

不同红豆树人工林生长和心材特性的差异

张蕊¹, 王秀花¹, 陈柳英², 冯建国³, 周志春¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省建瓯市林业科技推广中心, 福建 建瓯 353100; 3. 浙江省龙泉市林业科学研究所, 浙江 龙泉 323700)

摘要: 选用浙闽 23 ~ 38 年生的 8 块红豆树 *Ormosia hosiei* 人工片林, 以研究立地条件、林分密度和林龄等对红豆树人工林生长和材质材性的影响, 同时探讨这些因子对红豆树心材生长特性的作用。结果表明: 人工栽植的红豆树分叉干率较高(59.1%)、树干通直度较低, 需加强修枝和抹芽等促使其优质干材的形成和生长。好的立地条件和适宜的林分密度有利于促进红豆树径向生长和木材积累量。红豆树人工林木材基本密度中等, 为 0.50 ~ 0.59 g·m⁻³, 平均为 0.543 2 g·m⁻³, 较少受立地和林龄的影响。木材基本密度从髓心向外呈逐渐增加的趋势, 第 35 轮后趋于平缓或下降, 其径向均匀性相对较高。红豆树心材半径和心材面积分别与胸径呈显著的线性正相关($R^2 = 0.749$, $F_{1,315} = 17.91$, $P = 0.005$)和幂函数正相关($R^2 = 0.7719$, $F_{1,315} = 20.3$, $P = 0.004$)关系, 可通过延长培育周期和提高径生长量等来培养大径阶、高心材率的红豆树优质干材。图 2 表 5 参 24

关键词: 森林培育学; 红豆树; 人工林; 生长; 木材基本密度; 心材

中图分类号: S727.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)03-0412-08

Growth and heartwood characteristics of *Ormosia hosiei* plantations

ZHANG Rui¹, WANG Xiu-hua¹, CHEN Liu-ying², FENG Jian-guo³, ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Extending Center for Forestry S & T of Jian'ou City, Jian'ou 353100, Fujian, China; 3. Forestry Research Institute of Longquan City, Longquan 323700, Zhejiang, China)

Abstract: In order to study the effects of site conditions, planting densities, and stand ages to the growth and wood characteristics of *Ormosia hosiei* plantations, we used twenty-three, 38-year-old plantations of *O. hosiei*, and analyzed the growth and heartwood characteristics with statistical methods. Trees were grown in eight different locations of two provinces (Zhejiang and Fujian) and represented different site conditions, planting densities (630–500 tree·hm⁻²), and stand ages. Choosing typical site-plot (15 m × 20 m) and made each trees survey (20–50 sample trees). The survey contained the height, diameter at breast height (DBH), stem straight, stem fullness and stem forking, after that, wood cores was picked. Results showed that *O. hosiei* exhibited more stem forking (59.1%) and lower stem straightness than other wood plants. *O. hosiei* grew faster in the early stages than other wood species. The wood basic density (WBD) of *O. hosiei*, which was ranging from 0.50–0.59 g·m⁻³, was similar for each site, and having an average of 0.543 2 g·m⁻³. WBD had an increasing tendency from pitch to outside (1–5 rings: 0.497 6 g·m⁻³, 6–10 rings: 0.524 6 g·m⁻³, 11–15 rings: 0.544 8 g·m⁻³, 16–20 rings: 0.560 5 g·m⁻³, 21–25 rings: 0.566 1 g·m⁻³, 26–30 rings: 0.566 7 g·m⁻³, 31–35 rings: 0.571 0 g·m⁻³, and 36–40 rings: 0.552 7 g·m⁻³), and having a relatively stable state after the 35th

收稿日期: 2011-05-13; 修回日期: 2011-06-13

基金项目: 农业科技成果转化资金资助项目(2010GB24320616); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(RISF6809); 杭州市农业科研攻关专项(20080632B43)

作者简介: 张蕊, 助理研究员, 博士研究生, 从事亚热带珍贵阔叶用材树种育种和培育技术研究。E-mail: ruirui0218@126.com。通信作者: 周志春, 研究员, 博士, 从事林木育种等研究。E-mail: zczhou_risf@163.com

annual ring. But radial uniformity was higher, the average of the standard deviation was 0.031. Heartwood radius (HR) was significant, linear, and positively correlated to DBH ($R^2 = 0.749$, $F_{1,315} = 17.91$, $P = 0.005$), and heartwood area (HA) was correlated significantly and positively as a power function to DBH ($R^2 = 0.7719$, $F_{1,315} = 20.3$, $P = 0.004$). Thus, recommendations were the following: timely pruning and wiping away the buds to produce high grade trunk wood, utilizing good site conditions and suitable planting densities to promote radial growth and volume, and extending the breeding-cycle and increasing the diameter growth-rate to increase the timber diameter and promote a higher heartwood ratio of high-value wood. [Ch, 2 fig. 5 tab. 24 ref]

Key words: silviculture; *Ormosia hosiei*; plantation; growth; wood basic density (WBD); heartwood

红豆树 *Ormosia hosiei* 为蝶形花科 Papilionaceae 红豆树属 *Ormosia* 落叶和半落叶大乔木, 为中国特有种, 主要分布于江苏、浙江、福建、江西、湖北、湖南、四川、陕西等省。其木材坚重, 有光泽, 切面光滑, 花纹别致, 是制作高级家具、工艺雕刻等的上等用材。此外, 红豆树还是优良的景观绿化树种。由于其较高的经济价值, 近年来浙江和福建等省重视其资源培育研究, 积极开展其人工繁育和基地建设。红豆树属植物木材材性方面已有一些相关研究, 如郑天汉等^[1-2]对红豆树立木进行生长性状和变异程度研究, 并基于心材直径比率的分析, 提出了优树选择的标准。彭彪等^[3]对木荚红豆树 *Ormosia xylocarpa* 的研究得出其木材密度随树龄增大而增加, 工艺成熟期为 42 a。这些研究对红豆树材性分析提供了一些借鉴经验, 然而材质材性不仅取决于其自身的遗传因素, 不同的栽植措施和环境亦会造成其特性差异^[4]。影响人工林材性的主要因素包括立地条件、林分密度、林龄等^[5-7]。研究认为: 随立地级的提高, 人工林木材密度等其他力学强度指标会相应减少。较低的林分密度可以提高林分的生长量, 适当修枝和间伐可以有效增加林分无疵木材的产量^[8-9]。较之于天然林, 红豆树人工林存在分叉干率高、干形通直性差等问题, 人工林心材特性也缺乏研究, 因此, 加强大径阶、高心材率的红豆树优质干材培育技术研究, 包括研究立地条件、林分密度、林龄等对红豆树人工林的生长和材性影响具有重要意义。鉴于红豆树人工造林试验缺乏, 本研究选用浙闽两省一些国有林场于 20 世纪 70 - 80 年代营建的 8 片红豆树人工片林进行调查和测定分析, 研究不同立地条件、林龄以及林分密度对红豆树人工林生长和材性的影响, 据此初步提出相应的培育策略, 为红豆树人工林营建和经营管理等提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 红豆树人工林试验地概况

选用研究的 8 块红豆树人工片林分别由浙江龙泉、庆元和福建建瓯、邵武、尤溪等地的国有林场在 20 世纪 70 - 80 年代选择较好立地营建的(表 1), 其林龄为 23 ~ 38 a, 片林面积为 0.06 ~ 3.67 hm² 不等, 所处海拔为 50 ~ 500 m, 坡度平缓, 土壤皆为山地红壤, 土层厚度为 80 ~ 100 cm。现有林分密度依林龄大小不同, 为 630 ~ 2 500 株·hm⁻²。

1.2 调查测定方法和材性分析

2009 年 11 月, 在红豆树人工林代表性地块设置长方形或正方形的样地进行每木调查, 样株数在 20 ~ 50 株不等。测定指标包括树高, 胸径, 树干通直度(按通直、较通直、一般、较弯曲、弯曲 5 分制统计, 分数越高越通直), 下部 3 m 段树干的圆满度(距基部 3 m 高处直径与胸径之比), 分叉干特性(树干基部 1 ~ 4 m 段间的分叉干数量和分叉干高度)。单株材积按 $V = \pi d_{1.3}^2 (h+3)f_3/4$ 公式估算, 其中 $d_{1.3}$ 为 1.3 m 高胸径, h 为树高, f_3 为实验形数($f_3 = 0.40$)^[10]。在调查样木的同时, 用 6 mm 直径的生长锥于每株样木胸高处上坡位钻取一根髓心至树皮的完整无疵木芯。木芯带回室内, 根据心材/边材颜色差异区分心材/边材界限, 按宽度和面积计算心材比例, 并求算心材生长速率(R_{MHC})=心材半径(R_H)/心材年轮数(N_{HR})。同时对所取木芯自髓心向外, 每 5 个年轮切成 1 段, 测量其宽度(W_i), 用最大含水量法^[11]测定每年轮段的木材基本密度(D_i)。采用 Excel 软件进行数据统计分析。

表1 浙闽8块红豆树人工片林基本情况

Table 1 Basic condition of the eight plantations of *Ormosia hosiei*

地点	地名缩写	林龄/a	造林面积/hm ²	林分密度/(株·hm ⁻²)	坡度/(°)	坡位	坡向	立地条件	海拔/m
浙江省庆元实验林场	ZJQY	27	0.67	667	20	中	阳坡	II ⁻	320
浙江省龙泉市林科所	ZJLQ1	28	0.67	833	15	下	半阴坡	II ⁺	230
浙江省龙泉市岭根	ZJLQ2	28	0.67	625	20	下	半阴坡	II ⁺	300
福建省尤溪县隔头下坡	FJYX1	23	3.67	1 250	50	下	半阳坡	II ⁻	480
福建省尤溪县隔头中坡	FJYX2	23	3.67	1 500	53	中	半阴坡	II ⁻	550
福建省建瓯市鲁口	FJJO	37	0.20	1 667	26	中	阴坡	II ⁻	75
福建省邵武市焦坑	FJSW	37	0.33	1 111	30	中	半阴坡	II ⁻	280
福建省浦城县溪南	FJPC	38	0.06	825	45	下	半阳坡	II ⁺	300

2 结果与分析

2.1 红豆树人工林干形和分叉干特性

所调查的8块红豆树人工片林其树干通直度和分叉干特性存在很大的差异(表2)。其中浙江省3块红豆树人工林的树干较为通直,这是由于其在幼林时实施了除萌和修改枝措施,尤以ZJQY的树干通直度得分最高,达3.90。福建省的5块红豆树人工片林由于交通不便,未及时进行修枝等,其通直度较差,得分为2.38~2.67,其中,FJJO的树干通直度得分有2.34。与其他阔叶树比较,红豆树人工林的分叉干特性明显,8块人工片林平均分叉干率达59.1%,且以1叉干率为主,2叉干率次之,3叉干率则较少。红豆树人工林分叉干的部位一般较高,8块人工片林的高叉干率平均为74.2%,主要在2~3m处形成分叉干(所占比例为33.58%),而低叉干率则较低,平均为15.8%,主要集中于0.68m左右。红豆树分叉干的形成与树顶端优势较不明显及秋梢易发生冻害有关。比较分析表明,分叉干率与片林所处地理位置有关。所处纬度和海拔较低的片林,因较少发生秋梢冻害,其分叉干率相对较低,如FJJO、FJSW和FJPC片林的分叉干率分别为30.0%、26.0%和38.9%,而其他5块片林所处纬度或海拔相对较高,因其秋梢易发生冻害而导致较高的分叉干率,其中以ZJLQ2的分叉干率最高,达96.7%。红豆树人工林树干圆满度相对较高,平均达0.82,但林分密度较小时其树干圆满度则会明显降低,如林分密度最低的ZJLQ2片林,其树干圆满度只有0.68。

表2 8块红豆树人工片林的干形特征

Table 2 Stem and forking characteristics of the eight plantations of *O. hosiei*

地点	树干通直度	树干圆满度	分叉干率/%	1叉干率/%	2叉干率/%	≥3叉干率/%	低叉干率(<1m)/%	高叉干率(≥1m)/%
ZJQY	3.90	0.81	50.0	50.0	35.0	15.0	15.0	35.0
ZJLQ1	3.87	0.73	73.3	56.7	13.6	3.0	3.3	93.3
ZJLQ2	3.18	0.68	96.7	60.1	33.3	3.3	6.7	66.7
FJYX1	2.42	0.80	80.0	72.0	4.0	4.0	10.0	90.0
FJYX2	2.52	0.84	78.0	60.0	14.0	4.0	20.5	79.5
FJJO	2.34	0.88	30.0	22.0	8.0	0	33.3	66.7
FJSW	2.38	0.89	26.0	26.0	0	0	30.8	69.2
FJPC	2.67	0.90	38.9	38.9	0	0	7.1	92.9
平均	2.91	0.82	59.1	48.2	13.5	3.7	15.8	74.2

2.2 红豆树人工林的生长分析

从表3看出:人工栽植的红豆树在较好立地上生长较快,如38年生的FJPC片林其平均树高和胸径分别达16.46m和26.77cm,平均单株材积达0.4734m³,28年生的ZJLQ1和ZJLQ2片林其平均树高、胸径和单株材积分别达13.30~14.55m,23.89~25.95cm和0.3336~0.3683m³,这意味着只要选择

较好的立地并实施科学的育林措施可实现红豆树的速生丰产。分析比较发现，红豆树人工片林的生长与立地条件和林分密度等密切相关。总的来说，处于下坡位半阴坡或半阳坡的林分生长表现较好，单株材积较高，如 23 年生的 FJYX1 和 FJYX2，前者单株材积是后者的 1.2 倍，28 年生的 ZJLQ1 和 ZJLQ2，后者单株材积是前者的 1.1 倍，37 年生 FJJO 和 FJSW，后者单株材积超过了前者的 18.5%。林分密度较高，有利于红豆树的树高生长；而林分密度较低则有利于促进胸径生长，如 ZJLQ1 和 ZJLQ2 等 2 块人工片林，前者树高高出后者 9.4%，但胸径生长量仅为后者的 92%。FJJO 和 FJSW 等 2 块片林，前者树高较后者高出 12.7%，而胸径仅为后者的 85%。从表 4 的年轮宽度径向变异看出：红豆树木材早期生长较快，且较为平稳，25 年生后生长减缓明显，同时，浙江 3 片红豆树人工片林幼林的适时除萌和修改枝措施，不仅提高了植株的通直度，而且也加大了木材的径向生长量，其总体径向变异程度要高于福建 5 个片林，因此，通过加强早期经营管理，有助于提高红豆树人工林优质干材培育。

表 3 8 块红豆树人工片林的平均生长量和木材基本密度

Table 3 Average growth rate and wood basic density of the eight plantations of *Ormosia hosiei*

地点	树高/m	胸径/cm	单株材积/ m ³	木材基本密度/ (g·m ⁻³)
ZJQY	14.45 ± 2.10	21.95 ± 5.03	0.286 9 ± 0.161 7	0.494 7 ± 0.035 3
ZJLQ1	14.55 ± 1.70	23.89 ± 4.74	0.333 6 ± 0.142 5	0.552 7 ± 0.031 2
ZJLQ2	13.30 ± 2.29	25.95 ± 5.05	0.368 3 ± 0.162 0	0.559 5 ± 0.039 6
FJYX1	10.85 ± 1.84	13.15 ± 3.08	0.077 3 ± 0.052 3	0.537 6 ± 0.043 3
FJYX2	8.85 ± 2.45	12.89 ± 3.41	0.064 1 ± 0.047 5	0.537 1 ± 0.051 4
FJJO	17.05 ± 3.03	17.00 ± 4.51	0.202 6 ± 0.111 1	0.524 3 ± 0.048 0
FJSW	15.13 ± 1.24	20.03 ± 3.57	0.240 1 ± 0.103 6	0.554 0 ± 0.052 8
FJPC	16.46 ± 1.90	26.77 ± 6.48	0.473 4 ± 0.228 3	0.586 0 ± 0.062 0

表 4 红豆树人工林木材生长径向变化

Table 4 Variation of wood radial growth of *O. hosiei*

地点	年轮宽度径向变异/mm							
	1 ~ 5 轮	6 ~ 10 轮	11 ~ 15 轮	16 ~ 20 轮	21 ~ 25 轮	26 ~ 30 轮	31 ~ 35 轮	36 ~ 40 轮
ZJQY	20.09 ± 3.57	19.54 ± 3.12	21.42 ± 5.17	21.67 ± 5.29	15.94 ± 10.42	16.08 ± 13.33		
ZJLQ1	21.38 ± 4.37	21.64 ± 4.05	20.18 ± 3.54	20.70 ± 3.64	19.91 ± 7.76	10.23 ± 7.51		
ZJLQ2	24.13 ± 7.21	23.72 ± 4.69	23.83 ± 7.04	23.45 ± 8.71	20.44 ± 6.85	12.66 ± 8.82		
FJYX1	15.26 ± 2.05	15.53 ± 2.24	14.89 ± 2.90	12.11 ± 3.78	10.98 ± 5.44	9.02 ± 5.58		
FJYX2	16.45 ± 2.99	15.48 ± 2.28	14.70 ± 3.03	13.27 ± 4.64	9.75 ± 5.22	8.53 ± 4.68		
FJJO	15.12 ± 3.27	15.57 ± 3.03	15.23 ± 3.51	14.46 ± 3.82	11.56 ± 4.18	8.76 ± 4.50	7.40 ± 4.49	4.30 ± 1.97
FJSW	18.90 ± 3.14	17.03 ± 3.87	17.39 ± 6.77	16.29 ± 2.89	14.92 ± 4.26	11.35 ± 5.29	9.55 ± 4.54	9.29 ± 7.72
FJPC	20.63 ± 3.65	19.65 ± 2.86	18.29 ± 3.33	17.23 ± 4.58	15.80 ± 4.59	15.10 ± 3.47	13.65 ± 5.08	9.14 ± 5.45

2.3 红豆树人工林木材基本密度及其径向变异规律

红豆树人工林的木材基本密度中等，为 0.500 0 ~ 0.590 0 g·m⁻³，较少随着林龄的增加和立地条件变化等而产生明显的差异(表 3)，8 块片林的木材基本密度平均值为 0.543 2 g·m⁻³。如立地条件和林分密度相似的 ZJLQ2 和 FJPC 等 2 块片林其林龄相差 10 a，但木材基本密度仅相差 0.026 5 g·m⁻³；FJYX1 和 FJYX2 分别处于同一人工林的下坡和中坡，虽然立地条件差异明显，但两者的木材基本密度却基本一致。在研究的 8 块红豆树人工片林中，数 ZJQY 的木材基本密度最低，为 0.495 0 g·m⁻³，这似与林分密度低有一定的关系。

红豆树人工林的木材基本密度从髓心向外逐渐增加，26 ~ 35 年生时达到顶峰后则趋于平缓或略有下降，符合松杉等多数树种木材密度的径向变异规律，但其径向均匀性却相对较高(图 1)，靠近髓心的

幼龄材与靠近树皮外部的成熟材其木材基本密度差异较小。8块红豆树片林1~5年轮的基本密度,从高到低依次为FJPC($0.5391\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), ZJLQ2($0.5302\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), ZJLQ1($0.5123\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), FJSW($0.4982\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), FJYX2($0.4860\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), FJYX1($0.4774\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), FJJO($0.4668\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)和ZJQY($0.4611\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),其中立地条件为II⁺的3块片林1~5年轮的基本密度皆大于 $0.5000\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,其余5块片林因立地条件较差,其1~5年轮的基本密度皆低于 $0.5000\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。从图1木材基本密度径向变异曲线的总体情况来看,立地条件较好的3块片林其同一年轮段的木材基本密度高于其他5块片林,这与较好立地条件有利于促进红豆树晚材生长有关。

2.4 红豆树人工林心材比例分析

红豆树的心边材差异明显,其心材呈黑褐色而具有极高的工艺价值。表5列出了8块红豆树片林心材比例相关参数。从总体情况来看,林龄大小是影响红豆树人工片林心材年轮数和心材宽度比例的主要因子,即随着林龄的增大,其心材年轮数及心材宽度和面积比例呈明显的递增趋势。如立地条件和栽植密度相似的ZJLQ1和FJPC等2片人工片林,林龄相差10a,后者的心材年轮数、心材宽度和面积比例分别较前者提高了64%,43%和89%。

表5 8片红豆树人工片林的心材宽度和比例

Table 5 Heartwood radius and rate of the eight plantations of *O. hosiei*

地点	林龄/a	木芯总年轮宽度/mm	木芯总年轮数/轮	心材总年轮宽度/mm	心材年轮数/轮	心材宽度比例/%	心材面积比例/%
ZJQY	27	103.20 ± 21.13	24.45 ± 2.81	39.35 ± 16.88	9.75 ± 3.38	36.66 ± 10.94	15.20 ± 7.75
ZJLQ1	28	109.06 ± 21.34	25.73 ± 3.30	43.45 ± 12.67	10.13 ± 2.39	39.85 ± 9.20	17.70 ± 6.80
ZJLQ2	28	118.10 ± 24.99	25.37 ± 3.33	56.30 ± 17.64	11.97 ± 3.20	47.61 ± 11.84	24.03 ± 11.77
FJYX1	23	65.28 ± 16.04	21.92 ± 4.08	25.86 ± 10.73	8.43 ± 3.35	36.28 ± 14.57	15.24 ± 9.39
FJYX2	23	67.83 ± 19.40	21.50 ± 4.56	22.86 ± 14.13	6.82 ± 3.98	27.10 ± 17.30	10.28 ± 9.77
FJJO	37	79.49 ± 19.18	27.66 ± 5.74	42.39 ± 14.25	14.88 ± 4.22	53.33 ± 10.75	29.39 ± 10.45
FJSW	37	83.65 ± 22.48	27.18 ± 9.11	46.71 ± 17.84	13.94 ± 4.53	54.56 ± 10.42	30.82 ± 10.78
FJPC	38	113.80 ± 24.36	32.00 ± 6.15	64.83 ± 21.35	16.61 ± 5.31	56.97 ± 12.23	33.39 ± 13.14

除林龄外,立地条件和林分密度等也与红豆树人工林心材的形成密切相关,但这些栽培环境和条件则主要是通过促进其径生长来影响心材比例的。以单株测定值为单元,就8块红豆树人工片林心材半径和心材面积分别与胸径进行回归分析,结果表明:红豆树心材半径与其胸径呈显著的线性正关系,而心材面积与胸径则呈显著的和正向的幂函数关系(图2)。上述结果意味着:可通过提高径生长量和延长培育周期等来培养大径阶、高心材率的红豆树优质干材。

3 结论与讨论

对比8块人工片林,发现人工栽植的红豆树树干通直度和圆满度较低,同时具有较高的分叉干率及分叉干部位较高等特性。由于红豆树秋梢生长期长而常有冻害发生,导致顶芽枯死而形成多个侧枝替代顶梢生长,或形成一个与顶梢竞争、向上生长的侧梢,若不及时进行人工修枝,将会形成多个分叉干而影响优质干材的形成^[12]。研究认为:一定的修枝强度可以促进林木胸径的生长^[13],对福建柏 *Fokienia hodginsii* 的修枝研究中发现,在一定修枝强度下,其幼林分生长随修枝强度的增加而增加,当修枝强

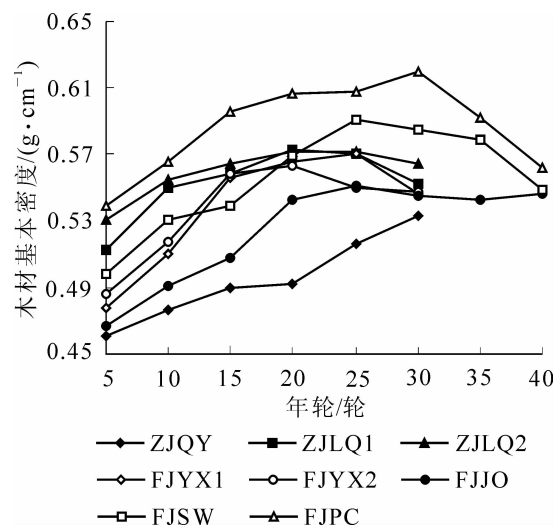


图1 红豆树人工片林木材基本密度的径向变化
Figure 1 Radial variation of wood basic density of the eight plantation of *Ormosia hosiei*

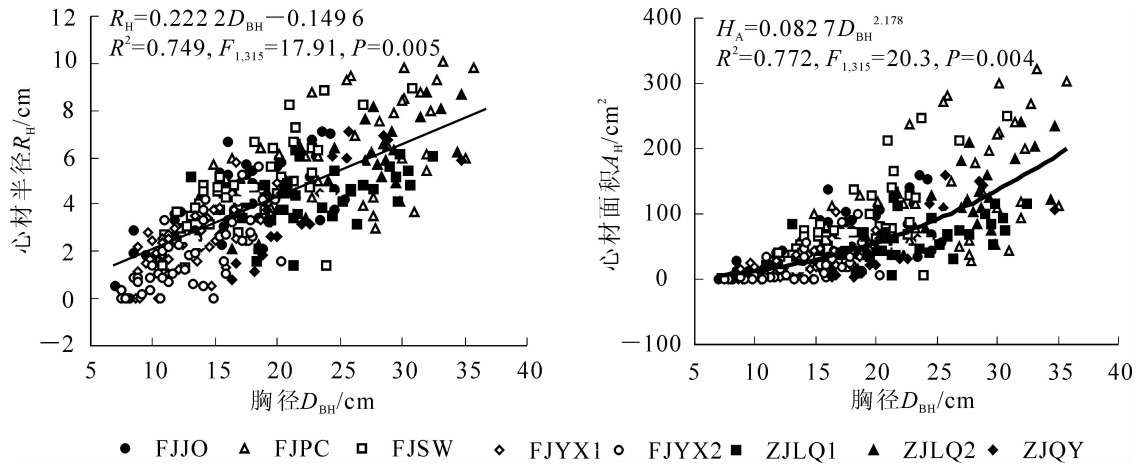


图 2 8 个地点红豆树人工林心材半径、面积与胸径的关系

Figure 2 Relationships of R_H and A_H against DBH for *Ormosia hosiei* from the eight plantations

度为 50% 时，林分生长量最大^[14]。而在杉木 *Cunninghamia lanceolata*，桉树 *Eucalyptus robusta*，火炬松 *Pinus taeda*，乳源木莲 *Manglietia yuyuanensis* 等树种中修枝均有促进林分生长，使林分蓄积量增加的效果^[15-18]。因此，为获得高等级的红豆树优质干材，应适时在造林后进行修枝和抹芽等人工干预措施，降低红豆树分叉干的形成。

立地条件、林分密度和林龄等对红豆树人工林的生长均产生了较大的影响。总体来讲，处于下坡，半阳坡和半阴坡立地条件较好的林地，具有较深的土层和较好的水肥条件^[19-20]，有利于促进红豆树的树高和径向生长及木材积累量。林分密度低时红豆树的树高生长减缓，而径向生长则明显增加，同时也加大了其心材的生成率。分析表明：红豆树早期生长相对较快、径向生长量较为稳定。因此，加强红豆树人工林的早期经营管理和及时合理间伐，将有助于培育大径阶的优质干材。红豆树木材基本密度的径向均匀性相对较高，从髓心向外呈递增的趋势，到达 35 a 后趋于平缓或略有下降，这与彭彪等^[3]研究结果相一致，同时也符合多数树种木材密度的径向变异规律^[21]。

研究认为：立地指数对木材基本密度影响较大，且随立地指数的提高木材基本密度呈现下降趋势，这可能由于较好的立地促进了细胞分裂，薄壁细胞数量的增多反而降低了木材基本密度^[22-24]。本研究结果显示：红豆树木材基本密度并未随林龄的增加和立地条件变化等而产生明显的差异，这可能和其立地条件皆为 II 类且差异不是很大有关。林龄、立地条件和林分密度等通过影响木材的径向生长而进一步影响心材比例的提高。红豆树人工片林心材半径和心材面积与胸径分别呈现显著的线性正相关和幂函数正相关，其相关系数均达到了 0.7 以上。郑天汉等^[2]也获得了类似结果。因此，选择较好的栽植立地，控制适当林分密度，加强修枝和施肥以促进径向生长，并适当延长经营周期，可显著提高红豆树的心材比例和心材产出，进而提高单位林地的经济收益。

致谢：参加试验研究的还有福建省林业科学研究院范辉华教授级高级工程师、福建省建瓯市林业技术推广中心马丽珍高级工程师、叶穗文工程师。浙江省庆元县实验林场，福建省邵武市卫闽林场、浦城县石陂林场等单位协作完成。谨致谢忱。

参考文献：

- [1] 郑天汉. 红豆树立木的主要性状特征研究 (I) [J]. 林业科技开发, 2008, 22 (6): 40 - 43.
ZHENG Tianhan. Study on the characteristics of tree of *Ormosia hosiei* Hemsl. et Wils. (I) [J]. *China For Sci Technol*, 2008, 22 (6): 40 - 43.
- [2] 郑天汉, 李健英, 黄兴发. 红豆树立木的主要性状特征研究 (II) [J]. 林业科技开发, 2009, 23 (1): 68 - 71.
ZHENG Tianhan, LI Jianying, HUANG Xingfa. Main characteristics of the *Ormosia hosiei* Hemsl. et Wils. living trees [J]. *China For Sci Technol*, 2009, 23 (1): 68 - 71.

- [3] 彭彪, 谢世春, 彭东辉, 等. 木荚红豆树木材密度和纤维形态的径向变异[J]. 安徽农业科学, 2010, **38** (17): 9326 - 9328.
PENG Biao, XIE Shichun, PENG Donghui, *et al.* Radial variation of density and fiber morphology of *Ormosia xylocarpa* wood [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, **38** (17): 9326 - 9328.
- [4] 鄂文峰, 王传宽, 杨传平, 等. 兴安落叶松边材心材生长特征的种源效应[J]. 林业科学, 2009, **45** (6): 109 - 115.
E Wenfeng, WANG Chuankuan, YANG Chuanping, *et al.* Effects of provenances on growth characteristics of sapwood and heartwood of *Larix gmelinii* trees [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (6): 109 - 115.
- [5] 王宏伟, 刘迎涛, 朱成. 人工林和天然林红松幼龄材与成熟材的界定及解剖、物理性质的比较[J]. 东北林业大学学报, 2005, **33** (3): 42 - 43.
WANG Hongwei, LIU Yingtao, ZHU Cheng. Demarcation of juvenile wood and mature wood of planted and natural *Pinus koraiensis* and comparison on their anatomical and physical properties [J]. *J Northeast For Univ*, 2005, **33** (3): 42 - 43.
- [6] 陈金明. 立地条件对拟赤杨人工林材性的影响[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2006, **22** (4): 92 - 96.
CHEN Jinming. Effects of sites on wood properties of *Alniphyllum fortunei* plantations [J]. *J Fujian Norm Univ Nat Sci Ed*, 2006, **22** (4): 92 - 96.
- [7] 龙滕周, 项东云, 孟永庆, 等. 桉树人工林栽植密度效应研究进展[J]. 广西林业科学, 2008, **37** (2): 71 - 75.
LONG Tengzhou, XIANG Dongyun, MENG Yongqing, *et al.* Research progress in effects of planting density of *Eucalyptus* plantations [J]. *Guangxi For Sci*, 2008, **37** (2): 71 - 75.
- [8] MONTAGU K D, KEARNEY D E, SMITH R G B. The biology and silviculture of pruning planted *Eucalyptus* for clear wood production: a review [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **179**: 1 - 13.
- [9] BARTON C V M, MONTAGU K D. Effect of spacing and water availability on root: shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis* [J]. *For Ecol Manage*, 2006, **221**: 52 - 62.
- [10] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 31.
- [11] SMITH D M. *Maximum Moisture Content Method for Determining Specific Gravity of Small Wood Samples* [R]. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1954: 2014.
- [12] 骆文坚, 金国庆, 何贵平, 等. 红豆树等6种珍贵用材树种的生长特性和材性分析[J]. 林业科学研究, 2010, **23** (6): 809 - 814.
LUO Wenjian, JIN Guoqing, HE Guiping, *et al.* Studies on growth and wood property of six precious timber species [J]. *For Res*, 2010, **23** (6): 809 - 814.
- [13] STEIN W I. Pruning to different heights in young Douglas fir [J]. *J For*, 1955, **53**: 352 - 355.
- [14] 肖祥希, 杨宗武, 卓开发, 等. 福建柏人工林生长规律的研究[J]. 福建林业科技, 1998, **25** (3): 31 - 35.
XIAO Xiangxi, YANG Zongwu, ZHUO Kaifa, *et al.* Study on the growth laws of *Fokienia hodginsii* plantation [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 1998, **25** (3): 31 - 35.
- [15] 黄冶, 袁玉峰, 孔红娃. 修枝对红松人工林林木生长和木材力学性质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2002, **30** (1): 76 - 77.
HUANG Ye, YUAN Yufeng, KONG Hongwa. The effect of pruning on growth and wood mechanical properties of *Pinus koraiensis* [J]. *J Northeast For Univ*, 2002, **30** (1): 76 - 77.
- [16] 吴际友, 童方平, 龙应忠, 等. 火炬松纸浆材优良家系人工林修枝效应[J]. 林业科技开发, 2006, **20** (2): 36 - 38.
WU Jiyu, TONG Fangping, LONG Yingzhong, *et al.* Effect of pruning on superior family in *Pinus taeda* L. for pulpwood [J]. *China For Sci Technol*, 2006, **20** (2): 36 - 38.
- [17] 刘球, 李志辉, 陈少雄. 桉树无节材修枝技术研究进展与展望[J]. 桉树科技, 2009, **26** (2): 67 - 74.
LIU Qiu, LI Zhihui, CHEN Shaoxiong. A review on pruning in eucalypt plantations for production of clear wood [J]. *Eucalypt Sci Technol*, 2009, **26** (2): 67 - 74.
- [18] 黄茂根. 乳源木莲的分枝特性与调控技术[J]. 亚热带农业研究, 2008, **4** (3): 192 - 195.
HUANG Maogen. Branching characteristics and control technology of *Manglietia yuyuanensis* [J]. *Subtrop Agric Res*, 2008, **4** (3): 192 - 195.

- [19] HARTEMINK N, JONGEJANS E, DE KROON H. Flexible life history responses to flower and rosette bud removal in three perennial herbs [J]. *Oikos*, 2004, **105**: 159 – 167.
- [20] 高慧, 高玉葆, 刘海英, 等. 不同坡位大针茅生长与生殖分配特征 [J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(9): 2123 – 2128.
GAO Hui, GAO Yubao, LIU Haiying, *et al.* Characteristics of *Stipa grandis* growth and reproductive biomass allocation at different hill position of Xilingol grassland, Inner Mongolia [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20**(9): 2123 – 2128.
- [21] PANSHIN A J, DE Z C. *Textbook of Wood Technology* [M]. 4th Ed. New York: McGraw-Hill book Company, 1980.
- [22] 陈金明. 立地条件对拟赤杨人工林材性的影响 [J]. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2006, **22**(4): 92 – 96.
CHEN Jinming. Effects of sites on wood properties of *Alniphyllum fortunei* plantations [J]. *J Fujina Norm Univ Nat Sci Ed*, 2006, **22**(4): 92 – 96.
- [23] 俞友明, 方伟, 杨云芳, 等. 不同立地条件红壳竹竹材物理力学性质的比较 [J]. *浙江林学院学报*, 2001, **18**(4): 380 – 383.
YU Youming, FANG Wei, YANG Yunfang, *et al.* Comparative study on physico-mechanical properties of *Phyllostachys iridescens* wood under different sites [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2001, **18**(4): 380 – 383.
- [24] 符韵林, 徐峰, 唐黎明, 等. 南带产区不同立地类型间的杉木木材解剖 [J]. *北京林业大学学报*, 2005, **27**(1): 10 – 13.
FU Yunlin, XU Feng, TANG Liming, *et al.* Wood anatomy of Chinese fir in different site types of its southern growing district [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27**(1): 10 – 13.