

# 交趾黄檀和奥氏黄檀木材解剖构造比较

黄广华<sup>1</sup>,金 浩<sup>1</sup>,陈瑞英<sup>2\*</sup>,陈居静<sup>3</sup>

(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:**通过观察比较交趾黄檀和奥氏黄檀木材的宏观、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。结果表明,两者均为散孔材,生长轮明显;心材均黄褐色至红褐色;管孔类型均以单管孔为主,偶见径列复管孔;管孔内红褐色树胶明显。交趾黄檀导管细胞以圆柱形细胞为主,而奥氏黄檀导管细胞以鼓形导管细胞为主,两者均有矩形细胞,而纺锤形细胞只在交趾黄檀中可见。两者木纤维均腔小壁厚,壁腔比分别为 0.72 和 0.57;木纤维细胞在横切面均以椭圆形、多角形为主;在纵切面呈纺锤形,少数奥氏黄檀木纤维末端呈树枝状分歧。两者轴向薄壁细胞丰富,在横切面上为同心层式窄带状,其中交趾黄檀在宽度上较奥氏黄檀多 1~2 个细胞。纵切面上均呈长方形或近似长方形。交趾黄檀和奥氏黄檀木射线均由横卧射线细胞组成,两者木射线高度相对接近,两者长宽比分别为 6.08 和 9.23,即前者长宽比较后者小。交趾黄檀和奥氏黄檀均含分室含晶细胞,前者结晶细胞较后者少。

**关键词:**交趾黄檀;奥氏黄檀;宏观构造;微观结构

**中图分类号:**S781.1      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2020)06-0228-06

## Comparison of Wood Anatomical Structures between *Dalbergia cochinchinensis* and *Dalbergia oliveri*

HUANG Guang-hua<sup>1</sup>, JIN Hao<sup>1</sup>, CHEN Rui-ying<sup>2\*</sup>, CHEN Ju-jing<sup>3</sup>

(1. College of Architecture 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 macroscopical and microscopic structures of the woods of *Dalbergia cochinchinensis* and *D. oliveri* were observed and compared. Combined with the image measurement and analysis system, the morphological characteristics of various cells were determined and analyzed. The results showed that the woods of *D. cochinchinensis* and *D. oliveri* were porous materials with obvious growth rings; the heartwoods of two species were yellowish brown to reddish brown; the types of tube holes were mainly single tube type, occasionally double tube type with diameter row; the red brown gum in the tube holes was obvious. The *D. cochinchinensis* vessel cells were mainly cylindrical, while the *D. oliveri* vessel cells were mainly drum duct, both of which were rectangular, while spindle-shaped cells were only visible in *D. cochinchinensis*. Both wood fibers had a thick wall and a wall cavity ratio of 0.72 and 0.57, respectively. From the cross-section, wood fiber cells were mainly elliptical and polygonal. From the longitudinal aspect, it was spindle-shaped, and occasionally the end of the aul-rosewood fiber was dendritic. The two woods were rich in axial thin-walled cells, with a concentric layer of narrow bands on the transverse plane, in which the *D. co-*

收稿日期:2019-12-20 修回日期:2020-05-12

基金项目:国家自然科学基金(30271057);福建省中青年教育科研资助项目(JZ180807)。

作者简介:黄广华,硕士,副教授。研究方向:木材科学与技术。E-mail:450204123@qq.com

\*通信作者:陈瑞英,教授,博士生导师。研究方向:木材科学与技术。E-mail:fery56490@163.com

*chinchinensis* had 1—2 more cells in width than *D. oliveri*. The longitudinal section was rectangular or approximately rectangular. The wood rays were composed of transverse ray cells. The height of the wood ray dimensions was relatively close. The aspect ratios of the two woods were 6.08 and 9.23, respectively, i. e., the length and width of the former was smaller than the latter. The two woods contained chain crystalline cells, and the former crystal cells were less than the latter.

**Key words:** *Dalbergia cochinchinensis*; *D. oliveri*; macrostructure; microstructure

交趾黄檀(*Dalbergia cochinchinensis*)和奥氏黄檀(*Dalbergia oliveri*)均属于豆科(Leguminosae)蝶形花亚科(Papilionoideae)黄檀属(*Dalbergia*),属于红酸枝木。根据“GB/T18107-2017 中华人民共和国标准《红木》”,红酸枝是红木五属八类中的重要一类<sup>[1]</sup>。红木市场上,酸枝木愈来愈受青睐,但区分难度较大,许多商家以次充好,以假乱真现象时有发生<sup>[2-3]</sup>。对交趾黄檀和奥氏黄檀的解剖结构进行对比分析,希望有助于对红酸枝木的识别起到抛砖引玉的作用,对规范红酸枝木材市场秩序和保护消费者的利益起到一定的帮助。许多专家学者采用不同方法对各种名贵木材、特别是红木的结构、性能、识别做了广泛的研究<sup>[4-12]</sup>。对交趾黄檀和奥氏黄檀的木材解剖构造对比分析未见报道。本研究旨在对红酸枝木中 2 种木材的微观构造以及各种细胞的形态特征进行研究,为认识及识别交趾黄檀和奥氏黄檀提供参考,丰富红木木材科学的内涵。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

交趾黄檀和奥氏黄檀木材试样由福建省华闽古典艺术家具有限公司提供提供。2 种木材各选取试材两边、中间的不同部位制成纵向×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。

### 1.2 主要仪器与设备

试验主要仪器与设备有: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)、以及放大镜、光学显微镜等。

### 1.3 方法

1.3.1 宏观结构 在肉眼及放大镜下,通过三切面分别观察 2 种试材的心材颜色、生长轮、波痕、木材纹理及管孔等宏观构造特征。

1.3.2 微观结构 采用富兰克林离析法制作临时切片,在显微镜下分别观察 2 种不同试材的导管、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<sup>[13-19]</sup>。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。

## 2 结果与分析

### 2.1 宏观构造

交趾黄檀和奥氏黄檀宏观构造如图 1 所示。二者均为散孔材,肉眼下管孔依稀可见;生长轮较明显;木射线肉眼下依稀可见,放大镜下观察较为明显;波痕清晰可见;轴向薄壁组织线状、翼状;结构细。二者区别:交趾黄檀心材紫红褐至暗红色,纹理较直,奥氏黄檀心材柠檬红至深红褐色,局部纹理交错;前者管孔内含褐色树胶较少,后者明显较多,前者酸香气比后者弱,前者轴向薄壁组织与木射线交叉呈网状;后者无交织。

### 2.2 微观结构

图 2 和图 3 分别为交趾黄檀和奥氏黄檀的微观结构。试材由导管、木纤维、轴向薄壁细胞、木射线、结晶细胞等组成,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。

交趾黄檀和奥氏黄檀:单位面积的管孔数,前者 2.2~4.8 个·mm<sup>-2</sup>(平均 3.6 个·mm<sup>-2</sup>),后者 1.9~3.3 个·mm<sup>-2</sup>(平均 2.8 个·mm<sup>-2</sup>);管孔弦向直径,前者 71.5~182.3 μm(平均 84.3 μm),后者 51.2~169.3 μm(平均 124.9 μm)。二者管孔在横切面上呈圆形、卵圆形分散排列,管孔内均含红褐色树胶,管孔类型均以单管孔为主,少数为径列数 2~4 个的复管孔;导管在纵切面上均呈圆柱形,单穿孔,管壁上呈现具缘纹孔(图 2、图 3 中的 1)。

交趾黄檀和奥氏黄檀木纤维排列紧密,细胞腔小壁厚,横切面上大多呈多角形、椭圆形;少数为扁平状;纵切面上木纤维两端为纺锤形;后者木纤维末端呈树枝状分歧。细胞壁上纹孔均少见(图 2、图 3 中的 2)。

交趾黄檀和奥氏黄檀轴向薄壁组织丰富,二者在横切面上均明显可见,同心窄带状分布较多,星散状、傍管型翼状、聚翼状等分布类型略可见;在纵切面上一般呈长方形、近似长方形结构;轴向薄壁组织的宽度:前者约为 1~6 个细胞,后者约为 2~4 个细胞(图 2、图 3 中的 3)。



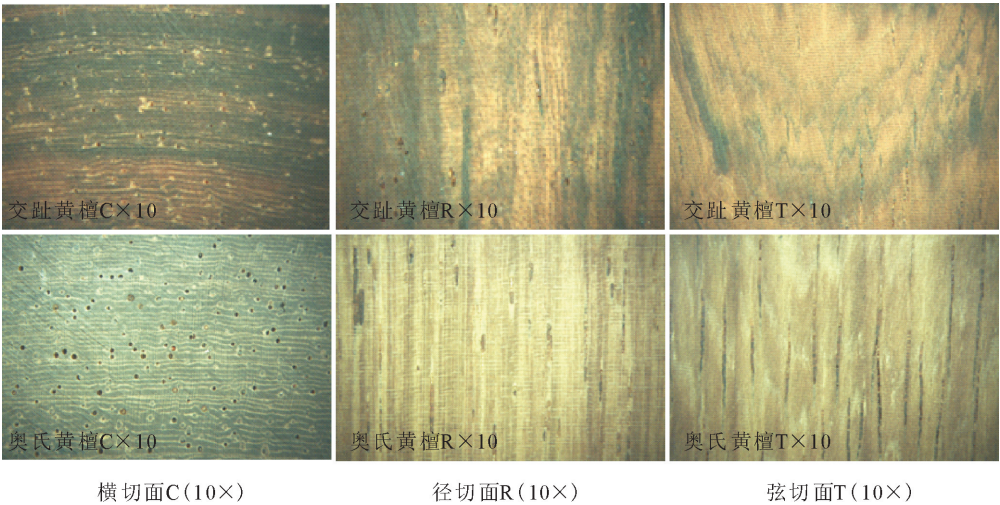
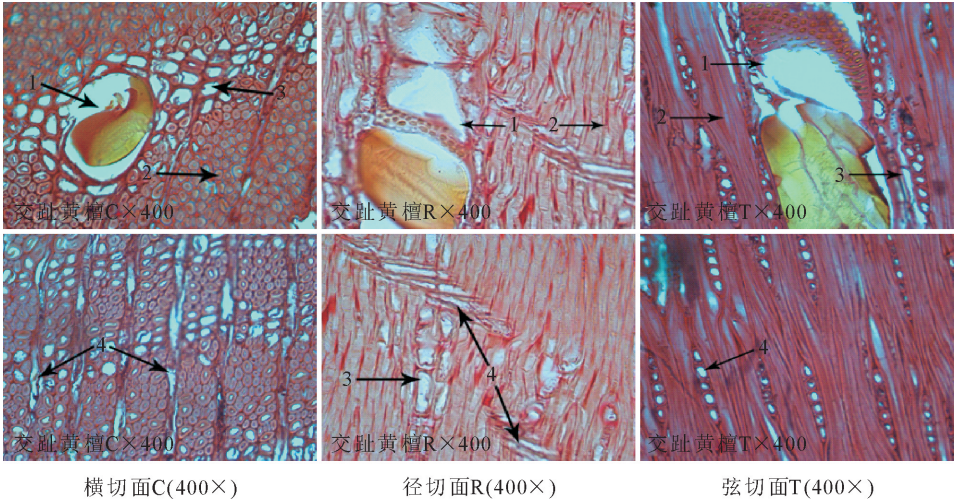


图 1 交趾黄檀和奥氏黄檀木材三切面宏观构造

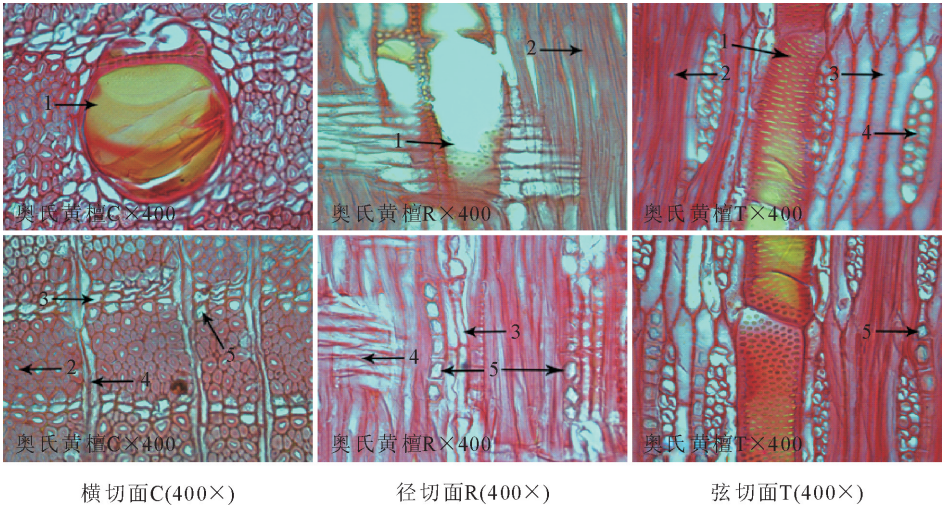
Fig. 1 The section macrostructure of *D. cochinchinensis* and *D. oliveri*



注: 1. 导管; 2. 木纤维; 3. 轴向薄壁细胞; 4. 木射线。

图 2 交趾黄檀三切面(400×)

Fig. 2 Tri-section of *D. cochinchinensis* (400×)



注: 1. 导管; 2. 木纤维; 3. 轴向薄壁细胞; 4. 木射线; 5. 分室含晶细胞。

图 3 奥氏黄檀三切面(400×)

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



交趾黄檀和奥氏黄檀木射线的主要细胞为横卧射线细胞,前者以同形单列为主,偶见 2 列,宽 1~2 个细胞,高 6~14 个细胞(多数 6~10 个细胞);少数含深色内含物。后者射线类型以同形 2 列为主,部分有异Ⅲ型倾向,射线宽 2 个细胞,高 7~10 个细胞(多数 5~6 个细胞)(图 2、图 3 中的 4)。

交趾黄檀和奥氏黄檀均分室含晶细胞,前者含量少,而后者含量丰富。这些结晶细胞在横切面上呈菱形结构,在纵切面上呈六边形,只有少数呈菱形(图 2、图 3 中的 5)。

2.3 细胞形态

交趾黄檀和奥氏黄檀的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,其细胞形态依次见图 4~图 8。

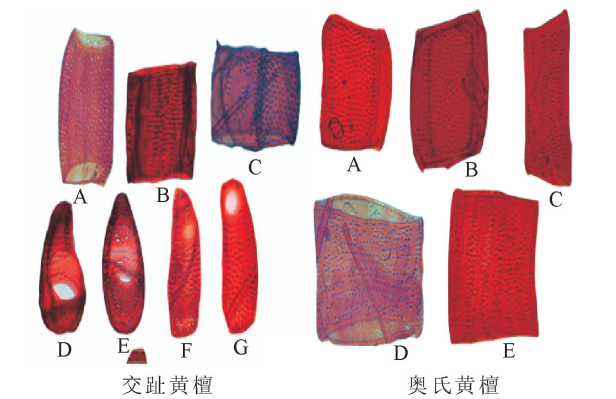


图 4 导管细胞的形态(400×)  
Fig. 4 Shape of the vessel cells (400×)

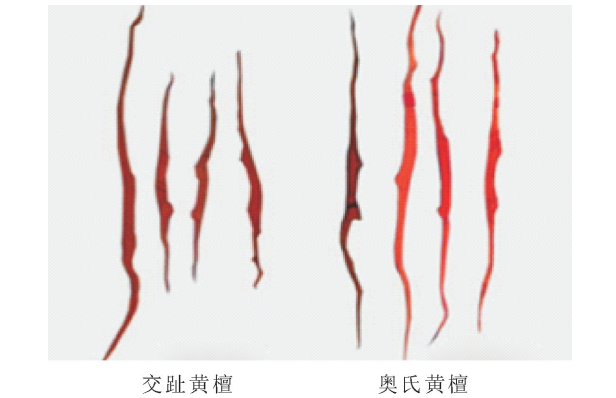


图 5 木纤维细胞的形态(400×)  
Fig. 5 Shape of the wood fiber cells (400×)

2.3.1 导管细胞 交趾黄檀导管细胞如图 4 中左图所示,图中 A 为圆柱形导管细胞,占导管细胞的 44.56%,其长宽比平均为 2.43;F、G 为纺锤形导管细胞,占导管细胞的 26.73%,其长宽比平均为 3.66;B 为矩形导管细胞,占导管细胞的 24.75%,其长宽比平均为 1.18;C 为鼓形导管细胞,占导管细胞的 3.96%,其长宽比平均为 0.95。

奥氏黄檀导管细胞如图 4 中右图所示,图中 D

为鼓形导管细胞,占导管细胞的 57.43%,其长宽比平均为 0.83;A、B、E 为矩形导管细胞,占导管细胞的 31.68%,其长宽比平均为 1.15;C 为圆柱形导管细胞,占导管细胞的 10.89%,其长宽比平均为 2.67。二者导管细胞中,交趾黄檀以圆柱形、纺锤形、矩形为主,而奥氏黄檀以鼓形、矩形、圆柱形为主。另外,交趾黄檀具有一头尖削,另一头钝平,类似“靠背椅”形状的导管细胞(图 4D、图 4E),而奥氏黄檀中未见。具体导管细胞几何形态见表 1。

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。

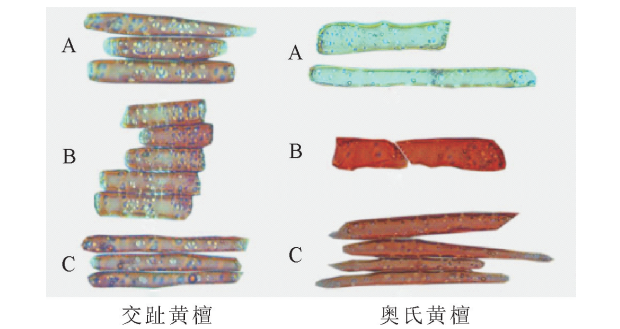


图 6 木射线细胞的形态(400×)  
Fig. 6 Shape of the xylem ray cells (400×)

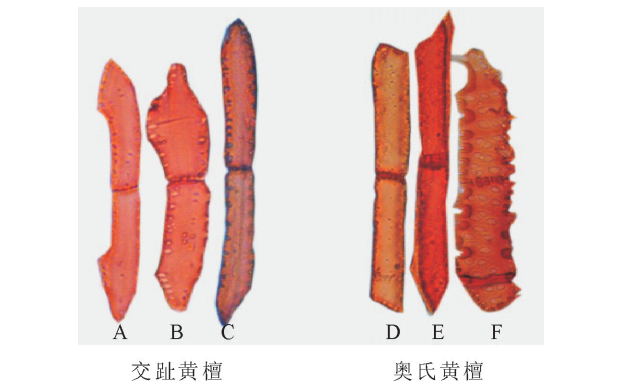


图 7 轴向薄壁细胞的形态(400×)  
Fig. 7 Shape of the axial parenchyma cells (400×)

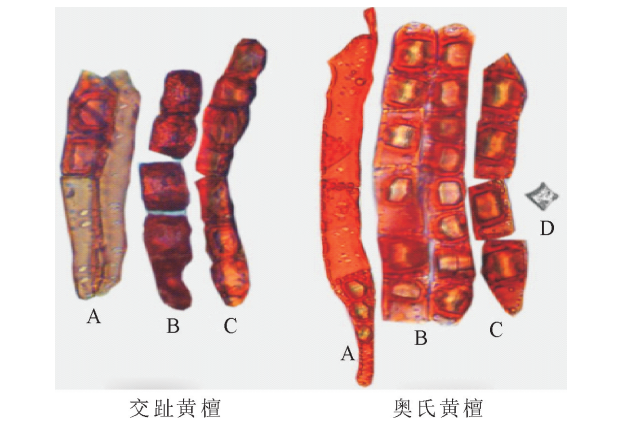


图 8 结晶细胞的形态(400×)  
Fig. 8 Shape of Crystallogeneous cell (400×)



表 1 导管细胞几何形态  
Table 1 Geometry morphological of vessel cells

树种	细胞形态		长度 L/ $\mu\text{m}$	宽度 W/ $\mu\text{m}$	长宽比 L/W	比例/%
交趾黄檀	圆柱形	值域	184.72~241.84	64.71~100.72	1.83~3.74	44.56
		平均值	208.15	85.61	2.43	
	纺锤形	值域	186.71~242.25	47.63~72.52	2.57~5.09	26.73
		平均值	215.11	58.82	3.66	
	矩形	值域	120.50~233.12	90.28~185.71	0.65~2.58	24.75
		平均值	183.84	155.75	1.18	
奥氏黄檀	鼓形	值域	112.87~171.39	122.21~173.52	0.65~1.40	3.96
		平均值	132.33	139.34	0.95	
	鼓形	值域	109.12~245.87	111.53~312.52	0.35~2.20	57.43
		平均值	198.47	238.42	0.83	
	矩形	值域	106.23~257.27	89.44~242.03	0.44~2.88	31.68
		平均值	210.25	183.62	1.15	
	圆柱形	值域	197.81~254.52	53.44~114.17	1.73~4.76	10.89
		平均值	222.11	83.28	2.67	

2.3.2 木纤维 交趾黄檀和奥氏黄檀木纤维见图 5,细胞形态均为腔小壁厚,以细长纺锤形韧型纤维为主,其中,前者细胞壁腔比 0.72,长宽比为 56.19;后者细胞壁腔比 0.57,长宽比为 43.95。二者均有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。其细胞几何形态特征见表 2。

2.3.3 木射线 交趾黄檀和奥氏黄檀的木射线细

胞:前者为叠生横卧射线细胞(图 6 左边 A、B、C);后者为叠生横卧射线细胞(图 6 右边 A、C)及少数单列射线细胞(图 6 右边 B),其细胞几何形态见表 3。

由表 3 可知,交趾黄檀和奥氏黄檀木射线高度相对接近,二者长宽比分别为 6.08 和 9.23,即前者长宽比较后者小。

表 2 木纤维细胞几何形态  
Table 2 Geometry morphology of wood fiber cells

树种		壁厚 T/ $\mu\text{m}$	腔径 D/ $\mu\text{m}$	壁腔比 T/D	长度 L/ $\mu\text{m}$	宽度 W/ $\mu\text{m}$	长宽比 L/W
交趾黄檀	值域	4.77~10.28	6.13~12.44	0.38~1.68	236.51~1379.87	10.34~30.98	7.63~133.16
	平均值	6.67	9.23	0.72	1105.34	19.67	56.19
奥氏黄檀	值域	3.65~9.74	5.23~11.87	0.31~1.86	837.33~1938.14	13.42~28.65	29.23~144.42
	平均值	4.26	7.53	0.57	939.21	21.37	43.95

表 3 木射线细胞几何形态  
Table 3 Geometry morphology of xylem wood ray cells

树种	细胞形态		长度 L/ $\mu\text{m}$	宽度 W/ $\mu\text{m}$	高度 H/ $\mu\text{m}$	长宽比 L/W
交趾黄檀	横卧	值域	52.31~104.21	11.26~13.87	8.77~24.63	3.77~7.51
		平均值	75.76	12.47	15.25	6.08
奥氏黄檀	横卧	值域	80.24~126.24	8.41~13.02	9.88~23.59	6.16~15.01
		平均值	109.47	11.86	16.64	9.23

表 4 轴向薄壁细胞几何形态  
Table 4 Geometry morphology of axial parenchyma cells

树种			长度 L/ $\mu\text{m}$	宽度 W/ $\mu\text{m}$	长宽比 L/W
交趾黄檀	值域	平均值	37.36~249.96	13.74~37.49	0.99~18.19
		平均值	102.65	20.9	4.91
奥氏黄檀	值域	平均值	86.02~143.45	17.17~41.45	2.07~8.35
		平均值	113.76	24.88	4.57

2.3.4 轴向薄壁细胞 交趾黄檀和奥氏黄檀轴向薄壁细胞见图 7,二者均为两端尖削形或近似长方

形,2 个细胞为一串,总体上前者的细胞形体较后者短:前者细胞长度 37.36~249.96  $\mu\text{m}$ ,后者细胞

长 86.02~143.45  $\mu\text{m}$ 。

2.3.5 结晶细胞 交趾黄檀和奥氏黄檀结晶细胞见图 8,它们是从轴向薄壁细胞变形而来,是轴向薄壁细胞的变态细胞,呈链状,其链内晶体颗粒:前者 2~5 颗,后者 4~8 颗。结晶细胞的形态各异,其中奥氏黄檀中有尖削型(A)和钝平型(B),结晶细胞内的晶体在纵切面上和横切面上均呈现菱形(C、D)。

### 3 结论与讨论

宏观结构:交趾黄檀和奥氏黄檀均为散孔材;生长轮较明显;心材黄褐色至红褐色;木射线和波痕在放大镜下均较为明显;轴向薄壁组织以同心层式线状、翼状为主;结构较细。二者区别:交趾黄檀纹理交错,奥氏黄檀纹理较直;前者管孔内含褐色树胶较少,后者明显较多,前者酸香气比后者弱,后者轴向薄壁组织局部与木射线无交织,后者局部交织呈网状。

微观结构及各类细胞形态:交趾黄檀和奥氏黄檀管孔类型均以单管孔为主,少数径列径列复管孔,单位面积平均管孔数分别为  $3.6\text{ 个}\cdot\text{mm}^{-2}$  和  $2.8\text{ 个}\cdot\text{mm}^{-2}$ ,管孔弦向直径平均值分别为  $84.3\text{ }\mu\text{m}$  和  $124.9\text{ }\mu\text{m}$ ;在横切面上管孔均呈分散型排列,管孔内均含深色内含物。二者纵切面上导管均呈圆柱形,单穿孔,导管壁上均有具缘纹孔。交趾黄檀导管的主要细胞形态以圆柱形导管细胞为主,占导管细胞的 44.56%,鼓形细胞最少只占 3.96%。而奥氏黄檀导管的主要细胞形态以鼓形为主,占导管细胞的 57.43%,圆柱形细胞最少只占 10.89%。两者均有矩形细胞,而纺锤形细胞只在交趾黄檀中可见。

交趾黄檀和奥氏黄檀木纤维腔小壁厚,两者木纤维壁腔比分别为 0.72 和 0.57;在横切面上细胞均以椭圆形、多角形为主;纵切面上木纤维呈纺锤形结构,奥氏黄檀少数木纤维末端具有树枝状分歧。

交趾黄檀和奥氏黄檀轴向薄壁细胞丰富,在横切面上为同心层式窄带状,其中前者在宽度上较后者多 1~2 细胞。纵切面上均呈长方形或近似长方形。

交趾黄檀和奥氏黄檀木射线均由横卧射线细胞组成,前者类型主要为同形单列,内含有深色内含物。后者在某些射线群的上下两端偶见细胞高度略高的射线细胞。二者木射线维长宽比分别为 6.08 和 9.23,即前者长宽比较后者小。

分室含晶细胞在交趾黄檀和奥氏黄檀均可见,横切面上以菱形为主,纵切面上以六边形为主,前者结晶细胞数量比后者少。

通过对交趾黄檀和奥氏黄檀进行以上宏观、微观构造特征分析比较;为黄檀属木材以及红木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/T18107-2017 中华人民共和国标准《红木》[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

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

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

[4] 赵敏,陈瑞英. 微凹黄檀木材的构造特征[J]. 安徽农学通报,2016,22(1):9-10.

ZHAO M, CHEN R Y. The structural characteristics of *dalbergia retusa* wood[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. Bull, 2016, 22(1):9-10. (in Chinese)

[5] 张友元,夏玉芳,许建初. 香椿木材解剖构造及其物理力学性质[J]. 植物分类与资源学报,2013,35(5):641-646.

ZHANG Y Y, XIA Y F, XU J C, *et al.* Wood anatomy and physical and mechanical properties of *Toona sinensis* (Meliaceae) [J]. Plant Diversity and Resources, 2013, 35(5):641-646. (in Chinese)

[6] 熊伟,徐朝阳. 红木的宏观识别初探[J]. 江苏林业科技,2006,3(3):28-30.

[7] 孙书冬,周旭,罗圻. 等. 四种红酸枝木类树种的鉴别[J]. 林产工业,2012,39(3):50-54.

[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. St ructural characteristics of two species of striped ebony wood [J]. Journal of Forest and Environment, 2016, 36(3):289-294. (in Chinese)

[9] 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.

ZHANG B, XU F. Research of anatomical structures and identification of five fake *dalbergiaodorifera* woods[J]. Journal of Green Science and Technology, 2014(9):250-254. (in Chinese)

[10] 赵敏,陈瑞英. 3 种鸡翅木木材的各类细胞属性[J]. 福建林业科技,2016,43(4):79-84.

ZHAO M, CHEN R Y. The properties of all kinds of cells of three kinds of chicken-wing wood[J]. Jour. of Fujian Forestry Sci. and Tech, 2016, 43(4):79-84. (in Chinese)

[11] 施福军,刘晓玲,韦鹏练,等. 琼楠木材生材性质研究[J]. 森林工程,2019,35(4):39-42.

[12] 罗真付,张雪峰,潘彪. 等. 越南香枝木解剖构造及物理力学性能研究[J]. 安徽农业大学学报,2012,39(4):493-496.

LUO Z F, ZHANG X F, PAN B, *et al.* Anatomy structure and physical and mechanical properties of *Dalbergia tonkinensis* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2012, 39(4):493-496. (in Chinese)

[13] 黄广华,陈瑞英,陈居静,巴里黄檀木材解剖构造颜色及接触角研究[J]. 西北林学院学报,2019,34(2):234-239.

HUANG G H, CHEN R Y, CHEN J J, *et al.* Study on anatomical structural, color and contact angle of *Dalbergia barbiensis* wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(2):234-239. (in Chinese)



based on SWAT model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(16): 241-250. (in Chinese)

[23] KONG F, NAKAGOSHI N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 78(3): 147-164.

[24] CALDER6N-CONTRERAS R, QUIROZ-ROSAS L E. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of urban ecosystem services: a case from Mexico city[J]. Ecosystem Services, 2017, 23: 127-137.

[25] COLDING J. ‘Ecological land-use complementation’ for building resilience in urban ecosystems[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 81(1): 46-55.

[26] 申世广, 范晨璟, 王浩, 等. 基于土地适宜性评价的黑虎山风景区保护与利用[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2): 202-206.

SHEN S G, FAN C J, WANG H, *et al.* Protection and development of the scenic spots in Heihushan based on land ecological suitability evaluation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 202-206. (in Chinese)

[27] LAI Z, LI S, DENG Y, *et al.* Development of a polder module in the SWAT model: SWATpld for simulating polder areas in Southeastern China[J]. Hydrological Processes, 2018, 32(8): 1050-1062.

[28] 刘颂, 何蓓. 基于 MSPA 的区域绿色基础设施构建——以苏锡常地区为例[J]. 风景园林, 2017(8): 98-104.

LIU S, HE B. Construction of Regional green infrastructure based on MSPA——case study on Suzhou-Wuxi-Changzhou area[J]. Landscape Architecture, 2017(8): 98-104. (in Chinese)

[29] 魏家星, 宋轶, 王云才, 等. 基于空间优先级的快速城市化地区绿色基础设施网络构建——以南京市浦口区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1178-1188.

WEI J X, SONG Y, WANG Y C, *et al.* Urban green infrastructure building for sustainability in areas of rapid urbanization based on evaluating spatial priority: a case study of Pukou in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): 1178-1188. (in Chinese)

[30] 杨志广, 蒋志云, 郭程轩, 等. 基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3367-3376.

YANG Z G, JIANG Z Y, GUO C X, *et al.* Construction of ecological network using morphological spatial pattern analysis and minimal cumulative resistance models in Guangzhou city, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3367-3376. (in Chinese)

[31] ZHANG Z, MEEROW S, NEWELL J P, *et al.* Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 38: 305-317.

[32] YU Q, YUE D, WANG J, *et al.* The optimization of urban ecological infrastructure network based on the changes of county landscape patterns: a typical case study of ecological fragile zone located at Dengkou (Inner Mongolia)[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 163: S54-S67.

[33] USTA OGLU E, AYDINOGLU A. Site suitability analysis for green space development of Pendik district (Turkey)[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 126: 542.

[34] LANGEMEYER J, WEDGWOOD D, MCPHEARSON T, *et al.* Creating urban green infrastructure where it is needed—a spatial ecosystem service——based decision analysis of green roofs in Barcelona[J]. Science of The Total Environment, 2019, 135: 487.

[35] ZHANG S, MUÑOZ RAMÍREZ F. Assessing and mapping ecosystem services to support urban green infrastructure: the case of Barcelona, Spain[J]. Cities, 2019, 92: 59-70.

[36] 刘佳, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于电路理论的南京城市绿色基础设施格局优化[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4363-4372.

LIU J, YIN H W, KONG F H, *et al.* Structure optimization of circuit theory-based green infrastructure in Nanjing, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): 4363-4372. (in Chinese)

(上接第 233 页)

[14] 李明月, 沈华杰, 邱坚. 杜鹃花属 2 种木材解剖构造对比及平枝栒子解剖构造分析[J]. 广西林业科学, 2017, 46(3): 257-261.

LI M Y, SHEN H J, QIU J. Comparison of wood anatomical structure of two rhododendron Species and anatomical structure analysis of *Cotoneaster horizontalis*[J]. Guangxi Forestry Science, 2017, 46(3): 257-261. (in Chinese)

[15] 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)

[16] 王鹏程, 刘君, 汪佑宏, 等. 唐竹秆枝纤维形态特征的研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(5): 208-211.

WANG P C, LIU J, WANG Y H, *et al.* Fiber morphological characteristics of the stalks and branches of *Sinobambusa tootsik*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(5): 208-211. (in Chinese)

[17] 陈桂丹, 陈艳, 冯沁雄, 等. 天然林闽楠木材纤维形态径向变异研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 217-222.

CHEN G D, CHEN Y, FENG Q X, *et al.* Radial variations of fiber morphology fou *Phoebe bournei* wood from natural forest[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(4): 217-222. (in Chinese)

[18] 郭秀荣, 马超, 王迎辉, 等. 基于 LabVIEW 的等离子木纤维净化器性能检测系统设计[J]. 森林工程, 2018, 34(2): 70-73.

[19] 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.

CHEN G D, HUANG T H, LEI F J, *et al.* The wood anatomical structural characteristics for *Phoebe bournei*[J]. Guangxi Forestry Science, 2017, 46(4): 375-379. (in Chinese)