

假冒檀香紫檀的 2 种木材的研究与鉴定

张静涵,王明豪,林 巧,骆嘉言*

(南京林业大学 材料科学与工程学院,江苏 南京 210037)

摘 要:以苏州某家具厂提供的 2 个家具构件(记为 A 和 B)为对象,对家具构件取样、切片、染色以及对标准三切片进行观察、鉴定。结果表明,A 家具构件树种为豆科印度苏木属的二出印度苏木,B 家具构件树种为使君子科榄仁树属毛榄仁。对比二出印度苏木、毛榄仁与檀香紫檀的构造特征,发现三者的差异主要存在于弦切面。对檀香紫檀、二出印度苏木、毛榄仁 3 种木材的红外光谱图进行比较,发现二出印度苏木和毛榄仁的半纤维素有一定程度的降解,二出印度苏木与檀香紫檀、毛榄仁在多糖结构上存在差异。

关键词:木材构造;材料鉴定;二出印度苏木;毛榄仁

中图分类号:S781.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2022)05-0223-07

Identification of Two Wood Species Used to Counterfeit *Pterocarpus santalinus*

ZHANG Jing-han, WANG Ming-hao, LIN Qiao, LUO Jia-yan*

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: An identification of the wood species was conducted on two furniture components (labeled A and B) provided by a furniture factory in Suzhou. The wood samples were softened, sliced and made to micro-slide for microscopic identification. The results were as follow: component A was *Hardwickia binata* Roxb wood (Leguminosae), component B was *Terminalia tomentosa* Wight & Arn. (Combretaceae). Comparing the structural characteristics of *H. binata*, *T. tomentosa*, and *Pterocarpus santalinus*, differences between the threes were mainly in the tangential section. Comparing the FTIR spectrum of *P. santalinus*, *H. binata* and *T. tomentosa*, it was found that the hemicellulose of *H. binata* and *T. tomentosa* had been degraded to a certain extent, and there existed differences in polysaccharide structure between *H. binata* and *P. santalinus* and *T. tomentosa*.

Key words: wood structure; species identification; *Hardwickia binata* Roxb; *Terminalia tomentosa* Wight & Arn

木材在我国国民经济中占有重要地位,具有可再生性、环境友好性、易于加工等特性,但由于我国木材资源匮乏,可以采伐的天然林和人工林数量有限,也因保护生态的需要,木材资源日益增长的需求量远远大于国内的供给量,这就需要积极寻求多元化进口模式^[1]。苏州某企业积极顺应国际政策,为解决木材资源供需不平衡、不确定的问题^[2],实现转型升级和创新驱动,降低生产成本的目标^[3],特从印

度进口老旧木屋及拆除的板材进行改造。企业发现进口的物料中有板材冒充檀香紫檀(*Pterocarpus santalinus*),在外观质量上与檀香紫檀极其相似。檀香紫檀是世界著名红木树种之一^[4],木材极其珍贵,而不同树种之间价格差异很大,作假者通常利用外观相似这一点鱼目混珠,来谋取利益^[5-6]。由于用料的不同会影响到制成的家具在尺寸、结构和雕刻纹样等方面的美学鉴赏^[7],因此,对企业送来的 2 个木样进

收稿日期:2021-08-04 修回日期:2021-11-30

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2017YFD0600204)。

第一作者:张静涵。研究方向:木材科学与技术。E-mail:346652327@qq.com

* 通信作者:骆嘉言,副教授。研究方向:木材构造及家具鉴定。E-mail:luojiayan@njfu.edu.cn

行解剖观察,结合密度进行鉴定,以期为企业提供辨认真假檀香紫檀的理论依据和视觉凭证,保护家具企业利益,进一步规范市场。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2 试材以及檀香紫檀木材均来自江苏省苏州市某家具厂,气干,由印度进口,2 个待鉴定试件分别记为 A 和 B(图 1)。

主要试剂:加拿大树胶、1% 番红染液、无水乙醇、冰醋酸、过氧化氢。

1.2 试验方法

1.2.1 材种鉴定 宏观观察:选取试件标准三切面,用徒手切片的方式对其进行修整,保证通过手持放大镜清晰地观察到宏观构造特征。

显微观察:按照标准的三切面,制得 10 mm ×

10 mm × 10 mm 的样品,热水软化 2 周,用 YAMA-TO REM-710 滑走式切片机进行切片,厚度为 15 μm 。1% 番红染液染 10 min,50%、75%、85%、95%、100% 乙醇溶液梯度脱水,每个含量 10 min。乙醇与二甲苯 1:1 混合 5 min,二甲苯 5~10 s 进行组织透明化处理。中性树脂胶制成永久切片,置于烘干机烘干 3 d,采用 Olympus BX51 显微镜进行观察。

解离:从试验材料中制得 1 mm × 1 mm × 5 mm 火柴棒状的小木条,置于试管中编号,加水漫过试样后放入 75 $^{\circ}\text{C}$ 的水浴锅中加热至小木条下沉。吸出水分后注入体积比 1:1 的 30% 的双氧水和冰醋酸的混合溶液,保鲜膜封口后水浴至小木条发白。最后用蒸馏水冲洗 5 次,加少量的蒸馏水,充分震动至样品分散开,滴入 1% 的番红染色,制临时试片以备测量使用。



图 1 试件 A、B 和檀香紫檀 C

Fig. 1 Sample A, B and *Pterocarpus santalinus*

密度:参照 GB/T 1933—2009《木材密度测定方法》。密度是木材性质的一项重要指标,对评价木材加工性能和干缩湿胀、硬度等性质具有重要意义^[8]。

1.2.2 傅里叶变换红外光谱(FT-IR)分析 将试样磨成木粉,过 80~100 目筛,置 65 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干待测。采用溴化钾(KBr)压片法制样,利用 Bruker VERTEX 80V 红外光谱仪扫描样品,扫描范围:400~4 000 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描次数 16 次。

2 结果与分析

2.1 宏观特征分析

A 样品的宏观特征为:生长轮在放大镜下明显。木材深褐色带有黄褐色条纹,纹理交错。管孔散生,大部分被红褐色树胶堵住。轴向薄壁组织在放大镜下环管状、翼状。木射线可见,中至宽,明显。径切面上射线斑纹明显。无气味。不具波痕与树胶道。气干密度为 1.20 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

B 样品的宏观特征为:生长轮明显。巧克力褐色带有浅褐色条纹。有光泽,纹理直,结构中。管孔肉眼略明显,散生,大多数单管孔,少数径列复管

孔,侵填体可见。轴向薄壁组织有翼状、聚翼状以及轮界状,晶体可见。木射线在放大镜下可见,较窄。无明显气味。不具波痕与树胶道。气干密度为 0.82 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

檀香紫檀的宏观构造特征:生长轮不明显。具有黑色条纹,纹理交错。散孔材,单管孔,轴向薄壁组织丰富,翼状、聚翼状以及傍管带状。放大镜下木射线可见,细。弦切面具波痕。木材具有香气。气干密度 1.08 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

宏观构造对比见表 1。

2.2 微观特征分析

A 样品的微观特征为:散孔材,大多数单管孔,径向复管孔 2~4 个(通常 2~3 个),导管横切面卵圆形;弦向直径 79~162 μm ,平均 115 μm ,导管分子长 140~339 μm ,平均 236 μm ;导管数量 6~12 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ 。管间纹孔式互列,多角形,系附物纹孔;单穿孔,平行略倾斜;导管与射线导管间纹孔同管间纹孔式;轴向薄壁组织环管状、翼状、切线状、带状,具链状结晶,可达 12 个或以上。木纤维长 661~1 351 μm ,平均 988 μm ,木纤维壁厚,红色树胶丰富,堵塞所有纤维腔,无分隔木纤维。射线同型

多列,宽度 3~5 个细胞(大多数 3~4),高度 6~20 个细胞,有丰富的晶体围绕在射线周围(图 2 d 箭头处);射线薄壁细胞内具分室含晶细胞;非叠生(图 2a—2d)。

B 样品的微观特征为:散孔材,导管横切面卵圆形,主为单管孔,少数径列复管孔(2~3 个),尺寸分大小 2 种形态;弦向直径 83~205 μm ,平均 131 μm ;导管分子长 227~674 μm ,平均 392 μm ;导管数量 5~17 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$ 。管间纹孔式互列,多角形,

系附物纹孔;单穿孔,平行至略倾斜;导管与射线导管间纹孔同管间纹孔式;轴向薄壁组织丰富,翼状、聚翼状、不规则带状(1~3 个细胞宽)、轮界状、稀星散状,大部分含树胶,具分室含晶细胞,晶体普遍,呈柱状(图 2h 箭头处)。木纤维长 683~1 800 μm ,平均 1 176 μm ,木纤维壁厚,单纹孔,分隔木纤维可见,具胶质木纤维;存在硅石。射线全是单列,高 1~12 个细胞,同形,内含丰富的红褐色树胶;存在硅石;非叠生(图 2e—2h)。

表 1 宏观构造区别
Table 1 The differences of macrostructures of the samples

| 木材名称 | 试件颜色 | 气味、滋味 | 生长轮 | 管孔类型 | 轴向薄壁组织类型 | 射线斑纹 | 木射线 | 纹理 | 气干密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) |
|------|--------------|-------|--------|------|-------------|------|---------------|----|---|
| A 样品 | 深褐色,有黄褐色条纹 | 无 | 放大镜下明显 | 散孔材 | 环管状、翼状 | 明显 | 肉眼可见,中至宽 | 交错 | 1.20 |
| B 样品 | 巧克力褐色,有浅褐色条纹 | 无 | 明显 | 散孔材 | 翼状、聚翼状、轮界状 | 不明显 | 放大镜下可见,细窄 | 直 | 0.82 |
| 檀香紫檀 | 深红褐色,带有黑色条纹 | 有香气 | 不明显 | 散孔材 | 翼状、聚翼状、傍管带状 | 不明显 | 放大镜下可见,细,可见波痕 | 交错 | 1.08 |

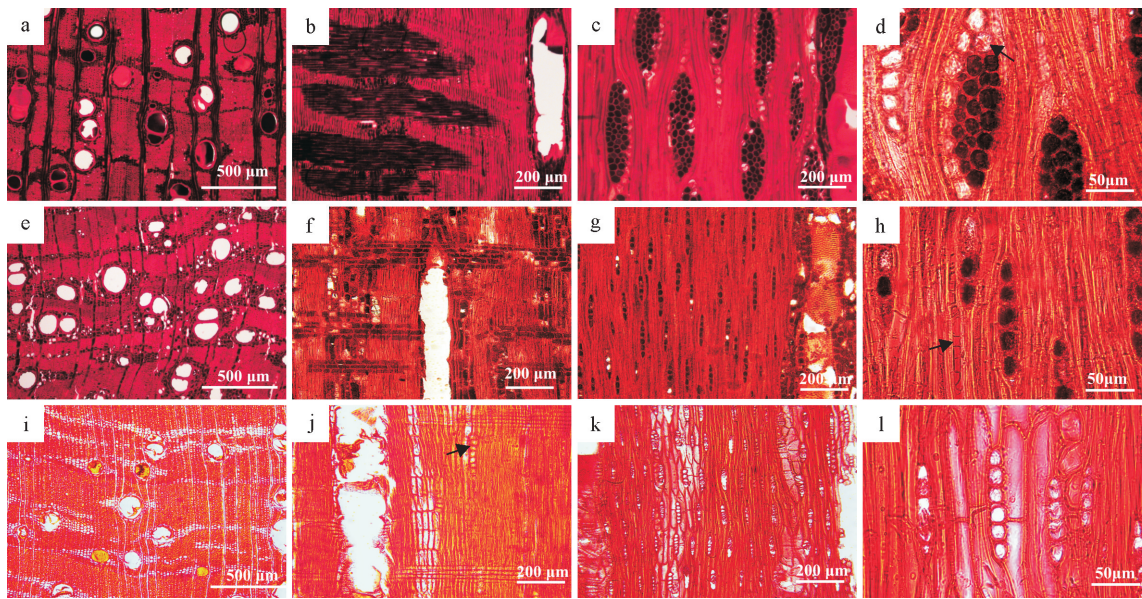


图 2 A、B 试件和檀香紫檀三切面微观构造

Fig. 2 Microscopic structures at three sections of A sample, B sample and *P. santalinus*

檀香紫檀的微观特征为:生长轮不明显,散孔材,单管孔为主,偶见径列复管孔(2~3 个),导管横切面呈圆形,导管弦向直径 66~246 μm ,平均 147 μm ,导管分子长 169~253 μm ,平均 211 μm ;导管数量 4~10 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$;导管内含有黄色树胶。单穿孔,管间纹孔互列,系附物纹孔。射线-导管间纹孔为同管间纹孔式。木纤维壁甚厚,单纹孔,木纤维长 702~1 168 μm ,平均 921 μm ,不具分隔木纤维。轴向薄壁组织翼状、聚翼状、傍管带状(带宽 2~4 个细胞),薄壁细胞中存在晶体(图 2j 箭头处)。射线同形单列,偶见两列射线,射线高度 2~7 个细胞,射

线叠生(图 2i、2j、2k、2l)。

2.3 细胞形态

A、B 样品的细胞构成主要为导管细胞、木纤维细胞、木射线细胞,3 种木材的细胞具体形态见图 3 一图 5。

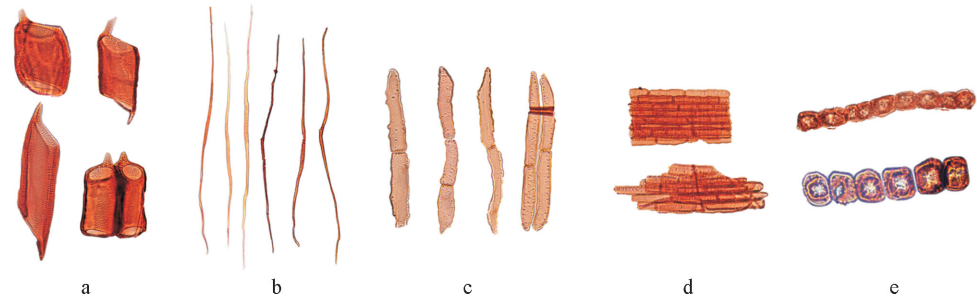
2.4 鉴定结果分析

结合宏观构造特征及微观构造特征^[9],对照相关资料^[10],可以判定 A 样品树种为豆科(Leguminosae)印度苏木属(*Hardwickia*)的二出印度苏木(*Hardwickia binata*),也叫二出亚尼安印度苏木,印度市场俗名为 Anjan,原产于印度南部。此树

表 2 微观构造区别

Table 2 The differences of microstructure

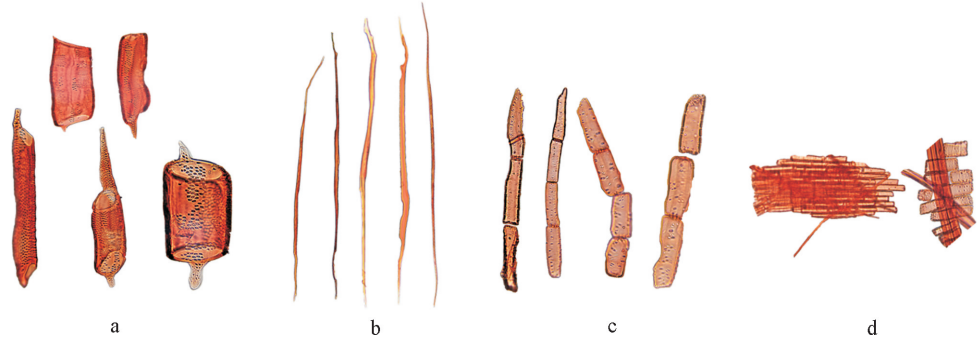
| 木材名称 | 管孔排列及分布 | 轴向薄壁组织 | 木纤维 | 木射线 |
|------|--|--|---|---|
| A 样品 | 散孔材, 大多数单管孔, 径向复管孔 2~4 个 (通常 2~3 个), 弦径最大 162 μm | 环管状、翼状、切线状、带状; 具链状结晶 | 平均长度 988 μm , 壁厚, 红色树胶丰富, 堵塞所有纤维腔; 无分隔木纤维 | 同形多列, 宽度 3~5 个细胞 (大多数 3~4), 高度 6~20 个, 非叠生。射线周围围绕丰富晶体 |
| B 样品 | 散孔材, 主为单管孔, 少数径向复管孔 (2~3 个), 弦径最大 205 μm | 丰富, 翼状、聚翼状、不规则带状 (1~3 个细胞宽)、轮界状、稀星散状, 含树胶, 具柱状晶体 | 平均长度 1 176 μm , 壁厚, 单纹孔; 具分隔木纤维; 具胶质木纤维; 具硅石 | 同形单列, 高达 12 个细胞, 非叠生。含丰富的红褐色树胶, 存在硅石。 |
| 檀香紫檀 | 散孔材, 主为单管孔, 偶见径向复管孔 (2~3 个), 弦向直径最大 246 μm , 导管内含黄色树胶 | 发达, 翼状、聚翼状、傍管带状 (带宽 2~4 个细胞), 具有菱形晶体 | 平均长度 921 μm , 壁甚厚, 单纹孔 | 同形单列, 偶见两列, 高 2~7 个细胞, 射线叠生。 |



注: a. 导管; b. 木纤维; c. 轴向薄壁细胞; d. 射线细胞; e. 晶体。

图 3 A 试件细胞种类及形态

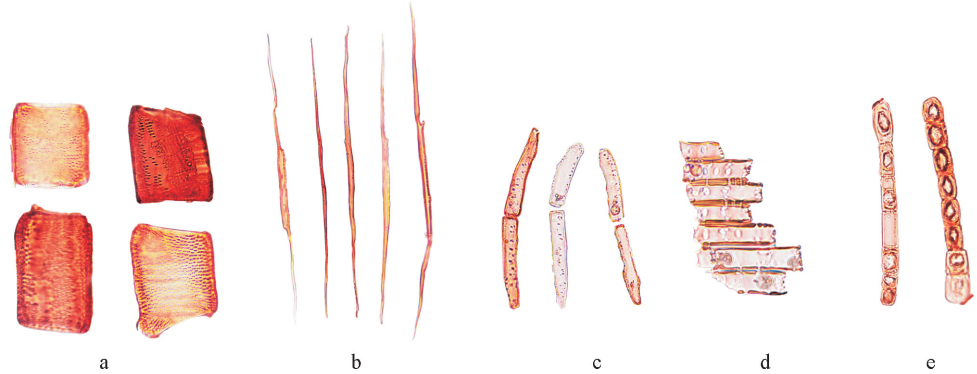
Fig. 3 Cell types and forms of sample A



注: a. 导管; b. 木纤维; c. 轴向薄壁细胞; d. 射线细胞。

图 4 B 试件细胞种类及形态

Fig. 4 Cell types and forms of sample B



注: a. 导管; b. 木纤维; c. 轴向薄壁细胞; d. 射线细胞; e. 含晶体的薄壁细胞。

图 5 檀香紫檀细胞种类及形态

Fig. 5 Cell types and forms of *P. santalinus*

种极硬,在印度木材中最重,而且相当耐用。作为未经处理的枕木,可以使用 8~10 a,然而容易受到虫蛀却不会被白蚁攻击。木材常常被用作柱子、梁、犁,车轮的毂以及桥梁用的支柱等。

结合宏观构造特征及微观构造特征^[9],对照相关资料^[11],可以判定 B 样品为使君子科(Combretaceae)榄仁树属(*Terminalia*)毛榄仁(*Terminalia tomentosa*),又称栗褐榄仁,印度市场俗名为 Laurel。主要分布于泰国、缅甸、越南、柬埔寨、印度等地,在市场流通时不规范俗名为黑鸡翅,也被用来冒充红木中的鸡翅木^[12]。此树种硬度大,强度高,干缩率大,干燥速度慢,易开裂,极耐腐,抗虫^[12]。未经处理的枕木可使用年限 5~7 a,木材经常被用来作梁、柱子、门等建筑用材以及高级家具等^[11]。

通过与檀香紫檀进行对比,三者在宏观特征上

略有差异,檀香紫檀具有香气,其弦切面上可以观察到波痕。在微观构造方面,三者在横切面上极其相似,都是主为单管孔,轴向薄壁组织翼状、聚翼状。3 种木材的差异主要存在于弦切面,檀香紫檀射线具有叠生构造,这是区别它与二出印度苏木与毛榄仁最明显的特征。二出印度苏木与毛榄仁的区别在于前者射线同形多列,后者射线全为同形单列。

2.5 红外光谱分析

傅里叶红外光谱法(FTIR)是通过化合物特有的红外吸收光谱的位置,形状以及峰值来分析化合物结构或官能团^[14-15],是一种具有高灵敏度的分析木材手段^[16]。因此,对檀香紫檀、二出印度苏木以及毛榄仁的红外谱图进行比较,并对主要吸收峰的归属进行归纳(表 3),进一步对比三者在成分上的区别。

表 3 红外光谱特征吸收峰及官能团归属
Table 3 Chemical groups and their FT-IR spectrum features

| 波数/cm ⁻¹ | | | 吸收带归属及说明 |
|---------------------|-----------|--------|---|
| 檀香紫檀 | A(二出印度苏木) | B(毛榄仁) | |
| 3 434 | 3 424 | 3 417 | O—H 伸缩振动 |
| 2 929 | 2 922 | 2 921 | C—H 伸缩振动 |
| 1 722 | | | C=O 伸缩振动(木聚糖乙酰基 CH ₃ C=O) |
| 1 624 | 1 621 | 1 622 | 共轭 C=O 伸缩振动 |
| 1 510 | 1 509 | 1 510 | 芳香族骨架振动 |
| 1 459 | 1 458 | 1 458 | C—H 弯曲振动(木质素、聚糖中的 CH ₂);苯环的碳骨架振动(木质素) |
| 1 425 | 1 425 | 1 425 | CH ₂ 剪式振动(纤维素);CH ₂ 弯曲振动(木质素) |
| 1 374 | | | CH 弯曲振动(纤维素和半纤维素) |
| 1 320 | 1 318 | 1 320 | OH 面内弯曲振动 |
| 1 205 | | | O—H 面内弯曲振动(纤维素和半纤维素) |
| 1 158 | 1 160 | 1 160 | C—O—C 伸缩振动(纤维素和半纤维素) |
| 1 060 | 1 049 | 1 049 | C—O 伸缩振动(纤维素和半纤维素);乙酰基中的烷氧键伸缩振动 |
| 1 033 | 1 033 | 1 030 | C—O 伸缩振动(纤维素、半纤维素和木质素) |
| 896 | 894 | 894 | 异头碳(C ₁)振动(多糖) |
| 819 | 817 | 823 | C—H 面外弯曲振动,G 环上 2、5 和 6 位 |

由图 6 可知,这 3 种木材的化学官能团的组成波数基本一致,是因为木材主要是由纤维素、半纤维素以及木质素这三大天然有机高分子组成^[17]。阔叶材的纤维素和半纤维素含量较高^[18]。3 394~3 412 cm⁻¹ 范围内是 O—H 特征峰^[18],2 902~2 934、1 422~1 425、1 371~1 375 cm⁻¹ 等范围内的峰是纤维素的特征峰^[19]。位于 1 730 cm⁻¹ 附近的吸收峰来自乙酰基上 C=O 伸缩振动,该峰位是半纤维素区别于其他组分的特征吸收峰,檀香紫檀在 1 730cm⁻¹附近相较于二出印度苏木和毛榄仁来说,其半纤维素羟基(C=O)的吸收峰稍强,后者的吸收峰非常弱,几乎没有,说明后者半纤维素有一定程度的降解,也表明半纤维素较纤维素与木质素而

言易降解^[21],木材本身在自然老化的过程中产生某些酸性物质促进其降解^[22],符合试样来自老旧家具的情况。1 600 cm⁻¹ 与 1 500 cm⁻¹ 附近的吸收峰是木素苯环骨架伸缩振动吸收峰,特别是 1 500 cm⁻¹ 附近的吸收峰,归属为木质素苯环骨架伸缩振动的纯吸收带^[23],二出印度苏木和毛榄仁在 1 500 cm⁻¹ 附近的吸收强度强于檀香紫檀,这表明在二出印度苏木和毛榄仁中,木质素相对含量高于檀香紫檀。890 cm⁻¹ 附近的吸收峰来自异头碳(C₁)振动,檀香紫檀和毛榄仁在 890 cm⁻¹ 附近是单吸收峰,二出印度苏木则有两个吸收峰,说明后者在多糖结构上与前者们存在差异。

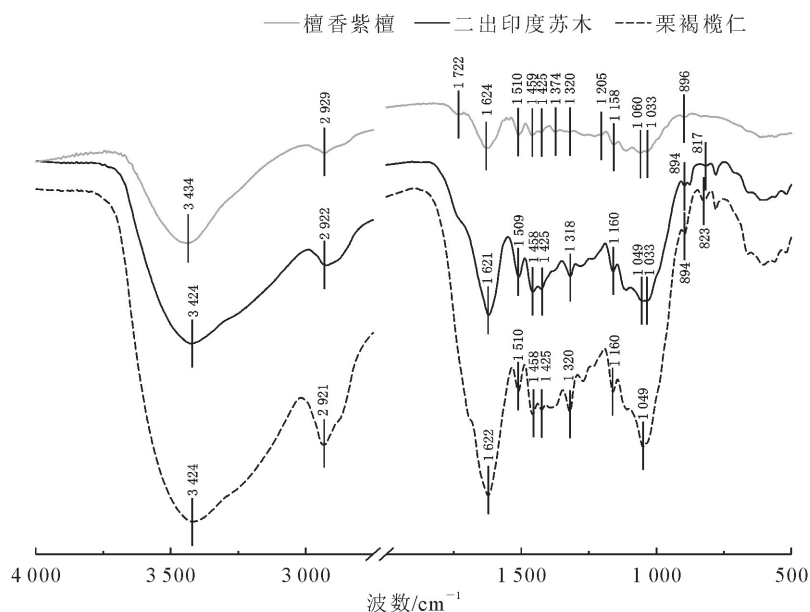


图6 檀香紫檀、二出印度苏木、栗褐榄仁木材红外光谱

Fig. 6 The FTIR spectra of *P. santalinus*, *H. binata* and *T. tomentosa*

3 结论与讨论

通过将二出印度苏木、毛榄仁与檀香紫檀进行对比发现,三者在宏观下的差异为檀香紫檀具有香气且在弦切面可以观察到波痕,二出印度苏木与毛榄仁不具特殊气味和波痕。在微观构造方面,三者的横切面并无太大差异,以单管孔为主,轴向薄壁组织翼状、聚翼状、带状。在弦切面则可以清楚地区分3种木材,檀香紫檀射线单列叠生,二出印度苏木射线同形多列,毛榄仁的木射线单列但是不具有叠生构造。解离后测量二出印度苏木、毛榄仁以及檀香紫檀的导管和纤维长度发现,导管长度毛榄仁($392\ \mu\text{m}$)>二出印度苏木($236\ \mu\text{m}$)>檀香紫檀($211\ \mu\text{m}$);纤维长度毛榄仁($1\ 176\ \mu\text{m}$)>二出印度苏木($988\ \mu\text{m}$)>檀香紫檀($921\ \mu\text{m}$)。

二出印度苏木与毛榄仁的傅立叶红外光谱图表明,两者在 $1\ 730\ \text{cm}^{-1}$ 附近的羟基($\text{C}=\text{O}$)吸收峰都几乎消失,表明二者的半纤维素有一定的降解,这符合构件来自于老旧家具的情况。而且,二出印度苏木与檀香紫檀、毛榄仁在多糖结构上存在差异。

本研究对二出印度苏木与毛榄仁这2种易于与檀香紫檀混淆的木材进行解剖构造研究,丰富了木材鉴定尤其是珍贵木材鉴定的理论知识。将二者与檀香紫檀进行对比,探究其与檀香紫檀的区别,为鉴别市场上假冒檀香紫檀的木材提供一定的参考。

参考文献:

[1] 郭辰星,朱震锋,刘嘉琦.新时期中国木材资源供需:现状、问题

及方略[J].中国林业经济,2019(5):66-69.

GUO C X,ZHU Z F,LIU J Q. Supply and demand of timber resources in China in the new era: current situation, problems and strategies[J]. China Forestry Economics, 2019(5): 66-69. (in Chinese)

[2] 刁钢,麻坤,赵荣,等.基于中国林业产业预警模型的木材供需仿真研究[J].林业经济,2018,40(4):33-38.

DIAO G,MA K,ZHAO R,et al. Simulation study on timber supply and demand based on forewarning model of forestry industry in China [J]. Forestry Economics, 2018, 40(4): 33-38. (in Chinese)

[3] 朱长岭.中国家具行业可持续性发展探讨与展望[J].家具,2013,34(1):1-4,14.

ZHU C L. Investigation and prospects for sustainable development of Chinese furniture Industry[J]. Furniture, 2013, 34(1): 1-4, 14. (in Chinese)

[4] 陈仁利,曾杰.檀香紫檀资源培育与利用研究进展[J].热带作物学报,2018,39(7):1462-1470.

CHEN R L,ZENG J. Research progress in cultivation and utilization for pterocarpus santalinus[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(7): 1462-1470. (in Chinese)

[5] 史知彬,田钰彬,吕九芳.以红木家具为例浅谈古典家具鉴定[J].家具,2020,41(2):100-104.

SHI Z B,TIAN Y B,LÜ J F. Taking rosewood furniture as an example to discuss the identification of antique furniture[J]. Furniture, 2020, 41(2): 100-104. (in Chinese)

[6] 黄广华,金浩,陈瑞英,等.交趾黄檀和奥氏黄檀木材解剖构造比较[J].西北林学院学报,2020,35(6):228-233,312.

HUANG G H,JIN H,CHEN R Y,et al. Comparison of wood anatomical structures between dalbergia cochinchinensis and dalbergia oliveri. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 228-233, 312. (in Chinese)

[7] 骆嘉言,樊帅,李珂心,等.南京江浦古旧家具鉴定与分析[J].家具,2018,39(6):71-74,97.

- LUO J Y, FAN S, LI K X, *et al.* Identification and analysis of Jiangpu antique furniture in Nanjing[J]. Furniture, 2018, 39(6):71-74, 97. (in Chinese)
- [8] 王军锋, 马锦林, 黄腾华, 等. 普通油茶和小果油茶木材构造与物理性质的研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3):212-217, 257.
- WANG J F, MA J L, HUANG T H, *et al.* Wood structures and physical properties of *Camellia oleifera* and *C. meiocarpa* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3):212-217, 257. (in Chinese)
- [9] WHEELER E A. IAWA list of microscopic features for hardwood identification[J]. IAWA Bull, 2004, 10(3):219-332.
- [10] PEARSON R S, BROWN H P. Commercial timbers of India; their distribution, supplies, anatomical structure, physical and mechanical properties and uses. Volumes I. [M]. Calcutta: Government of India central publication branch calcutta; 1932.
- [11] 刘鹏, 杨家驹, 卢鸿俊. 东南亚热带木材[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [12] 张文强, 徐峰. 市场上冒充鸡翅木的树种辨析[J]. 绿色科技, 2014(6):308-312.
- ZHANG W Q, XU F. Differentiation and Analysis of false wenge[J]. Journal of Green Science and Technology, 2014(6):308-312. (in Chinese)
- [13] 赵晗, 肖晓梅, 李奕凡, 等. 家具用材“黑酸枝”之辨析[J]. 家具, 2018, 39(6):27-30, 34.
- ZHAO H, XIAO X M, LI Y F, *et al.* Analysis of burma blackwood species for furniture[J]. Furniture, 2018, 39(6):27-30, 34. (in Chinese)
- [14] 吴瑾光. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994:156.
- [15] 张蓉, 徐魁梧, 张丽沙, 等. 基于红外光谱的5种红木树种识别探讨[J]. 林业科技开发, 2014, 28(2):95-99.
- ZHANG R, XU K W, ZHANG L S, *et al.* Identification of five rosewood species by infrared spectrum characteristics [J]. Journal of Forestry Engineering, 2014, 28(2):95-99. (in Chinese)
- [16] 赵晓俊. 基于近红外光谱技术鉴别红木家具影响因素的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [17] 李坚. 木材波谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2003:104-105.
- [18] 牟彬彬, 郝笑龙, 王清文, 等. 多种木质原料化学成分对比[J]. 林产工业, 2018, 45(8):28-32.
- MOU B S, HAO X L, WANG Q W, *et al.* Comparison of chemical components in several biomass materials[J]. China Forest Products Industry, 2018, 45(8):28-32. (in Chinese)
- [19] 薛晓明, 南程慧. 7种针叶树材红外光谱(FTIR)特征的比较与分析[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(1):88-93.
- XUE X M, NAN C H. Comparison of FTIR spectra in seven conifer softwood samples [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(1):88-93. (in Chinese)
- [20] 赵阅书, 薛晓明, 宋小娇, 等. 6种阔叶树材红外光谱特征的比较[J]. 林业工程学报, 2019, 4(5):40-45.
- ZHAO Y S, XUE X M, SONG X J, *et al.* Comparison and analysis of FT-IR spectra for six broad-leaved wood species [J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(5):40-45. (in Chinese)
- [21] 王芳, 易维明, 牛卫生, 等. 以沼气发酵为目标的木质纤维素预处理方法[J]. 农机化研究, 2013, 35(11):206-210, 214.
- WANG F, YI W M, NIU W S, *et al.* The lignocellulose pretreatments for biogas fermentation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(11):206-210, 214. (in Chinese)
- [22] ZARAH WALSH-KORB, LUC AVÉROUS. Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood[J]. Progress in Materials Science, 2019, 102:167-221.
- [23] 袁诚, 翟胜丞, 章一蒙, 等. 红外光谱结合热重法对考古木材降解状况的分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(9):2943-2950.
- YUAN C, ZHAI S C, ZHANG Y M, *et al.* Simple evaluation of the degradation state of archaeological wood based on the infrared spectroscopy combined with thermogravimetry [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2020, 40(9):2943-2950. (in Chinese)