

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.01.006

## 鹅掌楸天然林木材物理力学及垂直变异特性研究

魏鹏<sup>1</sup>, 贾晨<sup>2</sup>, 周永丽<sup>2</sup>, 辜云杰<sup>2</sup>, 罗建勋<sup>2</sup>

(1. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 61000, 2. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

**摘要:**对鹅掌楸天然林木材物理力学与垂直变异进行了测定分析,结果表明:鹅掌楸天然林木材的基本密度、全干密度和气干密度分别为 $0.352\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、 $0.396\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和 $0.558\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,基本密度、全干密度和气干密度性状在垂直方向均为上部>中部>下部,各部位的差异极显著。木材气干状态时体积干缩率为7.21%,全干状态时干缩率为2.54%;从全干到气干时,木材体积湿胀率为4.54%;从气干到吸水饱和时,木材体积湿胀率为12.41%;在垂直方向上,木材的体积干缩率为上部>下部>中部,而体积湿胀率为上部>中部>下部,且不同部位出体积干缩湿胀性在垂直方向上存在差异性显著。木材的顺纹抗压强度和抗弯强度分别为34.7 MPa和53.22 MPa;横面、弦面和径面的硬度分别为3.49 kN、2.55 kN和2.45 kN;在垂直方向上,木材的顺纹抗压强度、抗弯强度、横面硬度和径面硬度表现出上部>中部>下部的规律。由此可知,鹅掌楸天然林木材密度属轻中等水平,顺纹抗压、抗弯性能及硬度属一般水平,是适合加工利用的树种。

**关键词:**鹅掌楸;天然林;木材物理性质;木材力学性质;垂直变异

中图分类号:S792.21

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)01-0027-05

## A Study of Wood Physical and Mechanical Properties and Vertical Variation Characteristics of Natural *Liriodendron chinense* Forest

WEI Peng<sup>1</sup> JIA Chen<sup>2</sup> ZHOU Yong-li<sup>2</sup> GU Yun-jie<sup>2</sup> LUO Jian-xun<sup>2</sup>

(1. Sichuan Forestry Inventory and Planning Institute, Chengdu 610000, China;

2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** Studies were made of the physical and mechanical properties and its vertical variation of *Liriodendron chinense* wood from natural forest. The results showed the wood basic density (BD), over-dry density (DD) and air-dry density (AD) were respectively  $0.352\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $0.396\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  and  $0.558\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . The characteristics of BD, DD and AD displayed the upper > middle > lower parts in the vertical direction, and the difference was very significant. The wood volume shrinkage ratio of natural *L. chinense* forest under air-drying condition were 7.21%, while under oven-dry condition, it was 2.54%. The wet expansion rate of wood volume was 4.54% from oven-dry to air-dry, while the volume wet expansion rate of wood was 12.41% from air-dry to water absorption. The wood shrinkage was the upper > the lower > the middle part in the vertical direction, while the volume wetting rate was the the upper part > the middle part > the lower part. The volume dry shrinkage dampness was different in the vertical direction. The com-

收稿日期:2018-01-14

基金项目:四川省林木种质资源平台建设与共享(2017TJPT0029);四川省财政专项院自列项目:鹅掌楸种质资源综合评价及优异种质选择(ZL2015-09)。

作者简介:魏鹏(1989-),男,四川射洪县,硕士研究生,工程师,主要从事森林经营与森林培育。

pressive strength and flexural strength of the wood were 34.7 MPa and 53.22 MPa, respectively. The hardness of the transverse, chord and diameter surfaces were 3.49 kN, 2.55 kN and 2.45 kN, respectively. In the vertical direction, the CIS compressive strength, bending strength, transverse hardness and the hardness of the diameter surface of wood showed the rule of the upper part > the middle part > the lower part. It was proved that wood density of natural forest of *L. chinense* was a light medium level, and its CIS compression, bending resistance and hardness were general level. The wood of *L. chinense* was suitable for processing and utilization.

**Key words:** *Liriodendron chinense*, Natural forest, Wood physical property, Wood mechanical property, Vertical variation

中国鹅掌楸 (*Liriodendron chinense*) 又叫马褂木、双飘树, 我国特有树种, 是我国 II 级珍稀濒危保护植物。其花大而鲜艳, 叶似马褂且秋季金黄色, 是珍贵的行道树和庭园观赏树种; 木材淡红褐色, 纹理直、结构细, 是建筑及制作家具的上好木材。木材的物理力学性质是木材质量和使用性能的重要指标, 研究某树种材性, 是合理充分利用该树种木材的重要基础。曹文等研究认为笔罗子木材密度、顺纹抗拉抗压强度属于中级水平, 是一种比较适合加工利用的树种<sup>[1]</sup>。陈奕良等对伯乐树木材研究认为该树种木材材性属中等<sup>[2]</sup>。国内已有对杂种马褂木的材性、北美鹅掌楸材性及鹅掌楸遗传变异的研究和报道<sup>[3-5]</sup>, 但关于中国鹅掌楸天然林木的材性研究报道极少。对鹅掌楸天然林木材性物理力学性质进行了测试与分析, 为鹅掌楸材性改良与合理利用提供科学依据。

## 1 研究地概况

研究地位于巴中市通江县董溪乡海鹰寺国有林场。通江县位于巴中市东北部, 米仓山东段南麓大巴山缺口处, 北纬 31°39' ~ 32°33', 东经 106°59' ~

107°46' 之间。气候为亚热带季风气候, 春暖秋爽, 夏热冬冷, 降水集中, 雨热同季, 四季分明。年平均降雨量为 1 250 mm; 多年平均气温 13.9℃,  $\geq 0^\circ\text{C}$  的积温为 5 136℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温为 4 644℃; 日照较充足, 年平均日照时数为 2 405.2 h, 无霜期 210.7 d。土壤为山地黄棕壤。该林场中有鹅掌楸天然林分布, 面积约 6.67 hm<sup>2</sup>, 平均年龄在 30 a 左右, 平均树高 18.5 m, 平均胸径 24.2 cm。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料

试验材料来源于通江县海鹰林场中的鹅掌楸天然林分中, 根据林分的生长情况, 设定了 3 个 20 m × 20 m 的临时样地, 对样地的鹅掌楸进行每木检尺, 各选取 1 株生长正常的平均木, 作为重复样本伐倒(鹅掌楸为国家二级保护植物), 编号 I、II、III。样木的基本情况见表 1。采集方法参照 GB/T1927-2009《木材物理力学试材采集方法》进行。在 1.3 m ~ 3.3 m、5.3 m ~ 7.3 m 与 9.3 m ~ 11.3 m 处, 各锯取 2 m 长作为标准木段, 测定鹅掌楸天然林木材的物理力学性质。

表 1 样木的生长基本情况

编号	年龄(a)	树高(m)	胸径(cm)	枝下高(m)	冠(m)	地理坐标	海拔(m)
I	25	16.8	31.5	7.5	10	N:32°05.488';E:107°41.411'	1391
II	26	21	31	9.8	10	N:32°05.431';E:107°41.424'	1405
III	34	21.3	22.5	9.5	8.5	N:32°05.403';E:107°41.439'	1388

### 2.2 试验方法

试验试件制取按照国家标准 GB/T 1929—2009《木材物理力学试件锯解及试样截取方法》中的规定。木材的各项物理力学指标的测试依据国家标准 GB/T1932 ~ 942-2009《木材物理力学试验方法》进行。物理性质测定指标主要是基本密度、气干密度、

全干密度、湿胀率与干缩性; 力学性能测试指标包括抗弯强度、抗弯弹性模量、木材硬度和顺纹抗压强度。其中抗弯强度、抗弯弹性模量和硬度测试是在 SANS 万能试验机上进行。所有试件均在高低交变湿热试验箱中调整至 12% 含水率后测试, 以免木材含水率对其物理力学性质造成较大影响。

### 3 结果与分析

#### 3.1 鹅掌楸木材的物理性质

##### 3.1.1 木材密度

木材密度是木材的一项重要指标,反映了木材的致密程度,与其自身生长特性以及外界生长环境(气候、林分密度、地理因素等)存在密切相关性。通过对鹅掌楸天然林木材的密度测定分析,由表 2 可知,鹅掌楸天然林木材的基本密度为  $0.352 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,变异系数为 10.74%;全干密度为  $0.396 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,变异系数为 11.70%;气干密度为  $0.558 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,变异系数为 32.47%。其中基本密度和全干密度的变异较小,而气干密度的变异较大。鹅掌楸木材的基本密度和气干密度均小于同科植物乐东拟单性木兰(基本密度为  $0.579 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、气干密度为  $0.708 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )<sup>[6]</sup>,也低于闽楠天然林(气干密度为  $0.721 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )<sup>[7]</sup>,同时小于贵州省鹅掌楸天然林(基本密度为  $0.453 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、气干密度为  $0.557 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )<sup>[8]</sup>。根据木材材性分级标准规定可知,鹅掌楸木材属于轻度(基本密度  $0.31 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ~  $0.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )至中等密度水平(气干密度  $0.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ~  $0.75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),但气干密度的变异系数

较大,说明该木材的密度分散程度较大,均匀性降低,木材加工难度有所增加。

##### 3.1.2 木材干缩性与湿胀性

干缩湿胀是木材的固有性质,是木材利用中的一大缺陷。干缩湿胀的发生会引起木材尺寸的变化,而当沿各方向的干缩或湿胀不均匀时,就会引起开裂和变形的产生,从而影响木材制品的利用。了解木材的干缩湿胀性及其规律,在木材加工、利用上有很重要的意义。木材干缩湿胀的大小一般通过干缩率和湿胀率来表示。

通过对木材的干缩性和湿胀性的统计分析,结果表明,木材径向、弦向和体积的气干干缩率分别是 2.88%、4.12% 和 7.21%,体积气干干缩率的变异系数为 25.03%;其全干干缩率分别为 5.12%、7.03% 和 12.54%,体积全干干缩率的变异系数为 15.73%。从全干状态到气干状态,木材的径向、弦向和体积湿胀率分别为 1.83%、2.58% 和 4.54%;从气干状态到吸水饱和状态时,木材的径向、弦向和体积湿胀率分别为 4.65%、6.93% 和 12.41%。表明鹅掌楸木材的湿胀性从全干状态到气干状态表现较好,而从气干到吸水饱和时表现较差。鹅掌楸天然林木材的干缩湿胀性比观光木人工林要大<sup>[9]</sup>,说明鹅掌楸木材稳定性不如观光木。

表 2 鹅掌楸木材物理性质均值及变异统计结果

试验项目	试样数(N)	平均值	标准差	标准误	变异系数(%)	准确指数(%)
基本密度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	270	0.352	0.038	0.002	10.74	1.36
全干密度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	270	0.396	0.046	0.003	11.70	1.48
气干密度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	270	0.558	0.181	0.012	32.47	4.10
气干干缩率/%	径向	2.88	1.407	0.090	48.80	6.15
	弦向	4.12	1.118	0.072	27.16	3.42
	体积	7.21	1.805	0.116	25.03	3.15
全干干缩率/%	径向	5.12	1.541	0.099	30.12	3.80
	弦向	7.03	1.394	0.090	19.83	2.50
	体积	12.54	1.972	0.127	15.73	1.98
气干湿胀率/%	径向	1.83	1.048	0.067	57.43	7.24
	弦向	2.58	1.047	0.067	40.54	5.11
	体积	4.54	1.881	0.121	41.46	5.22
吸水饱和时湿胀率/%	径向	4.65	1.983	0.127	42.62	5.37
	弦向	6.93	1.717	0.110	24.79	3.12
	体积	12.41	2.667	0.171	21.49	2.71

##### 3.1.3 鹅掌楸木材物理性质的垂直变异

通过对鹅掌楸树干上、中、下三个部位的木材密度和干缩湿胀性测定分析,结果表明木材的气干密度、全干密度与基本密度在垂直方向均存在上部 > 中部 > 下部的特性(见表 3)。木材径向的气干干缩率与全干干缩率在树干垂直方向有中部 > 上部 > 下部的规律,而木材弦向干缩率与体积干缩率同时存

在上部 > 下部 > 中部的规律(见表 4);木材径向、弦向与体积湿胀率由全干到气干状态时,同时存在上部 > 中部 > 下部的特性;而木材当由气干状态到吸水饱和时,径向湿胀率存在中部 > 上部 > 下部,弦向湿胀率存在上部 > 下部 > 中部,体积湿胀率存在上部 > 中部 > 下部的规律(见表 4)。

对木材的密度、干缩性和湿胀性在树干垂直方

向上的差异显著性 F 检验,结果表明木材的气干密度、全干密度、基本密度、体积全干干缩率、体积湿胀率在树干垂直方向上(上部、中部、下部)存在极显著差异( $p < 0.01$ ),体积气干干缩率在垂直方向上达到显著差异( $p < 0.05$ ),说明鹅掌楸木材的物理性质在树干垂直方向上有显著差异。

表 3 鹅掌楸木材密度性质垂直变异统计结果

部位	试样数	气干密度 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	全干密度 ( $g \cdot cm^{-3}$ )	基本密度 ( $g \cdot cm^{-3}$ )
上	90	0.673	0.436	0.384
中	90	0.513	0.397	0.355
下	90	0.476	0.357	0.319

表 4 鹅掌楸木材干缩性与湿胀性的垂直变异统计表

性状	部位	试样数	气干干缩率(%)	全干干缩率(%)	气干湿胀率(%)	吸水饱和时湿胀率(%)
径向	上	90	2.847	5.248	2.033	4.832
	中	90	3.496	5.784	2.028	5.517
	下	90	2.516	4.548	1.482	3.902
弦向	上	90	4.329	7.644	2.846	7.662
	中	90	3.567	6.032	2.623	6.035
	下	90	4.265	7.074	2.296	6.777
体积	上	90	7.542	13.341	5.034	13.571
	中	90	6.776	11.695	4.813	11.738
	下	90	7.171	12.299	3.855	11.689

表 5 鹅掌楸木材力学性质测定结果

试验项目	试样数	均值	标准差	标准误	变异系数(%)	准确指数(%)
顺纹抗压强度(MPa)	180	34.70	4.92	0.39	14.19	2.20
抗弯强度(MPa)	90	53.22	9.83	1.06	18.48	3.91
抗弯弹性模量(MPa)	90	5895.00	968.87	104.48	16.44	3.47
横面硬度(kN)	90	3.49	0.56	0.06	15.99	3.48
弦面硬度(kN)	90	2.55	0.58	0.06	22.76	4.96
径面硬度(kN)	90	2.45	0.68	0.08	27.82	6.06

### 3.2.2 鹅掌楸木材力学性质垂直变异

鹅掌楸木材力学性质垂直方向的测定结果表明(见表6),木材的顺纹抗压强度、抗弯强度、横面硬度和径面硬度在树干垂直方向表现出上部 > 中部 > 下部的规律;木材抗弯弹性模量在垂直方向存在中部 > 上部 > 下部的规律;木材弦面硬度在垂直方向

## 3.2 鹅掌楸木材力学性质

### 3.2.1 鹅掌楸木材力学性质

作为建筑和结构用材,木材的抗压强度是重要的力学性能之一,而顺纹抗压强度通常作为选择受压木材构件的依据。根据对鹅掌楸木材的力学性质的测定分析,由表5可知,鹅掌楸木材的顺纹抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量分别为 34.7 MPa、53.22 MPa 和 5895.0 MPa,各性状的变异系数分别为 14.19%、18.48% 和 16.44%,说明木材抗压性和抗弯性存在较大的变异。根据我国木材物理力学性质分级表,可知鹅掌楸木材顺纹抗压强度属于 2 级(29.1 MPa~44.0 MPa),抗弯强度和抗弯弹性模量属于 1 级(抗弯强度  $\leq 54.0$  MPa,抗弯弹性模量  $\leq 7.4$  GPa)。

鹅掌楸木材的横面硬度、弦面硬度和径面硬度分别为 3.49 kN,弦面 2.55 kN 和 2.45 kN,横面硬度 > 弦面硬度 > 径面硬度;根据木材物理力学 5 级标准,可知鹅掌楸木材的横面硬度属于 2 级(2.57 kN~4.00 kN)。鹅掌楸天然林木材的硬度低于闽楠天然林和人工林的硬度,同时也低于笔罗子木材的硬度<sup>[1-2]</sup>。鹅掌楸天然林木材属于硬度柔软,适于加工生产的原材料。

存在上部  $\geq$  下部 > 中部的特点。差异显著性 F 值检验结果表明,木材的抗压性、抗弯性和横面硬度在树干上、中、下垂直方向上的差异性均达到极显著水平( $P < 0.001$ ),说明各性状在不同部位的表现存在显著差异;而弦面硬度和径面硬度在树干垂直方向的差异性不显著(见表7)。

表 6 鹅掌楸木材力学性质垂直变异统计表

部位	试样数	顺纹抗压强度 (MPa)	试样数	抗弯弹性模量 (MPa)	抗弯强度 (MPa)	横面硬度 (MPa)	弦面硬度 (MPa)	径面硬度 (MPa)
上	60	38.22	30	6219.58	57.55	3.70	2.57	2.58
中	60	34.73	30	6435.19	56.95	3.55	2.50	2.44
下	60	31.16	30	5199.05	46.33	3.23	2.57	2.32

表 7 鹅掌楸木材物理力学性质方差分析

性状	来源	平方和	df	均方	F	显著性
气干密度	组间	2.005	2	1.003	40.633	0
全干密度	组间	0.283	2	0.142	144.629	0
基本密度	组间	0.19	2	0.095	146.997	0
体积气干干缩率	组间	21.469	2	10.735	3.358	0.036
体积全干干缩率	组间	106.467	2	53.234	15.312	0
体积气干时湿胀率	组间	69.398	2	34.699	10.59	0
体积吸水饱和湿胀率	组间	197.123	2	98.562	15.529	0
顺纹抗压强度	组间	1494.663	2	747.331	49.72	0
抗弯弹性模量	组间	25290321.4	2	12645160.7	19.258	0
抗弯强度	组间	2424.371	2	1212.186	17.359	0
横面硬度	组间	3.516	2	1.758	6.411	0.003
弦面硬度	组间	0.078	2	0.039	0.112	0.894
径面硬度	组间	1.03	2	0.515	1.114	0.333

## 4 结论

鹅掌楸天然林木材密度属于轻量至中等水平,木材的基本密度为  $0.352 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,全干密度为  $0.396 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,气干密度为  $0.558 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。木材径向、弦向和体积的气干干缩率分别是 2.88%、4.12% 和 7.21%,全干干缩率分别为 5.12%、7.03% 和 12.54%。从全干状态到气干状态,木材的径向、弦向和体积湿胀率分别为 1.83%、2.58% 和 4.54%;从气干状态到吸水饱和状态时,其值分别为 4.65%、6.93% 和 12.41%。木材干燥过程较易发生干裂,其尺寸稳定性一般。

鹅掌楸天然林木材的气干密度、全干密度与基本密度在垂直方向均存在上部 > 中部 > 下部;体积干缩率同时存在上部 > 下部 > 中部的规律;木材体积湿胀率均存在上部 > 中部 > 下部的规律。

鹅掌楸天然林木材的顺纹抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量分别为 34.7 MPa、53.22 MPa 和 5895.0 MPa;其木材的横面、弦面和径面硬度分别为 3.49 kN,弦面 2.55 kN 和 2.45 kN。鹅掌楸的综合强度和硬度均属一般水平。木材的顺纹抗压强度、抗弯强度、横面硬度和径面硬度在树干垂直方向表

现出上部 > 中部 > 下部的规律。综合鹅掌楸木材的物理力学特性结果认为,鹅掌楸木质柔软、易于切削加工,干燥过程易发生变形,可用于细木装饰用材、胶合板原材料及建筑用材。

## 参考文献:

- [1] 曹文,俞友明,童再康,等. 笔罗子木材物理力学性质的研究[J]. 浙江林业科技,2015,(4):77~80.
- [2] 陈奕良,林鹏,叶朝坤,等. 伯乐树木材物理力学性质的研究[J]. 浙江林业科技,2010,(5):20~23.
- [3] 李斌,顾万春,夏良放,等. 鹅掌楸种源材性遗传变异与选择[J]. 林业科学,2001,(2):42~50.
- [4] 李建民,谢芳,封剑文,等. 北美鹅掌楸种源在福建省生长和材性的表现[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2001,(4):26~30.
- [5] 吴淑芳,张留伟,蔡伟健,等. 杂交鹅掌楸材性、纤维特性及制浆性能研究[J]. 纤维素科学与技术,2011,(4):28~33.
- [6] 林同龙. 乐东拟单性木兰木材物理力学性质的研究[J]. 福建林学院学报,2011,(04):381~384.
- [7] 江香梅,肖复明,龚斌,等. 闽楠天然林与人工林木材物理力学性质研究[J]. 林业科学研究,2008,(6):862~866.
- [8] 贵州省林科所森工研究室. 鹅掌楸木材物理力学性质[J]. 贵州林业科技,1979,(02):35~39.
- [9] 韦鹏练,黄腾华,符韵林. 观光木人工林木材物理力学性质的研究[J]. 西北林学院学报,2014,(6):221~225.