

7 种黄檀属藤本或攀援植物的木材解剖学研究

王露露^{1,2}, 刘欣怡², 王 辉^{1,2}, 王 军^{1,2*}

1. 海南省黎药资源天然产物研究与利用重点实验室/农业农村部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室/中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南海口 571101; 2. 海南热带农业资源研究院, 海南海口 571101

摘 要: 黄檀属 (*Dalbergia* L. f.) 大部分树种的木材都具有世界高知名度, 有关木材解剖学的研究主要为针对乔木树种, 而对藤本或攀援植物树种研究甚少。本研究旨在探讨 7 种黄檀属藤本或攀援植物的木材宏观、微观构造, 系统地归纳总结, 并与乔木树种降香黄檀进行比较分析, 为黄檀属植物的木材识别、物种鉴定及其保护、繁育、开发和利用等方面提供科学依据。结果表明: 宏观构造均表现为心边材区别不明显, 几无光泽; 富含树脂时气芳香, 显油性。生长轮不明显; 管孔明显, 常含丰富的树脂, 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集; 内含韧皮部呈圆形。微观构造显示均为散孔材, 单管孔、径列复管孔, 管孔排列分散, 单穿孔, 管间纹孔互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形, 弦切面上明显; 轴向薄壁组织量较多, 叠生, 主为傍管带状、环管状; 木射线非叠生、较细密。与乔木树种降香黄檀的比较发现, 降香黄檀为散孔材至似半环孔材; 内含韧皮部无; 髓心较小; 轴向薄壁组织主要为傍管型以翼状、聚翼状, 离管型为极小的带状; 管孔密度较小。综上所述, 7 种黄檀属藤本或攀援植物的木材解剖构造上有很多相似之处, 但也存在较大差异, 主要在于: (1) 木射线。红果黄檀和滇黔黄檀相同, 以同形多列为主, 偶见同形单列; 斜叶黄檀和两粤黄檀相似, 同形单列或多列, 而前者为稀异形 III 型; 藤黄檀和白沙黄檀相似, 以异形单列为主, 偶见异形 I 型, 而前者极少异形 III 型; 弯枝黄檀以异形 II 型为主, 其次异形 I 型、异形单列。(2) 木射线宽度。藤黄檀和白沙黄檀 1~2 个细胞; 斜叶黄檀、两粤黄檀和弯枝黄檀 1~3 个细胞; 滇黔黄檀 1~4 个细胞、多数 2~3 个; 红果黄檀 1~5 个细胞、多数 3~4 个。(3) 髓心内含物。以金黄色为主, 但红果黄檀为银白色, 斜叶黄檀无或不明显。

关键词: 黄檀属; 藤本植物; 攀援植物; 木材; 解剖学特征

中图分类号: S781.1 文献标志码: A

Wood Anatomy of Seven Species of Vine or Climbing Plant of *Dalbergia* L. f.

WANG Lulu^{1,2}, LIU Xinyi², WANG Hui^{1,2}, WANG Jun^{1,2*}

1. Hainan Key Laboratory for Research and Development of Natural Products from Li Folk Medicine / Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agricultural & Rural Affairs / Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Hainan Institute for Tropical Agricultural Resources, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: The wood of most tree species of *Dalbergia* L. f. is well-known in the world. The research on wood anatomy mainly focus on tree species, while the research on vine or climbing plant species is rare. This paper discussed the macroscopic and microscopic wood structures of seven species of vines or climbing plants of *Dalbergia* L. f., and summarized systematically, and compared with the tree species of *D. odorifera*, so as to provide a scientific basis for wood identification, species identification, protection, breeding, development and utilization of this genus. The macrostructure showed that the difference between heartwood and sapwood was not obvious, and had little glossy, aromatic and oily when rich in gum. The growth ring was not obvious. The pores were obvious and common rich in gum, which were smaller and sparsely distributed in primary xylem, larger and densely distributed in secondary xylem. Included phloem

收稿日期 2023-01-09; 修回日期 2023-02-01

基金项目 海南省自然科学基金项目 (No. 322RC768)。

作者简介 王露露 (1986—), 女, 硕士, 研究实习生, 研究方向: 植物资源学。*通信作者 (Corresponding author): 王 军 (WANG Jun), E-mail: wangjun@itbb.org.cn。

was round. The microstructures indicated that they were all diffuse-porous wood, single pores, radial multiple pores, pores arrangement dispersed, single perforation, inter-vessel pitting alternate, vestured pitting, elliptical to nearly round, and obvious on the tangential section. Axial parenchyma was abundant and overlapped, paratubular banded, annular tubular. The wood rays were non overlapping, more fine and dense. *D. odorifera* was diffuse-porous wood to near semi-ring-porous wood, included phloem was absent, pith was smaller, axial parenchyma was mainly winged and polymerized-winged (paratubular banded type) or minimal banding (off tube type), low pores density. To sum up, there are many similarities in the wood anatomical structures of the seven vines or climbing plants of *Dalbergia* L. f., but there are also significant differences mainly in wood rays, wood rays width and pith core inclusions. Wood rays were mainly homotypic multiple columns, occasionally homotypic uniseriate of *D. tsoi* and *D. yunnanensis*. *D. pinnata* and *D. benthamii* were similar with homotypic single or multiple columns, while the former also had heterogeneous III type rarely. *D. hancei* and *D. peishaensis* were similar with mainly heterogeneous uniseriate, occasionally heterogeneous I type, while the former also had heterogeneous III type rarely. *D. candenatensis* was mainly heterogeneous II type, followed by heterogeneous I type and heterogeneous uniseriate. The wood rays width of *D. hanei* and *D. peishaensis* was 1–2 cells, that of *D. pinnata*, *D. benthamii* and *D. candenatensis* was 1–3 cells, that of *D. yunnanensis* was 1–4 (mostly 2–3) cells. that of *D. tsoi* was 1–5 (mostly 3–4) cells. The pith core inclusions was mainly golden yellow, but that of *D. tsoi* was silver white, and that of *D. pinnata* was absent or not obvious.

Keywords: *Dalbergia*; vine; climbing plants; wood; anatomical characteristics

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.012

黄檀属 (*Dalbergia* L. f.) 是豆科 (Fabaceae) [原为蝶形花科 (Papilionaceae)] 的一个属, 包含乔木、灌木或木质藤本^[1], 全世界约有 269 种, 广泛分布在热带、亚热带地区, 其中我国拥有 29 种, 产自西南部、南部至中部^[2]。黄檀属大部分树种的木材都具有全球高知名度, 由于其精致的颜色、纹理和出色的硬度、强度等特性及具有镇痛、促血管生成、止泻、抗氧化及利尿等药效作用^[3-6]以其在全球高质量产品 (如: 高档家具、艺术品、乐器) 和药材中的应用而闻名^[7-10]。因其成材难、市场需求量大而遭到大量砍伐, 绝大多数黄檀属红木资源正在迅速萎缩、日益枯竭或濒危, 红木价格也高昂且持续飙升, 以外观类似的非濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) 木材冒充濒危木材的现象越来越猖獗。所以, 木材的精准判别一直是近年来国内外研究的重点。所有的黄檀属植物都是 CITES 所列物种^[11], 其中许多种类还被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》(IUCN), 另外, 有 24 个种类被列入《中国生物多样性红色名录-高等植物卷》(2013), 有 16 种黄檀属乔木树种被列入国家标准 GB/T 18107—2017《红木》, 并根据其树种及木材特征划分为三大类, 即香枝木类、黑酸枝木类和红酸枝木类^[12]。

黄檀属植物按生活型大致可分为两大类: (1) 直立乔木或灌木, 全世界黄檀属乔木或灌木的种类繁多, 且多为优良的用材树种, 如: 交趾黄檀

(*D. cochinchinensis* Pierre ex Laness.)、奥氏黄檀 (*D. oliveri* Gamble ex Prain)、伯利兹黄檀 (*D. stevensonii* Standl.)、刀状黑黄檀 (*D. cultrata* Graham)、阔叶黄檀 (*D. latifolia* Roxb.) 等; 我国约有 13 种, 以降香黄檀 (*D. odorifera* T. C. Chen)、海南黄檀 (*D. hainanensis* Merr. & Chun)、黄檀 (*D. hupeana* Hance) 等为代表。(2) 木质藤本或攀援灌木, 世界黄檀属木质藤本或攀援灌木植物亦较多, 仅亚洲分布的就达 50 种以上^[13], 如婆罗洲黄檀 (*D. borneensis* Prain) (大型木质藤本或攀援灌木)、密花黄檀 (*D. confertiflora* Benth.) (大型木质藤本)、网脉黄檀 (*D. reticulata* Merr.) (攀援灌木) 等。我国有木质藤本或攀援灌木的种类约有 16 种, 以两粤黄檀 (*D. benthamii* Prain)、斜叶黄檀 [*D. pinnata* (Lour.) Prain]、红果黄檀 (*D. tsoi* Merr. & Chun)、藤黄檀 (*D. hancei* Benth.)、滇黔黄檀 (*D. yunnanensis* Franch.) 等为代表^[14]。

关于黄檀属植物木材解剖学的研究较多, 但多为针对乔木树种, 如国外有学者系统地研究了马达加斯加 48 种黄檀属植物茎部解剖学特征, 其中包括对木质藤本短穗花序黄檀 (*D. bracteolata* Baker) 树皮、初生木质部、髓心和茎木质部解剖学的详细描述^[15]; 大多数美洲黄檀属植物解剖学都已有研究, 如详细描述中美洲黄檀 (*D. granadillo* Pittier) 与微凹黄檀 (*D. retusa* Hemsl.) 木材显微结构的区别^[16]。更有学者系统描述了多

种黄檀属红木木材解剖学特征, 宏观上许多黄檀属的木材有香味, 心材颜色明显, 通常带有条纹等^[2]; 国内黄檀属乔木以降香黄檀为研究热点, 有学者从降香黄檀与海南黄檀 2 种乔木从形态学、木材解剖学、化学特征、分子鉴定等方面进行了全面的归纳^[17]; 也有学者比较归纳降香黄檀和越南黄檀 (*D. tonkinensis* Prain) 木射线解剖组织^[18]; 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^[19]; 观察巴里黄檀 (*D. bariensis* Pierre ex Prain) 木材的宏观、显微构造等^[20]。

针对本研究中的黄檀属藤本或攀援灌木植物的研究主要包括: (1) 两粤黄檀的化学成分分析、药理作用、形状及显微结构等^[21-27]; 斜叶黄檀的野生资源调查、心材精油功能活性及 GC-MS 分析、化学成分分析、抑制活性、显微结构等^[28-33]; 对红果黄檀的研究甚少, 如广西出台的地方标准《降真香鉴定方法》(DB 45/T 1914—2018) 中描述了 3 种藤本黄檀, 即两粤黄檀、斜叶黄檀和红果黄檀的木材宏观结构特征及显微结构特征^[34]; 有学者从标本研究及野外观察确认红果黄檀和白沙黄檀为同种植物^[35]; 藤黄檀的药用化学成分分析、结香树脂的组织形态学和显微鉴别^[36-38]; 滇黔黄檀 (又名杠香) 的挥发油成分、抗氧化活性、基原鉴定、性状鉴定、DNA 条形码、化学成分 GC-MS 分析、显微结构^[39-44]; 本研究中的藤黄檀、弯枝黄檀 [*D. candenatensis* (Dennst.) Prain] 为中国特有, 红果黄檀、白沙黄檀更是为海南特有, 从形态学上比较研究表明 (附表 1), 7 种黄檀属藤本或攀援灌木具有一定的共性特征, 如小枝常扭曲, 也具有一定差异, 如斜叶黄檀、红果黄檀和白沙黄檀的小叶数量多; 斜叶黄檀的叶基偏斜; 荚果形状除弯枝黄檀呈镰形至弯月形外, 其他呈长圆形至带状; 红果黄檀荚果呈红褐色, 其他均为褐色等。从形态学上可以对上述植株、苗木等进行识别, 而针对市场上流通的心材或茎段则难以区分, 需要采取木材解剖学、分子生物学等手段来鉴定, 而心材或木材的 DNA 等数据往往受到降解严重和微生物等因素干扰, 难以获得较好的结果, 因此, 采用木材解剖的鉴定方法将会是很好的鉴定手段。

综上所述, 对本研究中的 7 种黄檀属藤本或攀援灌木植物的木材解剖学研究报道较少, 且未见对白沙黄檀和弯枝黄檀的研究报道, 而对已有

黄檀属藤本的茎木材解剖学描述也比较笼统, 对其他种类的研究也不够系统、全面。因此, 本文将从木材宏观结构、微观结构等方面, 对我国 7 种代表性黄檀属藤本木材解剖结构进行系统归纳总结, 并与乔木树种降香黄檀进行对比分析, 以期黄檀属植物的木材识别、物种鉴定及其保护、繁育、开发和利用等方面提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料 7 种黄檀属植物及降香黄檀木材采自海南各市 (县), 采集时间为 2022 年 6 月 20 日至 7 月 23 日, 胸径约 1.5~3.0 cm, 压制腊叶标本, 标本号分别为 WJ202201、WJ202202、WJ202203、WJ202204、WJ202205、WJ202206 和 WJ202207, 经中国热带农业科学院热带生物技术研究王军依次鉴定为两粤黄檀、斜叶黄檀、红果黄檀、藤黄檀、白沙黄檀、滇黔黄檀和弯枝黄檀, 凭证标本均藏于中国热带农业科学院热带生物技术研究王军。

1.1.2 仪器与设备 AM413T 手持式数码显微镜 (物镜为 1 倍, 镜体变倍比为 10~500, 放大倍数为 10~500 倍), 深圳东仪精工设备有限公司; RM2235 切片机, 德国 Leica 公司; 体式显微镜 (物镜 1 倍, 目镜 10 倍, 镜体变倍比为 0.7~11.5, 放大倍数为 7~230 倍), 日本 Olympus 公司。

1.2 方法

1.2.1 木材宏观构造 用锯子将茎段沿轴向锯断, 并用单面刀片将断口处削切整齐, 置于手持式数码显微镜下观测, 木材宏观构造图放大倍数为 35 倍。

1.2.2 木材微观构造 将茎段上的树皮剥离后放入沸水中煮沸, 使其软化, 以达到沉水为宜, 再用小锯子或单面刀片切成大于 1 cm³ 的立方体。在将木块切成小块的同时选择好木材 3 个切面, 即横切面要与导管纵轴垂直; 弦切面要与木射线垂直, 并与导管纵轴平行; 径切面应与木射线平行。在此步骤中, 如果在肉眼下不可见射线, 可借助放大镜或体式显微镜, 找到相互垂直的 3 个切面。在切片机上切制切片, 分别将横切面、弦切面和径切面切好, 切片厚度为 10~25 μm, 将切好的木材切片轻轻夹入盛有去离子水的培养皿中, 洗去碎末残渣后, 放入 1% 的番红中染色, 染色时间为 2~3 h, 之后将染色的木材切片按次序分

别放入盛有 50%、70%、85%、95% 的乙醇中进行梯度洗脱, 洗脱时间为 5~15 min, 洗脱一般为每个浓度 1 次, 也可根据情况增加洗脱次数和延长洗脱时间, 洗脱完成后将切片放入组织透明液中透明 2~3 h, 透明之后直接压片并用中性树胶封片, 置于阴凉处风干。将压制好的切片置于体式显微镜下观测。木材微观构造图放大倍数, 横切面为 40 倍, 弦切面和径切面均为 100 倍。

2 结果与分析

两粤黄檀、斜叶黄檀、红果黄檀、藤黄檀、白沙黄檀、滇黔黄檀和弯枝黄檀的木材宏观构造见图 1, 微观构造见图 2, 对木材构造特征描述参照《中国木材志》^[45]。观测结果如下:

2.1 两粤黄檀 (*Dalbergia benthamii* Prain)

别名: 大叶降真香、两粤檀、藤春。

宏观构造特征: 心边材区别不明显, 淡黄色至黄褐色, 富含树胶时呈黄棕色、红棕色至黑紫色; 无光泽或稍具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显。散孔材, 管孔明显, 肉眼下可见, 常富含树胶及白色至淡黄色侵填体, 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集, 且越靠近树皮常越大。轴向薄壁组织量大, 叠生, 主为带状、环管状, 肉眼下可见, 放大镜下明显, 常形成波浪状同心环。内含韧皮部近圆形, 薄; 髓心椭圆形, 直径 0.3~0.8 mm, 富含银白色至淡黄色内含物。木射线明显, 较细, 较密, 常部分与薄壁组织构成网状, 在肉眼下径切面上射线斑纹可见, 弦切面上射线呈长短线状, 放大镜下明显。

微观构造特征: 导管主要为单管孔、径列复管孔 (2~25 个, 常以许多 1~3 列小的管孔组成网状, 并联通 2~3 个大的管孔); 导管横切面为近圆形、椭圆形; 管孔排列分散; 管孔密度 3~4 个/mm²; 管孔弦径 40~310 μm , 多数 170~260 μm ; 管孔直径大小相差大, 可达 10 倍以上; 散孔材; 管孔内常含红棕色至红褐色树胶, 单穿孔; 导管分子长度 150~300 μm 、平均 210 μm , 宽度 115~150 μm ; 导管分子穿孔板斜列、横列至近横列; 管间纹孔式互列, 弦切面上明显; 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内陷及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量大, 叠生, 主要为带状 (宽 2~6 个细胞)、环管状, 富含红棕色至黑褐色树胶; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞

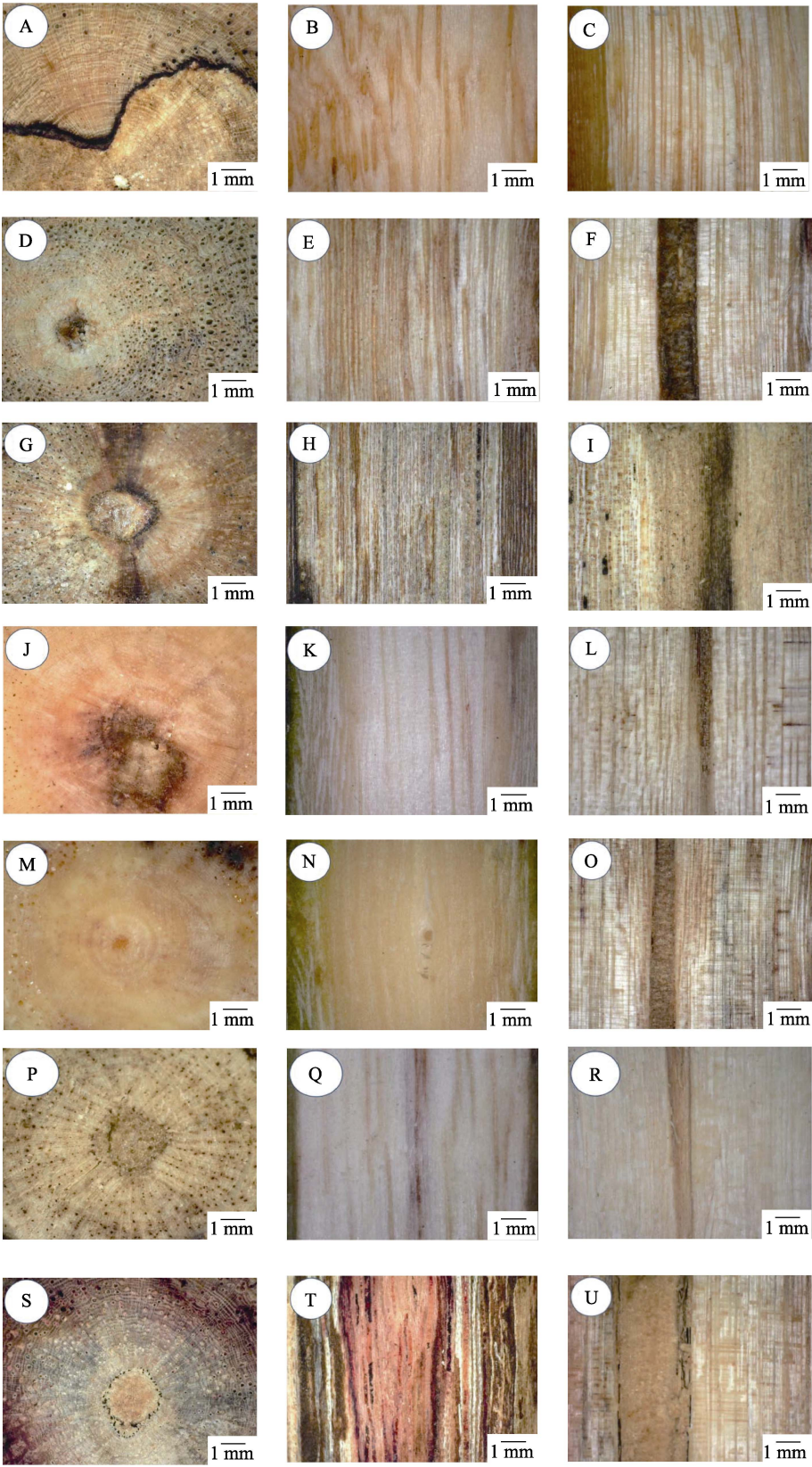
常见, 多达 10 个或以上。木射线非叠生或局部整齐排列, 10~12 根/mm, 同形单列或多列, 单列射线少, 多列射线宽 2~3 个 (稀) 细胞、8~50 μm , 高 2~30 个细胞、50~400 μm ; 射线细胞圆形、椭圆形; 径切面上横卧射线细胞长方形或方形, 高 5~10 层, 通常富含红棕色至红褐色树胶。

2.2 斜叶黄檀 [*Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain]

别名: 小叶降真香、斜叶檀。

宏观构造特征: 心边材区别稍明显, 心材淡黄色, 边材灰褐色, 富含树胶时呈红棕至黑紫色; 无光泽或略具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显或无; 散孔材, 管孔明显, 肉眼下可见, 常含丰富的树胶, 侵填体无或不明显; 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集, 且越靠近树皮常越大。轴向薄壁组织量多, 叠生, 肉眼下可见, 放大镜下非常明显, 主要为带状、环管状, 常形成波浪状同心环。内含韧皮部圆形, 白至淡黄色, 较厚; 髓心近圆形, 黑褐色, 直径 1.5~2.0 mm, 内含物无或不明显。木射线较密, 较细, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常与薄壁组织交织成网状, 在肉眼下径切面上射线斑纹可见, 弦切面上射线呈密集的短线状。

微观构造特征: 导管主要为单管孔、径列复管孔 (2~25 个, 常以许多 1~3 列小的管孔组成网状, 并联通 2~3 个大的管孔)、稀管孔团, 导管横切面为椭圆形至近圆形, 细小的管孔呈不规则椭圆形至圆形, 管孔排列分散, 管孔密度 6~8 个/mm², 管孔弦径 15~350 μm , 多数 190~230 μm , 管孔弦径大小相差大, 可达 10 倍以上; 常含红棕色至红褐色树胶; 导管分子长度 185~240 μm 、平均 210 μm , 宽度 40~90 μm ; 单穿孔, 穿孔板斜列为主, 稀横列; 管间纹孔式互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内陷及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量多, 叠生, 主要为傍管带状 (宽 2~5 个细胞)、环管状; 常见含有大量黑褐色至红棕色树胶; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞多达 10 个或以上。木射线非叠生或局部整齐排列, 13~16 条/mm; 单列射线为主, 多列射线宽 2~3 个细胞、6~30 μm , 高 2~16 个细胞、60~280 μm 。射线组织同形单列或多列, 稀异形 III 型; 射线细胞椭圆形、卵圆形、圆形; 径切面上横卧射线细胞方形或长方形, 高 3~13 层, 富含红褐色树胶。



横切面

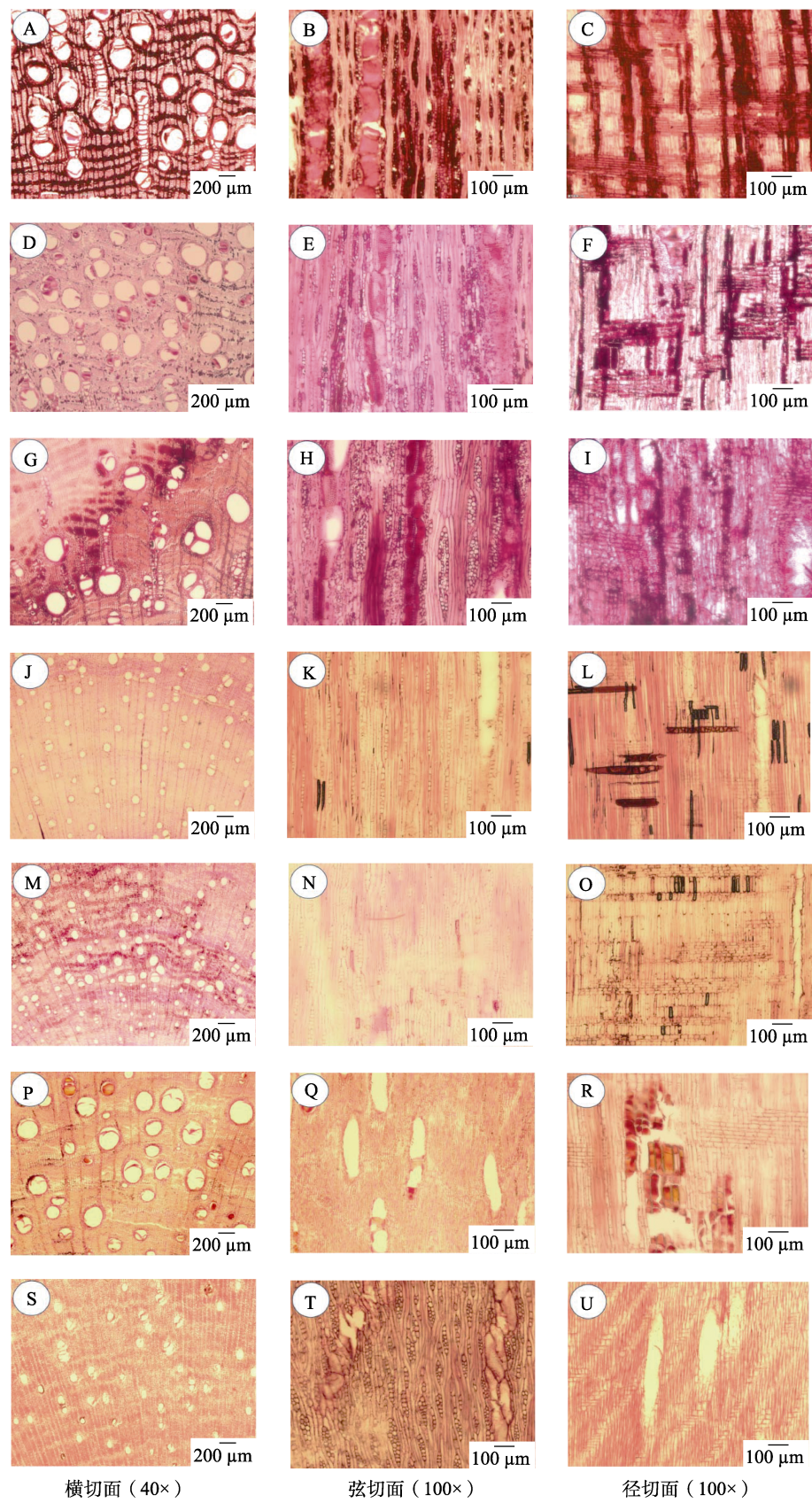
弦切面

径切面

A~C: 两粤黄檀; D~F: 斜叶黄檀; G~I: 红果黄檀; J~L: 藤黄檀; M~O: 白沙黄檀; P~R: 滇黔黄檀; S~U: 弯枝黄檀。
A~C: *D. benthamii*; D~F: *D. pinnata*; G~I: *D. tsoi*; J~L: *D. hancei*; M~O: *D. peishaensis*; P~R: *D. yunnanensis*; S~U: *D. candanensis*.

图 1 7 种黄檀属木材宏观切面 (35×)

Fig. 1 Macro sections of seven species of wood in the *Dalbergia* L. f. (35×)



A~C: 两粤黄檀; D~F: 斜叶黄檀; G~I: 红果黄檀; J~L: 藤黄檀; M~O: 白沙黄檀; P~R: 滇黔黄檀; S~U: 弯枝黄檀。
A~C: *D. benthamii*; D~F: *D. pinnata*; G~I: *D. tsoi*; J~L: *D. hancei*; M~O: *D. peishaensis*; P~R: *D. yunnanensis*; S~U: *D. candanensis*.

图 2 7 种黄檀属木材微观切面

Fig. 2 Microscopic sections of seven species of wood in the *Dalbergia* L. f.

2.3 红果黄檀 (*Dalbergia tsoi* Merr. & Chun)

别名: 十亩香、红果檀、左氏黄檀。

宏观构造特征: 心边材区别稍明显, 心材白至淡黄色, 边材灰至褐色, 富含树胶时呈黄棕、红棕至黑紫色; 无光泽或略具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显或无, 散孔材, 分散排列, 管孔明显, 肉眼下可见, 常含丰富的树胶, 部分含白色至淡黄色侵填体; 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集, 且越靠近树皮常越大。轴向薄壁组织量大, 叠生, 肉眼下可见, 放大镜下明显, 主要为带状、环管状; 常形成波浪状同心环。内含韧皮部近圆形, 薄; 髓心椭圆形, 直径 2.5~3.0 mm, 髓心细胞富含银白色至淡黄色内含物。木射线较密, 较细, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹可见, 弦切面上射线呈密集的长细线状。

微观构造特征: 导管主要为单管孔、径列复管孔 (2~14 个, 常以许多 1~3 列小的管孔组成网状, 并联通 2~3 个大的管孔)、稀管孔团; 导管横切面为椭圆形至近圆形, 细小的管孔呈不规则椭圆形至圆形, 管孔排列分散, 管孔密度为 3~4 个/mm², 管孔弦径 30~350 μm , 多数 150~230 μm , 管孔弦径大小相差大, 可达 10 倍以上; 常含红棕色至红褐色树胶; 单穿孔; 导管分子长度 175~460 μm 、平均 230 μm , 宽度 60~100 μm ; 穿孔板横列、近横列为主, 稀斜列; 管间纹孔式互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内涵及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量多, 叠生, 主要为傍管带状 (宽 2~7 个细胞)、环管状, 常见含有大量黑褐色至红棕色树胶; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞多达 10 个或以上。木射线非叠生或局部整齐排列, 7~10 条/mm, 以同形多列为主, 偶见同型单列, 单列射线少, 多列射线宽 2~5 (多数 3~4 个) 细胞、8~45 μm , 高 2~26 个细胞、110~570 μm ; 射线细胞圆形至近圆形; 径切面上横卧射线细胞方形或长方形, 高 7~14 层, 富含红棕色树胶。

2.4 藤黄檀 (*Dalbergia hancei* Benth.)

别名: 藤檀、藤香。

宏观构造特征: 心边材区别不明显, 淡黄色至黄褐色, 富含树胶时呈红棕色, 无光泽或稍具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连

续性圆形的生长轮略明显, 散孔材, 管孔明显, 肉眼下稍可见, 常含丰富树胶, 部分含白色至淡黄色侵填体; 初生木质部的管孔较小, 次生木质部的管孔较大, 且越靠近树皮常越大; 初生木质部和次生木质的管孔密集程度相当。轴向薄壁组织量稍多, 叠生, 肉眼下可见, 放大镜下明显, 主要为带状、环管状, 常形成波浪状同心环。内含韧皮部近圆形, 薄; 髓心不规则圆形, 直径 0.5~1.5 mm; 髓心细胞富含淡黄色至银白色内含物。木射线较细, 较密, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹可见, 弦切面上射线呈短细线状。

微观构造特征: 导管主要为单管孔, 其次为径列复管孔 (2~4 个, 可见单列稍小的管孔联通 2 个大管孔), 稀管孔团; 导管横切面为椭圆形、近圆形, 管孔排列分散, 管孔密度 11~30 个/mm², 管孔弦径 35~200 μm , 多数 60~100 μm , 管孔弦径大小常差别不大; 管孔内偶见红棕色树胶; 单穿孔; 导管分子长度 200~250 μm 、平均 230 μm , 宽度 60~130 μm ; 导管分子穿孔板横列、近横列至斜列; 管间纹孔式互列, 弦切面上明显; 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内涵及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量稍多, 叠生, 主要为傍管带状 (宽 2~5 个细胞)、环管状, 偶见含有红棕色至黑褐色树胶; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞多达 10 个或以上。木射线非叠生, 11~14 根/mm, 异形单列为主, 偶见异形多列, 以异形 I 型为主, 极少异形 III 型; 单列射线多, 多列射线通常宽 2 个细胞、8~20 μm , 高 2~20 个细胞、75~420 μm ; 射线细胞圆形至椭圆形, 横切面上常呈红褐色状射线, 径切面上横卧射线细胞多为长方形、方形, 高约 8~20 层, 局部富含红棕色树胶, 常呈粗长条状。

2.5 白沙黄檀 (*Dalbergia peishaensis* Chun & T.C. Chen)

别名: 白沙檀。

宏观构造特征: 心边材区别不明显, 淡黄色, 含树胶时呈红棕色至红褐色; 无光泽或稍具光泽。横切面上连续性圆形的生长轮不明显或无。散孔材, 分散排列, 管孔明显, 肉眼下稍可见, 常富含树胶及白色至淡黄色侵填体, 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集, 且越靠近树皮常越大。轴向薄壁组织量

大, 叠生, 主为带状、环管状, 肉眼下可见, 放大镜下明显; 常形成波浪状同心环。内含韧皮部近圆形, 较厚; 髓心呈不规则形, 直径 0.5~1.0 mm, 富含棕黄色至银白色内含物。木射线较细较密, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹甚为明显, 弦切面上射线呈短细线状, 放大镜下稍可见。

微观构造特征: 导管主要为单管孔, 其次为径列复管孔 (2~4 个, 可见单列稍小的管孔联通 2 个大管孔); 导管横切面为椭圆形、近圆形; 管孔排列分散, 管孔密度 13~15 个/mm²; 管孔弦径 25~230 μm , 多数 40~100 μm ; 管孔弦径大小相差稍大, 可达 5 倍以上; 散孔材; 管孔内偶见红棕色至红褐色树胶; 单穿孔; 导管分子长度 150~230 μm 、平均 210 μm , 宽度 45~150 μm ; 导管分子穿孔板横列、近横列至斜列; 管间纹孔式互列, 弦切面上明显; 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内涵及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量大, 叠生, 主要为傍管带状 (宽 2~7 个细胞)、环管状; 稀见含有红棕色至黑褐色树胶; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞多达 10 个或以上。木射线非叠生, 8~12 根/mm, 异形单列为主, 偶见异形多列, 异形 I 型, 单列射线多, 多列射线通常宽 2 个细胞、8~20 μm , 高 2~20 个细胞、40~230 μm ; 射线细胞圆形至椭圆形; 径切面上横卧射线细胞长方形、方形, 少直立形, 高 5~10 层, 偶见含红棕色树胶。

2.6 滇黔黄檀 (*Dalbergia yunnanensis* Franch.)

别名: 杠香、云南黄檀。

宏观构造特征: 心边材区别不明显, 白至淡黄色, 富含树胶时呈红棕色至黑紫色; 无光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显或无, 散孔材, 分散排列, 管孔明显, 肉眼下可见, 常富含红棕色至黑紫色树胶, 部分含白色至淡黄色侵填体; 初生木质部的管孔较小, 次生木质部的管孔较大, 且越靠近树皮常越大, 初生木质部和次生木质部管孔密集程度相当。轴向薄壁组织量较大, 肉眼下可见, 放大镜下明显, 主要为带状、环管状, 常形成微波浪状同心环。内含韧皮部无或几乎不可见; 髓心近圆形, 直径 2.0~2.5 mm, 髓心细胞富含白色至金黄色内含物。木射线较密, 较细, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常呈不规则线形, 近

边缘常呈折线形, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹可见, 弦切面上射线呈密集的长短细线状。

微观构造特征: 导管主要为单管孔、稀径列复管孔 (2~7 个, 多为单列, 3 个及以上时管孔通常较小, 几乎不串联大管孔); 导管横切面为椭圆形至近圆形; 管孔排列分散; 管孔密度 6~8 个/mm²; 管孔弦径 40~310 μm , 多数 170~260 μm , 管孔弦径大小相差大, 可达 8 倍以上; 常含红棕色树胶; 单穿孔; 导管分子长度 125~310 μm 、平均 230 μm , 宽度 120~300 μm ; 穿孔板横列、近横列为主, 稀斜列; 管间纹孔式互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内涵及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量较多, 叠生, 主要为傍管带状 (宽 2~4 个细胞)、环管状; 常含有红棕色树胶; 菱形晶体偶见。木射线非叠生, 7~10 条/mm, 以同形多列为主, 偶见同型单列, 单列射线少, 多列射线宽 2~4 个细胞 (多数 2~3 个细胞)、8~50 μm , 高 4~20 个细胞、150~470 μm ; 射线细胞圆形至近圆形; 径切面上横卧射线细胞方形或长方形, 高 5~10 层, 通常含红棕色至红褐色树胶。

2.7 弯枝黄檀 [*Dalbergia candenatensis* (Dennst.) Prain]

别名: 扭黄檀。

宏观构造特征: 心边材区别不明显, 白至淡黄色, 边材灰色, 富含树胶时呈红棕色至黑紫色; 略具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显。散孔材, 分散排列, 管孔明显, 肉眼下可见, 常富含红棕色至黑紫色树胶, 部分含白色至淡黄色侵填体; 初生木质部的管孔较小, 次生木质部的管孔较大, 且越靠近树皮常越大, 初生木质部和次生木质部管孔密集程度相当。轴向薄壁组织量大, 叠生, 主为带状、环管状, 常形成微波浪状同心环。内含韧皮部近圆形, 薄; 髓心近圆形, 直径 2.0~2.5 mm, 髓心细胞富含淡黄褐色内含物。木射线较密, 较细, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹甚为明显; 弦切面上射线呈密集的短细线状。

微观构造特征: 导管主要为单管孔, 其次为径列复管孔 (2~5 个, 多为单列, 3 个及以上时管孔通常较小); 导管横切面为椭圆形; 管孔排列分散; 管孔密度 5~8 个/mm²; 管孔弦径 30~123 μm ,

多数 60~95 μm ; 管孔弦径大小相差不大; 常见红棕色至红褐色树胶; 单穿孔; 导管分子长度 140~530 μm 、平均 230 μm , 宽度 35~100 μm , 常可见不规则状叠加分布; 穿孔板斜列、近横列至横列; 管间纹孔式互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形; 纹孔口内函及外展, 常合生, 透镜形及裂隙状。轴向薄壁组织量多, 叠生, 主要为傍管带状(宽 4~6 个细胞)、环管状; 菱形晶体常见, 分室含晶细胞常见, 多达 10 个或以上。木射线非叠生或局部整齐排列, 12~15 根/mm, 以异形 II 型为主, 其次异形 I 型和异形单列, 单列射线少, 多列射线通常宽 2~3 个细胞、15~40 μm , 高 2~10 个细胞、40~230 μm ; 射线细胞圆形至椭圆形; 径切面上横卧射线细胞长方形、方形, 少直立形, 常与薄壁组织细胞和木纤维交织呈台阶状, 高 10~12 层, 偶见红棕色树胶。

3 结论

3.1 宏观构造上的共同特征

心边材区别不明显, 无光泽或稍具光泽; 富含树胶时气芳香, 显油性。横切面上连续性圆形的生长轮不明显; 管孔明显, 肉眼下可见, 常含有丰富的树胶, 初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集; 内含韧皮部圆形; 轴向薄壁组织主要为带状、环管状。木射线较细, 较密, 在放大镜下横切面上明显, 比管孔小, 常部分与薄壁组织构成网状; 在肉眼下径切面上射线斑纹甚为明显, 弦切面上射线呈密集的短细线状。

3.2 宏观构造上的区别

木材宏观构造上的区别主要表现在髓心上。从形状上, 斜叶黄檀、藤黄檀和白沙黄檀呈不规则形, 红果黄檀和两粤黄檀呈椭圆形, 滇黔黄檀和弯枝黄檀呈近圆形; 弦径: 红果黄檀>弯枝黄檀>滇黔黄檀>斜叶黄檀>藤黄檀>白沙黄檀>两粤黄檀; 内含物: 斜叶黄檀无或不明显, 红果黄檀银白色, 剩下均为金黄色。

3.3 微观构造上的共同特征

木材类型均为散孔材, 导管为单管孔、径列复管孔, 形状椭圆形、近圆形; 管孔排列分散, 单穿孔, 管间纹孔互列, 系附物纹孔, 椭圆形至近圆形, 弦切面上明显; 导管分子平均长度相近, 为 210~230 μm , 轴向薄壁组织量较多, 叠生, 主为傍管带状、环管状; 常含有红棕色至黑褐色树

胶; 菱形晶体可见, 木射线非叠生, 射线细胞椭圆形、圆形至近圆形, 含红棕色、红褐色树胶。

3.4 微观构造上的区别(附表2)

①管孔密度: 藤黄檀>白沙黄檀>斜叶黄檀=滇黔黄檀=弯枝黄檀>红果黄檀=两粤黄檀。②管孔类型: 7 种藤本植物均以单管孔、径列复管孔为主, 仅斜叶黄檀和红果黄檀稀有管孔团, 其他未见管孔团。③木射线数量: 斜叶黄檀>弯枝黄檀>藤黄檀>两粤黄檀 $\approx$ 白沙黄檀>红果黄檀=滇黔黄檀。④木射线类型: 红果黄檀和滇黔黄檀相同, 以同形多列为主, 偶见同形单列; 斜叶黄檀和两粤黄檀相似, 同形单列或多列, 区别在于前者为稀异形 III 型; 藤黄檀和白沙黄檀相似, 以异形单列为主, 偶见异形 I 型, 区别在于前者极少异形 III 型; 弯枝黄檀以异形 II 型为主, 其次异形 I 型、异形单列。⑤横卧射线细胞高度: 滇黔黄檀、白沙黄檀和两粤黄檀高 5~10 层, 斜叶黄檀高 3~13 层, 红果黄檀 7~14 层, 弯枝黄檀 10~12 层, 藤黄檀 8~20 层。⑥横卧射线细胞形状: 斜叶黄檀、红果黄檀、滇黔黄檀和两粤黄檀均为方形或长方形; 藤黄檀、白沙黄檀和弯枝黄檀为长方形、方形, 少直立形。

4 讨论

藤本植物, 特别是木质藤本是热带森林特有的特征和主要生长型, 是区分热带森林和温带森林的重要特征^[46-47]。藤本植物对雨林落叶层产生的巨大贡献(高达 40%)表明, 它们在营养循环中发挥着重要作用, 可能有益于宿主树木。与树木叶片相比, 藤本植物叶片的营养浓度更高, 寿命相对较短, 分解更快。此外, 藤本植物的特殊生命形式使它们能够在森林中垂直和水平生长, 并通过产生落叶将营养物质主要转移到宿主树木^[48]。因此, 藤本植物可能对热带雨林的高生产力做出巨大贡献。

木质藤本通常具较粗且木质的茎, 许多热带藤本的特征在于异常的茎结构, 茎横切面的描述主要是根据木质部的特征, 特别是连续性或不连续性及其轮廓, 其代表生长的连续过程中不同状况或不同阶段, 与藤本的次级生长有关^[49], 本研究黄檀属植物均为木质藤本或攀援植物, 具有较粗且木质的茎, 横切面上是连续性的圆形; 藤本植物茎的结构为适应功能的改变, 表现出灵活多样的策略, 如形成层变异(cambial variants), 该变异

的形成更有利于藤本弯曲生长、损伤时进行自我恢复, 导管直径和形态变化更有利于输导等^[50-51]。本研究 7 种黄檀属木材都显示初生木质部的管孔较小且分布稀疏, 次生木质部的管孔较大且分布密集, 使得植物处于一个良好的生长环境, 一方面大的导管分化有利于水分输导的效率, 另一方面窄导管的存在可以保证水分输导的安全性。

本研究中 7 种黄檀属木材间也具有较大的差别, 主要表现在木射线类型、木射线宽度和髓心内含物方面。微观构造上从木射线类型看: 红果黄檀和滇黔黄檀相同, 以同形多列为主, 偶见同形单列; 斜叶黄檀和两粤黄檀相似, 同形单列或多列, 不同的是前者为稀异形 III 型; 藤黄檀和白沙黄檀相似, 以异形单列为主, 偶见异形 I 型, 不同的是前者极少异形 III 型; 弯枝黄檀以异形 II 型为主, 其次异形 I 型、异形单列。木射线宽度: 藤黄檀和白沙黄檀 1~2 个细胞, 斜叶黄檀、两粤黄檀和弯枝黄檀 1~3 个细胞, 滇黔黄檀 1~4 个细胞、多数 2~3 个; 红果黄檀 1~5 个细胞、多数 3~4 个。从木材髓心内含物看: 7 种黄檀属藤本或攀援植髓心内含物以金黄色为主, 红果黄檀为银白色, 斜叶黄檀无或不明显。值得指出的是红果黄檀与白沙黄檀的木材解剖学特征具有较大差异, 如木射线类型(前者以同形多列为主, 偶见同形单列; 而后者以异形单列为主, 偶见异形 I 型)、木射线宽度(前者多数为 3~4 个细胞; 而后者多数为 1~2 个细胞)、管孔密度(前者为 3~4 个/mm²; 后者为 13~15 个/mm²), 且本研究组对其叶绿体测序结果也发现二者间存在较大差异(结果另文发表), 因此不支持崔菲等^[35]将白沙黄檀并入红果黄檀。

7 种木质藤本或攀援灌木试材与降香黄檀(同属乔木)除了形态学上的差异之外, 在木材解剖结构上也存在较大差异, 主要表现在髓心大小、内涵韧皮部有无、导管密度、轴向薄壁组织类型、导管数量方面。木质藤本或攀援灌木具有粗的髓心和内含韧皮部, 而乔木树种降香黄檀的则非常小, 髓心是木质部有茎的初生结构, 是薄壁组织构成的中心部分, 是植物中的营养组织, 具有储藏营养物质的功能, 利于应对在恶劣生存环境下的养分供应^[52-53]; 内含韧皮部在外界损伤促进下具有重新分裂的作用, 且在光合产物的运输和贮藏等方面具有重要作用^[54]; 前者导管密度明显大

于后者; 前者轴向薄壁组织呈傍管带状(宽 2~7 个细胞)、环管状, 而后者以翼状、聚翼状为主, 离管型为极小的带状; 导管的数量特征与运输水分、养分的功能密切相关^[55]。需要特别指出的是, 近年来市场上经常出现以滇黔黄檀心材冒充降香黄檀心材售卖, 消费者往往难以区分, 从化学方面来看二者也非常近似, 如挥发油颜色、香气, 均具醇类、萜类、酮类和醚类化学成分, 类别相近, 但前者的香气更浓且具甜香气^[44]。但仍然可以从木材解剖学方面区分二者, 如前者具有粗大的髓心和管孔、木材纹理也较粗、管孔密度高、木射线以同形多列为主等。

木材解剖学研究可以作为形态学、分子生物学鉴定中的良好补充, 亦可以提供二者难以解决的鉴定方案。黄檀属的物种是唯一被视为真正的红木/玫瑰木(rosewood / bois de rose)的物种, 且所有的黄檀属植物都是濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)所列物种, 该属植物种类繁多, 分布广泛, 用途多样(材用、药用、文玩等), 给物种鉴定带来了很高的难度。本研究正是基于此目的开展, 为该属植物的识别与鉴定, 以及对未来的进一步深入研究、保护、开发利用、品种选育等方面提供基础数据。有研究表明, 木质藤本在干旱的森林环境中具有光截获、光合速率、水分利用和生长方面的优势, 具有较强的适应能力^[56-57], 因此, 黄檀属木质藤本或攀援灌木还可以在森林植被恢复的建群阶段, 发挥快速恢复生物多样性的功能。另外, 还可以弥补黄檀属乔木树种的成材慢、心材形成难、生长局限等造成的药用植物资源稀缺等问题。

致谢 感谢海南热带雨林国家公园管理局尖峰岭分局陈焕强先生采样时提供的帮助。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
Flora of China Editorial Committee of Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1994. (in Chinese)
- [2] FLAVIO R, ALAN CRIVELLARO F H. Atlas of macroscopic wood identification: with a special focus on timbers used in Europe and CITES-listed species[M]. Basel city, Gewerbestrasse, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2019.

- [3] ASIF M, KUMAR A. Phytochemical investigation and evaluation of antinociceptive activity of ethanolic extract of *Dalbergia sissoo* (Roxb.) bark[J]. Journal of Natural Science, Biology Medicine, 2011, 2(1): 76.
- [4] WANG S S, ZHENG Z G, WENG Y Q, YU Y J, ZHANG D F, FAN W H, DAI R H, HU Z B. Angiogenesis and anti-angiogenesis activity of Chinese medicinal herbal extracts[J]. Life Sciences, 2004, 74(20): 2467-2478.
- [5] KUMARI A, KAKKAR P. Screening of antioxidant potential of selected barks of indian medicinal plants by multiple *in vitro* assays[J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2008, 21(1): 24-29.
- [6] JAIGANESH K P, AKILANDESHWARI S, SENTHAMARAI R. Diuretic activity of root extracts of *Dalbergia spinosa* Roxb.[J]. Ancient Science of Life, 2009, 28(3): 11-13.
- [7] United Nations Environment Programme (UNEP). Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora[C]. International Environment House, Geneva, Switzerland, 2011.
- [8] HASSOLD S, LOWRY P P, BAUERT M R, RAZAFINTSALAMA A, RAMAMONJISOA L, WIDMER A. DNA Barcoding of malagasy rosewoods: towards a molecular identification of CITES-Listed *Dalbergia* species[J]. PLoS One, 2016, 11(6): e0157881.
- [9] LI Q W, WU J H, WANG Y S, LIAN X M, WU F L, ZHOU L, HUANG Z B, ZHU S. The phylogenetic analysis of *Dalbergia* (Fabaceae: Papilionaceae) based on different DNA barcodes[J]. 2017, 71(12): 939-949.
- [10] 蒋国胜, 谢冰清. 红木市场发展的的问题、评价和建议[J]. 中国林业经济, 2020(3): 83-85.
- JIANG G S, XIE B Q. Problems, evaluations and recommendations for the development of redwood market[J]. China Forestry Economics, 2020(3): 83-85. (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危野生动植物种国际贸易公约附录 II [S]. 北京: 中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室, 2016.
- Endangered Species Scientific Commission. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora appendices II [S]. Beijing: Endangered Species Import and Export Management Office of the People's Republic of China, 2016. (in Chinese)
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 红木: GB/T 18107—2017[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2017.
- China National Standardization Administration. Redwood: GB/T 18107—2017[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2017. (in Chinese)
- [13] 李世晋. 亚洲黄檀[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 2-10.
- LI S J. *Dalbergia* in Asia[M]. Beijing: Science Press, 2017: 2-10. (in Chinese)
- [14] Chinese Academy of Sciences. Flora in China[DB/OL]. 2010: 10: 121-130. <http://www.iplant.cn/foc>.
- [15] BAKO H R, ALAN C F. Stem anatomy of *Dalbergia* and *Diospyros* species from Madagascar, with a special focus on wood identification[M]. Basel city, Gewerbestrasse, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2017.
- [16] ESPINOZA E O, WIEMANN M C, BARAJAS M J, CHAVARRIA G D, MCCLURE P J. Forensic analysis of CITES-protected *Dalbergia* timber from the Americas[J]. Iawa Journal. 2015, 36(3): 311-325.
- [17] 王军, 丁旭坡, 杨锦玲, 段瑞军, 洪少友, 梅文莉, 戴好富. 降香黄檀与海南黄檀的鉴别[J]. 分子植物育种, 2018, 16(23): 7871-7879.
- WANG J, DING X P, YANG J L, DUAN R J, HONG S Y, MEI W L, DAI H F. The identification of *Dalbergia odorifera* and *D. hainanensis*[J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(23): 7871-7879. (in Chinese)
- [18] 黄向党, 许彩娟, 李大周, 徐峰. 降香黄檀与越南黄檀木射线组织比较解剖研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2018, 36(2): 139-145.
- HUANG X D, XU C J, LI D Z, XU F. Comparative anatomy studies on the wood ray tissue of *Dalbergia odorifera* T. Chen and *Dalbergia tonkinensis* Prain[J]. Journal of Hainan University (Natural Science Edition), 2018, 36(2): 139-145. (in Chinese)
- [19] 黄广华, 金浩, 陈瑞英, 陈居静. 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, CHEN J J. Comparison of wood anatomical structures between *Dalbergia chinchenensis* and *Dalbergia oliveri*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 228-233, 312. (in Chinese)
- [20] 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. Anatomical structural, color and contact angle of *Dalbergia bariensis* wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(2): 234-239. (in Chinese)
- [21] 马换换, 宋卓悦, 张丹雁, 梁耀勇, 赵维波, 徐展翅, 莫伟. 两粤黄檀香材挥发油成分及抗氧化活性研究[J]. 中药新药与临床药理, 2018, 29(5): 608-613.
- MA H H, SONG Z Y, ZHANG D Y, LIANG Y Y, ZHAO W B, XU Z C, MO W. Study on composition and antioxidant activity of volatile oil from *Dalbergia benthamii* Prain[J]. Traditional Chinese Drug Research & Clinical Pharmacology, 2018, 29(5): 608-613. (in Chinese)

- [22] 宋舸. 两粤黄檀化学成分及质量控制研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2019.
SONG G. The research of chemical composition and quality control of *Dalbergia benthamii* Prain[D]. Nanning: Guangxi University of Chinese Medicine, 2019. (in Chinese)
- [23] 卢澄生, 韦建华, 陈睿, 霍丽妮, 朱小勇, 吴刚. 超临界二氧化碳萃取法提取不同产地两粤黄檀的挥发油及其成分分析[J]. 化工技术与开发, 2020, 49(7): 56-65.
LU C S, WEI J H, CHEN R, HUO L N, ZHU X Y, WU G. Determination of elements in *Sesamum Indicum* L. by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry[J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2020, 49(7): 56-65. (in Chinese)
- [24] 余小倩, 黄颖, 陈睿, 韦建华, 黄茂春. 两粤黄檀的生药学研究[J]. 大众科技, 2021, 23(8): 58-61.
YU X Q, HUANG Y, CHEN R, WEI J H, HUANG M C. Pharmacognosy research of *Dalbergia benthamii* Prain[J]. Popular Science & Technology, 2021, 23(8): 58-61. (in Chinese)
- [25] 梁天坚, 陈睿, 刘本涛, 袁彩英, 韦建华, 霍丽妮, 李典鹏. 两粤黄檀乙醇提取物化学成分分析及抗炎活性研究[J]. 广西植物, 2021, 41(7): 1035-1045.
LIANG T J, CHEN R, LIU B T, YUAN C Y, WEI J H, HUO L N, LI D P. Chemical constituents analysis and anti-inflammatory activities of ethanol extracts from *Dalbergia benthamii*[J]. Guihaia, 2021, 41(7): 1035-1045. (in Chinese)
- [26] 宁小燕, 陈文娇, 西庆男, 冯旭, 梁臣艳, 刘锴, 李兵, 韦建华. 两粤黄檀中一对新的异黄酮类对映异构体[J]. 药学报, 2023, 58(1): 162-169.
NING X Y, CHEN W J, XI Q N, FENG X, LIANG C Y, LIU K, LI B, WEI J H. A pair of new isoflavonoid enantiomers from *Dalbergia benthamii* Prain[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2023, 58(1): 162-169. (in Chinese)
- [27] 马换换, 赵维波, 张丹雁, 李世晋, 范紫颖, 林如意. 海南黎药两粤檀性状与显微鉴别研究[J]. 今日药学, 2020, 30(5): 324-327.
MA H H, ZHAO W B, ZHANG D Y, LI S J, FAN Z Y, LIN R Y. Macroscopic and microscopic identification of Hainan Li medicine *Dalbergia benthamii* Prain[J]. Pharmacy Today, 2020, 30(5): 324-327. (in Chinese)
- [28] 梁居红, 杜丽敏, 麦有专, 黄小谦, 张一民. 海南霸王岭的斜叶檀野生资源调查[J]. 热带林业, 2015, 43(3): 34-35.
LIANG J H, DU L M, MAI Y Z, HUANG X Q, ZHANG Y M. Survey on wild resources of *Dalbergia pinnata* (Lour.) in Bawangling, Hainan province[J]. Tropical Forstry, 2015, 43(3): 34-35. (in Chinese)
- [29] 赵维波, 张丹雁, 徐展翅, 莫伟. 斜叶黄檀香材挥发油成分及抗氧化活性研究[J]. 中药新药与临床药理, 2017, 28(5): 659-662.
ZHAO W B, ZHANG D Y, XU Z C, MO W. Study on composition and antioxidant activity of volatile oil from *Dalbergia pinnata*[J]. Traditional Chinese Drug Research & Clinical Pharmacology, 2017, 28(5): 659-662. (in Chinese)
- [30] 廖良坤, 张苏慧, 周伟, 李积华, 魏晓奕, 崔丽虹, 袁源, 王绥鑫, 万明正. 斜叶黄檀精油功能活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 45-51.
LIAO L K, ZHANG S H, ZHOU W, LI J H, WEI X Y, CUI L H, YUAN Y, WANG S X, WAN M Z. Functional activity of essential oil from *Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(19): 45-51. (in Chinese)
- [31] 苏妙铃, 杨健妮, 周秀悄, 陈文豪. 斜叶黄檀心材精油成分的 GC-MS 分析[J]. 广东化工, 2020, 47(5): 14-17.
SU M L, YANG J N, ZHOU X Q, CHEN W H. GC-MS analysis of essential oils from the heartwood of *Dalbergia pinnata*[J]. Guangdong Chemical, 2020, 47(5): 14-17. (in Chinese)
- [32] 何欢, 王维玉, 朱敏, 冯旭, 韦建华, 卢澄生. 壮药斜叶黄檀的化学成分研究(I)[J]. 广西中医药, 2022, 45(2): 56-59.
HE H, WANG W Y, ZHU M, FENG X, WEI J H, LU C S. Study on the chemical constituents of *Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain (I)[J]. Guangxi of Chinese Medicine, 2022, 45(2): 56-59. (in Chinese)
- [33] 赵维波. 黎药斜叶檀质量标准初步研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2019.
ZHAO W B. A preliminary study on the quality standard of limedicine Xieyetan[D]. Guangzhou: Traditional Chinese Medicine, 2019. (in Chinese)
- [34] 广西壮族自治区降真香地方标准编委会. 降真香鉴定方法: DB45/T 1914—2018[S]. 广西: 广西壮族自治区市场监督管理局, 2018.
The Editorial Committee of Local Standards for Ji-angzhenxiang in Guangxi Zhuang Autonomous Region. Identification method of Jiangzhenxiang: DB45/T 1914—2018[S]. Guangxi: Market Supervision Administration of Guangxi, 2018. (in Chinese)
- [35] 崔菲, 涂铁要, 李世晋, 张奠相. 红果黄檀——新异名[J]. 热带亚热带植物学报, 2013, 21(3): 225-228.
CUI F, TU T Y, LI S J, ZHANG M X. A new synonym of *Dalbergia tsoi* Merr. et Chun[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2013, 21(3): 225-228. (in Chinese)
- [36] 陈科成, 丘琴, 陈明伟, 甄汉深, 谢凤凤, 甄丹丹. 星点设计-响应面法优选藤黄檀中总黄酮的提取工艺[J]. 广西中医药, 2018, 41(6): 64-69.
CHEN K C, QIU Q, CHEN M W, ZHEN H S, XIE F F,

- ZHEN D D. Optimal extraction of total flavone from *Dalbergia hancei* Benth. by central composite design and response surface methodology[J]. Guangxi of Chinese Medicine, 2018, 41(6): 64-69. (in Chinese)
- [37] 陈科成. 壮药藤黄檀化学成分及质量分析的研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2019.
- CHEN K C. Study on chemical constituents and quality analysis of Zhuang medicine *Dalbergia hancei* Benth.[D]. Nanning: Guangxi University of Chinese Medicine, 2019. (in Chinese)
- [38] 徐森锋, 黄晶, 王祥红, 廖力, 秦春梅. 藤黄檀结香树脂的形状和显微鉴别研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(10): 145-148.
- XU M F, HUANG J, WANG X H, LIAO L, QIN C M. Morphological and microscopic identification of the resin of *Dalbergia hancei* Benth.[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(10): 145-148. (in Chinese)
- [39] 范紫颖, 林如意, 张丹雁, 超维波, 宋卓悦, 李世杰, 莫伟. 杠香挥发油成分及其抗氧化活性研究[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(9): 1118-1122.
- FAN Z Y, LIN R Y, ZHANG D Y, CHAO W B, SONG Z Y, LI S J, MO W. Study on the composition and antioxidant activity of volatile oil from resin-containing wood of *Dalbergia yunnanensis*[J]. Traditional Chinese Drug Research & Clinical Pharmacology, 2019, 30(9): 1118-1122. (in Chinese)
- [40] 陈晓庆, 张丹雁, 范紫颖, 班梦梦, 曾业达, 杨丽. 水蒸馏与 CO₂ 超临界法提取杠香挥发油成分对比分析[J]. 广州中医药大学学报, 2021, 38(7): 1462-1466.
- CHEN X Q, ZHANG D Y, FAN Z Y, BAN M M, ZENG Y D, YANG L. Comparative analysis of volatile oil constituents from *Dalbergia yunnanensis* Franch. by steam distillation and carbon dioxide supercritical fluid extraction methods[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 38(7): 1462-1466. (in Chinese)
- [41] 林如意, 范紫颖, 于兵兵, 班梦梦, 张丹雁, 张伟铮. 斜叶檀和杠香不同提取物的体外抗菌活性初探[J]. 中药新药与临床药理, 2021, 32(2): 165-171.
- LIN R Y, FAN Z Y, YU B B, BAN M M, ZHANG D Y, ZHANG W Z. *In vitro* preliminary study on the antibacterial activities of different extracts from *Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain and *Dalbergia yunnanensis* Franch[J]. Traditional Chinese Drug Research & Clinical Pharmacology, 2021, 32(2): 165-171. (in Chinese)
- [42] 杨丽, 班梦梦, 张丹雁, 曾业达, 范紫颖. 降香及其伪品杠香挥发油成分对比分析[J]. 广州中医药大学学报, 2021, 38(11): 2492-2496.
- YANG L, BAN M M, ZHANG D Y, ZENG Y D, FAN Z Y. Contrastive analysis of constituents of volatile oil from lignum *Dalbergia odorifera* and its counterfeit lignum *Dalbergia yunnanensis*[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 38(11): 2492-2496. (in Chinese)
- [43] 范紫颖. 西南民族药杠香质量标准初步研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2021.
- FAN Z Y. A preliminary study on the quality standard of southwestern national medicine Gangxiang[D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2021. (in Chinese)
- [44] 杨丽, 曾业达, 张丹雁, 范紫颖, 班梦梦, 肖奕亮. 降香与易混品杠香的生药学鉴别研究[J]. 中药资源研究, 2022, 33(6): 842-848.
- YANG L, ZENG Y D, ZHANG D Y, FAN Z Y, BAN M M, XIAO Y L. Pharmacognosy study on the identification of lignum *Dalbergia odorifera* and lignum *Dalbergia yunnanensis*[J]. Traditional Chinese Drug Research & Clinical Pharmacology, 2022, 33(6): 842-848. (in Chinese)
- [45] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- CHENG J Q, YANG J J, LIU P. China timber annals[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992. (in Chinese)
- [46] CABALLÉ G. Liana structure, function and selection: a comparative study of xylem cylinders of tropical rainforest species in Africa and America[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 1993, 113: 41-60.
- [47] SCHNITZER S A, BONGERS F. The ecology of lianas and their role in forests[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(5): 223-230.
- [48] TANG Y, KITCHING R L, CAO M. Lianas as structural parasites: a re-evaluation[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(4): 307-312.
- [49] BECK C B. An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [50] ISNARD S, SILK W K. Moving with climbing plants from Charles Darwin's time into the 21st century[J]. American Journal of Botany, 2009, 96: 1205-1221.
- [51] HAWTHORNE W D, JONGKIND C C H. The woody plants of western African forests: a guide to the forest tree, shrubs and lianas from Senegal to Ghana[M]. Kew: Royal Botanic Gardens, 2006.
- [52] 徐有明. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- XU Y M. Wood science[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [53] 陆时万, 徐祥生, 沈敏健. 植物学: 上册[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1991.

- LU S W, XU X S, SHEN M J. Botany: volume one[M]. 2 ed. Beijing: Higher Education Press, 1991. (in Chinese)
- [54] 刘培卫, 杨云, 张玉秀, 杨勇, 刘洋洋. 白木香结香过程中阻隔层的形成及其特性研究[J]. 植物研究, 2016, 36(5): 697-704.
- LIU P W, YANG Y, ZHANG Y X, YANG Y, LIU Y Y. Barrier zone formation in agarwood formation of *Aquilaria sinensis*[J]. Bulletin of Botanical Research, 2016, 36(5): 697-704. (in Chinese)
- [55] 邓传远. 几种红树植物的木材解剖学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2002.
- DENG C Y. Studies on wood anatomy of some mangrove species[D]. Xiamen: Xiamen University, 2002. (in Chinese)
- [56] 陈亚军, 陈军文, 蔡志全. 木质藤本及其在热带森林中的生态学功能[J]. 植物学通报, 2007, 24(2): 240-249.
- CHEN Y J, CHEN J W, CAI Z Q. Lianas and their functions in tropical forests[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(2): 240-249. (in Chinese)
- [57] MEDINA-VEGA J A, BONGERS F, POORTER L, SCHNITZER S A, STERCK F J. Lianas have more acquisitive traits than trees in a dry but not in a wet forest[J]. Journal of Ecology, 2021, 109(6): 2367-2384.