

温州 40a 生降香黄檀心材率和木材性质研究

李效文¹ 唐荣强² 王金旺¹ 陈秋夏¹ 方崇荣^{2*}

(1 浙江省亚热带作物研究所, 浙江温州, 325005; 2 浙江省林业科学研究院, 浙江杭州, 310023)

摘要:【目的】为分析降香黄檀在温州引种 40a 后的木材特性, 最终为降香黄檀在温州推广和可持续发展提供实证引导。

【方法】本文以浙江省温州市瓯海区 40a 生降香黄檀样株为对象, 测试分析其心材率变化和木材的物理力学性质, 并与其他地区降香黄檀木材特性进行横向比较。【结果】温州 40a 生降香黄檀的心材率最大为根径处 45.36%, 6.5m 以下的平均心材率为 14.69%; 心材的平均气干密度为 0.792g·cm⁻³, 接近香枝木类心材气干密度要求, 且大于边材的气干密度; 主干的平均抗弯强度、顺纹抗压强度、全部横纹抗压强度(径向)和全部横纹抗压强度(弦向)分别为 101.6MPa、60.2MPa、13.9MPa 和 12.7MPa, 此 4 项力学性质指标与木材密度正相关; 主干的抗弯弹性模量为 10620MPa, 受密度影响不明显。

【结论】温州 40a 生降香黄檀中下段心材已符合《红木》标准, 其木材的物理力学性质不弱于广西南宁 50a 生降香黄檀木材。

关键词: 降香黄檀, 物理性质, 力学性质, 气干密度, 心材, 边材

The study on heartwood percentage and wood properties of 40-years *Dalbergia odorifera* in Wenzhou

Li Xiao-wen¹, Tang Rong-qiang², Wang Jin-wang¹, Chen Qiu-xia¹, Fang Chong-rong²

(1. Zhejiang Institute of Subtropical Crops, ZheJiang Wenzhou 325005, China; 2. ZheJiang Academy of Fotestry, Hangzhou 310023, China)

Abstract: *Dalbergia odorifera* of 40 years in Jingshan National Forest Park in Wenzhou city was tested regrading its heartwood percentage and wood properties. The result showed that the biggest heartwood percentage is 45.36% in its base of stem, and the average heartwood percentage below 6.5 meters height of stem is 14.69%. The average air-dry density of heardwood is 0.792g·cm⁻³, near the standard of *Dalbergia spp.*, and the air-dry density of heardwood is higher than its of sapwood. The flexural strength, compressive strength along the grain, side (wise) compression strength (radial) and side (wise) compression strength (plain) of stam are respectively 101.6MPa、60.2MPa、13.9MPa and 12.7MPa, the 4 mechanical properties are positively related to wood density. The flexural elastic modulus of stam is 10620MPa, no obvious regularity with wood density. The Contrast showed that the wood properties of 40-years *Dalbergia Odorifera* collected in Wenzhou are no less than those of *Dalbergia Odorifera* collected in Nanning.

*收稿日期: 2020-03-05; 修改日期: 2020-xx-xx。

基金项目: 浙江省农业(林木)新品种选育重大科技专项重点课题(2016C02056-3); 浙江省科技厅公益技术项目(2016C32041)。

作者简介: 李效文, 副研究员, 主要从事珍稀树种培育与造林技术研究; E-mail: lixiaowen1979@126.com。

通讯作者: 方崇荣, 正高级工程师, 主要从事林业科学研究、林产品质检和标准化等工作。E-mail: 2663028394@qq.com。

Key words: *Dalbergia odorifera*; physical properties; mechanical properties; air-dry density; heartwood; sapwood

降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T.C.Chen)为豆科 Leguminosae 黄檀属 *Dalbergia* 半落叶大乔木, 又称海南黄花梨, 国家二级保护植物。国标 GB/T 18107-2017《红木》将其木材归为香枝木类(*Dalbergia spp.*), 心材呈明显红褐色或深红褐色, 质地坚硬、花纹细密美观、具特殊芳香气味等, 宜作高档家具、工艺品和装饰用材, 也为中药和香料原料。由于其野生资源日益枯竭, 可用木材数量非常稀少, 木材价格一直高居不下。因此, 大力培育降香黄檀等珍贵树种大径级木材资源, 为国家林业重大发展战略之一。降香黄檀自然分布于我国海南岛的西部、西南部, 目前在广东、广西、福建等地区有较大面积的引种植。浙江省温州市地处中亚热带南缘, 1976年从广西林科所引种降香黄檀, 目前大树存 23 株, 野外生长和种子自然繁育良好, 在 2016 年 1 月 24~26 日 -4.3℃ 和极大风度 12.2m/s 的罕见寒害中仅上部末端枝条受冻害, 在向阳山谷内种植、侧方林带避风的 4a 生株苗枝条无冻害, 耐寒性较好, 该降香黄檀母树林在 2017 年被认定为浙江省良种。

温州作为文献报道降香黄檀的引种成功的最北缘地区^[1], 近年来在温州、台州等地生境良好区域进行较大规模的推广种植, 在城郊四旁和低山向阳山谷等地生长良好, 部分地点已种植 7 年无冻害, 平阳某低山向阳山谷内 2018 年种植 4500 株在 2021 年寒潮中冻害轻。但是作为珍贵用材树种, 引种地心材质量能否达到了相关标准是评价是否有推广应用前景的核心要素。前人研究表明降香黄檀心材开始形成的时间为 6~8 a, 在 20~40 a 增长速度较快, 且其心材径、面积心材率、径心材比率与树龄呈现出极显著的正相关关系^[2-3], 但受试样少、取样成本高等限制, 对其木材的物理性质研究很少^[4-6], 特别是对温州引种的降香黄檀的心材的物理性状等研究未见报道, 本文对温州引种 40a 生降香黄檀心材率和木材性质进行了系统的测定, 以分析其在最北缘地区的木材特性, 并与其他地区木材特性进行初步横向比较, 进而为降香黄檀在温州种植和可持续发展提供科学支持。

1 材料与方法

1.1 材料

试材采自于浙江省温州市瓯海区(28°0'8"N, 120°37'49"E), 亚热带海洋性季风气候, 无霜期 243~290 d, 年降水量 1700~1900 mm, 年均气温 17.9℃, 最低温在 1~2 月, 城区历史最低温度 -3.9℃, 历年平均最低温度 -1℃~-2℃, 天数少、历时短。

降香黄檀生长地点海拔 50 m, 西北山坡, 红壤厚土, 种植后粗放管理, 林下众多落种繁殖的株苗, 自成小群落。2016 年 5 月砍伐样株, 株高 9.65m、地径 26×23cm, 室内放置至气干状态后进行制样、测定。

1.2 心材率测定

此样株树干在 1.15m 高度分 2 枝, 且枝桠弯曲, 采伐时在各弯曲处切割。用钢卷尺纵向、横向测定树干断面和心材断面的直径, 以平均直径计算圆面积。心材率(%)=心材面积/横切面总面积×100^[5]。

1.3 物理力学性质测定

1.3.1 试验设计

木材均具有一定的变异性，作为珍稀名贵木材的降香黄檀也不例外，尤其是心材与边材、主干材与枝桠材的物理力学性质不同。由于木材利用领域和评价范畴不同，对材性的要求也不同，从“红木”来定位：只有密度、结构和材色（以在大气中变深的材色分类）符合《红木》标准规定的心材才属于红木范畴；从“红木制品”角度，理想状态的红木制品不应有边材（背面允许不超过部件的 10%）；而作为承重结构件，木材心边材、枝桠材均可加以利用。在实际生产应用中，处于红木树种资源匮乏以及提高木材利用率应用现状等方面考虑，降香黄檀主干的心材、边材以及枝桠材均应得到物尽其用，以减少的资源浪费。鉴于此，本文研究测试了降香黄檀主干心材、主干边材和枝桠材不同部位物理力学性质并进行比较，为人工林降香黄檀的加工利用提供参考依据。由于试材主干直径较大，可以制作足够数量的试件，将主干的心材、边材分组测试；而枝桠材直径较小，心材占比较小，心边材未进行分组。

1.3.2 试样制备与测试方法

在样株的各试样木段，按标准截取若干尺寸为 20mm×20mm×300mm 试样，置于恒温恒湿箱内[温度为 (20±2)℃，相对湿度为(65±5)%]进行含水率平衡，试验时试样的平均含水率为 12.5%。最终按国家标准将试验结果换算至 12% 含水率的数值。

木材试件的气干密度、抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度、全部横纹抗压强度测定分别按国家标准 GB/T 1933-2009《木材密度测定方法》、GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》、GB/T 1936.2-2009《木材抗弯弹性模量测定方法》、GB/T 1935-2009《木材顺纹抗压强度试验方法》、GB/T 1939-2009《木材横纹抗压强度试验方法》进行。

2 结果与分析

2.1 心材率变化

总体来说，心材率随着树高的增加而减小，在 0m 根径处的心材率最大为 45.36%，在 6.5m 高度处的心材率仅为 1.1%，6.5m 以下的平均心材率为 14.69%（表 1）。

两个枝桠的心材率和心材高度存在一定的差异，枝桠 1 的心材高度为 6.5m 左右，平均心材率为 9.43%，心材率随着树高的增加而减小；枝桠 2 的心材高度为 6m 左右，平均心材率为 10.45%，但部分节点的心材率存在较大的波动情况。此外，两个枝桠相似高度处的心材率也存在较大的差异，如枝桠 2 的 3.5~4.5m 高度处的心材率为枝桠 1 同高度处的 1 倍以上。

表 1 降香黄檀样株不同高度处的心材率

主干		枝桠 1		枝桠 2	
高度/cm	心材率/%	高度/cm	心材率/%	高度/cm	心材率/%
0	45.36	115	28.51	115	26.59
115	27.55	239	14.41	219	11.68

358	6.29	281	4.03
435	5.73	385	13.15
597	0.51	483	13.85
648	1.10	568	3.53
		602	0.33

2.2 物理性质分析

温州 40a 生降香黄檀的木材物理力学性能测试结果，见表 2。试样心材的气干密度测试范围在 0.687~0.852g·cm⁻³ 之间，平均值为 0.792g·cm⁻³，接近 0.80g·cm⁻³；而《红木》中规定了香枝木类心材气干密度>0.80g·cm⁻³（含水率 12%）。这说明本样株心材已接近或有部分已达到《红木》规定的要求。

对主干部分而言，心材的平均气干密度（0.792g·cm⁻³）>边材的平均气干密度（0.736g·cm⁻³），这是由于木材心材中抽提物的含量高于边材，因而心材的密度通常比边材的密度大；同样，样株主干的平均气干密度（0.764g·cm⁻³）>枝桠材的平均气干密度（0.721g·cm⁻³），也是由于心材提取物含量不同而有所差异。

表 2 降香黄檀木材物理力学性能测定结果

部 位	统计 量	气	抗	抗	顺	横纹抗压强度	
		干密 度 /g·cm ⁻³	弯强 度 /MPa	弯弹 性 模 量 /MPa	纹抗 压 强 度 /MPa	径 向 /MPa	弦 向 /MPa
心 材	均值	0.792	106.5	10390	65.0	15.7	15.0
	标准差	0.057	11.629	779.766	10.314	4.168	3.752
	变异系数	7.2	10.9	7.5	15.9	26.6	25.0
	试样数	12	12	12	12	6	6
边 材	均值	0.736	96.8	10850	55.4	12.1	10.3
	标准差	0.051	9.752	1025.670	8.330	1.341	1.462
	变异系数	7.0	10.1	9.5	15.0	11.1	14.2
	试样数	12	12	12	12	6	6
主 干	均值	0.764	101.6	10620	60.2	13.9	12.7
	标准差	0.060	11.595	921.484	10.387	3.523	3.663
	变异系数	7.9	11.1	8.7	17.3	25.4	28.9
	试样数	12	12	12	12	6	6

	系数		4				
	试样数	24	24	24	24	12	12
	均值	0.72	99.	1055			
		1	6	0	54.5	10.4	9.8
枝	标准	0.05	18.	1591.			
桠	差	2	992	662	7.966	1.399	2.387
材	变异	7.3	19.	15.1	14.6	13.4	24.3
	系数		1				
	试样数	12	12	12	12	6	6
	均值	0.74	101	1060			
全		9	.0	0	58.3	12.7	11.7
部	标准	0.06	14.	1164.			
	差	1	236	315	9.914	3.385	3.501
合	变异	8.1	14.	11.0	17.0	26.6	29.9
	系数		1				
计	试样数	36	36	36	36	18	18

2.3 力学性质分析

从力学性质测试可以看出, 抗弯强度、顺纹抗压强度、全部横纹抗压强度(径向)、全部横纹抗压强度(弦向) 4 个指标项目均表现为相同趋向规律, 即主干心材>主干边材和主干>枝桠材, 抗弯强度: 主干心材(106.5MPa)>主干边材(96.8MPa), 主干(101.6MPa)>枝桠材(99.6MPa); 顺纹抗压强度: 主干心材(65.0MPa)>主干边材(55.4MPa), 主干(60.2MPa)>枝桠材(54.5MPa); 全部横纹抗压强度(径向): 主干心材(15.7MPa)>主干边材(12.1MPa), 主干(13.9MPa)>枝桠材(10.4MPa); 全部横纹抗压强度(弦向): 主干心材(15.0MPa)>主干边材(10.3MPa); 主干(12.7MPa)>枝桠材(9.8MPa)。由于木材密度是单位体积内木材细胞壁物质的数量, 是决定木材强度和刚度的物质基础, 木材强度和刚性随木材密度的增大而增高, 所以从本样株的此 4 个力学性质指标的测定结果与密度正相关, 即 4 项力学性质均随密度增大而增大。此外, 样株各部位试样(主干心材、主干边材、枝桠材)的部横纹抗压强度径向均大于弦向。

从抗弯弹性模量测试结果看, 抗弯弹性模量主干边材(10.8×10^3 MPa)>主干心材(10.4×10^3 MPa), 主干(10.6×10^3 MPa)>枝桠材(10.6×10^3 MPa); 主干与枝桠材的抗弯弹性模量受密度影响较为明显, 而主干心材和边材的抗弯弹性模量受密度影响的规律并不明显, 这可能与部分主干心材存在少量“组织松软”有关。

2.4 对比分析

根据前人文献报道, 比较广西柳州 25a、广西南宁 50a 和浙江温州 40a 生降香黄檀木材性质, 发现不同产地和树龄样株的心材率、密度和力学性质较大的差异。温州 40a 生降香黄檀的根径处心材率最大, 且

其平均心材率为南宁 50a 生样株的 2 倍左右, 但又明显弱于柳州 25a 生株 (表 3); 温州 40a 生主干心材的气干密度为 $0.792\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 扣除 12% 的含水后基本密度为 $0.697\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 介于 25a 样株的心材基本密度 $0.729\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 与 50a 样株的心材基本密度 $0.617\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间 (表 4); 除抗弯强度较弱, 温州 40a 生样株木材的其他力学性质指标强于南宁 50a 生样株 (表 5)。推测可能与温州地区较少的降水、年均温低和冬季低温胁迫有关。

表 3 不同产地和树龄降香黄檀心材率对比表

地点	树龄	心材高度	根径处心材率	平均心材率
广西生态工程职业技术学院	25a	13m	44.41%	30.53%
温州景山公园	40a	6.5m	45.36%	14.69%
南宁良凤江国家森林公园	50a	15.3m	30.83%	7.79%

表 4 不同产地和年龄降香黄檀木材密度对比表

地点	气干密度	基本密度	心材气干密度	心材基本密度
广西柳州	$0.813\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.715\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.828\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.729\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
温州景山	$0.764\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.672\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.792\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.697\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
南宁良凤江	$0.744\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.655\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.701\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$0.617\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

注: 基本密度=气干密度 \times (1-12%)。

表 5 不同产地和年龄降香黄檀木材力学性质对比表

地点	冲击韧性	抗弯强度	抗弯弹性模量	顺纹抗压强度
温州景山	--	101.6MPa	10620MPa	60.2MPa
南宁良凤江	$77\text{KJ}\cdot\text{m}^{-2}$	130.5MPa	10308MPa	53.8MPa

3 结论与讨论

3.1 结论

a. 心材率随着树高的增加而减小

随着树高的增加, 温州样株的心材率逐渐减小, 这与前人研究具有共同规律^[4-5]。树干根部的心材率最大为 45.36%, 心材高度为 6.5m, 6.5m 以下的平均心材率为 14.69%。此外, 两个枝桠的心材率、心材高度和相似高度处的心材率存在一定的差异, 且部分节点处心材率存在较大的波动。

b. 心材气干密度接近香枝木标准

温州样株主干心材的气干密度范围在 $0.687\sim 0.852\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间, 平均值为 $0.792\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 已接近《红

木》中香枝木的规定 ($0.80\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), 表明温州 40a 生降香黄檀中下段心材已符合《红木》标准。因此, 在温州培植降香黄檀用材完全能够实现, 可在生境良好区域进行适度的推广种植。

c. 密度和强度指标总体达中高级

温州样株主干的气干密度 $0.764\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 按木材材性分级属Ⅱ级($0.751\sim 0.950\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); 抗弯强度 101.6MPa 属Ⅱ级 ($88.1\sim 118.0\text{MPa}$); 抗弯弹性模量为 $10.6\times 10^3\text{MPa}$ 属Ⅱ级 ($10.4\times 10^3\sim 13.2\times 10^3\text{MPa}$), 顺纹抗压强度为 60.2MPa 属Ⅱ级 ($59.1\sim 73.0\text{MPa}$)^[7]; 全部横纹抗压强度(径向) 12.7MPa 、全部横纹抗压强度(弦向) 11.7MPa 属中等。

d. 总体强度与密度成正相关

温州样株木材的抗弯强度和抗弯弹性模量指标, 心材大于边材; 主干大于枝桠材。但主干的边材抗弯强度略低于枝桠边材, 原因是枝桠边材取样包括了少许心材。

抗压强度指标, 顺纹抗压强度、横纹抗压强度(径向/弦向) 3 个指标均呈现主干心材大于其边材、且大于枝桠材的趋势, 均随密度增大而增大。抗弯弹性模量主干与枝桠材受密度影响较为明显, 主干心材和边材抗弯弹性模量受密度影响的规律不明显。

3.2 讨论

降香黄檀心材物质的累计是个复杂的过程, 需在今后科研中加强心材物质形成和运输、枝结和弯曲对心材积累等方面的分析研究。此外, 不同生长环境气候、地理种源差异, 甚至单株差异都能一定程度上影响其心材的累计和木材性质。

温州 40a 生降香黄檀样株的木材分析, 为深化降香黄檀材性研究提供可借鉴的数据, 更为今后在温州地区的推广、科研提供了实证, 不但说明其在温州引种成功和材质优良, 而且在大部分指标上并不弱于广西等地的降香黄檀木材。

[参考文献]

- [1] 李效文, 刘星, 雷海清, 等. 不同产地降香苗耐寒性差异研究[J]. 浙江林业科技, 2018, 38(3): 63-66.
- [2] 陈水莲, 梁远楠, 周莹, 等. 降香黄檀心材与树龄关系研究[J]. 南方农业, 2016, 10(4): 43-45.
- [3] 贾瑞丰. 降香黄檀人工促进心材形成的研究[D]. 中国林业科学研究院, 2014.
- [4] 黎素平. 降香黄檀树皮率、心材率及木材密度研究[J]. 广西林业科学, 2012, 41(2): 86-90.
- [5] 李松海, 刘晓玲, 林森, 等. 50a 生降香黄檀的生材性质研究[J]. 林业实用技术, 2015, 11: 68-71.
- [6] 廖鋈章, 梁月群, 唐庆, 等. 50a 生人工降香黄檀林木材物理力学性质研究[J]. 陕西林业科技, 2019, 47(6): 17-19.
- [7] 江泽慧, 彭镇华. 世界主要树种木材科特性[M]. 北京: 科学出版社, 2001.