

# 火力楠心材与边材颜色和物理力学性质

周 凡,高 鑫,付宗营,江京辉,周永东<sup>\*</sup>

(中国林业科学研究院 木材工业研究所,北京 100091)

**摘要:**研究火力楠心材与边材的颜色和物理力学性质,为该树种木材的合理开发和利用提供参考。采用CIE Lab颜色系统表征木材的颜色参数(明度指数L\*、红绿轴色品指数a\*、黄蓝轴色品指数b\*);按照国家标准测量木材的物理性质(密度、干缩性、湿胀性)和力学性质(顺纹抗压强度、横纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗剪强度、硬度、冲击韧性、顺纹抗拉强度、抗劈力、握钉力)。结果表明,火力楠心材的L\*、a\*和b\*均小于边材,表明心材的颜色偏向黑色的程度更大,而偏向红色和黄色的程度更小,整体颜色更加暗深;火力楠心材与边材的总色差属人视觉感觉差异“可察觉”。火力楠心材的密度小于边材,二者密度均属中等;心材的差异干缩大于边材,二者气干干缩的不均匀性均属小;心材的体积干缩系数小于边材,二者干缩性均属很小。火力楠边材的吸水增重率大于心材,表明边材的渗透性优于心材。火力楠边材的硬度、冲击韧性、抗劈力和握钉力大于心材,而其余力学指标小于心材。火力楠心材和边材的顺纹抗压强度、抗弯强度、顺纹抗剪强度、端面硬度和冲击韧性,均属木材各项力学指标品质分级的中等及以上水平。火力楠心材的综合强度和综合品质系数均大于边材,二者均分别属高强度和强重比很高。

**关键词:**火力楠;心边;边材;颜色;物理性质;力学性质

**中图分类号:**S781.29      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2021)04-0191-07

Variations of Color, Physical and Mechanical Properties in Heartwood and Sapwood of *Michelia macclurei*

ZHOU Fan, GAO Xin, FU Zong-ying, JIANG Jing-hui, ZHOU Yong-dong<sup>\*</sup>

(Research Institute of Wood Industry Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The variations of color, physical and mechanical properties in heartwood and sapwood of *Michelia macclurei* were studied, to provide scientific reference for the reasonable processing and utilization of this wood. The CIELab color system was used to measure the color parameters of the wood (lightness L\*, green-red axis value a\*, blue-yellow axis value b\*). The physical properties (density, shrinkage, swelling) and mechanical properties (compression strength parallel to grain, compression strength perpendicular to grain, modulus of rupture, modulus of elasticity, shearing strength parallel to grain, hardness, impact toughness, tensile strength parallel to grain, cleavage strength, nail holding power) of the wood were determined according to the Chinese national standards. The results showed that the values of L\*, a\* and b\* of the heartwood were lower than those of the sapwood, indicating that the color of heartwood was blacker, less red and yellow. The color difference between the heartwood and sapwood belonged to the “perceivable” of human visual perception difference. Compared to sapwood, the heartwood had lower density, lower volumetric shrinkage coefficient, and higher ratio of tangential shrinkage to radial shrinkage. The heartwood and sapwood both belonged to the medium density grade, the very small shrinkage grade, and the small un-

收稿日期:2020-08-21 修回日期:2020-08-28

基金项目:中央级公益性科研院所基金项目“火力楠、黑木相思无性系高效培育和木材干燥技术”(CAFYBB2018ZB004)。

作者简介:周凡,博士,助理研究员。研究方向:木材物理与干燥。E-mail:zhoufan@163.com

\*通信作者:周永东,博士,研究员。研究方向:木材物理与干燥。E-mail:zhouyd@caf.ac.cn

even air-dry shrinkage grade. The water absorption rate of sapwood was higher than that of heartwood, indicating that sapwood had better permeability. The hardness, impact toughness, cleavage strength, and nail holding power of the sapwood were higher than those of the heartwood, while the other mechanical indexes were opposite. The compression strength parallel to grain, modulus of rupture, shearing strength parallel to grain, cross hardness and impact toughness of the heartwood and the sapwood belonged to the medium or above level of the mechanical index classification of wood. The comprehensive strength and the comprehensive quality coefficient of the heartwood were higher than those of the sapwood. The heartwood and sapwood both belonged to the high strength grade, and the very high ratio of strength to weight grade.

**Key words:** *Michelia macclurei*; heartwood; sapwood; color; physical property; mechanical property

火力楠(*Michelia macclurei*)是我国南方地区重要优良乡土阔叶树种,其生长迅速、适应性强、树干通直、出材率高,木材材质均匀、结构细腻、纹理通直有光泽,可作为家具、实木地板、工艺品、胶合板和建筑等行业用材<sup>[1-5]</sup>。材性研究对决定木材利用途径及加工工艺具有重要的参考意义。树木心材和边材通常具有不同性质,心材比例对木材利用有重要影响<sup>[6]</sup>。阔叶树木材通常因具有美丽颜色而商业价值较高,其心材和边材的颜色差异,直接影响木材的利用<sup>[7]</sup>。火力楠心材率较低,文献报道火力楠树干根部心材率最大为43.0%<sup>[8]</sup>。可见,对火力楠木材进行充分利用,需综合考虑其心材和边材的材性进行。目前国内外对火力楠材性方面的研究较少,有个别研究测定了火力楠木材的主要物理力学性质<sup>[2,5]</sup>,但有关心材与边材材性的对比报道仍然缺乏。因此,本研究对火力楠心材和边材的颜色、物理性质(密度、干缩湿胀、渗透性)和力学性质(抗压特性、抗弯特性、抗剪特性、硬度、冲击韧性、抗拉特性、抗劈力、握钉力)进行测定和比较,以期为火力楠木材的合理开发利用和高效加工生产提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

火力楠采自广东省茂名市高州市。选取样木3株(平均胸径38 cm)。每株样木在树干1.3 m处向上截取约1.2 m原木段,用于木材力学性质的测定。在树干1.3 m(H1)、中部(H2)和尾径约18 cm处(H3)分别锯取约15 cm厚树盘。本研究试验用树盘的心材率均值为55.9%(直径比)。将树盘沿中心锯制宽20 mm的中心板,然后连续锯制规格为20 mm×20 mm×20 mm(T×R×L)的试件直到取不到止,用于木材物理性质的测定;并在气干(20℃和65%相对湿度环境平衡)试件的弦切面上进行木材颜色参数的测定。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 木材颜色表征 利用色彩色差计(CR-400,

日本柯尼卡美能达控股公司)测试木材的明度指数 $L^*$ (0~100,黑~白)、红绿轴色品指数 $a^*$ (正值越大代表颜色越偏向红色,负值越大代表颜色越偏向绿色)和黄蓝轴色品指数 $b^*$ (正值越大代表颜色越偏向黄色,负值越大代表颜色越偏向蓝色),并计算木材的色饱和度 $C^*$ 和色差 $\Delta E^*$ <sup>[9]</sup>。

**1.2.2 木材物理性质测定** 木材的密度、干缩性和湿胀性测定分别参照国家标准GB/T 1933-2009、GB/T 1932-2009和GB/T 1934.2-2009进行。木材的渗透性采用吸水增重率进行评定<sup>[10]</sup>,将气干(20℃和65%相对湿度环境平衡)试件浸入水中,间隔取出测量质量,为使水分只沿弦面或径面进入木材,浸水前采用环氧树脂胶对试件的其他表面进行密封。

**1.2.3 木材力学性质测定** 依据国家标准对木材的顺纹抗压强度(GB/T 1935-2009),抗弯强度(GB/T 1936.1-2009),抗弯弹性模量(GB/T 1936.2-2009),弦面、径面顺纹抗剪强度(GB/T 1937-2009),弦面、径面顺纹抗拉强度(GB/T 1938-2009),弦面、径面横纹全部抗压强度(GB/T 1939-2009),冲击韧性(GB/T 1940-2009),弦面、径面和端面硬度(GB/T 1941-2009),弦面、径面抗劈力(GB/T 1942-2009),弦面、径面和端面握钉力(GB/T 14018-2009)进行测定。木材的握钉力指标参照文献[11],其他力学性质指标参照相应标准,将实测的数据换算为12%含水率时的数值。

## 2 结果与分析

### 2.1 火力楠木材颜色

火力楠树干不同纵向位置心材和边材的各颜色参数差异不明显(图1)。心材的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 和 $C^*$ 均值分别为73.6、3.1、23.4和23.6,相对应边材的分别为75.8、4.3、24.3和24.7。可见,相比于边材,心材的 $L^*$ 更小,表示其对可见光的反射较少,颜色更偏向黑色; $a^*$ 正值更小,表明其偏向红色的程度更小; $b^*$ 正值更小,表明其偏向黄色的程度更

小;  $C^*$  更小, 表示其颜色饱和度更小, 且更加暗深。火力楠的心材整体呈现为黄绿色, 边材为浅黄褐色(图2)。火力楠树干不同纵向位置心材的总色差0.3~0.9, 边材的总色差0.2~1.9, 心材与边材的总色差为2.7。可见, 火力楠木材的颜色差异主要是心材与边材的差异引起, 根据色差值与人视觉感觉的对应关系<sup>[9]</sup>, 火力楠心材与边材的颜色差异属“可察觉”(1.5~3.0)。

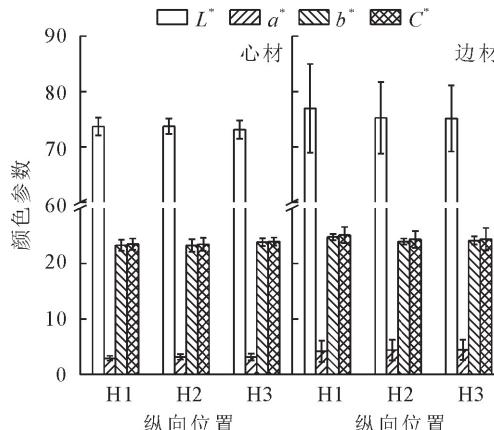


图1 火力楠心材和边材颜色参数

Fig. 1 Color parameters of *Michelia macclurei* heartwood and sapwood



图2 火力楠心材(左)和边材(右)

Fig. 2 *M. macclurei* heartwood (left) and sapwood (right)

## 2.2 火力楠木材物理性质

2.2.1 木材密度 火力楠木材密度整体沿树干纵向上呈降低趋势(图3)。火力楠心材的基本、气干和全干密度均值分别为0.545、0.637 g·cm<sup>-3</sup>和0.603 g·cm<sup>-3</sup>, 相对应边材的分别为0.562、0.659 g·cm<sup>-3</sup>和0.624 g·cm<sup>-3</sup>(表1)。火力楠心材的密度小于心材, 心材与边材密度的变异系数均较低, 说明火力楠木材的密度分散程度较小, 均匀性较大, 这有利于木材的加工利用。计算火力楠心材和边材在含水率15%时的密度分别为0.649 g·cm<sup>-3</sup>和0.671 g·cm<sup>-3</sup>。根据我国国产木材密度的划分级别<sup>[12]</sup>, 二者均属中等(0.551~0.750 g·cm<sup>-3</sup>)。

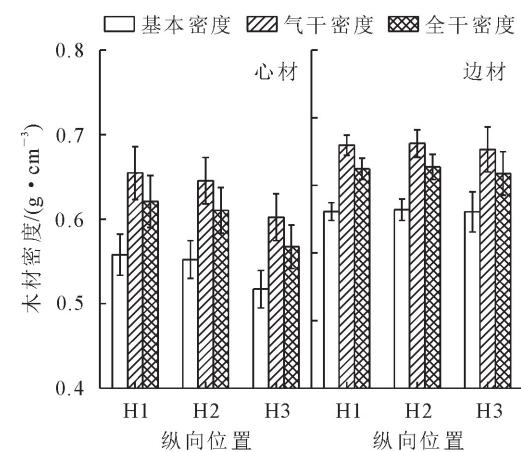


Fig. 3 Densities of *M. macclurei* heartwood and sapwood

2.2.2 木材干缩湿胀特性 木材干缩湿胀的大小一般通过干缩率和湿胀率表示。火力楠木材的气干干缩率和湿胀率整体沿树干纵向上呈降低趋势(图4), 这与其密度的变异趋势相似。火力楠心材的径向、弦向和体积气干干缩率均值分别为1.32%、2.14%和3.46%, 相对应边材的分别为1.47%、2.26%和3.78%。心材的径向、弦向和体积全干干缩率分别为3.81%、5.58%和9.49%, 相对应边材的分别为4.32%、5.76%和9.97%。心材的径向、弦向和体积气干湿胀率均值分别为1.70%、2.09%和4.03%, 相对应边材分别为1.88%、2.18%和4.29%(表1)。可见, 火力楠心材的干缩率和湿胀率均小于边材, 表明在同一环境下, 心材经历干缩湿胀的尺寸稳定性要优于边材。火力楠心材的气干和全干体积干缩系数分别为0.22%和0.32%, 相对应边材的分别为0.24%和0.33%(表1); 根据我国木材干缩性的分级, 心材和边材的干缩性均属很小(<0.35%)<sup>[12]</sup>, 说明火力楠木材的干缩尺寸稳定性较好。火力楠心材的气干和全干差异干缩分别为1.60和1.44, 相对应边材的分别为1.54和1.34(表1); 根据我国木材干缩的不均匀性分级, 心材和边材的气干差异干缩均属小(1.41~1.80)<sup>[12]</sup>, 说明火力楠木材各方向的干缩比较均匀。边材的差异干缩小于心材, 边材的干缩较心材更加均匀。

2.2.3 木材渗透性 火力楠心材和边材的吸水增重率和增重速率见图5。随着浸水时间的增加, 火力楠心材和边材沿弦向和径向的吸水增重率均逐渐增加, 吸水增重速率逐渐降低, 这表明木材的渗透性随含水率的增加而降低。浸水时间为90 h时, 心材沿径向和弦向的增重率分别为17.1%和16.5%, 平均增重速率0.187%·h<sup>-1</sup>; 相对应边材的分别为25.8%和23.6%, 平均增重速率0.272%·h<sup>-1</sup>。

可见边材的吸水增重速率大于心材,导致相同时间边材的增重率大于心材,表明边材的渗透性好于心材。渗透性是木材的一项重要物理指标,木材防腐、

阻燃、干燥等加工利用过程都与其渗透性密切相关<sup>[13]</sup>。火力楠心材和边材渗透性存在的差异与木材本身的构造和含有的抽出物等有关。

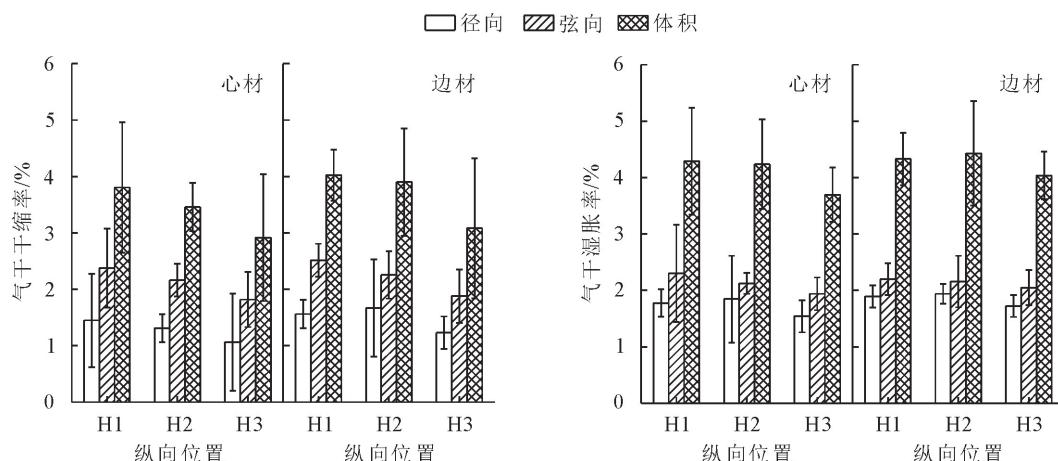


图 4 火力楠心材和边材气干干缩湿胀特性

Fig. 4 Air-dried shrinkage and swelling of *M. macclurei* heartwood and sapwood

表 1 火力楠心材和边材物理性质

Table 1 Physical properties of *M. macclurei* heartwood and sapwood

测试指标	心材			边材		
	均值	标准差	变异系数/%	均值	标准差	变异系数/%
基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.545	0.028	5.20	0.562	0.019	3.41
气干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.637	0.035	5.56	0.659	0.023	3.45
全干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.603	0.035	5.80	0.624	0.023	3.61
气干干缩率/%	径向 弦向 体积	1.32 2.14 3.46	0.33 25.62 17.30	25.14 2.26 3.78	1.47 0.46 0.67	0.31 20.41 17.60
气干差异干缩		1.60	0.33	20.52	1.54	0.29
气干干缩系数/%	径向 弦向 体积	0.08 0.14 0.22	0.02 0.03 0.05	21.68 22.28 23.23	0.09 0.15 0.24	18.99 19.99 21.35
全干干缩率/%	径向 弦向 体积	3.81 5.58 9.49	0.58 0.86 1.09	15.19 15.39 11.52	4.32 5.76 9.97	9.60 11.19 10.54
全干差异干缩		1.44	0.28	19.24	1.34	0.16
全干干缩系数/%	径向 弦向 体积	0.13 0.18 0.32	0.02 0.02 0.04	16.77 13.18 11.51	0.14 0.19 0.33	9.92 11.42 10.57
气干湿胀率/%	径向 弦向 体积	1.70 2.09 4.03	0.25 0.25 0.46	14.58 12.11 11.43	1.88 2.18 4.29	10.93 12.53 10.60

注:心材和边材的试样数分别为 135 和 149。

## 2.3 火力楠木材力学性质

火力楠心材和边材的力学性质(抗压特性、抗弯特性、抗剪特性、硬度、冲击韧性、抗拉特性、抗劈力和握钉力)测试结果见表 2。

2.3.1 木材抗压特性 木材顺纹抗压强度是选择受压构件的重要依据<sup>[14]</sup>。火力楠心材和边材的顺纹抗压强度分别为 51.31 MPa 和 49.11 MPa,二者

接近,均属中等(34.4~54.9 MPa)<sup>[12]</sup>。心材的弦向和径向横纹全部抗压强度分别为 9.91 MPa 和 11.13 MPa,相对应边材的分别为 8.72 MPa 和 11.16 MPa。这和文献报道木材的横纹抗压强度的在径向大于弦向相一致<sup>[15]</sup>。

2.3.2 木材抗弯特性 火力楠心材和边材的抗弯强度分别为 107.57 MPa 和 87.09 MPa,均属中等

(78.5~117.6 MPa)<sup>[12]</sup>。心材和边材的抗弯弹性模量分别为11.17 GPa和9.56 GPa,分别属中等

(11.0~14.7 GPa)和低(8.9~11.8 GPa)<sup>[12]</sup>。火力楠边材抗弯曲性能低,不宜作为弯曲构建用材。

表2 火力楠心材和边材力学性质

Table 2 Mechanical properties of *M. macclurei* heartwood and sapwood

测试指标	心材				边材				总体				
	试样数	均值	标准差	变异系数/%	试样数	均值	标准差	变异系数/%	试样数	均值	标准差	变异系数/%	
顺纹抗压强度/MPa	20	51.31	4.04	7.87	20	49.11	3.33	6.78	49	49.74	3.87	7.78	
横纹全部抗压强/MPa	弦面	25	9.91	1.15	11.60	25	8.72	0.97	11.11	50	9.32	1.22	13.08
	径面	25	11.13	1.28	11.50	25	11.16	0.98	8.81	50	11.15	1.14	10.24
抗弯强度/MPa	23	107.57	8.61	8.00	20	87.09	8.73	10.03	50	99.51	13.08	13.15	
抗弯弹性模量/GPa	23	11.17	1.03	9.21	20	9.56	0.76	7.91	50	10.55	1.21	11.49	
顺纹抗剪强度/MPa	弦面	20	14.55	0.72	4.98	20	12.96	0.80	6.21	40	13.75	1.10	8.02
	径面	20	14.37	0.60	4.20	20	12.86	1.09	8.51	40	13.61	1.16	8.52
硬度/kN	弦面	20	4.53	0.29	6.30	20	5.35	0.66	12.35	46	5.14	0.68	13.17
	径面	20	4.21	0.29	6.86	20	5.04	0.48	9.57	46	4.81	0.57	11.95
	端面	20	6.10	0.28	4.57	20	7.26	0.40	5.52	46	6.87	0.68	9.83
冲击韧性/(kJ·m <sup>-2</sup> )	22	36.38	6.65	18.27	20	46.06	6.20	13.45	44	39.17	8.13	20.76	
顺纹抗拉强度/MPa	20	121.19	19.79	16.33	20	99.89	18.96	18.98	40	110.54	22.11	20.00	
抗劈力/(N·mm <sup>-1</sup> )	弦面	15	40.82	7.97	19.53	15	42.52	4.02	9.46	30	41.77	6.16	14.75
	径面	15	32.44	6.37	19.64	15	32.75	4.73	14.43	30	32.60	5.61	17.21
握钉力/(N·mm <sup>-1</sup> )	弦面	20	25.53	2.60	10.18	21	32.00	4.85	15.14	45	29.04	4.84	16.68
	径面	20	27.80	4.50	16.19	21	34.23	4.88	14.25	45	31.21	5.40	17.29
	端面	20	22.94	3.22	14.04	21	29.36	2.85	9.72	45	26.68	4.36	16.34

注:总体包括心材、边材和少量心边混合材。

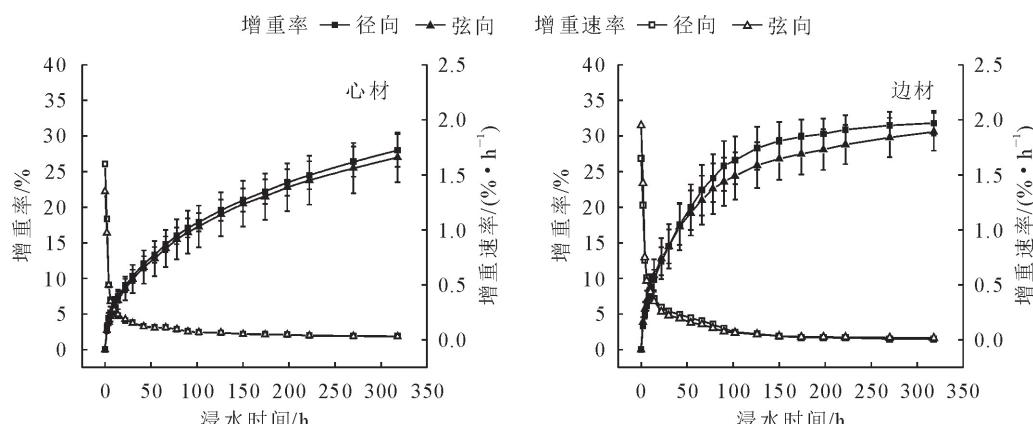


图5 火力楠心材和边材吸水特性

Fig. 5 Water absorption properties of *M. macclurei* heartwood and sapwood

2.3.3 木材抗剪特性 火力楠心材的径向和弦向顺纹抗剪强度分别为14.37 MPa和14.55 MPa,相对应边材的分别为12.86 MPa和12.96 MPa,二者均属中等(9.9~14.7 MPa)<sup>[12]</sup>。

2.3.4 木材硬度 硬度表征木材抵抗其他刚体压入木材的能力。火力楠心材的弦面、径面和端面硬度分别为4.53、4.21 kN和6.10 kN,相对应边材的分别为5.35、5.04 kN和7.26 kN。这和文献报道木材硬度均是端面比侧面高相一致<sup>[16]</sup>。计算火力楠心材和边材在端面上可承受的压入荷载分别为61.1 MPa和72.7 MPa,分别属中(49.1~68.6 MPa)和高(68.7~98.0 MPa)<sup>[12]</sup>,说明火力楠属于

中高硬等级木材。火力楠边材的硬度高于心材,这可能是由于木材硬度与密度密切相关,密度越大硬度越高<sup>[17]</sup>。

2.3.5 木材冲击韧性 冲击韧性是检验木材韧性的指标。火力楠心材和边材的冲击韧性分别为36.38 kJ·m<sup>-2</sup>和46.06 kJ·m<sup>-2</sup>,分别属中等(30.4~44.1 kJ·m<sup>-2</sup>)和高等(45.1~58.8 kJ·m<sup>-2</sup>)<sup>[12]</sup>,说明火力楠木材韧性较好,可作为房屋建筑、胶合板和家具等方面用材<sup>[18]</sup>。

2.3.6 木材抗拉特性 顺纹抗拉强度是木材沿纤维方向承受拉伸载荷的最大能力。火力楠心材和边材的顺纹抗拉强度分别为121.19 MPa和99.89

MPa, 表明心材承受拉伸载荷的能力更高。

**2.3.7 木材抗剪力** 火力楠心材的径向和弦向抗剪力分别为  $32.44 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  和  $40.82 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 相对应边材的分别为  $32.75 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  和  $42.52 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。心材与边材的抗剪力差别不大,且二者在弦向大于径向。木材在弦面木射线呈轴向受拉,增强抗剪效果,导致木材的抗剪力通常是弦面大于径面。

**2.3.8 木材握钉力** 火力楠心材的弦面、径面和端面握钉力分别为  $25.53$ 、 $27.80 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  和  $22.94 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 相对应边材的分别为  $32.00$ 、 $34.23 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  和  $29.36 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。火力楠边材的握钉力大于心材,表示边材对钉入的钉的夹持能力更强。火力楠心材和边材的握钉力在端面均小于侧面,这是由于握钉力在端面木纤维间的挤压力远小于在侧面的木纤维的抗断裂性能<sup>[19]</sup>。

**2.3.9 木材综合力学品质** 综合强度(顺纹抗压强度和抗弯强度之和)常用于未定具体用途木材力学强度品质等级的综合评定。火力楠心材和边材的综合强度分别为  $158.88 \text{ MPa}$  和  $136.20 \text{ MPa}$ , 对照木材综合强度的划分等级<sup>[12]</sup>,二者均属高强度( $107.9 \sim 166.6 \text{ MPa}$ )。综合品质系数为综合强度与基本密度的比值,反映强度与密度之间的关系,适用于对木材既要求强度又限制质量的应用场合<sup>[20]</sup>。火力楠心材和边材的综合品质系数分别为  $291.52$  和  $242.34$ ,对照木材综合品质系数的划分等级<sup>[12]</sup>,二者均属强重比很高( $>215.6$ )。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

火力楠心材  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  分别为  $73.6$ 、 $3.1$  和  $23.4$ , 相对应边材的分别为  $75.8$ 、 $4.3$  和  $24.3$ 。相比于边材,心材颜色偏向黑色的程度更大,而偏向红色和黄色的程度更小,颜色更加暗深。火力楠心材与边材的总体色差为  $2.7$ , 属人视觉感觉差异“可察觉”。

火力楠心材和边材在含水率  $15\%$  时的密度分别为  $0.649 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $0.671 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 气干体积干缩系数分别为  $0.22\%$  和  $0.24\%$ , 气干差异干缩分别为  $1.60$  和  $1.54$ 。相比于心材,边材的密度更大,差异干缩更小,但干缩率更大。边材的吸水增重率大于心材,表明边材的渗透性好于心材。火力楠心材和边材均为密度中等、干缩性很小、气干干缩的不均匀性小的木材。

火力楠边材的硬度、冲击韧性、抗剪力和握钉力大于心材,其余力学指标小于心材。火力楠心材和边材的顺纹抗压强度、抗弯强度、顺纹抗剪强度、端

面硬度和冲击韧性,均居于我国木材各项力学品质的中等及以上水平。火力楠心材和边材的综合强度分别为  $158.88 \text{ MPa}$  和  $136.20 \text{ MPa}$ , 均属高强度;综合品质系数分别为  $291.52$  和  $242.34$ , 均属强重比很高。

从火力楠木材主要物理力学性质看,可开发其为家具和一般建筑用材。火力楠心材和边材的颜色和物理力学性质存在差异。对火力楠木材进行实木利用,可根据木材用途对材性的具体要求,对火力楠心材和边材进行分别加工,以达到适材适用。

#### 3.2 讨论

变异性是木材材性的重要特征,其涉及种间、种内、株间和株内,并与遗传和生长环境等因素有关。火炬松木材密度径向由里向外逐渐上升并趋于稳定,纵向向上逐渐降低<sup>[21]</sup>。巨桉木材密度径向上稳定,纵向向上呈下降趋势<sup>[22]</sup>。泡桐木材密度径向由里向外呈抛物线型变化,纵向向上不断增大<sup>[23]</sup>。辐射松边材密度和干缩率大于心材,差异干缩小于心材<sup>[24]</sup>。木材力学性质的径向变异规律及变异程度也随树种和具体指标而变<sup>[25-26]</sup>。可见,不同树种木材物理性质的株内变异规律不同,有关心材和边材物理力学性质的对比尚无统一论。

已有火力楠材性相关的文献表明火力楠木材密度株内最大值分布于树干基部近树皮的边材部分<sup>[5]</sup>;火力楠木材的密度适中、干缩性小,主要力学性能指标均达到中等级别以上,木材的综合强度高<sup>[2,5]</sup>。这些文献结果均与本研究结果相符合。木材材性变异性大,本研究只分析了一种生长条件的试样,限于试验和取样规模。进一步研究需结合生长条件等更多因素对火力楠木材性进行系统研究。

#### 参考文献:

- [1] KUANG Y W, XU Y M, ZHANG L L, et al. Dominant trees in a subtropical forest respond to drought mainly via adjusting tissue soluble sugar and proline content[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 802-802.
- [2] 韦鹏练, 刘晓玲, 符韵林. 火力楠人工林木材物理力学性质的研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 252-256.
- [3] WEI P L, LIU X L, FU Y L. Physical and mechanical properties of *Michelia Macclurei* plantation wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(1): 252-256. (in Chinese)
- [4] 李清莹, 仲崇禄, 姜清彬, 等. 珍贵树种火力楠转录组 SSR 特征分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(4): 1674-1682.
- [5] LI Q Y, ZHONG C L, JIANG Q B, et al. Characteristic analysis of microsatellites in the transcriptome of *Michelia macclurei* of rare tree species[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(4): 1674-1682. (in Chinese)
- [6] 王泽坤, 龙涛, 夏俊伟, 等. 火力楠木材涂饰聚氨酯清漆工艺研

- 究[J].西北林学院学报,2016,31(1):265-270.
- WANG Z K, LONG T, XIA J W, et al. Coating process of polyurethane varnish for *Michelia macclurei* timber[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 265-270. (in Chinese)
- [5] 李平宇,李林.10年生醉香含笑小径原木物理力学性质的研究[J].福建林学院学报,1998,18(2):178-182.
- [6] EYNOLLAHI Y, KHALKHALI M B, TAVANKAR F. Study of physiochemical properties of heartwood and sapwood of oak and maple trees in the Caspian forest, Iran[J]. International Journal of Applied Sciences and Engineering Research, 2013, 2 (5):487-492.
- [7] ROMAGNOLI M, SEGOLONI E, LUNA M, et al. Wood colour in Lapacho (*Tabebuia serratifolia*): chemical composition and industrial implications[J]. Wood Science and Technology, 2013, 47(4):701-716.
- [8] 梁有祥,符韵林,玉桂成,等.火力楠树皮率、心材率及密度研究[J].林业实用技术,2010(7):18-20.
- [9] 段新芳.木材颜色调控技术[M].北京:中国建材工业出版社,2002:22-33.
- [10] 江涛,李秀荣,谢延军,等.微波预处理对巨尾桉木材渗透性的影响[J].西北林学院学报,2013,28(1):174-177.
- JIANGT, LI X R, XIE Y J, et al. Effects of microwave pre-treatment on the permeability of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 174-177. (in Chinese)
- [11] SILVA C, BRANCO J M, RINGHOFER A, et al. The influences of moisture content variation, number and width of gaps on the withdrawal resistance of self tapping screws inserted in cross laminated timber[J]. Construction and Building Materials, 2016, 125:1205-1215.
- [12] 尹思慈.木材学[M].北京:中国林业出版社,1996:220-229.
- [13] 苗平,张文静.汽蒸处理对木材横向渗透性的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(2):99-102.
- MIAO P, ZHANG W J. Effect of steaming treatment on transverse permeability of wood[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2009, 33 (2): 99-102. (in Chinese)
- [14] 方晓阳,徐伟,黄琼涛.人工林小径柚木物理力学性质研究[J].林业机械与木工设备,2019,47(5):40-44,50.
- FANG X Y, XU W, HUANG Q T. Research on the physical and mechanical properties of plantation small-diameter Teak [J]. Forestry Machinery and Woodworking Equipment, 2019, 47(5):40-44,50. (in Chinese)
- [15] 陈柳晔,史小娟,樊军锋.秦白杨系列品种木材材性及纤维形态的研究[J].西北林学院学报,2017,32(1):253-258.
- CHEN L Y, SHI X J, FAN J F. Study on properties and fiber morphology of Qinbaiyang series varieties woods[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 253-258. (in Chinese)
- [16] 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,2008,21(6):862-866.
- [17] 陈柏旭,黄腾华,韦鹏练,等.阴香木材物理力学性质研究[J].西北林学院学报,2016,31(5):271-275.
- CHEN B X, HUANG T H, WEI P L, et al. A study on the physical and mechanical properties of *Cinnamomum burmannii* woods[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 35(1): 271-275. (in Chinese)
- [18] 黄腾华,符韵林,李宁.擎天树木材物理力学性质研究[J].西北林学院学报,2013,28(5):160-163.
- HUANG T H, FU Y L, LI N. Physical and mechanical properties of *Shorea chinensis* wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 160-163. (in Chinese)
- [19] 李月萍,肖泽芳,张其,等.蔗糖/氨基甲基树脂改性速生林木材的力学性能[J].东北林业大学学报,2017,45(10):44-48.
- LI Y P, XIAO Z F, ZHANG Q, et al. Mechanical properties of the fast-growing planted wood chemically modified with Sucrose and N-Methylol Res-in[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2017, 45(10): 44-48. (in Chinese)
- [20] 许彩娟,符韵林,孙静.顶果木人工林木材物理力学性质[J].东北林业大学学报,2014,42(8):86-89.
- XU C J, FU Y L, SUN J. Wood physical-mechanical properties of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(8): 86-89. (in Chinese)
- [21] 刘一星,吴玉章,李坚.火炬松木材材性变异规律[J].东北林业大学学报,1999,27(5):29-34.
- LIU Y X, WU Y Z, LI J. The variation pattern of wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1999, 27(5): 29-34. (in Chinese)
- [22] 夏炎,王亚男,毕传奇,等.巨桉人工林木材密度及其变异特性[J].西南林业大学学报,2011,31(4):74-76.
- XIA Y, WANG Y N, BI C Q, et al. Study on density and its variation properties of the timber grown in *Eucalyptus grandis* plantation[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(4): 74-76. (in Chinese)
- [23] 段新芳,安培钧.陕西兰考泡桐木材基本密度株内变异的研究[J].西北林学院学报,1995,10(4):17-20.
- DUAN X F, AN P J. The basic volume weight within trees of *Elongate paulownia*[J]. Journal of Northwest Forestry College, 1995, 10(4): 17-20. (in Chinese)
- [24] 吴艳华,贾茹,任海青,等.进口辐射松木材主要物理性能径向变异研究[J].林业工程学报,2019,4(6):48-53.
- WU Y H, JIA R, REN H Q, et al. Study on radial variation of main physical properties of imported *Pinus radiata* wood[J]. China Forestry Science and Technology, 2019, 4 (6): 48-53. (in Chinese)
- [25] 任海青,中井孝.人工林杉木和杨树木材物理力学性质的株内变异研究[J].林业科学,2006,42(3):13-20.
- REN H Q, NAKAI T. Intra-tree variability of wood density and main wood mechanical properties in Chinese fir and poplar plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(3): 13-20. (in Chinese)
- [26] 吕建雄,骆秀琴,蒋佳荔,等.红锥和西南桦人工林木材力学性质的研究[J].北京林业大学学报,2006,28(2):118-122.
- LÜ J X, LUO X Q, JIANG J L, et al. Mechanical properties of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* plantation wood[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(2): 118-122. (in Chinese)