

木蜡油涂饰对檀香紫檀易混树种的红外光谱影响分析

刘 婧¹, 黄安民², 张求慧^{1*}

1. 北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083
2. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091

摘 要 卢氏黑黄檀和染料紫檀木材特征与檀香紫檀相似, 特别是两者经过加色精的木蜡油涂饰后, 肉眼很难与珍贵的檀香紫檀分辨。市场上销售的很多红木家具为了达到防腐、防尘、防开裂的性能以及提高红木表面光泽度和显现珍贵木材的纹理, 大都进行了木蜡油表面涂饰加工, 因而只研究木材本身的鉴别不能满足市场需求。借助红外光谱(FTIR)结合二阶导数红外光谱(SDIR)和二维相关红外光谱(2D-IR)技术, 对经过木蜡油涂饰的檀香紫檀(*Pterocarpus santalinus*)、染料紫檀(*P. tinctoricus Welw*)和卢氏黑黄檀(*Dalbergia louvelii*)进行了红外光谱分析。通过打磨—涂底油—打磨—涂面油—干燥的涂饰工艺对3个树种进行表面涂饰。分别取3个树种素材的木粉和经过表面涂饰的木材表面的木粉进行FTIR, SDIR和2D-IR三级鉴别分析, 同时测定了木蜡油的FTIR谱图。结果表明:(1)木蜡油FTIR谱图在2 925, 1 733, 1 465和1 378 cm^{-1} 较强的特征峰出峰位置与3个树种木材本身的出峰位置基本重合, 且在2 854 cm^{-1} 处归属于亚甲基C—H对称伸缩振动, 1 233 cm^{-1} 处归属于羧基C—O伸缩振动, 729 cm^{-1} 处归属于长链的亚甲基C—H弯曲振动的特征峰在涂饰后三种样品的FTIR谱图中有相同的体现, 说明木蜡油涂饰未对3个树种红外谱图的特征峰产生影响; 3个树种表面涂饰前后FTIR谱图的相关系数同时可以对木蜡油涂饰未对3个树种的特征峰产生影响进行佐证;(2)FTIR谱图在1 595, 1 060和836 cm^{-1} 处可以将染料紫檀与檀香紫檀和卢氏黑黄檀两个树种区分开; SDIR谱图可以在1 551 cm^{-1} 将卢氏黑黄檀区分开, 并能进一步对染料紫檀的特征峰进行验证; 在2D-IR光谱中, 在1 425~1 800和850~1 300 cm^{-1} 两个波段范围, 檀香紫檀的自动锋明显区别于其他两个树种, 在1 250 cm^{-1} 处归属于醚类化合物的吸收峰可以将檀香紫檀区分开。目前红木识别主要利用木材解剖方法, 表面涂饰大多集中在木材材色变化研究。借助红外光谱技术, 最终利用各个树种和木蜡油在红外光谱谱图中不同的特征峰体现的官能团差异直接推测特征成分的含量差异, 无须测定其特征成分的具体物质, 进而实现准确、快速地把经木蜡油表面涂饰的檀香紫檀及其易混淆的染料紫檀和卢氏黑黄檀区分鉴别。

关键词 檀香紫檀; 木蜡油; 红外光谱; 鉴别

中图分类号: S781 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)12-3816-05

引 言

与檀香紫檀相似的树种有很多, 其中包括卢氏黑黄檀和染料紫檀。檀香紫檀隶属于豆科紫檀属, 主产于印度南部, 商品名为“小叶紫檀”。心材颜色为红紫至黑紫色, 有金星金丝, 香气无或有淡淡香气, 紫檀木受到CITES公约附录a II管制, 属于异常珍贵与稀缺的红木树种^[1]。卢氏黑黄檀属于红木树种中的豆科黄檀属黑酸枝木类, 主产于马达加斯加,

市场上不规范的称为“大叶紫檀”。同时受CITES公约附录II管制, 心材为深紫或黑紫, 表面偶有金星金丝, 这些特征与檀香紫檀相似, 稍加涂饰上色, 就与檀香紫檀真假难辨^[2]。染料紫檀未列入红木标准中, 商品名为“血檀”, 从赞比亚进口的染料紫檀质量较好, 具有类似牛毛一样的纹理和深颜色的木材, 制成的家具制品与紫檀木相似^[3]。

对不同种红木以及檀香紫檀易混淆树种的区分已进行了一些研究。周旭^[4]利用木材解剖方法分析四种黑酸枝木材的宏观和微观构造特征, 对比区分鉴别树种。也有研究者通过

收稿日期: 2019-01-16, 修订日期: 2019-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31670564)资助

作者简介: 刘 婧, 1993年生, 北京林业大学材料科学与技术学院硕士研究生 e-mail: 13171673501@163.com

* 通讯联系人 e-mail: qzh66@163.com

气相色谱质谱联用(GC-MS)对不同种红木进行区分鉴别^[5]。张郅悦^[6]借助 FTIR 与二维相关红外光谱对檀香紫檀和卢氏黑黄檀的木材及其抽提物进行了研究,结果表明基于红外光谱可以准确、快速地把这两种易混淆的珍贵红木区分开。相关的研究包括木材涂饰前后色相 ΔH^* , 色饱和度 C^* , 总体色差 ΔE^* 的色差变化^[7]。

市场上很多红木家具为了达到保护红木以及提高其表面光泽度和显现珍贵木材的纹理,大都进行了表面涂饰加工。卢氏黑黄檀和染料紫檀经过加色精的木蜡油涂饰,其外观色泽纹理与檀香紫檀很难用肉眼辨别。只研究珍贵木材本身的鉴别还不能满足市场需求,所以本研究从市场实际出发,借助红外光谱研究了经过表面涂饰木蜡油的卢氏黑黄檀,染料紫檀与檀香紫檀的区分鉴别。

1 实验部分

1.1 材料与设备

檀香紫檀,卢氏黑黄檀,染料紫檀的心材(10 cm×5 cm×1.5 cm 的木块),均来自于中国林业科学研究院木材标本实验室;木蜡油,240/480/1 000 目砂纸,干净的棉布,粉碎机。

红外光谱仪为 PerkinElmer 公司生产的 SpectrumOne 型傅里叶变换红外光谱仪,光谱范围 4 000~400 cm^{-1} ,分辨率:4 cm^{-1} ,积累扫描 16 次得出的一维红外光谱图;二阶导数光谱由 Spectrum 软件微分处理得到;从 50~120 $^{\circ}\text{C}$,每隔 10 $^{\circ}\text{C}$ 获得一张二维红外谱图。

1.2 方法

经木蜡油涂饰,样品的色泽变深,纹理变得更清晰。

分别取每块素材的木粉和经过表面涂饰的木材表面的木粉进行 FTIR, SDIR 和 2D-IR 三级鉴别分析。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 光谱相关系数分析

对 3 个树种的 FTIR 谱图进行相关系数分析,使谱图的差异性量化,相关系数越接近 1,表明两张谱图越相似。相关系数计算采用方向余弦的方法,公式如

$$r_{xy} = \cos(\alpha_{xy}) = \frac{\sum_k x_k y_k}{\sqrt{\sum_k x_k^2 \sum_k y_k^2}}$$

式中, x_k 和 y_k 分别为 2 个样本的红外光谱在第 k 个变量处的强度值^[8]。

具体分析结果如下:檀香紫檀,染料紫檀与卢氏黑黄檀三者 FTIR 谱图的相关系数分别为 0.956 5, 0.911 5, 0.874 3。经过木蜡油涂饰后,3 个树种本身涂饰前后 FTIR 谱图的相关系数降低,依次为 0.732 5, 0.842 0 和 0.746 4。涂饰木蜡油后,檀香紫檀,染料紫檀和卢氏黑黄檀两两之间 FTIR 谱图的相关系数分别为 0.939 4, 0.971 2, 0.936 2, 可以说明木蜡油的一些特征峰在 3 个树种的 FTIR 谱图中有相同体现,对谱图涂饰前后本身特征峰区分的影响不大。

2.2 3 种树种木材的 FTIR 光谱

图 1 为檀香紫檀、染料紫檀和卢氏黑黄檀的一维红外光谱图。从图 1 中可以看出,檀香紫檀与染料紫檀 FTIR 谱图在峰位置和面积上相似度很高,1 736 和 1 595 cm^{-1} 峰归属于脂肪酸酯中酯羰基 C=O 伸缩振动和芳香族骨架中碳原子之间的伸缩振动^[9],染料紫檀的这两个吸收峰强度明显高于檀香紫檀。在 836 cm^{-1} 染料紫檀的吸收峰强度也明显高于檀香紫檀,此处吸收峰对应于取代芳环的特征峰。从图 1 可以看出,卢氏黑黄檀与檀香紫檀 FTIR 谱图在 3 600~1 300 cm^{-1} 范围内峰形很相似,在相同的峰位置处官能团的伸缩振动大体一致,只是卢氏黑黄檀吸收峰强度均比檀香紫檀相应波数处的强度强,表明卢氏黑黄檀抽提物的含量比檀香紫檀高。两者主要差异体现在 1 200~700 cm^{-1} 范围内。檀香紫檀在 1 056 和 898 cm^{-1} 处有两个微弱的吸收峰但卢氏黑黄檀没有,这个吸收峰归属于 C—O 伸缩振动^[10],这表明檀香紫檀的综纤维素含量较多;卢氏黑黄檀在 756 和 700 cm^{-1} 处存在两个吸收峰,而檀香紫檀在此波数处没有吸收峰。此结果与张郅悦^[6]得出的结果一致。

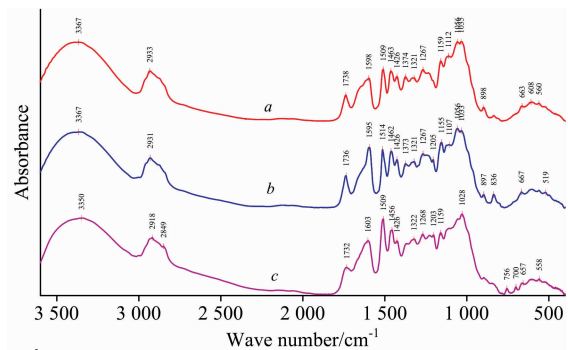


图 1 FTIR 谱图

a: 檀香紫檀; b: 染料紫檀; c: 卢氏黑黄檀

Fig. 1 FTIR spectra

a: *Pterocarpus santalinus*; b: *P. tinctoricus* Welw.;

c: *Dalbergia louuelii*

2.3 经木蜡油涂饰的样品的 FTIR 光谱

图 2 为经过木蜡油涂饰的檀香紫檀、染料紫檀和卢氏黑黄檀以及由底油和面油组成的木蜡油的 FTIR 谱图。实验所涂饰木蜡油的主要成分有桐油、亚麻油、蓖麻油、葵花籽油、大豆油、棕榈蜡、蜂蜡。植物油主要是不饱和的高级脂肪酸酯,含有 C=C 双键、亚甲基、羧基与酯羰基;蜡主要含有脂肪酸酯、氧化多元醇、烃类和树脂类物质组成。木蜡油较强的峰在 3 个树种的红外谱图中都有相同的体现,如 2 854 cm^{-1} 峰归属于亚甲基 C—H 对称伸缩振动,1 233 cm^{-1} 峰归属于羧基 C—O 伸缩振动,729 cm^{-1} 峰归属于长链的亚甲基 C—H 弯曲振动,在 3 个树种的谱图上都有体现,不影响树种特征峰之间的区分。

从图 2 中可以看出涂饰木蜡油之后,檀香紫檀和卢氏黑黄檀的谱图大体一致,只是卢氏黑黄檀的峰强度仍然相对强一些。染料紫檀的 1 593 cm^{-1} 峰强度明显高于檀香紫檀和卢氏黑黄檀在此波数处的峰强度;染料紫檀分别在 1 060 和

833 cm^{-1} 处出现吸收峰, 此处吸收峰分别归属于 C—O 伸缩振动和取代芳环的特征峰, 而檀香紫檀和卢氏黑黄檀在这两个波数处均未出峰。染料紫檀在 1 593, 1 060 和 833 cm^{-1} 处的峰在素材时就明显存在且区别于檀香紫檀和卢氏黑黄檀, 说明染料紫檀在此波数并没有受到涂饰木蜡油的影响, 可以由此将染料紫檀与檀香紫檀和卢氏黑黄檀区分开。另外经过木蜡油涂饰后 3 个树种均在 467 cm^{-1} 附近处出现了一个吸收峰, 经过重复试验, 此处吸收峰稳定存在, 3 个树种同时在此波数出现吸收峰的原因有待考察, 推测可能为反应生成卤化物的特征峰。

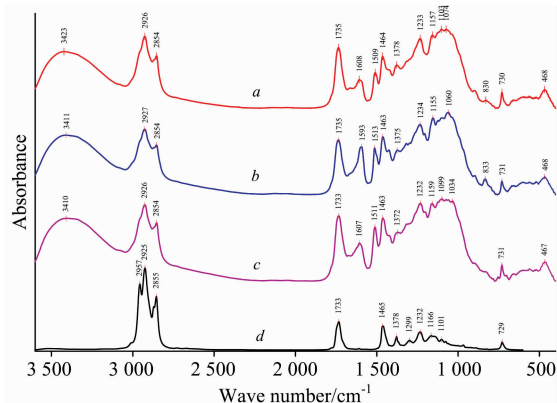


图 2 经木蜡油涂饰后的样品的 FTIR 谱图

a: 檀香紫檀; b: 染料紫檀; c: 卢氏黑黄檀; d: 木蜡油

Fig. 2 FTIR spectra of samples with wood wax oil

a: *Pterocarpus santalinus*; b: *P. tinctoricus Welw*;

c: *Dalbergia louuelii*; d: Wood wax oil

2.4 经木蜡油涂饰的样品的 SDIR 光谱

图 3 为檀香紫檀等 3 个树种涂饰木蜡油的木粉的二阶导数红外光谱图(SDIR), SDIR 谱图可以根据红外吸收峰的斜率不同将样品的红外特征放大, 从而提高红外谱图的表现分辨率。从 FTIR 谱图中, 发现在 1 595, 1 060 和 833 cm^{-1} 处的吸收峰可以将染料紫檀从檀香紫檀和卢氏黑黄檀中区分开, 从图 3 中明显看出, 这 3 个波数处染料紫檀吸收峰的强度仍明显高于其他两个树种, SDIR 谱图将树种的差异进一

步放大。另外 SDIR 谱图中, 檀香紫檀和染料紫檀分别在 1 553 和 1 551 cm^{-1} 处出现中等强度吸收峰且染料紫檀在此处吸收峰强度更强一些, 而卢氏黑黄檀在这两个位置却并未出现吸收峰, 此差异在 FTIR 谱图中丝毫未体现; 卢氏黑黄檀在 765 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 处存在两个微弱的吸收峰, 它们归属于长链的亚甲基 C—H 弯曲振动, 而檀香紫檀和染料紫檀在这两个波数处都没有出峰, 说明卢氏黑黄檀中长链分子比檀香紫檀和染料紫檀较多, 这一差异在 3 个树种素材的 FTIR 谱图中已经体现, SDIR 谱图将这一差异进一步放大。因此通过 SDIR 谱图分析, 进一步强化了染料紫檀与其他两个树种的差异性, 并大致区分了卢氏黑黄檀。

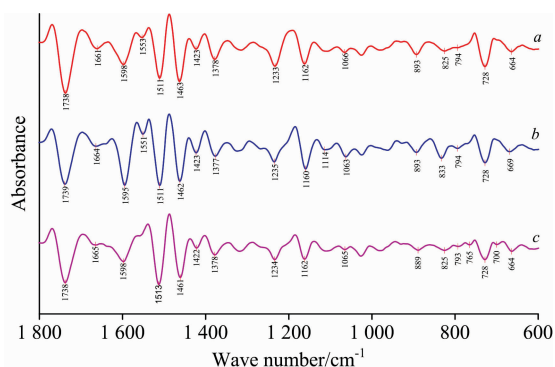


图 3 经木蜡油涂饰的样品的 SDIR 谱图

a: 檀香紫檀; b: 染料紫檀; c: 卢氏黑黄檀

Fig. 3 The second derivative IR spectra of samples with wood wax oil

a: *Pterocarpus santalinus*; b: *P. tinctoricus Welw*;

c: *Dalbergia louuelii*

2.5 经木蜡油涂饰的样品的 2D-IR 光谱

二维相关红外光谱(2D-IR)利用样品中不同基团对温度敏感程度的不同, 进一步提高了红外谱图的分辨率。本实验采用的是 2D-IR 光谱的同步相关光谱。在主对角线位置处有一组峰, 称为自动峰。

从图 4 可以看出: 染料紫檀和卢氏黑黄檀在 2D-IR 光谱图上出现自动峰的位置基本相同, 明显的自动峰有 7 个, 分

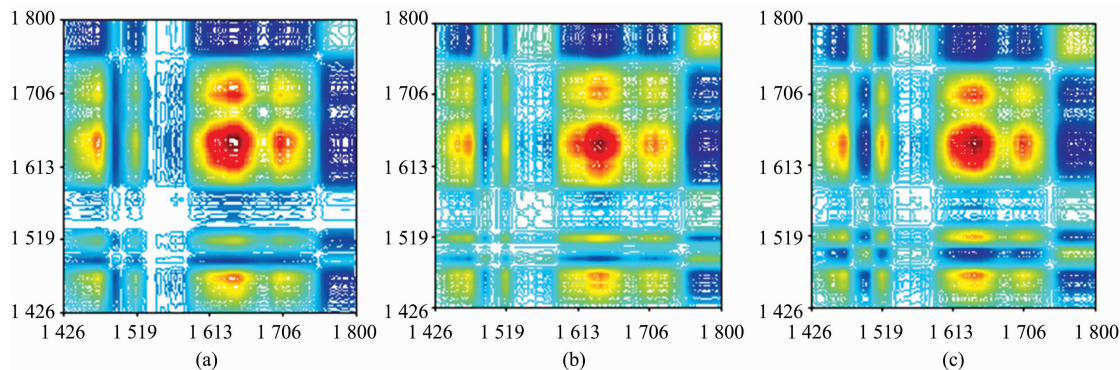


图 4 1 425~1 800 cm^{-1} 范围内经木蜡油涂饰的样品的 2D-IR 光谱

(a): 檀香紫檀; (b): 染料紫檀; (c): 卢氏黑黄檀

Fig. 4 The 2D-IR spectra of samples with wood wax oil in the range of 1 425~1 800 cm^{-1}

(a): *Pterocarpus santalinus*; (b): *P. tinctoricus Welw*; (c): *Dalbergia louuelii*

别在 $1\ 455$, $1\ 469$, $1\ 489$, $1\ 518$, $1\ 640$, $1\ 715$ 和 $1\ 771\ \text{cm}^{-1}$; 其中卢氏黑黄檀在 $1\ 489$ 和 $1\ 518\ \text{cm}^{-1}$ 的自动峰强度相对于染料紫檀较强。而檀香紫檀在此波数范围内的 2D-IR 光谱图与其他两种树种存在一定明显差异, 檀香紫檀在 $1\ 455$ 和 $1\ 489\ \text{cm}^{-1}$ 处不存在自动峰, 且在 $1\ 786\ \text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰强度与染料紫檀和卢氏黑黄檀相比较弱。3 个树种都在 $1\ 640\ \text{cm}^{-1}$ 处有强度最强吸收峰, 该波段主要是 C=C 双键的伸缩振动, 说明 C=C 双键官能团对温度微扰敏感。因此, 根据 2D-IR 光谱图上的这些差异可以把檀香紫檀区分开。

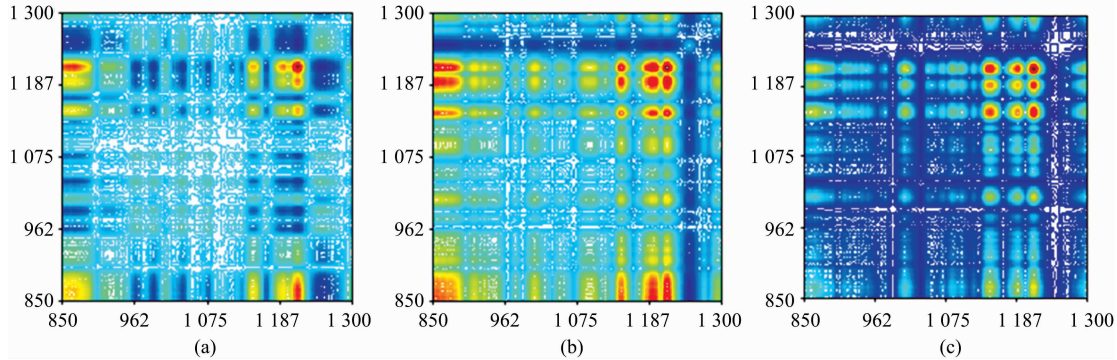


图 5 $850\sim 1\ 300\ \text{cm}^{-1}$ 范围内经木蜡油涂饰的样品的 2D-IR 光谱

(a): 檀香紫檀; (b): 染料紫檀; (c): 卢氏黑黄檀

Fig. 5 The 2D-IR spectra of samples with wood wax oil in the range of $850\sim 1\ 300\ \text{cm}^{-1}$

(a): *Pterocarpus santalinus*; (b): *P. tinctoricus Welw.*; (c): *Dalbergia louuelii*

因此, 基于对 $1\ 425\sim 1\ 800$ 和 $850\sim 1\ 300\ \text{cm}^{-1}$ 两个波段范围二维红外谱图的变化分析, 檀香紫檀自动峰明显区别于染料紫檀和卢氏黑黄檀, 并且染料紫檀和卢氏黑黄檀可以在自动峰强度上进行简单区分。

3 结 论

经过对檀香紫檀、染料紫檀和卢氏黑黄檀三种树种的木材和涂饰木蜡油后的树种的红外光谱三级鉴定分析, 经过涂

饰木蜡油的树种仍然可以进行红外谱图的区分鉴别。FTIR 谱图在 $1\ 595$, $1\ 060$ 和 $836\ \text{cm}^{-1}$ 处可以将染料紫檀与檀香紫檀和卢氏黑黄檀两个树种区分开; SDIR 谱图可以在 $1\ 551\ \text{cm}^{-1}$ 将卢氏黑黄檀区分开并能进一步对染料紫檀的特征峰进行验证; 在 2D-IR 光谱中, 在 $1\ 425\sim 1\ 800$ 和 $850\sim 1\ 300\ \text{cm}^{-1}$ 两个波段范围, 檀香紫檀的自动峰明显区别于其他 2 个树种, 在 $1\ 250\ \text{cm}^{-1}$ 处归属于醚类化合物的吸收峰可以将檀香紫檀区分开。

从图 5 中得出: 染料紫檀和卢氏黑黄檀在 $850\sim 1\ 300\ \text{cm}^{-1}$ 范围的 2D-IR 谱图中, 自动峰出现的情况依旧很相似, 但可以明显看出, 染料紫檀在 $1\ 094$ 和 $1\ 250\ \text{cm}^{-1}$ 处显示出两个自动峰, 而卢氏黑黄檀在这两处不存在自动峰; 且染料紫檀在 $855\ \text{cm}^{-1}$ 的自动峰强度很强, 卢氏黑黄檀相对较弱。而檀香紫檀在 $1\ 193$ 和 $1\ 214\ \text{cm}^{-1}$ 处自动峰的强度明显低于染料紫檀和卢氏黑黄檀, 但在 $1\ 250\ \text{cm}^{-1}$ 的自动峰的振动强度很高, 在 $1\ 250\ \text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰代表 C—O—C 不对称拉伸, 这可能归因于醚类化合物^[10]。檀香紫檀在 $900\sim 1\ 150\ \text{cm}^{-1}$ 范围, 自动峰个数也明显有别于另外 2 个树种。

References

- [1] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局). GB/T18107—2017, Redwood Standard(红木标准).
- [2] CHENG Han-ting, LIU Shu-wei, LI Ming(程汉亭, 刘书伟, 黎明). GB/T 18107—2017 Redwood(GB/T 18107—2017 红木). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press(北京: 中国农业科学技术出版社), 2014.
- [3] GU Ru-tang, DU Qing-sheng, YANG Jin-song(谷儒堂, 杜庆生, 杨劲松). Hebei Forestry Science and Technology(河北林业科技), 2016, 44(2): 44.
- [4] ZHOU Xu, JIA Dong-yu, SUN Shu-dong, et al(周旭, 贾东宇, 孙书冬, 等). Wood Processing Machinery(木材加工机械), 2017, 28(5): 4.
- [5] MEI Ping, XIA Zhao-peng, ZHANG Yao-li, et al(梅萍, 夏兆鹏, 张耀丽, 等). Journal of Fujian Agriculture and Forestry University • Natural Science Edition(福建农林大学学报 • 自然科学版), 2017, 46(2): 154.
- [6] ZHANG Zhi-yue, ZHANG Fang-da, HUANG An-min, et al(张致悦, 张方达, 黄安民, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2014, 34(Sup.): 135.
- [7] CUI Meng-meng, WU Zhi-hui(崔蒙蒙, 吴智慧). Paint & Coatings Industry(涂料工业), 2017, 47(2): 67.
- [8] SUN Su-qin, ZHOU Qun, CHEN Jian-bo(孙素琴, 周群, 陈建波). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2010.

28.

- [9] Wang Shennan, Zhang Fangda, Huang Anmin, et al. *Holzforschung*, 2016, 70(6): 503.
- [10] Wang Fang, Huang Anmin, Yin Xiaoqian, et al. *Chinese Chemical Letters*, 2018, 29(9): 1395.
- [11] CHENG Shi-chao, LI Dan, ZHANG Qiu-hui, et al(程士超, 李丹, 张求慧, 等). *Journal of Beijing Forestry University(北京林业大学学报)*, 2016, 38(1): 118.

Impact Analysis of Infrared Spectra in *Pterocarpus santalinus* and Confused Species Coated with Wood Wax Oil

LIU Jing¹, HUANG An-min², ZHANG Qiu-hui^{1*}

1. College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract The wood characteristics of *P. tinctoricus Welw* and *Dalbergia louuelii* are similar to *Pterocarpus santalinus*. Especially, after the two species have been painted with colored wood wax oil, it is difficult to distinguish from *P. tinctoricus Welw*, *Dalbergia louuelii* and *Pterocarpus santalinus*. As many rosewood furniture sold on the market are mostly surface-finished in order to achieve anti-corrosion, dust-proof, anti-cracking properties, as well as to improve the surface gloss and the texture of precious wood, the identification of wood itself is far from meeting market demand. *Pterocarpus santalinus*, *P. tinctoricus Welw* and *Dalbergia louuelii* finished with Wood wax oil were analyzed by the Tri-step Infrared identification (FTIR, SDIR and 2D-IR). The three species were surface finished by Polishing-Carrier oil-Polishing-Coating oil-Drying. The wood powder of three species themselves and three surface-coated samples were analyzed by means of three IR spectroscopic methods, and the FTIR spectrum of wood wax oil was also determined. The results show that: (1) The FTIR spectrum of wood wax oil has strong peak at 2 925, 1 733, 1 465 and 1378 cm^{-1} , which coincide with the peak positions of three species themselves. C—H methylene symmetric stretching around 2 854 cm^{-1} , C—O stretching of aliphatic aldehydes at 1 233 cm^{-1} and long-chain C—H methylene bending at 729 cm^{-1} have the same embodiment between wood wax oil and three surface-coated species. The above results indicate that the characteristic peaks of infrared spectra of three species are not affected by wood wax oil. Correlation coefficient between three species themselves and three surface-coated samples can also confirm it. (2) The FTIR spectrum can distinguish *P. tinctoricus Welw* from *Pterocarpus santalinus* and *Dalbergia louuelii* at 1 595, 1 060 and 836 cm^{-1} ; The SDIR spectrum can distinguish *Dalbergia louuelii* from 1 551 cm^{-1} and can further verify the characteristic peak of *P. tinctoricus Welw*; For the 2D-IR spectrum, in the range of 1 425~1 800 and 850~1 300 cm^{-1} , the automatic front of *Pterocarpus santalinus* is obviously different from the other two species, and the absorption peak attributed to the ether compound at 1 250 cm^{-1} can separate *Pterocarpus santalinus*. Redwood identification mainly uses wood anatomy and Surface finishing is mostly concentrated on the study of wood color change. This article makes the best of infrared spectroscopy. Finally, Functional group differences with characteristic peaks of tree species and wood wax oil can directly speculate different content of characteristic components and the specific substances of characteristic components are not required to determine. It is possible to accurately and quickly distinguish the *Pterocarpus santalinus* painted with wood wax oil and *P. tinctoricus Welw* and *Dalbergia louuelii* with which people are confused.

Keywords *Pterocarpus santalinus*; Wood wax oil; Infrared spectroscopy; Identification

(Received Jan. 16, 2019; accepted Apr. 27, 2019)

* Corresponding author