

巴里黄檀木材解剖构造、颜色及接触角研究

黄广华¹,陈瑞英^{2*},陈居静³

(1.漳州职业技术学院 建筑工程学院,福建 漳州 363000; 2.福建农林大学 材料工程学院,福建 福州 350002;
3.宁德师范学院 教育与艺术学院,福建 宁德 352100)

摘 要:利用放大镜及显微镜观察巴里黄檀木材的宏观、显微构造,结合图像测量分析系统测定、分析各种细胞的形态特征,采用 CIE $L^* a^* b^*$ 色度空间表色体系测定木材材色,静滴接触角/界面张力测定仪测定表面接触角。结果表明,巴里黄檀为散孔材,导管细胞多数单管孔及径列复管孔,导管细胞中鼓形导管细胞最多占 79.42%,纺锤形导管细胞最少占 1.97%;木纤维中细长纺锤形韧型纤维居多,腔小壁厚,细胞壁腔比 0.89;木射线主要有横卧射线细胞和方形射线细胞宽度细胞 3~5 个,高度细胞 10~15 个;轴向薄壁组织丰富,细胞长度与宽度分别为 129.40 μm 和 23.14 μm ;轴向薄壁细胞和射线细胞中含有较多结晶细胞等深色内含物;木材色相以低饱和度的红黄色调为主,属于深材色树种;40 s 表面接触角变化 5.78°,亲水湿润性较好。通过以上分析为红木类木材的识别与鉴定提供理论依据,丰富木材识别鉴定的基础理论。

关键词:巴里黄檀;宏观构造;微观结构;材色;表面接触角

中图分类号:S781.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)02-0234-06

Anatomical Structural, Color and Contact Angle of *Dalbergia bariensis* Wood

HUANG Guang-hua¹, CHEN Rui-ying^{2*}, CHEN Ju-jing³

(1. College of Architectural Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, Fujian, China;
2. College of Material Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China;
3. College of Education and Art, Ningde Teachers College, Ningde 352100, Fujian, China)

Abstract: The macro-and microscopic structures of *Dalbergia bariensis* wood were observed by using magnifying glass and microscopes. Combined with the image measurement and analysis system, the morphological characteristics of various cells were determined and analyzed. The wood color was determined by CIE $L^* a^* b^*$ chromaticity space. The surface contact angle was determined by static drop contact angle/interface tension meter. The results showed that the wood of *D. bariensis* was diffuse and porous, most of the vessel cells were single tubing and diameter duplicate tubing. The drum duct cells in the vessel cells accounted for up to 79.42 %, and spindle-shaped vessel cells accounted for at least 1.97 %. Most of the wood fibers were slender spindle-shaped tough fibers, with thick small cavity wall, and the cell wall cavity ratio was 0.89. Wood rays mainly included 3 to 5 horizontal/squared wide ray cells and 10 to 15 high cells. The axial parenchyma was rich in tissue, and the cell length and width were 129.40 μm and 23.14 μm , respectively. The axial thin-walled cells and ray cells contained more dark contents such as crystalline cells. The color of wood was mainly red and yellow with low saturation, belonging to deep wood color tree species. The surface contact angle of 40 s was 5.78°, indicating its high hydrophilicity. The results provided a theoretical basis for the identification of redwood species and enriched the basic theories of wood identification.

收稿日期:2018-05-24 修回日期:2018-06-15
基金项目:国家自然科学基金(30271057);福建省中青年骨干教师教育科研资助项目(JZ180807)。
作者简介:黄广华,男,硕士,讲师,研究方向:木材科学与技术。E-mail:450204123@qq.com
*通信作者:陈瑞英,女,教授,博士生导师,研究方向:木材科学与技术。E-mail:fcry56490@163.com

Key words: *Dalbergia bariensis*; macrostructure; microstructure; wood color; contact angle

巴里黄檀 (*Dalbergia bariensis*) 是蝶形花科 (Papilionaceae) 黄檀属 (*Dalbergia*) 下的一个植物树种,属于红木中的红酸枝木^[1]。红木作为珍贵稀有的树种之一,凭借着其优良的材质一直为世人所推崇。近年来,红木市场的交易火爆,红木家具价格不菲,目前红木家具市场上以次充好、以假乱真的现象比较突出^[2-3]。许多材性相近、材色相似的不易分辨的硬木(如缅甸木、波罗格)冒充红酸枝木,而且不同的红酸枝树种材性相似、外观相近,区分难度大^[4-5],所以对红木特别是红酸枝木的种类进行识别,有助于规范红木市场秩序和保护消费者的利益。许多专家学者采用不同方法对木材的性能、识别做了广泛的研究,如:采用基于神经网络和颜色特征、基于抽提液成分、基于形态学、近红外光谱分析、高光谱成像技术等^[6-12]。对巴里黄檀的木材解剖构造及材色、接触角等相关属性分析少见报道。本课题旨在对巴里黄檀宏观、微观构造以及各种细胞的形态特征,木材材色、接触角等进行研究,为识别巴里黄檀提供参考,并丰富红木木材科学的内涵。

1 材料与方法

1.1 试验材料

巴里黄檀木材试样产自老挝,由福建省华闽古典艺术家具有限公司提供提供。选取试材两边、中间等不同部位制作成纵向×径向×弦向:20 mm×20 mm×20 mm 和 10 mm×10 mm×20 mm 2 组标准三切面试样各 5~8 块,前者用于观察试材宏观构造,后者用于制作切片,每个切面 50~80 片,3 个切面共 150~240 片,测量并分析试材微观构造特征。采用富兰克林离析法对试材细胞进行离析处理,制成临时离析切片,观察细胞几何形态,通过图像测量分析软件测定和分析细胞特征参数。

1.2 主要仪器与设备

连续变倍体视显微镜(Nikon SMZ 745T)、生物数码显微镜 (DMB5-223P-5)、图像测量分析软件 (MI Advance 3.0)、静滴接触角测量仪(JC2000A)、测色配色系统(Color i 7)以及放大镜、光学显微镜、切片机、电子天平、干燥箱、恒温水浴锅、量筒、载玻片、盖玻片、滤纸、镊子、胶头滴管等。

1.3 试验方法

1.3.1 宏观与微观结构 将木材制作成标准的三切面试样,在肉眼、放大镜下观察木材的宏观构造特征,如:心材颜色、生长轮、波痕、木材纹理及管孔等;通过制作切片,在显微镜下分别观察试材导管、木纤

维、木射线、轴向薄壁组织和结晶细胞等主要细胞在木材三切面的微观结构特征^[13]。不同细胞各自随机选取 100 个,利用图像测量分析系统对离析切片进行观察分析、计算各主要细胞的结构特征参数。

1.3.2 材色测定 采用佐道健^[14] CIE L^* a^* b^* 色度空间表色体系,随机选取 2 块试材规格为 100 mm×50 mm×20 mm 的弦切面进行测定。材色测量位置如图 1,在 A、B、C、D 各取 1 点,共 4 点,每点 3 次测量,取其平均值。测出试材的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,其中, L^* 为明度:0 表示全黑,100 表示全白; a^* 为红绿轴色品指数:负值表示绿色(数值越大,颜色越绿),正值表示红色(数值越大,颜色越红)^[15]; b^* 为黄蓝轴色品指数,正值表示黄色(数值越大,颜色越黄),负值表示蓝色(数值越大,颜色越蓝)^[16]。

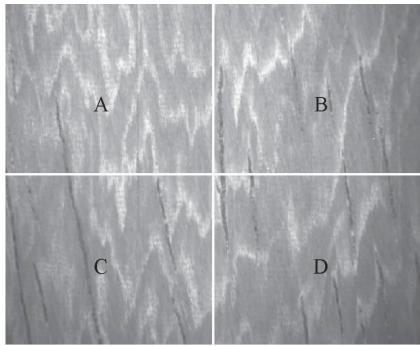


图 1 材色测量位置示意图

Fig. 1 Map of the position of wood colour

1.3.3 木材表面接触角测定 在室温(25℃)下测量木材试样表面的接触角(θ 值),随机选取 2 块试材规格为 20 mm×10 mm×3 mm 的弦切面为测试面。在静滴接触角/界面张力测定仪(JC2000A)上,将蒸馏水按试验要求滴加到试材表面,形成座滴;测定出座滴接触角(θ)的数值(每 4 s 1 次,共取照 10 次,重复测量 4 次),然后比较 θ 值的大小变化^[16]。

2 结果与分析

2.1 宏观构造

试样宏观构造如图 2 所示,巴里黄檀为散孔材,生长轮、材色、管孔在肉眼下可见,放大镜下尤为明显:生长轮较明显,心材红褐色至栗褐色;管孔为单管孔、径列复管孔,孔内含褐色树胶;木射线在放大镜下较为明显;波痕略明显;轴向薄壁组织肉眼下可见,含量丰富,呈傍管带状及聚翼状;轴向薄壁组织与木射线交错构成明显的网格状;木纤维细胞腔小壁厚,排列紧密无规则,在横切面上大多呈椭圆形等;木材具光泽,在径切面上纹理较直,偶有交错,伴

有深色条纹;弦切面上有较为明显的鸡翅、波浪花纹,结构较细,略均匀^[17];水浸湿木材具有酸味。

2.2 微观结构

巴里黄檀的显微结构如图 2 所示,试材由导管、木纤维、轴向薄壁细胞、木射线、结晶细胞等细胞组成,通过图像测量分析系统,测量并计算各试材的结构特征及相关参数。

巴里黄檀属于散孔材,单位面积管孔数 1.8~

3.1 个·mm⁻², (平均 2.3 个·mm⁻²),在横切面上管孔呈分散型排列,管孔类型以单管孔为主,偶见径列数 2~5 个的径列复管孔;一般管孔呈圆形或椭圆形(图 3 中的 1 导管),径列复管孔中间部分的管孔呈扁平状,两端的管孔为圆形,径切面和弦切面上导管均呈鼓形,一般单穿孔;胞壁偶见具缘纹孔(互列式)。管孔弦向直径最大为 269.4 μm,最小为 90.5 μm,其平均值为 206.8 μm。

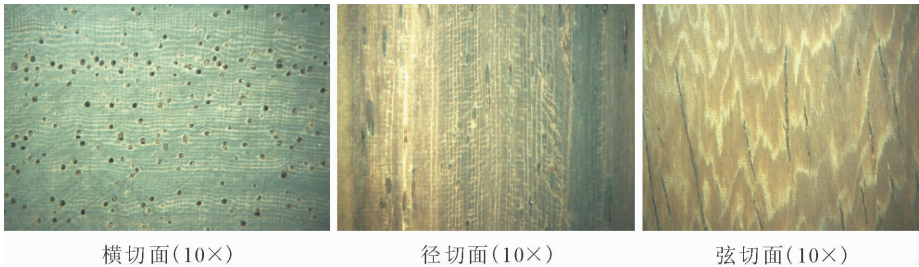
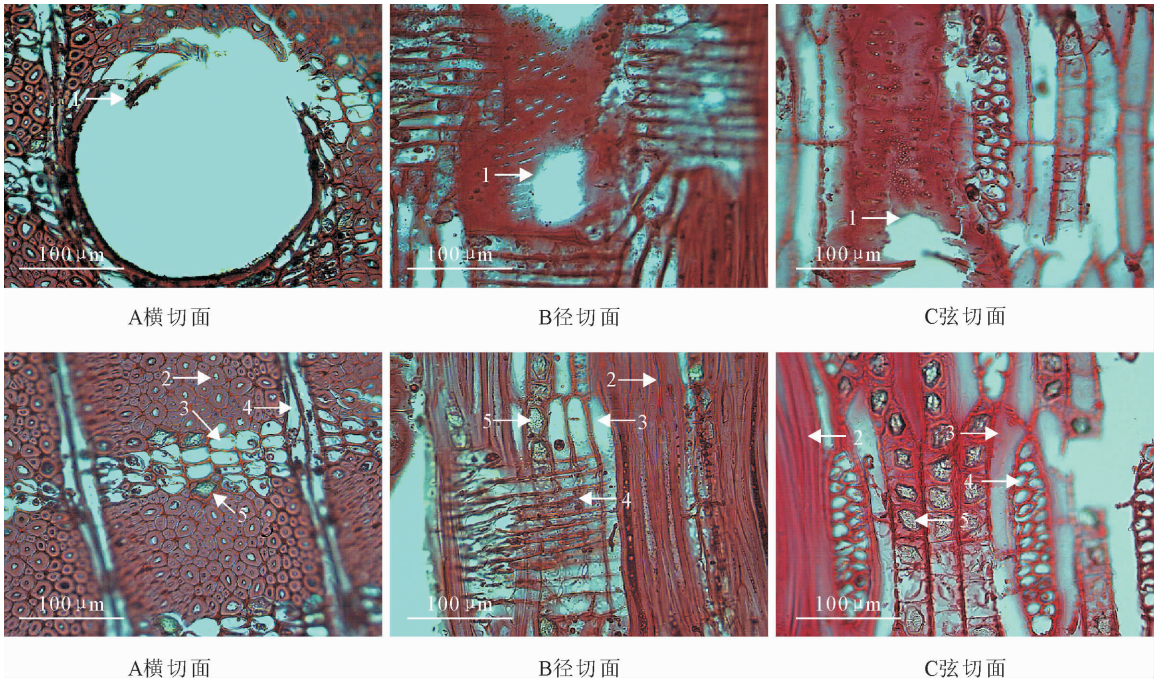


图 2 巴里黄檀木材三切面宏观构造

Fig. 2 Three section macrostructure of *Dalbergia bariensis*



注:1. 导管,2. 木纤维,3. 轴向薄壁细胞,4. 木射线,5. 结晶细胞。

图 3 试材三切面(400×)

Fig. 3 Tri-section of *D. bariensis*(400×) wood

木纤维细胞腔小壁厚,呈无规则排列紧密,在横切面上大多呈椭圆形、近似卵形,少数扁平形;在弦切面和径切面上呈纺锤形,偶见树枝状分歧在木纤维末端,未观察到木纤维壁上的纹孔,部分含深色内含物(图 3 中的 2)。

轴向薄壁细胞数量较多,类型主要为傍管带状,偶见翼状、聚翼状,宽为 1~5 细胞;带状细胞与木射线构成复杂的网状结构;部分细胞具深色内含物,轴向细胞一般 2~3 个叠生(图 2 中的 3)。

木射线较发达,由横卧射线细胞和方形射线细胞组成,横卧射线细胞明显比方形射线细胞多,射线组织为同形单列及多列为主,偶见异形Ⅲ型,宽为 3~5 个细胞,高一般为 10~15 个细胞;部分细胞具深色内含物,细胞壁上的纹孔为单纹孔(图 3 中的 4)。

巴里黄檀木材含有较多结晶细胞,大多分布于轴向薄壁细胞和射线细胞群中;在横切面上大多是菱形结晶体;在径切面和弦切面上结晶细胞呈多边形,沿轴向链状排列(图 3 中的 5)。

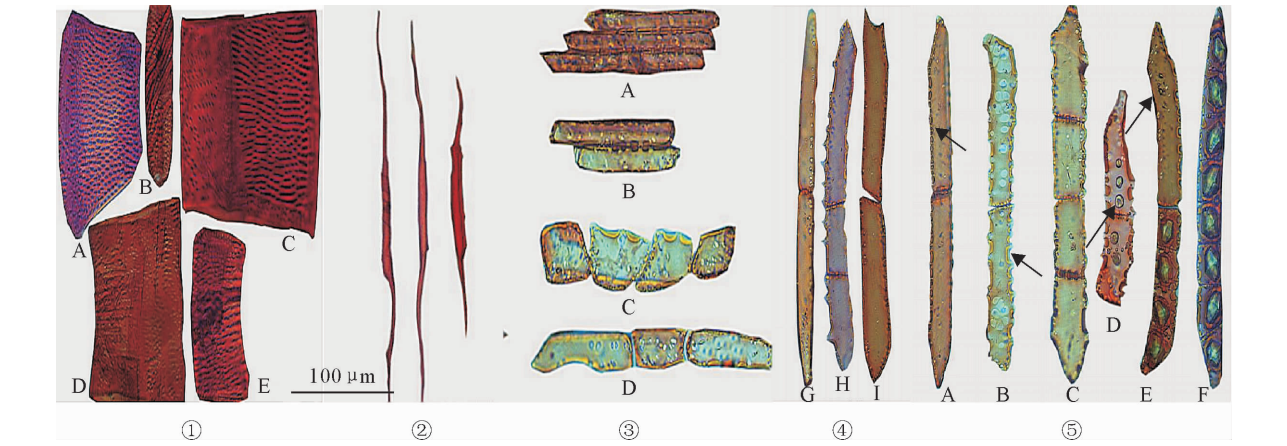
2.3 各类细胞形态

巴里黄檀主要细胞为导管细胞、木纤维细胞、木射线细胞、轴向薄壁细胞和结晶细胞等,其细胞形态见图 3。

2.3.1 导管 巴里黄檀的导管细胞形态见图 4①,主要有:A、E 为圆柱形导管细胞,占导管细胞的 3.91%,其长宽比平均为 1.80;B 为纺锤形导管细胞,占导管细胞的 1.97%,其长宽比平均为 4.37;C 为矩形导管细胞,占导管细胞的 14.70%,其长宽比

平均为 1.11;D 为鼓形导管细胞,占导管细胞的 79.42%,其长宽比平均为 0.73。其中,鼓形细胞最多,纺锤形最少。各导管细胞的几何形态特征见表 1。

2.3.2 木纤维 图 4②为巴里黄檀的木纤维,其细胞几何形态特征见表 2:腔小壁厚,细胞壁腔比 0.89,细长纺锤形韧型纤维居多,长宽比为 56.26;少数木纤维端部呈树枝状分歧;同时可观察到细胞壁上的纹孔,主要为裂隙状具缘纹孔。



注:①导管细胞,②木纤维细胞,③木射线细胞,④轴向薄壁细胞,⑤结晶细胞。

图 4 巴里黄檀主要细胞种类形态(400×)

Fig. 4 Shape of the primare cell type of *D. bariensis*(400×)wood

表 1 导管细胞几何形态					
Table 1 Geometry morphology of vessel cells					
细胞形态		长/ μm	宽/ μm	长宽比	比例/%
鼓形	值域	164.8~327.2	207.8~430.7	0.52~1.08	79.42
	平均值	240.94	338.52	0.73	
矩形	值域	204.15~293.43	178.46~282.29	0.74~2.23	14.70
	平均值	250.49	226.65	1.11	
圆柱形	值域	220.81~286.23	135.33~164.52	1.48~2.52	3.91
	平均值	259.72	144.75	1.80	
纺锤形	值域	218.14~274.52	58.73~66.92	4.10~5.23	1.97
	平均值	267.21	64.21	4.37	

表 2 木纤维细胞几何形态						
Table 2 Geometry morphology of wood fiber cells						
指标	壁厚/ μm	腔径/ μm	壁腔比	长/ μm	宽/ μm	长宽比
值域	3.80~10.42	5.36~12.95	0.29~1.96	678.82~1379.52	10.88~27.43	25.15~127.71
平均值	6.48	9.44	0.89	1071.21	19.04	56.26

2.3.3 木射线 图 4③为巴里黄檀的木射线细胞,其细胞几何形态特征见表 3:主要有横卧射线细胞(A、B、D),方形射线细胞(C)。2 种射线细胞形态差异较大:横卧射线细胞和方形射线细胞长分别为 105.78 μm 和 36.28 μm ,前者为后者的 3 倍左右,宽分别为 13.62 μm 和 10.75 μm ,相差不大,两者细胞长宽比分别为 8.11 和 3.26。两者高度分别为

15.87 μm 和 35.92 μm ,前者为后者的 1/2 左右。

2.3.4 轴向薄壁细胞 图 4④为巴里黄檀的轴向薄壁细胞,其细胞几何形态特征见表 4。细胞形态主要为两端尖削形(G、H)或近似长方形(I),就平均值:长与宽分别为 129.40 μm 和 23.14 μm ;长宽比为 5.79。

2.3.5 结晶细胞 图 4⑤(F)为巴里黄檀的链状结

表 3 木射线细胞几何形态

Table 3 Geometry morphology of xylem wood ray cells

细胞形态		长/ μm	宽/ μm	高/ μm	长宽比
横卧	值域	103.47~108.36	12.17~14.23	10.55~17.84	6.31~1.02
	平均值	105.78	13.62	15.87	8.11
方形	值域	33.82~37.63	7.41~11.32	31.52~38.70	1.89~5.03
	平均值	36.28	10.75	35.92	3.26

表 4 轴向薄壁细胞几何形态

Table 4 Geometry morphology of axial parenchyma cells

指标	长/ μm	宽/ μm	长宽比
值域	91.7.7~251.1	11.93~39.17	3.68~7.22
平均值	129.40	23.14	5.79

晶细胞:都是由轴向薄壁细胞转化而来,A 到 F 是一个转变过程,链内晶体颗粒为 5~15 颗,细胞壁上纹孔均为单纹孔。

2.4 材色

巴里黄檀材色测定结果如表 5 所示:采用佐道健^[14]的方法对 CIE $L^* a^* b^*$ 色度空间进行处理,转换成孟塞尔色度空间进一步对比分析。

表 5 巴里黄檀木材材色测定结果

Table 5 Results of wood colour determination for *D. bariensis* wood

CIE(1976) $L^* a^* b^*$ 色度空间			孟塞尔色度空间		
L^*	a^*	b^*	V	H	C
39.07	17.10	15.59	2.74	7.08	12.95

由表 5 可知,试材的 L^* 值为 39.07,明度相对

表 6 巴里黄檀木材的表面接触角($\theta/^\circ$)

Table 6 The surface contact angle of *D. bariensis* wood

0	4	8	12	16	20	24	28	32	38	40	变化率/ $\%$
66.69	65.36	64.64	64.41	63.98	63.16	62.59	62.11	61.86	61.29	60.91	8.67

3 结论与讨论

1)宏观结构 巴里黄檀为散孔材,生长轮较明显,心材红褐色至栗褐色,管孔呈圆形或椭圆形;轴向薄壁组织丰富,呈聚翼状及傍管带状,局部与木射线交织在一起,呈较明显的网状结构;木射线与波痕肉眼下略明显,纹理交错,结构细。木纤维细胞腔小壁厚,排列紧密无规则,在横切面上大多呈椭圆形等;水浸湿木材具有酸味。

2)微观结构及各类细胞形态 巴里黄檀导管细胞多数单管孔及径列复管孔,偶见管孔团,管孔呈圆柱形、纺锤形、鼓形和矩形,管间纹孔为互列式具缘纹孔,管孔中富含树胶。导管细胞形态各异:鼓形导管细胞最多,占 79.42%,其长宽比为 0.73;纺锤形

较低,属于深材色树种,其 a^* 和 b^* 值均为正数,说明巴里黄檀木材的色调范围在红色和黄色区域内;由 CIE $L^* a^* b^*$ 色度空间向孟塞尔色度空间的转换; V 为颜色的亮度,即明度。 C 为颜色的鲜艳程度,即饱和度。 H 为颜色的总体倾向,即色调号。从孟塞尔色度空间可知巴里黄檀木材的 C 值为 12.95,为低饱和度;巴里黄檀的色调号为 7.08 YR,材色相落在 YR(0< H <10)区域,以低饱和度的红黄色调为主^[16]。

2.5 表面接触角

巴里黄檀木材的表面接触角变化如表 6 所示:木质材料的表面接触角不仅受其本身表面自由能的影响,而且还与其表面密度、纹理、粗糙度及其它表面状态有关^[18]。

当表面接触角 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时,固体表面是亲水表面。由表 6 可知,巴里黄檀木材表面接触角 $< 90^\circ$,属于亲水表面;在 40 s 的时间变化范围内,巴里黄檀的表面接触角则变化 5.78° ,下降了 8.67%;巴里黄檀的表面接触角始终以较为平缓的变化递减,亲水湿润性较好。

导管细胞最少,占 1.97%,其长宽比为 4.37;圆柱形导管细胞占 3.91%,其长宽比为 1.80;矩形导管细胞占 14.70%,其长宽比为 1.11。木纤维中细长纺锤形初型纤维居多,少数木纤维端部呈树枝状分歧,细胞壁上具裂隙状具缘纹孔。细胞壁腔比 0.89,腔小壁厚,长宽比为 56.26。木射线主要有横卧射线细胞和方形射线细胞,射线组织为同形单列及多列,少数异形Ⅲ型,宽 3~5 个细胞,高 10~15 个细胞。2 种射线细胞形态差异较大:长,横卧细胞为方形细胞的 3 倍左右;宽,相差较小;高,横卧细胞为方形细胞的 1/2 左右;2 种细胞长宽比分别为 8.11 和 3.26。轴向薄壁组织丰富,主要为呈翼状、聚翼状、细线状(带状),轴向细胞串一般为 2 细胞,与木射线构成网状结构,部分薄壁细胞及射线细胞含深色内

含物。轴向薄壁细胞和射线细胞中含有较多结晶细胞。薄壁细胞长与宽分别为 129. 40 μm 和 23. 14 μm ;长宽比为 5. 79。

3)巴里黄檀木材的材色明度较低,属于深材色树种,木材的色彩饱和度较低,色相以低饱和度的红黄色调为主。

4)巴里黄檀木材属于亲水性材料,在 40 s 时间变化范围内,其表面接触角变化 5. 78°,亲水湿润性较好。

通过对巴里黄檀进行以上宏观、微观构造特征分析,为红木类木材的识别与鉴定提供理论依据,丰富木材识别鉴定的基础理论。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家质量技术监督局. GB/T18107-2000 中华人民共和国标准《红木》[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

[2] 李洋. 疯狂炒作红木的代价[J]. 建筑·建材·装饰,2012(1): 36-39.

[3] 杨凌,陈春艳. 红木家具简易鉴别[J]. 中国质量技术监督,2006 (10):60.

[4] 史树青. 明清家具[M]. 北京:中国水利出版社,2005:13-14.

[5] 张贝,徐峰. 5 种假冒降香黄檀木材解剖构造及识别研究[J]. 绿色科技,2014 (9):250-254.

[6] 戴天虹,王克奇,白雪冰,等. 基于神经网络和颜色特征对木材进行分级的分析[J]. 森林工程,2006,22(1):18-20.

[7] 祁亨年,陈丰农,方陆明,等. 一种基于形态学的木材导管图像分割方法[J]. 北京林业大学学报,2008,30(4):12-16.

QI H N, CHEN F N, FANG L M, *et al.* A method for wood pore image segmentation based on mathematical morphology [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30 (4): 12-16. (in Chinese)

[8] 赵敏,陈瑞英. 2 种条纹乌木木材的构造特征[J]. 森林与环境学报,2016,36(3):289-294.

ZHAO M, CHEN R Y. Structural characteristics of two species of striped ebony wood[J]. Journal of Forest and Environment, 2016, 36(3): 289-294. (in Chinese)

[9] 杨忠,江泽慧,吕斌. 红木的近红外光谱分析光谱学与光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(9):2405-2408.

YANG Z, JIANG Z H, LV B. Investigation of nnear infrared

spectroscopy of rosewood [J]. Journal of Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(9): 2405-2408. (in Chinese)

[10] 倪茜茜,祁亨年,周竹,等. 基于高光谱成像技术的红酸枝木材种类识别[J]. 浙江农林大学学报,2016,33(3):489-494.

NI Q Q, QI H N, ZHOU Z, *et al.* Identifying *Dalbergia* spp. wood with hyperspectral imaging technology [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2016, 33(3): 489-494. (in Chinese)

[11] 雷福娟,陈桂丹,黄腾华,等. 楠木及其相似树种木材构造的比较分析[J]. 西北林学院学报,2018,33(2):180-187.

LEI F J, CHEN G D, HUANG T H, *et al.* Comparison of the wood structure of phoebe sp. and its similar species [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 180-187. (in Chinese)

[12] 刘顺治,李清芸,林金国,等. 基于抽提液成分分析的黄檀属和紫檀属红木的鉴别[J]. 西北林学院学报,2016,31(2):264-267.

LIU S Z, LI Q Y, LIN J G, *et al.* Identification of six rosewoods in dalbergia genus and pterocarpus genus based on the composition analysis of their extractives [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 264-267. (in Chinese)

[13] 陈桂丹,黄腾华,雷福娟,等. 闽楠木材解剖构造特征研究[J]. 广西林业科学,2017,46(4):375-379.

[14] 佐健道. 机器 c: 上 6 测定值办·6 视觉值一。换算一一 Lab 表色系 o. 6 复二,七 J. 表色系一。换算[J]. 木材工业(日), 1985, 40(12): 19-20.

[15] 侯新毅,姜笑梅,殷亚方. 从色度学参数研究 3 种桉树木材的透明涂饰性能[J]. 林业科学,2006,42(8):57-62.

HOU X Y, JIANG X M, YIN Y F. Study on clear painting properties for three eucalyptus plantation woods from the chromatic parameters [J]. Journal of Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(8): 57-62. (in Chinese)

[16] 柯丽丽. 常用装饰木材表面特性及美感度的研究[D]. 福州:福建农林大学,2009.

[17] 邓海秀. 浅谈巴里黄檀与奥氏黄檀[J]. 家具,2009(1):94-96.

[18] 魏鑫,秦志永,陈复明,等. 4 种东南亚黄檀属红木的表面润湿性能[J]. 西北林学院学报,2017,32(6):240-244.

WEI X, QIN Z Y, CHEN F M, *et al.* Surface wettability of four kinds of dalbergia rosewoods in Southeast Asia [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(6): 240-244. (in Chinese)