放入核果拌匀；表面撒少量石灰盖住露出的核果。适当加水，保持湿润，7 天后取出柚木核果冲洗干净石灰播种，经此处理的柚木种子发芽率为 20.5%~22.4%，发芽天数为 21 天。比未经处理的柚木种子发芽率提高 14.8%~19.3%，发芽天数减少 32 天。

b.日晒液浸法：白天将柚木种子（即核果）摊在水泥地板上曝晒，傍晚归堆浸入清水，如此反复 10 天后播种，种子的发芽率为 22.8%~30.6%，发芽天数为 17 天。比未经处理的柚木

种子发芽率提高 17.1%~27.5%，发芽天数减少 36 天。

c.综合处理法：将柚木核果倒入浓度为 20%的石灰浆中拌匀，浆液量以淹没所处理的柚木核果为度。每天搅拌一次，5 天后取出核果洗净摊在水泥地上曝晒，其间于每天 14~15 时气温最高时给摊晒的核果泼透一次清水，夜间不归堆，也不覆盖，任其夜露降温，至柚木核果外包的毡状绒毛容易剥落时，每天翻动敲打 1~2 次，待 10 天核果脱去大部分绒毛后播种。比未经处理的柚木种子发芽率提高 35.2%~48.7%，发芽天数减少 42 天。

柚木种子处理的目的，一是除去核果外的毡状绒毛，二是以高温和变温打破种子的休眠促成种子的快速发芽。在处理大量种子时，不易有大的容器浸泡种子，可改用机械除去核果绒毛的办法，如用用容器脱壳机经调整间距后用以除绒毛。或用混凝土搅拌器以粗砂与柚木核果混合搅拌去除绒毛。

②播种育苗：结合天气状况，一般在四月中旬处理柚木种子，四月下旬至五月上旬播种。将苗床筑为高床。高出步道 15~20cm；床宽 100cm。将处理好的柚木种子（核果）密摊于床面，用木板平压入土，使种子一半露出土面成为播种床，以让半露土表的种子晒到阳光。于每天 14~15 时最热时给播种床浇一次凉水。另准备好同样的苗床做育苗床。每天将播种床上吐白芽的柚木种子（芽苗）移至育苗床，移床的柚木芽苗最大不要超过一对真叶出现期，移植的株行距为 20cm×20cm，每 m² 育苗床种植 25 株，每亩苗圃按 500m² 床在计，可育柚木苗 1.25 万株。若移植的株行距为 30cm×30cm，每亩可产柚木苗 5500 株。做为一年生的柚木大苗，这两种密度比较适宜，若株行距过小，则还需将过密苗木间出。

③苗期管理：露白种子（芽苗）移植后，要浇透一次定根水，以使床土与之紧密接触。柚木种子较大，幼苗生长也快，苗木的枝叶很快就能覆盖床面。苗期管理的主要内容是除草/浇水、施肥。以保证柚木幼苗的顺利生长。在 5~10 月的柚木苗速生期，施用 3 元复合肥追肥，能显著促进苗木的生长。这一时期降雨量大，苗圃要防渍排涝，以防烂根等病害发生，11 月后，转入旱季，气温也降低，柚木苗木进入缓慢生长期。而作为培育柚木一年生苗，这一阶段也是出圃前的炼苗阶段。对苗床要停肥少水，增加光照，结合苗床除草可剪去苗干、下部的叶片，增加苗床的通风性能。

④苗木分级与出圃

依云南省地方标准，在主要造林树种苗 DB531062-2006 中，规定的柚木苗木标准见表 5-1。

表 5-1 云南省制定的柚木苗木等级标准

红河州林科所为元江下游地区所拟定的一年生柚木标准为表 5-2。

表 5-2 红河州林科所拟定的 1 年生柚木苗木的等级标准

注 D 为苗木的地径；H 为苗高。

I、II 级苗木为合格苗，可出圃造林；III 级苗为不合格苗，可留圃继续培育。柚木苗出圃前，应给苗床浇透水，易于起苗。定植或运输的柚木苗有截干苗（根株苗）和全苗两种处理形式。截干苗是将挖起的苗木于根茎上部 5cm 左右处截干，对苗木过长的根也作修剪处理，剪至长 15~20cm。截干苗可大量减少苗木的重量而便于运输。柚木具有强萌发性能，用柚木截干苗处理并不影响造林成活率及今后幼林的生长。

如果需长途运输或较长时间保存柚木苗，可以制备柚木“棒槌苗”。即切去柚木苗第一对芽以上的茎干及全部根系，形成棒槌或胡萝卜形的根株。然后 50 株捆为一捆，进入砂中贮藏。砂的含水量及苗木含水量的适量控制是柚木棒槌苗贮藏成败的关键。此法由泰国柚木改良中心创造。经中林院热林所试验结果为：①柚木棒槌苗贮藏 14 个月，包装运输 21 天，其造林成活率可达 90%~100%；②柚木棒槌苗贮藏 18 个月和 19 个月，其造林成活率可达 75%~90%。如在需要时可以采用。

（2）无性繁殖苗培育

柚木用无性繁殖方法包括嫁接、扦插、组织培养培育苗木都已成功。

①嫁接苗培育，柚木嫁接苗的培育多用于种子园建设的优树繁殖，有多种嫁接方法。据孟加拉国（1991年）的资料，柚木嫁接试验的成活率都很高。其中镶合枝接（Side veneer grafting）成活率为94.4%；舌状枝接（Whip-tongue grafting）成活率达60.7%，叉形芽接（Forkert budding）成活率为75.0%，片状芽接（Patch budding）的成活率达75.7%，T形芽接（T〈shield〉 budding）的成活率为74.3%。所用砧苗均为1~2年生的柚木壮苗。

培育柚木嫁接苗用的这些嫁接方法均是常规的嫁接方法，各地在作柚木嫁接苗培育时，均可按相关的操作程序及所述的技术要领而应用。

②扦插苗培育：经试验，用柚木成年树的枝条扦插很难生根成活（成活率在10%以下）。而用柚木幼树的枝条带叶扦插，其生根成活率可达65.8%，不带叶则生根成活率只有38.9%。做为插穗的枝条要1年生已木质化的枝条前端第1至3个节。

③组培苗培育：柚木采取“以芽繁芽”的办法已成功实现了组培苗的规模化生产。用一个芽可培养500个柚木植株，或用一棵柚木苗的芽在1年内繁殖出3000个植株。试验表明，茎尖、茎段和为组培的外植体对增殖成苗的效果取好。嫩芽、嫩枝和茎尖均是培育柚木组培苗的最好材料。由于柚木组培苗已实现规模化生产，亦就可实现运用柚木优树无性系苗直接造林。柚木组培苗培育技术程序为：

①组培材料的制备：取柚木萌条或一年生柚木苗的枝条。将枝条切成小段，每一枝段带有一个芽，浸入75%的酒精中浸泡30秒，后放入0.1%氯化汞溶液浸泡45秒，取出用无菌水冲洗数次，至水近无色为止。

在无菌条件下剥取经处理枝段的茎尖作为外殖体，长度1~3cm，其涵生长点和数个叶原基。

②诱导培养：柚木芽尖（外殖体）诱导培养的基本培养基为MS、H和white培养基。培养温度21~28℃。芽尖接种于该培养基后的第一个月，置室内自然光照下培养，一个月后每天从19点开始补充光照4小时。经15~20天后，芽尖出现愈伤组织，30天左右转入下段培养。

③增殖及生根培养：切取经诱导培养有腋芽的茎段，在附加BAP（6-卞基腺嘌呤）1mg/L、NAA（萘乙酸）0.1mg/L的MS培养基上作增殖培养，经20天左右长成无根幼苗，同时无根幼苗的腋芽可长出侧枝。将丛生幼苗作分株继续培养，每株又从其底部分化出丛生小苗。在2个月左右的时间内，可陆续分化出20株以上的无根苗。

当无根幼苗长出2~3对叶时，从其培养基中取出切去基部的愈伤组织，在500mg/kg的IBA（吲哚丁酸）溶液中浸泡10小时后，植入配加NAA（萘乙酸）0.5mg/L的MS培养基中进行生根培养，经暗中培养10天左右，基部有白色突起出现，而后即分化出丛状短粗的根。根的数目不等，且生长缓慢。此时转入无激素液的MS培养基中再作培养，10天后可形成正常根系。亦可将浸泡IBA10小时的无根幼苗用无菌水冲洗后，直接插入液态的MS培养基中作生根培养。其苗10~20天即可形成根系，成为正常小苗株。

④移栽炼苗培育：已生根的柚木组培苗田间移栽炼苗用的基质以火烧土+表土为好。移栽后苗木要加罩保温。移栽后4天，在苗木淋水后去罩1小时，以后逐渐增加去罩的时间，直至移后10~15天可完全去罩，经此移栽炼苗处理后，柚木组培苗的成苗率可达85%以上。用经移栽炼苗处理的柚木组培苗定植于大田，4个月后，其苗木的存活率达100%，植株最高达85cm。

3. 田间育苗管理

（1）育苗节令管理：柚木的育苗节令安排，要与其供苗造林地区的造林时间相衔接。在云南的季风气候区进行雨季造林时，柚木的播种育苗期应安排在五月。四月中旬至下旬，气温上升后可进行种子处理，经10~15天后播种，播后15~20天发芽，至第二年6月下透雨后便可起苗植苗造林。在春雨丰富无春旱的柚木早春造林地区，可行秋播或春播育苗，而将出圃柚木苗的苗龄调整为10个月，或1.4年。

(2) 育苗期管理：柚木育苗期管理的主要内容为灌水、施肥、除草和病虫害防治。如雨季到来，雨水充足，苗木可不再浇水，反而要加强圃地排水沟渠的疏通工作，而不使苗地积水。在5~10月柚木苗的生长盛期，应追施肥料1~2次，追肥多用3元（氮、磷、钾）复合肥，每亩一次用量20~30kg，此期间高温高湿杂草生长迅速，应每月除草一次，以免压制幼苗的生长。11月以后，进入干季，可逐渐给苗减水停肥。柚木虽为落叶树种，但一年生的苗木旱季并不落叶，应视土壤水分状况，必要时进行灌溉，只在第二年3~5月出圃造林前停水停肥，进行炼苗。

柚木育苗期的病害，在云南热区常见的是①根腐病，又称白绢病，其病原菌为 *Sclerotium rolfsii*，多出现在雨季的连续阴雨天中，遭根腐病病原菌侵染的柚木苗，茎基部接近土壤处感病而变为褐色，后产生白色绢丝状菌丛，并逐渐产生小型菌核。感病后柚木苗木枯萎，根皮腐烂。防治措施，重点在于选好育苗地，排好水，勤检查，若发现病原株要及时拔除烧毁。于柚苗根腐病发病初期，5%石灰水或1%硫酸铜溶液浇灌苗极。在整地时深挖透晒土壤，每亩施石灰50kg，可减轻该病害的发生。苗地施用的有机肥料要充分腐熟，对防治白绢病均有显著作用。②柚木锈病 (*Uredo tectonae*)，该病在柚木的苗期及幼林期均有发生，感病期多在雨季末期至旱季初期。其感染该病的柚木植株叶片北面产生铁锈色斑块，而叶片面变黄呈现小块枯斑，以至叶片不正常早期脱落，而影响柚木植株的生长。防治方法：改善苗圃（或林地）的通风条件。感病初期用0.3度的石灰硫黄合剂，75%百菌清可湿性粉剂200倍液喷洒叶两面，可有效抑制柚木锈病的发展。

柚木育苗期的虫害，多发生在夏秋季，种类较多，如螟蛾 (*Pyrausta spp.*)、夜蛾 (*Mardera spp.*)、舟蛾 (*Niganda spp.*) 等，这些害虫均为食叶害虫，对柚木苗木的危害一般不很严重，随旱季到来的柚木落叶期，该类食叶害虫便得到抑制。少数情况，会引起大发生，如螟蛾能把柚木苗叶片的叶肉吃光，只剩叶脉。主要防治措施是注意保护和招引这些害虫的天敌鸟类，其次是尽早发现受害植株加以烧毁；药物防治可在这些害虫幼虫初生聚群期，用马拉硫磷等低毒广谱杀虫剂在苗圃中喷雾杀灭。具体配方为马拉硫磷45%、50%乳油1500~2000倍液喷雾，或用25%该种农药的油剂150~200mL，超低容量喷雾，灭杀。

六、植苗造林技术

1. 造林地的选择

柚木的宜林地区是北热带和南亚热带南缘的无霜区。在柚木宜林区作造林地的选择时还要注意符合以下条件。

(1) 地形条件：最好的柚木造林地是河岸冲积台地，其土壤深厚肥沃。低山、丘陵、河谷等地形都可造林，对其坡度无特殊要求；坡向则以阳坡为佳；而坡位以下部为好。云南热区多石灰岩岩溶山地，呈现石漠化威胁，柚木为喜钙植株，是人工植被恢复的有利造林树种。

(2) 土壤条件：一是土壤的pH值要在6.0~8.0之间。酸性强的土壤不宜用于柚木造林；二是土壤的肥力要高。因柚木是大叶速生树种，林木的生长发育要求有较高的土壤肥力作支持。在柚木宜林区的热带土壤类型多为砖红壤，其自身肥力低下，加之原森林植被受破坏后，林地土壤的有机质在高温高湿的环境中分解流失很快，土壤会迅速贫瘠化，所以在热带柚木宜林区选择造林地时，要十分重视土壤的肥力状况。三是土壤层要深厚。柚木是浅根性树种，但树体高大，若培育大径材，其造林地的土层厚度不能低于1.0m，而培育中径材，其造林地的土层厚度也不应低于0.6m。

(3) 植被条件。植被是立地条件的综合表征，云南柚木宜林区的热区，应选择具高草和灌木林植被的地段作为柚木的造林地，在高草地中，杂草草地有肥力高于禾草草地，而禾草草地中的斑草 (*Saccharum arundinaccum*) 等高草地多分布于河岸阶地，指示其土层深厚，土壤肥力较高，而马鹿草 (刚莠竹 *Microstegium ciliatum*) 草地批示该林地土壤肥力中等，环境湿度较高。白茅草 (*Imperata cylindrica*) 草地则批示该地土壤贫瘠。

2. 用苗标准

柚木造林一般用一年生高 1m 以上的大苗，并多用截干苗，即截去主干只留根株的苗木（苗干高 5cm，根长留 20cm）。利用其强萌芽力，培育速生而具优良的干形的柚木林木。柚木大苗根系强大，亦有利于萌芽速生。因此，应选用径粗，根系发达的柚木大苗造林。根据云南的柚木造林实践，以用根径 2cm 以上的一年生截干柚木苗作为柚木植苗造林的用苗标准。河口的柚木造林中实践证明，一年生的低截干苗与一年生的全苗作比较，低截干苗的造林成活率为 100%，造林一年后林木的平均树高 183 cm，胸径 4.2 cm，保存率 95%，全苗造林的成活率 90%，保存率 80%，造林一年后树高 178 cm，胸径 3.2 cm。

3. 造林方法

（1）整地规格

对柚木造林地应在年前进行植被清理，并提前 1~4 个月整地。整地方式，在平缓地段或要实行混农种植的，应全面整地，山地、坡地可实行带状整地和穴状整地。因用苗较大，种植穴应达到宽 50cm×长 50cm×深 40~50cm 的标准。挖出的表土、心土分开堆放。

（2）定植时间及方法

柚木植苗造林的时间依气候而定。在春旱显著的地区，于雨季，雨水下透后定植，一般为 6~7 月，最迟不超过 8 月底，以让苗木早日恢复生长，有利提高当年的柚木苗株生长量和度过来年旱季。

在春旱不显著，有充足春雨，或有灌溉条件的地方，可在春季定植，以柚木苗萌动之前定植为宜。

定植前要对柚木苗的根系作修剪，使之适合穴植。定植时，扶正苗木，回填土时，要表土在下，心土在上，并凸出塘面，踩实。在穴周筑土成环状，以便拦蓄雨水。

（3）成活率、保存率调查与补植

柚木定植后一个月左右应及时进行造林成活率调查，最好逐穴调查，对死亡缺塘作及时补植。于造林第二年春旱结束时进行第一次保存率调查，有缺塘死亡的，应再进行一次补植。以后就不能再补植了。

（4）萌条定植

当新发萌条长至高 50cm 左右时，要及时定株，每塘只保留健壮通直的萌条 1 株。

4 不同经营模式林的营造

（1）混交林

在云南实行过柚木+云南石梓 (*Gmelina arborea*) 及柚木+肉桂 (*Cinnamomum cassia*) 的混交造林，混交方式，行状混交或块状混交都可行。此 2 种柚木混交林中的肉桂林木可在 8~10 年生时采伐，收获桂皮、桂肉及小径材。云南石梓林木在 12 年生时采伐，收获中小径材。而柚木林木则培养并能生产大径材。

（2）混农林

柚木造林很适合采用混农林经营模式。可归结为以下几种模式。

①“汤雅” (*Taungya*) 模式：是印度东南亚地区在柚木造林中传统应用的混农林模式。156 年，就有利用汤雅制建立的柚木种植园。其基本形式就是柚木造林的同时，在林地上种植谷物（旱稻、玉米）或豆类。种一年或数年。这种混农林业，实际上是把毁林开荒的游耕农作与柚木人工林营造相结合。对于发展柚木人工林和减少热带森林的毁林破坏，发挥了很大作用。这种柚木林的经营模式延至今日仍在广泛使用。由于实行全面情理植被，种植农作物实际上能以耕代抚，对柚木幼林生长具有促进的作用。据红河州河口对柚木林间种旱稻、玉米、姜等农作物经营效果的测定，间种旱稻的投入产出比为 1: 3.18；间种玉米的投入产出比为 1: 2.41；间种姜的投入产出比为 1: 6.73。

②柚木+菠萝、香蕉混农林模式：该混农林中的柚木以 3m×3m 株行距种植，菠萝以 0.5m×

0.5m 株行距在行间种植，每亩产量达 1500kg；香蕉以 2m×3m 的株行距在行间种植，每亩产量达 888kg。

③柚木+咖啡混农林模式：该混农林柚木以 3m×5m 的株行距种植，行间以 1.5m 的株距种一行咖啡，植后第 5 年开始收获咖啡豆，共种植 12 年。咖啡豆平均株产 0.437kg，投入产出比为 1: 3.98。

④柚木+肉桂混交林+菠萝混农林模式：该混农林柚木以 3m×5m 株行距种植。肉桂以 1m×1m 的株行距种植。菠萝以 0.5m×0.5m 的株行距在此混交林间种植。第 2 年生开始收获菠萝，5 年生时铲除菠萝，留下柚木、肉桂继续培育，10 年生时采伐肉桂整株利用，价值 10 元/株。此模式的投入产出比为 1: 4.32。

⑤柚木+肉桂混交林+咖啡混农林模式：该混农林柚木以 3m×5m 株行距种植。行间种两行肉桂（2.5m×1m），一行咖啡（1.5m 株距）。咖啡在 5 年生时开始结果，收获至第 12 年更新。5 年生则将肉桂全部伐除，整株利用，此种混农林模式的投入产出比为 1: 5.25。

从以上柚木混农林模式可见，混农林种植对营造柚木人工林的效果很好。已有很长的经营历史和广泛的经营区域，应该充分利用。

七、育林期的营林技术

1. 林地植被与土壤管理

（1）林下植被管理与生物多样性保护。柚木是热带季风区的乡土树种，在其人工林的生长过程中会有多种热带植物进入，应加以保护。从生态环境的改善、植被恢复，以及生物多样性扩展的角度来看，柚木人工林的作用都有很大的。鉴于热带地区杂草生长快，故在柚木植苗造林后的三年内，每年需砍草松土 2~3 次，清除藤本植物对其植株的缠绕。3 年之后可停止此项工作。

三年生以后的柚木林，林木的树高已经远高于杂草，故其林下杂草的生长会受到抑制，转而开始出现一些当地天然林中具有的一些乔灌木。这时，对柚木人工林停止砍草抚育，转入的这些乔灌木就会得到发展。在柚木人工林中会形成物种丰富的下木层、灌木层和草本层，使之成为一个单优多层结构的特殊人工林群落。有人认为，柚木人工林结构再复杂，特种再丰富，但到柚木林木最后皆伐时，这一结构复杂，蕴涵丰富特种的人工林群落将会落败。实际上，在现代可持续发展思想的指导下，产业化的柚木人工林要实现可持续利用，应按规划对其人工林进行轮伐。如 30~60 年为一轮伐期，那么均配的年伐量即为 1/30~1/60。若每年轮伐时，伐区分散，伐块减少，受伐以后及时更新。这样柚木人工林的植被恢复作用就不会因柚木林木的采伐利用而降低。因此，在柚木人工林的育林期要集约经营。要求营林人员能识别热带森林中的标志种、建群种，珍贵用材树种，特用经济林树种，有特殊生态保障作用的树种以及国家、省级特别提出保护的珍稀濒危植物。要具备森林生态系统及其系统管理的知识和生物多样性保护的知识和生物多样性保护的知识。可以说，柚木人工林的成长过程在一定程度上，是热带雨林，季雨林的恢复过程。当今，全球热带地区森林植被的恢复具有重要的生态意义。因此，在柚木人工林的育林期对其林下植被进行有效的管理保护其生物多样性，则具有重要而特殊的意义。

（2）林地土壤生长力的长期保持与施肥。如果在柚木人工林的生长过程中，对其林下植被采取保护力的管理措施，使之形成单优复层的生物多样性丰富的森林群落，那么林地土壤的肥力就可得到保持。但为了促进柚木人工林幼林期林木的生长，为了达到高速生丰产林的指标，在柚木的育林期是要进行林地施肥的。还有在柚木林轮伐后亦应对轮伐地进行施肥。许多林地施肥效果的试验，均说明人工用材林施肥的经济回报是高的。作为珍贵用材林柚木人工林其林地施肥的经济回报会更高的。故在柚木人工林造林后的最初 3 年及林木采伐后都应每年进行林地施肥。施肥品种仍以氮磷钾 3 元复合肥最好。云南热区柚木林林地的砖红壤通常缺所少磷。复合肥的比例以 6: 3: 1 (N:P:K) 为宜。施肥量则应因地制宜，根据具体林

地地块的肥力情况而定。

2. 林木的抚育间伐

(1) 抚育间伐的周期及强度

柚木林木的木材以大径木的以材而有高的价值。柚木人工林的经营目标应是培育大径材用材林。柚木人工林用材林的培育期在印度、泰国、缅甸为 60 年。在我国柚木工业用材林的培育期尚无标准。参考上述热带国家的培育期, 对我国柚木人工林的抚育间伐可提出以下建议: 初植密度为 $3\text{m} \times 3\text{m}$ (1111 株/ hm^2 或 74 株/亩) 的柚木人工林, 5 年生后有明显的林分分化, 至 10 年生林木分化稳定, 此期间可进行柚木人工林的第一次抚育间伐。其间伐强度为伐除人工林中 30% 的林木 (333 株/ hm^2 或 22 株/亩), 保留 70% 的林木, 即每公顷保留 777 株或每亩保留 52 株。到柚木林 20 年生时对林分进行第二次抚育间伐, 再伐除 30% 的林木, 使其林分每公顷保留林木 400 株或每亩保留 27 株。柚木林经此 2 次抚育间伐后, 平均株行距为 $5\text{m} \times 5\text{m}$, 以此空间培育柚木林至 50~60 年生采伐利用。

柚木工业用材林抚育间伐所获的细径木, 价值低, 如果再加运材道路的修筑, 经济上抚育间伐多是亏损的。但为培养优良干形的柚木林木, 适当密植又是必要的在经营柚木人工林时, 应处理好此矛盾。其处理的原则是以尽量减少抚育间伐的次数及工作量为主。

(2) 抚育间伐的实施。

按照克拉夫特的生长级制将柚木人工林中生长的林木分为 5 级, I 级为优势木, 林木树冠高了主林冠层; II 级为次优木, 林木的树冠层居主林冠层的上部; III 级为平均木, 是构成主林冠层的众多林木; IV 级木为落后木, 生长明显落后, 林木树冠达不到主林冠层; V 级为濒死木。依据生态分布规律, 在柚木林分中处于中间的 III 级木数量最多, 一般占林分林木数量的 40%~50%; I、II 级占 25%~30%, IV、V 级木占 25%~30%。在柚木人工林实施抚育间伐的过程中, 主要是伐除林分中的 IV、V 级木, 根据抚育间伐强度的要求及结合林木均匀度的调整而伐除一小部分 III 级木。按此大致可达到 30% 的抚育间伐强度。柚木林分中的 5 级林木分级标准, 可依据所实施抚育间伐的柚木林分状况现场确定, 经培训让营林工人普通能够掌握而动作。照此实施柚木人工林的抚育间伐, 较简单易行, 且不会伤及大径林木。

3. 病虫害控制

现代森林生态系统管理理论认为, 森林里的病虫害物种也是其森林生态系统的组分, 它们虽有危害林木的活动, 但也有维持整个生态系统平衡, 具组成食物链等不可或缺的作用。因此, 对待森林病虫害物种不应采取全面消灭的办法, 而是只要将它们控制在一定的数量范围内, 不大发生就可以了。

柚木林病虫害办法, 应以采取生态的、营林的措施为主。从柚木造林地的选地开始, 就注意避开病虫害多发的地段, 选择对柚木林木生长有利的立地环境造林, 促进林木健康成长, 以增强林木抵御病虫害的能力; 又如造林地整地时, 采取深翻多晒, 适当炼地等的措施, 以及在雨季及时排除林地积水防涝等, 都是柚木林发生病虫害的举措。

而保护和发展柚木林的生物多样性, 则控制柚木人工林病虫害最主要、最有力的措施。丰富的生物多样性可避免单一病虫害种类的大发生; 丰富的生物多样性使其森林生态系统充分发育, 形成完备而又稳固的生物食物链。各种病虫害的天敌、鸟类、爬行类两栖类动物的增多, 可以控制柚木病虫害种群的密度, 使之不能大幅增长。

此外, 在柚木林有害昆虫成虫的活动季节采取灯光、白布幕、粘虫胶诱捕, 以及设置防虫隔离网、养鱼池引诱等的物理方法, 均可起到好的防治效果。这些防虫治虫方法不会污染环境, 伤及天敌。

只有当以上措施都未能见效, 而柚木林的病虫害大发生时, 最后才取有药物防治的方法。

以下列出柚木主要病虫害的药物防治方法。

(1) 柚木锈病: 危害柚木林木的叶片, 防治药剂有石硫合剂 (lime sulfate), 含 45% 石硫合

剂结晶、29%石硫合剂水剂等多种制剂。在发病初期以 29%石硫合剂水剂 74~188 倍液喷雾，效果良好。注意事项：石硫合剂具有强碱性，应避免与有机磷药剂和铜制剂混用。

三唑酮硫磺：20%三唑酮·硫悬浮剂，每公顷商品量 750~1125 升，均匀喷雾。属低毒杀菌剂，但不可与食物、饲料一起存放和运输。

百菌清 75%可湿性粉剂，每亩每次施用量 130g（800 倍液）喷雾。

（2）多种天牛：蛀食柚木林木的树干、树皮，使材质降低，严重时可致幼树死亡。防治方法：用石灰（10）+硫磺（1）+食盐（1）的浆液涂刷白树干基部，刷白高度 1m，在天牛产卵期，寻找树干上的产卵疤及流黑水处，用小刀切开树皮，压破卵块或喷淋药剂杀卵，若发现蛀干虫眼后，以菊酯类农药（0.5%粉剂、3%乳油）注射虫眼，在注药后用黄泥封堵虫孔效果良好。

（3）吉丁虫：幼虫先在柚木林木树皮蛀食，以后蛀入木质部危害。化学防治方法与天牛同。

八、采伐与更新技术

1. 主伐龄的确定

传统的柚木木材生产国印度、泰国、缅甸等均将柚木人工林的主伐龄定为 60 年，但对柚木天然林的经营则以 30 年为一轮伐期，只对达到市场出材标准的林木进行采伐。因为这时，采伐柚木林木才能产更多的心材，木材才更有价值。

我国对柚木人工林的主伐年龄尚无规定。其柚木人工林的出材标准还有待研究。经营柚木人工林，应有长远的战略规划，即把营建柚木从作为我国珍贵木材的战略储备来建设。由于柚木人工林的轮伐期过长，而不宜于当前私人企业经营，应由国家规划将柚木工业人工林内珍贵用材林基地建设之中，在经营柚木工业人工林基地的过程中，建议将柚木人工林的主伐龄定为 60 年生。

2. 采伐方式

国外对柚木天然林的采伐仅采取择伐的方式。只对林木胸径达到市场收购标准的林木作单株采伐。在缅甸对生长在湿润地区的柚木天然林的单株择伐标准为胸径达 73cm 的林木；而对于干旱地区生长的柚木天然林的单株择伐标准为胸径达 64cm。在采伐前 3 年，便对将要采伐的柚木树实行环状剥皮(girdled or ring barked)，目的是减少柚木木材的水分，能够浮水运输。

早期营造的柚木人工林连片面积都不大，每片面积都不超过 20hm²，40 年生后，就被做为柚木天然林对待了。

现代营造的柚木工业人工林，采伐方式都采用小面积皆伐，对连片的同龄柚木林分片施行一次性皆伐，一次性更新。此种小面积皆伐方式有利于提高柚木工业人工林经营效益。从保护生态环境上考虑柚木工业人工林小面积皆伐的伐块面积不宜过大。种植于云南热带山地丘陵区的柚木人工林，建议每一小面积皆伐的伐块面积不要超过 20 hm²（300 亩）。最好结合地貌，以用一坡面，同一山头为单位设置伐块，有利于出材运输。每年作伐区设计时，应尽量利用现有公路将伐块分散开，这样不至造成柚木种植区植被的大面积缺失。

3. 更新方法

柚木林木有很强的萌芽力。柚木林采伐后可萌芽更新。

萌芽更新的关键措施为：

（1）采伐结束后，当年及时清理采伐迹地，对柚木伐桩进行鉴定，决定是否留做萌芽更新之用。对入选的柚木伐桩先要作抽心及撕皮清理，其次清除伐桩直径 1m 范围内的杂草灌木。

（2）当柚木伐桩抽生的萌条高达 50cm 时，第一次定株，留 2 株健壮萌条，其余砍除。第二次定株在来年旱季结束雨季开始前进行，只留 1 株健壮萌条，以使其在雨季获得最好的生长效果。

柚木采伐迹地的伐桩萌条更新经第二次定株后按一般幼林进行管理。

由于柚木人工林在施行主伐时林分的密度已很小，仅靠萌条更新的幼树株数不足，且有必要对其林分进行树种改良，实行良种造林，在柚木人工林采伐迹地的更新中，补充植苗几乎是必须的。

柚木林采伐迹地的植苗更新的关键是要及时。应在伐后第一年完成。不然迹地杂草会大量生长，土壤会迅速贫瘠化。所以应在作柚木林伐区作业设计时，就将更新育苗纳入实施计划。柚木林采伐迹地的植苗更新，所用的柚木苗木，仍以一年生的柚木达标裸根苗为宜。一般柚木林的采伐在旱季进行（11月至来年4月），采伐结束后应立即开展迹地情况及更新整地。在6~8月完成植苗更新，其栽植技术等同于柚木的植苗造林。

九、产业化规模经营前景

1. 柚木产业化规模种植的综合价值

柚木木材是世界热带最著名的珍贵木材，具有多方面的高档用途。柚木的产业化规模种植具有长远的战略意义。过去我国比较重视速生丰产林的建设，而发展培育周期较长的珍贵用材林生产则是近些年来事。云南是我国珍贵用材建设的重要基础，云南热区是全国热带地区的主要组成部分，是全国能够发展柚木生产的少数地区之一。因此，应该十分重视柚木的产业化规模种植。

在云南，柚木人工林的产业化规模发展是实现其热带森林植被恢复的重要途径。柚木是组成亚洲热带森林的重要乡土树种，也是季雨林的建群种。柚木人工林中会逐步渗入当地热带雨林和季雨林的一些动植物物种组成健全的森林生态系统，在几十年的柚木人工林经营期中，柚木人工林在其热带森林生态系统的恢复进程中发挥着重要的作用。因此，柚木人工林的产业化规模发展具有经济与生态效益兼备的价值。

2. 云南柚木人工林发展规划与种植区划

2010年11月云南省林业厅编制的《云南珍贵用材林基地建设发展规划（2011~2020年）》提出10年间共建设1000万亩珍贵用材林。其中建设柚木林基地10万亩、

云南柚木种植区划共分5片，即元江下游片、西双版纳片、南西河下游片、怒江下游片、德宏片。适宜区主各片的北热带气候区，次适宜区为南亚热带南部的无霜区。适宜的海拔带在柚木的生长特性一节已有介绍。

3. 云南柚木速生丰产林标准

云南省地方标准《柚木速生丰产林》DB53/T048-94规定了达到柚木丰产林的标准。

丰产林（的林木）生长量以20年为计算标准，林分（的林木）平均直径达到20cm以上（“以上”含本数，下同），每667平方米立木蓄积年平均生长量达到0.5立方米以上。

丰产林幼龄各年龄（的林木）生长量低限指标应符合表9-1。

该标准还规定：“丰产林造林地应具备一定的规模。在相当于一个乡或一个林场范围内，丰产林的总面积不少于33.4万公顷（500亩），其中一块丰产林的面积不少于2公顷（30亩），坝区可降至0.13公顷（2亩）”。

4. 柚木人工林产业化规模经营存在问题与关键技术

（1）存在问题：是培育周期长、投资需求大，难以吸引投资。解决办法是①纳入长期战略发展规划；②发展混农林业及林下种养殖业，实现以短养长，长短结合；③发展四旁种植及零星种植，化整为零增加投资。

（2）云南省在柚木的引种植中已解决了两个关键技术一是柚木种子发芽率低的问题。二是柚木宜林地的选择问题。而现在实现云南省的柚木产业化规模种植的关键技术则变成柚木良种选育。其选育的目标有三：①林木速生丰产，缩短轮伐期；②选育适宜热带边缘地区种植区速生高产的抗寒、抗旱柚木品种；③选育优良材性的柚木品种具如黑丝金柚木类型的良种品种选育。

这个标准所定柚木速生丰产林的生长量，笔者认为太低了，另外，林分的林木蓄积量不单由

树高和胸径所决定，还受林分密度及形数的影响，标准也未涉及。因此，研讨修改。

云南柚木种植地均在南部及西南部的边境一线。可以与接壤的国家与地区共同合作发展柚木造林及加工业。现在已在原金三角罂粟种植区的替代种植项目中列入柚木汤雅制造林等内容。预示着云南省柚木产业化规模种植的发展前景是十分广泛的。