

文章编号: 1001-1498(2008)03-0335-05

引进树种印度黄檀木材解剖构造及物理力学性质的初步研究

石雷¹, 孙庆丰², 邓疆¹

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2. 东北林业大学材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:对印度黄檀木材的解剖和物理力学性质做了系统研究, 结果表明: 印度黄檀属散孔材, 纤维形态均匀, 平均长度 1.43 mm; 微纤丝角为 12.24°; 气干密度和剖面密度分别为 $0.746 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.634 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 属中等; 气干和全干差异干缩分别为 1.75 和 1.55; 印度黄檀的综合品质系数为 $2.309 \times 10^5 \text{ Pa}$, 为高等级材。综合分析, 人工培育的印度黄檀材质优良。

关键词: 印度黄檀; 解剖构造; 物理力学性质; 引进树种

中图分类号: S781

文献标识码: A

Primary Study on the Wood Anatomical and Physical-Mechanical Properties of Introduced *Dalbergia sissoo*

SHI Lei¹, SUN Qing-feng², DENG Jiang¹

(1. Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Material Science and Engineering College, NEFU, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: The wood anatomical and physical-mechanical properties of *Dalbergia sissoo* Roxb. introduced from Nepal planting in Yuan Jiang in Yunnan Province were studied. Results indicated *Dalbergia sissoo* was diffuse-porous wood, the form of fiber was even and in average length 1.43 mm. The micro fibril angle was 12.24°. The air-dried and profile density were respectively $0.746 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ and $0.634 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ in average. The air-dried and oven-dried of variance shrinkage were 1.75 and 1.55 respectively. The comprehensive quality coefficient of *Dalbergia sissoo* was $2.309 \times 10^5 \text{ Pa}$, and a high quality wood for higher level material.

Key words: *Dalbergia sissoo*; anatomical structure; physical-mechanical properties; introduced species

印度黄檀 (*Dalbergia sissoo* Roxb.) 属蝶形花科黄檀属植物, 一般称 Sissoo 或 shisham, 是一种树冠不大的常绿或落叶的中等乔木, 分布于印度、尼泊尔、巴基斯坦、孟加拉国、巴西、马达加斯加等国^[1-4], 中国林业科学研究院资源昆虫研究所自 1999 年开始在云南元江进行引种栽培试验研究^[5]。

目前国内尚少见对其解剖和物理力学性质的系统研究, 本文对云南元江人工培育的印度黄檀木材的解剖和物理力学性质做了较为系统研究, 以为印度黄檀的开发和利用提供一定的基础数据, 为不断扩大和培育印度黄檀资源和填补国内经济建设及人民生活对优质木材的需求提供科学的理论指导。

收稿日期: 2007-11-15

基金项目: 国家科技支撑子专题“优质珍贵用材树种黄檀新品种选育”(2006BAD01A1604)的部分研究内容、国家林业局“948 项目“印度黄檀优良抗逆性种质材料及快繁技术引进”(2006-4-58)

作者简介: 石雷 (1971—), 云南江川人, 高级工程师, 在职博士生。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试材为尼泊尔种源,采自中国林业科学研究院资源昆虫研究所元江试验站,采集时间 2006 年 7 月,采集方法依据中华人民共和国国家标准木材物理力学性质试验方法 (GB1927 - 91)^[6]中所述方法进行。选择试验地均为 II 级地,林分密度为 100 株 · hm⁻²的 7 年生林分,在林分中选取树干通直,生长正常,态势均一的样木 5 株,样木选定后,标出南北向后进行砍伐,伐倒后即在样木树干 1.3 m 处向上截取厚约 2 cm 的圆盘,按南北取向,分心材、边材锯取 3 cm × 2 cm

木块,去除木屑及易脱离部分后立即称质量,然后用塑料薄膜包装好,运回测定生材含水率;随后对树高和枝下高进行测量,然后向上截取 2 m 木段运回实验室自然干燥,各圆盘和木段标记南北向,并编号。

各圆盘和木段的用途:圆盘用于解剖构造分析,木段用于物理力学性质测定。采集的圆盘和木段两端面封蜡以防止开裂,运回实验室放置风干待用。风干到一定程度,按中华人民共和国国家标准木材物理力学性质试验方法 (GB1927 - 91)^[6]规定,锯取试样毛坯,然后在室内堆放成通风较好的木垛,进行大气干燥,达到平衡含水率,此过程中注意编号的标注和南北向,以免混淆,试材基本情况见表 1。

表 1 试材基本情况

编号	树龄 /a	树高 /m	枝下高 /m	胸径 /cm	生材含水率 /%	海拔 /m	土壤类别	阴阳面
S1	7	10.9	4.5	11.5	80.3	320	赤红壤	阳面
S2	7	11.3	5.8	12.6	82.2	320	赤红壤	阳面
S3	7	13.2	5.3	13.3	81.1	320	赤红壤	阳面
S4	7	12.7	4.8	12.7	84.9	320	赤红壤	阳面
S5	7	12.4	5.7	11.2	80.5	320	赤红壤	阳面

1.2 试验方法

1.2.1 解剖性质 按木材定量解剖常规方法,制成木切片,使用光学显微镜观察试材的各项显微构造。在圆盘上按生长轮数从髓心向外依次截取火柴杆状的小木段,混合均匀,经 1:1 的过氧化氢和冰醋酸混合液离析,采用 Motic 图像测量系统,测定木材纤维和导管的各特征数量值,样本数为 80 ~ 120 根。微纤丝角测量采用碘染色法测量。

1.2.2 物理力学性质 上述截取木段运回实验室,放置 1 a 自然干燥,达到平衡含水率后加工,加工供试验用的无疵小试样及试验步骤均按照国家标准 GB1927 - 1943 - 91《木材物理力学性质试验方法》^[7]进行。各项力学性质均在日本岛津型号为 TRAPEZUM 微机控制电子式木材万能试验机测定,物理性质测定有效样本数为 40 个,力学性质测定有效样本数为 35 个。

1.2.3 数据处理 使用 SPSS12.0 软件对木材的解剖构造数量特征值和物理力学性质进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 构造特征

印度黄檀树皮灰色或黄褐色,纵向有网状格纹,边材灰黄褐或浅黄褐色,心材红褐色或紫红褐色,杂有黑褐色条纹。心边材区别明显;木材有光泽,新切面上辛辣香气浓厚,生长轮不明显。管孔数少,在肉眼下可见至明显,大小略一致,分布略均匀,散孔材;轴向薄壁组织量多,肉眼下可见,傍管带状,傍管状及轮界状;木射线中至多,极细至略细,在放大镜下明显,射线组织通常为同形单列及多列,单列射线甚少,多列射线多,射线细胞为卵圆,椭圆及圆形。导管横切面为卵圆形,稀圆形,管孔团偶见。

2.2 解剖性质

印度黄檀的各项解剖构造特征数量值测定结果见表 2,分别计算平均值、标准差、标准误差、变异系数和准确指数。

表 2 解剖构造性质

实验项目	平均值	标准误差	标准差	最小值	最大值	变异系数	准确指数
纤维长度 / μm	1 430.87	3.75	16.78	1 399.13	1 470.00	1.17	0.52
纤维宽度 / μm	18.02	0.03	0.13	17.84	18.31	0.72	0.32
纤维壁厚 / μm	5.29	0.01	0.05	5.20	5.35	0.86	0.38
纤维长宽比	79.41	0.28	1.24	76.40	81.80	1.56	0.70
纤维径腔比	0.41	0.004	0.01	0.40	0.42	1.68	0.75
导管分子长度 / μm	204.13	0.25	0.81	203.08	205.38	0.39	0.25
导管壁厚 / μm	3.98	0.00	0.01	3.94	3.99	0.37	0.23
微纤丝角 /($^{\circ}$)	12.24	0.13	0.42	11.81	12.97	3.46	2.19

2.2.1 纤维长度:表 2 表明印度黄檀木材纤维长度平均值为 $1\,430.87\ \mu\text{m}$,变化范围在 $1\,399.13\sim 1\,470\ \mu\text{m}$,纤维形态均匀。说明引进的印度黄檀生长态势良好,培育措施得当,是作为高档家具用材和饰面材的良好材料。

2.2.2 纤维宽度:表 2 表明印度黄檀木材纤维的平均宽度为 $18.02\ \mu\text{m}$,变化范围在 $17.84\sim 18.31\ \mu\text{m}$,根据木纤维宽度分级标准^[7],属 2 级。

2.2.3 纤维壁厚 纤维壁厚是木材质量和强度的物理基础,对其利用有很大影响。表 2 表明:印度黄檀木材纤维壁厚均值为 $5.29\ \mu\text{m}$,变幅在 $5.20\sim 5.35\ \mu\text{m}$,变化不显著,根据木纤维壁厚分级标准,属 4 级^[6],同时该项指标值也表明印度黄檀木材力学强度高,材性相对较好。

2.2.4 纤维长宽比 纤维长宽比与木材物理性质有密切关系,是纤维的重要指标,长宽比大的纤维,在加工利用中有着相对更广泛的用途。由表 2 可知:印度黄檀木材纤维长宽比平均值为 79.41,纤维长宽比变幅范围在 76.4~81.8,变异特征不甚明显。

2.2.5 纤维径腔比 纤维的径腔比是表明纤维柔性强度的指标。表 2 表明:印度黄檀木材纤维径腔比平均值为 0.41。

2.2.6 导管分子长度 表 2 表明:印度黄檀木材导管分子长度平均值为 $204.13\ \mu\text{m}$,导管分子长度平均值变幅范围在 $203.08\sim 205.38\ \mu\text{m}$,根据导管分子长度分级标准^[7]属于“很短”级别。据 Frost 和 Takhtajan^[8-9]导管分子长者原始,短者进化,说明印

度黄檀属于比较进化的种类。

2.2.7 导管壁厚 表 2 表明:印度黄檀木材导管壁厚均值为 $3.98\ \mu\text{m}$,导管壁厚平均值变幅范围在 $3.94\sim 3.99\ \mu\text{m}$ 。

2.2.8 微纤丝角 木材细胞壁次生壁中层(S_2)的微纤丝角是木材机械性能的主要决定因子之一,特别影响木材的弹性模量和异向收缩性^[10-11]。微纤丝角与木材密度也存在一定的相关关系,并与木材强度和硬度密切相关。单个管胞中微纤丝角与纤维的抗拉强度和伸缩性密切相关,微纤丝角小,抗拉强度大,微纤丝角大,则伸缩性强。表 2 表明:印度黄檀木材微纤丝角平均值 12.24° ;说明黄檀木材的力学性质强,变幅范围在 $11.81^\circ\sim 12.97^\circ$ 。

2.3 物理力学性质

根据测定数据,计算出印度黄檀木材物理力学性质的各项指标,印度黄檀木材物理力学性质测试结果见表 3,同时计算出其标准误差、标准差、变异系数和准确指数。

2.3.1 木材密度 木材密度是木材性质中最重要者,决定木材的品质,也是判定木材各项力学强度的重要指标^[12]。故此研究木材密度对掌握木材的材性及合理利用意义重大。表 3 表明:印度黄檀材的气干、全干、基本和剖面密度分别是 $0.746, 0.707, 0.582, 0.634\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。依据我国木材气干密度分级情况,密度在 $0.551\sim 0.75\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 间,属中等,印度黄檀密度为中级。

表 3 木材物理力学性

实验项目	平均值	标准误差	标准差	变异系数 / %	准确指数	
密度 / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	气干	0.746	0.008	0.048	6.43	2.14
	全干	0.707	0.007	0.045	6.36	1.98
	基本	0.582	0.006	0.04	6.87	2.06
	剖面	0.634	0.005	0.06	9.46	1.58
气干干缩率 / %	径向	2.12	0.001	0.004	18.83	9.41
	弦向	3.71	0.001	0.006	16.18	5.39
	体积	6.6	0.002	0.011	16.66	6.06
全干干缩率 / %	径向	4.78	0.001	0.009	18.83	4.18
	弦向	7.41	0.002	0.014	18.89	5.40
	体积	13.26	0.002	0.015	11.31	3.02
差异干缩	气干			1.75		
	全干			1.55		
全干至气干湿胀率 / %	径向	1.51	0.0004	0.002	13.25	5.30
	弦向	2.44	0.001	0.004	16.39	8.20
	体积	4.202	0.001	0.007	16.67	4.76
全干至饱水湿胀率 / %	径向	4.96	0.001	0.009	18.15	4.03
	弦向	8.21	0.002	0.016	19.49	4.87
	体积	15.203	0.003	0.023	15.13	3.95
抗弯强度 / MPa	87.89	1.76	10.55	12.00	4.00	
弹性模量 / MPa	7470.05	171.66	1029.95	13.79	4.60	
顺纹抗压 / MPa	46.5	0.58	3.433	7.38	2.49	
硬度 / KN	端面	7.99	0.17	0.79	9.95	4.26
	径面	7.07	0.16	0.51	7.21	4.53
	弦面	7.09	0.18	0.567	8.00	5.08

传统的研究不涉及木材剖面密度的测定,为了提高印度黄檀的应用范围,了解树木在生长过程中剖面密度的一些变化,本研究使用剖面密度测定仪测定了印度黄檀的剖面密度,测定结果见表 3,其值是 $0.634 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,剖面密度值较基本密度值偏大,介于气干和全干密度间。

2.3.2 干缩湿胀 木材的干缩湿胀是木材的一种固有的不良特性,会引起木材的开裂、翘曲和变形,给木材加工利用带来不便。因此研究该性质可以确定在实际生产加工中应留出的干缩余量。由表 3 表明:印度黄檀木材从湿材至气干时,径向干缩率为 2.12%,弦向干缩率为 3.71%,体积干缩率为 6.6%;从湿材至全干材时,径向干缩率为 4.78%,弦向干缩率为 7.41%,体积干缩率为 13.26%;全干至气干径向、弦向和体积湿胀率分别为 1.51%、2.44%和 4.202%;全干至饱水径向、弦向和体积湿胀率分别为 4.96%、8.21%和 15.203%。

木材弦向干缩与径向干缩之比值称为差异干缩。若木材的差异干缩数值偏大,木材干燥时往往容易发生翘曲和开裂;反之,差异干缩数值小时,则木材各方向的干缩比较均匀,木材的尺寸稳定性较好。表 3 表明:印度黄檀的气干和全干差异干缩分别为 1.75 和 1.55,差异干缩略大,说明在干燥中印度黄檀木材会产生开裂,因此在使用中须考虑差异干缩对木材加工及其产品尺寸稳定性的影响。

2.3.3 力学性质 木材力学性质是木材合理利用的一个重要依据。表 3 表明:印度黄檀木材的抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度和端面硬度分别为 87.89、7.470.05、46.5 MPa 和 7.99 KN,均为中等。

抗弯强度主要用于建筑物的行架、地板、桥梁等易于弯曲变形构件的设计。抗弯弹性模量是表示木材在弹性限度范围内,木材抵抗外力改变其形状或体积的能力。抗弯强度和抗弯弹性模量是建筑结构用材的最为重要的力学性能指标。表 3 表明:印度黄檀木材的抗弯强度和抗弯弹性模量分别为 87.89 MPa 和 7.470.05 MPa,属中级。

顺纹抗压强度与其它强度指标存在相关关系,是重要的强度指标,木材作为承重构件必须考虑它的顺纹抗压强度和抗弯强度,表 3 表明:印度黄檀顺纹抗压强度为 46.5 MPa,属中级。

木材硬度表示木材抵抗其它刚性体压入木材的能力,与木材加工、利用关系密切。同一树种不同断

面硬度也不同,表 3 表明:印度黄檀木材的端面、径面和弦面硬度分别为 7.99、7.07、7.09 KN,其大小顺序为端面硬度 > 弦面硬度 > 径面硬度。

2.3.4 品质系数 木材品质系数(或称比强度或强重比)是某项力学强度极限与基本密度之比值,是评价木材品质的一个重要参数。由表 3 计算印度黄檀的品质系数,结果见表 4。根据木材综合品质系数的分级标准^[13],印度黄檀木材的品质系数为 $2.309 \times 10^5 \text{ Pa}$, (表 4)为高等级材。

表 4 木材的品质系数

项目	顺压	静曲	综合(顺压+静曲)
品质系数 / $\times 10^5 \text{ Pa}$	799	1.510	2.309

3 结论

(1)人工培育的印度黄檀属散孔材,纤维形态较均匀,平均长度为 $1.430.78 \mu\text{m}$,宽度为 $18.02 \mu\text{m}$,壁厚为 $5.29 \mu\text{m}$;导管分子长度为 $204.13 \mu\text{m}$,壁厚为 $3.98 \mu\text{m}$;微纤丝角为 12.24° 。对纤维相关指标值的测定结果表明:在制造高档家具中,印度黄檀是良好的材料。导管分子特征数量值的测定从进化角度方面分析,印度黄檀是较进化树种,从利用角度分析,导管分子应用中大部分可以得到利用;微纤丝角值的大小除对木材的力学性质有显著影响外,对木材的各向干缩有较大的影响,微纤丝角增大,纵向干缩变大,而弦向干缩变小,特别是微纤丝角大于 30° 木材纵向干缩明显增大,会因起板材翘曲现象。人工培育林短周期小径材或带有髓心的板材易发生此种现象,直接影响到板材的利用,从测定结果分析,人工培育的印度黄檀的微纤丝角远小于 30° ;可以认为木材材性优良,培育措施得当。通过对其解剖构造数量特征值的测定,为更好的发挥其潜在的利用价值,充分合理地利用印度黄檀木材和科学地加工利用具有重要的指导意义。

(2)印度黄檀材的气干密度、全干密度、基本密度、剖面密度分别是 0.746、0.707、0.582 和 $0.634 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;气干径向、弦向和体积干缩率分别为 2.12%、3.71%,和 6.6%;全干径向、弦向和体积干缩率分别为 4.78%、7.41%和 13.26%;全干至气干径向、弦向和体积湿胀率分别为 1.51%、2.44%和 4.202%;全干至饱水径向、弦向和体积湿胀率分别为 4.96%、8.21%和 15.203%;气干和全干差异干缩分别为 1.75 和 1.55。干缩和湿胀是木材的固有

性质,干缩和湿胀使木制品尺寸变化。干燥后的木材尺寸会随着周围环境湿度、温度的变化而变化,干缩和湿胀是木材利用的重大缺点,掌握了解其产生原因与发生规律,研究其防止方法对木材加工和利用来说具有重要意义。通过对木材物理性质的解析,对其在实际生产应用如制造家具中的干缩变异特性和制定相应的干燥基准有着重要意义。

(3)印度黄檀的综合品质系数为 2.309×10^5 Pa,为高等级材。通过对木材力学性质主要指标值的测定,对其合理利用和在生产应用中提供数据及对其材性评价予以理论指导。

参考文献:

- [1] Tewari D N. A Monograph on *Dalbergia sissoo* Roxb [M]. International Book Distributors, 1994: 1 - 9
- [2] Pande P K. Impact of site quality on wood properties of clonal ramets of *Dalbergia sissoo* Roxb [J]. Indian Journal of Tropical Biodiversity, 2006, 14 (2): 134 - 143
- [3] Singh S P, Sachin G, Jain V K. Studies on carving quality of some Indian timbers [J]. Indian Forester, 2006, 132 (8): 1019 - 1023
- [4] Rajneesh K, Shama K R, Gupta L M. Variation in physico-chemical characteristics of wood of candidate plus trees of Shisham [J]. Indian Forester, 2005, 131 (8): 1012 - 1023
- [5] 石 雷,孙庆丰,邓 疆. 引进树种印度黄檀解剖构造变异性质及其化学性质的研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21 (2): 212 - 216
- [6] 中国国家技术监督局. 国家标准 GB1927 - 91. 木材物理力学性质试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991
- [7] 李 坚. 木材科学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 69 - 70
- [8] Frost E H. Specialization in secondary xylem of dicyledons [J]. Bot Gza, 1930: 67 - 94
- [9] Takhta J. Morphological evolution of the angiosperm [M]. Moscow: Agricultural Press, 1984
- [10] Walke J C F, Butterfield B G. The importance of microfibril angle for the processing industries [J]. New Zealand Forestry, 1995, 40 (4): 34 - 40
- [11] Cabve ID, Walker J C F. Stiffness of wood in fast-grown plantation of woods: the influence of microfibril angle [J]. Forest Products of Journal, 1994, 44 (5): 43 - 48
- [12] 尹思慈. 木材品质与缺陷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1991
- [13] 鲍甫成, 刘盛全, 江泽慧. 表明杨树材性与生长轮年龄和生长速度关系的模型 [J]. 林业科学, 1999, 35 (1): 77 - 82