

鹰木香木材解剖学、生理特性及挥发性成分研究

王露露^{1,2*}, 王雅丽¹, 蔡彩虹¹, 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

²海南热带农业资源研究院, 海南 海口

收稿日期: 2025年6月16日; 录用日期: 2025年7月17日; 发布日期: 2025年7月25日

摘 要

本文报道了鹰木香[*Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw]木材的生理特性、解剖结构及挥发性成分。采用《无疵小试样木材物理学性质试验方法 第5部分: 密度测定》(GB/T 1927.5-2021)、《木材pH值的测定》(GB/T 6043-2009)、蒽酮比色法、考马斯亮蓝法、木材解剖学方法和气相色谱-质谱(GC-MS)法分别测定了其基本密度、pH值、淀粉和可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、解剖结构及挥发性成分, 为其植物保护、木材识别及开发利用等方面研究提供科学依据。结果表明: 1) 鹰木香的木材很硬, 基本密度为1.956 g/cm³, 水试发现其沉水。2) 鹰木香的木材pH为5.95, 呈弱酸性; 淀粉含量为69.403 mg/g; 可溶性糖含量为34.232 mg/g; 可溶性蛋白含量为0.086 mg/g。3) 鹰木香与棱柱木属(*Gonystylus* Teijsm. & Binn.)木材解剖构造相近, 但而与沉香属(*Aquilaria* Lam.)木材的区别较大: ① 前二者均无内涵韧皮部, 而后者则具岛屿状内涵韧皮部; ② 前二者以单管孔为主, 而后者以径列复管孔为主; ③ 前二者的轴向薄壁组织呈翼状、聚翼状及带状, 而后者呈傍管状, 并在内涵韧皮部周围形成厚鞘; ④ 前二者的木射线类型以异形或同形单列为主, 而后者以异形III型为主。鹰木香和棱柱木属木材的差异甚小, 主要在于前者的径列复管孔(2~3个)普遍, 导管分子长度较长(570~620 μm), 木射线异形单列为主, 晶体以菱形为主, 稀棱柱形; 而后者则偶见径列复管孔(2个), 导管分子长度较短(310~450 μm), 木射线同形单列为主, 晶体呈棱柱形或柱状。4) GC-MS分析结果表明: 共有28种倍半萜类成分和1种烯烴类化合物, 其中有10种倍半萜类与沉香属所结沉香共有。与邦加棱柱木(*G. bancanus*)的精油挥发性成分十分相近, 二者的主要成分均为桉叶油醇异构体(α -, β -, γ -) (相对百分含量 > 80%), 又以 γ -桉叶油醇最高(相对百分含量 > 50%)。另外, 文章还根据桉叶油醇的不同构型, 推测了其香味类型与行业内通常描述的“淡淡的苔泥清香、柔致的胡椒辛香和优雅的花香”较吻合。桉叶油醇异构体(α -, β -, γ -)具有抗肿瘤、抗菌、抗高血压等多种生物活性。鹰木香木材具有作为天然香料、药用植物精油、食品添加剂以及保鲜剂等方面的开发利用价值和应用潜质。

关键词

鹰木香, 木材, 解剖学, 生理特性, 挥发性成分

*第一作者。

#通讯作者。

Research on the Wood Anatomy, Physiological Properties, and Volatile Constituents of *Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw

Lulu Wang^{1,2*}, Yali Wang¹, Caihong Cai¹, Jun Wang^{1,2#}

¹Hainan 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

²Hainan Institute for Tropical Agricultural Resources, Haikou Hainan

Received: Jun. 16th, 2025; accepted: Jul. 17th, 2025; published: Jul. 25th, 2025

Abstract

This research reports on the physiological properties, anatomical structure, and volatile components of the wood from *Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw. The basic density, pH value, starch and soluble sugar content, soluble protein content, anatomical structure, and volatile components of the wood were determined by using “Test methods for physical and mechanical properties of small clear wood specimens—Part 5: Determination of density” (GB/T 1927.5-2021), “Determination of pH of Wood” (GB/T 6043-2009), Anthrone Colorimetric method, Coomassie Brilliant Blue method, wood anatomical method, and GC-MS method, to establish a scientific foundation for its plant protection, wood identification, development and utilization. The results indicated that: 1) The wood of *A. sympetalum* is very hard, with a basic density of 1.956 g/cm³. Water tests have found that it sinks into water. 2) The pH value of the wood of *A. sympetalum* is 5.95, which is weakly acidic. The starch content is 69.403 mg/g; The soluble sugar content is 34.232 mg/g; The soluble protein content is 0.086 mg/g. 3) The wood of *A. sympetalum* has similar anatomical structures to the wood of the *Gonystylus* genus, but differs greatly from the wood of the *Aquilaria* genus: ① The former two have no included phloem, while the latter have island shaped included phloem; ② The former two are mainly single pores, while the latter are mainly radial multiple pores; ③ The axial parenchyma of the former two are winged-aliform, cluster winged-aliform, and band shaped, while the latter is paratracheal and forms thick sheath around the included phloem; ④ The wood ray types of the former two are mainly heteromorphic or homomorphic uniseriate, while the latter is mainly heteromorphic type III. The difference between the wood of the *Aetoxylon* and *Gonystylus* is very small, mainly due to the former has a common number of radial multiple pore (2~3), longer vessel elements length (570~620 μm), mainly heterogeneous uniseriate wood rays, and rhombic mainly, prismatic sparsely crystals; The latter has occasional radial multiple pore (2), shorter vessel elements length (310~450 μm), mainly homogeneous uniseriate wood rays, and prismatic or columnar crystals. 4) The GC-MS analysis results indicated that there are a total of 28 sesquiterpenes and 1 alkene compound, among which 10 sesquiterpenes are shared with *Aquilaria* agarwood. The volatile components of the essential oil are very similar to those of *Gonystylus bancanus* wood, with the main components of eudesmol isomers (α -, β -, γ -) (relative percentage content > 80%), with the highest content of γ -eudesmol (relative percentage content > 50%). In addition, based on the different configurations of eudesmol, this research speculates that its aroma type is more consistent with the industry’s usual descriptions of “light moss and mud fragrance, soft pepper spice fragrance, and elegant floral fragrance”. Eudesmol isomers (α -, β -, γ -) have various biological activities

such as antitumor, antimicrobial, and antihypertensive properties. The wood of *Aetoxylon sympetalum* has development and utilization value and application potential in natural fragrances, medicinal plant essential oil, food additives, and preservatives.

Keywords

Aetoxylon sympetalum, Wood, Anatomy, Physiological Property, Volatile Constituent

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鹰木香[*Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw]是瑞香科(Thymelaeaceae)鹰木香属[*Aetoxylon* (Airy Shaw) Airy Shaw]单种属物种, 主要分布于加里曼丹岛——印度尼西亚西部、沙捞越西南部; 生于原始非淹没热带雨林低地水平沙质土中[1]。广义的沉香基源树种包含鹰木香属植物[2], 该属与棱柱木属(*Gonystylus* Teijsm. & Binn.)、角薇木属(*Amyxa* Tiegh.)亲缘关系密切, 三者曾被 Hutchinson 划归一个单独的科[3], 即 Gonystylaceae, Nowicke 的研究也支持这一观点[4], 因为它们具有独特花粉外壁结构。而 Domke [5]、Wagenitz [6]、Willis & Airy Shaw [7]、Cronquist [8]以及 APG IV [9]则将它们归入瑞香科的一个亚科, 即 Gonystyloideae, 并与沉香属(*Aquilaria* Lam.)和拟沉香属(*Gyrinops* Gaertn.)所在的瑞香亚科(Thymelaeoideae) (狭义沉香的基源属种)并列。鹰木香属、棱柱木属与角薇木属, 可以通过以下特征组合与瑞香科的其他物种区分开来, 即蒴果、大量花瓣、细长的花柱和具透明腺点的叶以及木材缺乏内涵韧皮部(Internal Phloem) [4]。

起初 Airy Shaw 于 1947 年发现了 *Gonystylus sympetala* Steenis & Domke (1934 年发表)的形态特征不同于棱柱木属其他物种, 并将其处理为该属下一个组, 即 *Gonystylus* sect. *Aetoxylon* Airy Shaw, 而后又通过标本检查, 于 1950 年坚定地将该组提升为属, 正式建立鹰木香属[*Aetoxylon* (Airy Shaw) Airy Shaw], 并强调该属与棱柱木属和角薇木属的主要区别在于: 叶片的纹理和脉络, 叶片和小枝的对生或近对生排列; 伞形花序, 环状花冠; 以及相当小、不规则、疣状、绒毛状的果实[10] [11]。

上述研究表明, 鹰木香与沉香(狭义)的基源植物(沉香属和拟沉香属)在系统位置上较近, 但分属于瑞香科不同的亚科, 其所结的沉香(广义)与传统认可的沉香也有所不同。目前, 国内对该类型沉香的认知度和认可度都不高, 但其香味较为独特, 因此, 有必要对其进行较为全面的概括与描述, 以示该类型的沉香与传统沉香的异同。

鹰木香的别名有: 鹰香木、鳄鱼木、花奇楠等; 英文名/当地名有: Gaharu buaya、Bouya wood、Kayu bidaroh、Ramin buaya 等[12] [13], 其精油商品名有: White oudh oil、Oudh、Gaharu buaya oil 等。鹰木香含有树脂的木材具有油脂含量高、密度高(大多可沉水)、纹理细腻、易形成较大型香块等特点, 其香气独特, 在业内通常被描述为: 淡淡的苔泥清香、柔致的胡椒辛香和优雅的花香等。有报道指出, 当燃烧时, 鹰木香(Gaharu buaya)有一种令人愉悦的芳香气味, 但缺乏真正沉香所能提供的柠檬味(Lemon) [14]。另外, 鹰木香主要出口至新加坡, 也是出口到印度的沉香的主要来源[15] [16]。

Meidianto 等[17]报道了鹰木香的化学成分及其抗白蚁(*Coptotermes* sp.)的生物活性, 其次生代谢产物主要包括生物碱、黄酮类、甾体、萜类和酚类化合物。Yuniar 等[18]对鹰木香不同组分进行了抗白蚁活性测试, 结果表明丙酮组分的活性最强(LC₅₀ = 0.082%), 因该组分中富含萜类生物碱和甾体化合物, 其次

为氯仿组分、粗提物和正己烷组分。对正己烷组分进行 GC-MS 分析,共检测到 55 种化合物,主要成分为 4-氯-6-甲氧基-2-甲基喹啉-8-胺(16.02%)、豆甾醇(5.94%)、正十六烷酸(3.20%)和 6-十八碳烯酸(2.99%)。Wigati 等[19]通过在天然凉薯(Jicama)淀粉中添加鹰木香精油(*Aetoxylon bouya*)与丙酸钙,可作为果蔬的可食用型保鲜膜,具备优异的柔韧性、阻湿性与抗菌潜力。

到目前为止,有关鹰木香的相关研究报道甚少,除了上述形态学、分类学方面的研究外,也有学者对其木材解剖学方面进行了研究[20][21],但描述不够系统全面,且配图难以清晰地分辨。而有关鹰木香化学挥发性成分报道较少,且对木材特性方面未见报道。因此,本文将从鹰木香木材的宏观与微观结构等方面进行扩充,并与沉香属和棱柱木属木材构造特征进行对比分析,另外,还对其香块的挥发性成分进行 GC-MS 分析,旨在为鹰木香的木材识别、木材特性和香块化学成分等方面的进一步深入研究提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验样品

三份木材样品于 2023 年 6 月收自马来西亚古晋,标本号分别为 YMX202301、YMX202302、YMX202303,由中国热带农业科学院热带生物技术研究王军副研究员鉴定其为瑞香科(Thymelaeaceae)鹰木香属(*Aetoxylon* (Airy Shaw) Airy Shaw)鹰木香[*Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw],凭证标本藏于中国热带农业科学院热带生物技术研究。

2.2. 仪器与试剂

半自动切片机(德国 Leica RM 2235); 体式解剖显微镜(日本 Olympus SZX10); 手持式数码显微镜(深圳东仪精工设备有限公司 AM413T); 万分之一电子天平(赛多利斯科学仪器(北京)有限公司 BP221S); 中性树胶(中国国药集团有限公司); 环保组织透明液(哈尔滨格林标本技术开发有限公司); 蒽酮比色法和考马斯亮蓝法试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司); GC-MS 联用仪(美国安捷伦科技有限公司 HP6890/5975C); 超声波清洗仪(美国 Branson-B5510E-MT); 气质中使用的试剂均为分析纯; 烘箱(上海精密仪器设备有限公司)。

2.3. 试验方法

2.3.1. 木材生理特性测定方法

采用《木材基本密度测定》(GB/T 1927.5-2021) [22]、《pH 值测定》(GB/T 6043-2009) [23]、苏州科铭生物技术有限公司试剂盒微量法(蒽酮比色法)测定淀粉含量; 苏州科铭生物技术有限公司试剂盒微量法(蒽酮比色法)测定可溶性糖; 苏州科铭生物技术有限公司试剂盒微量法(考马斯亮蓝法)测定可溶性蛋白含量。

2.3.2. 木材解剖学方法

用木锯将茎段沿垂直于轴向锯断且断口处要平整,选取木材三切面(横切面、弦切面和径切面),置于手持式数码显微镜下(放大倍数为 35 倍)观测拍照并记录木材宏观构造特征。按王军等的木材制片方法[24]制成三切面切片,将压制好的切片置于体式解剖显微镜下观测,其中木材横切面放大倍数为 40 倍、弦切面和径切面均为 100 倍,观测拍照并记录木材微观构造特征。

2.3.3. GC-MS 分析方法

样品切碎后,过 40 目筛,分别精确称取样品,并分别用 30 mL 正己烷超声提取 3 次,每次超声 15 min,静置 5 min 后过滤得到正己烷提取液,合并 3 次提取液,挥发后得提取物,准确称重,分别加入色谱级正己烷溶剂溶解为 1 g/L,用 0.45 μm 有机微孔滤膜滤过,即为样品溶液。色谱条件: 色谱柱: HP-

5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)弹性石英毛细管柱; 升温程序: 柱温 40℃, 以 5℃/min 升温至 310℃, 保持 10 min; 汽化室温度 250℃; 载气为高纯 He (99.999%); 载气流量 1.0 mL/min; 不分流, 溶剂延迟时间: 6.0 min。质谱条件: 电子轰击(EI)离子源; 电子能量 70 eV; 离子源温度 230℃; 四极杆温度 150℃; 接口温度 280℃; 倍增器电压 1512 V; 质量扫描范围 30~500 m/z [25]。

3. 结果与分析

3.1. 鹰木香的木材生理特性

鹰木香木材的基本密度为 1.956 g/cm³; 通过水试发现其木材沉水。鹰木香木材的 pH 值为 5.95; 淀粉含量为 69.403 mg/g, 可溶性糖含量为 34.232 mg/g; 可溶性蛋白含量为 0.086 mg/g。

3.2. 鹰木香的木材解剖学研究

鹰木香的木材宏观构造图见图 1, 微观构造图见图 2, 对木材构造特征描述参照《中国木材志》[26]。观测结果如下:

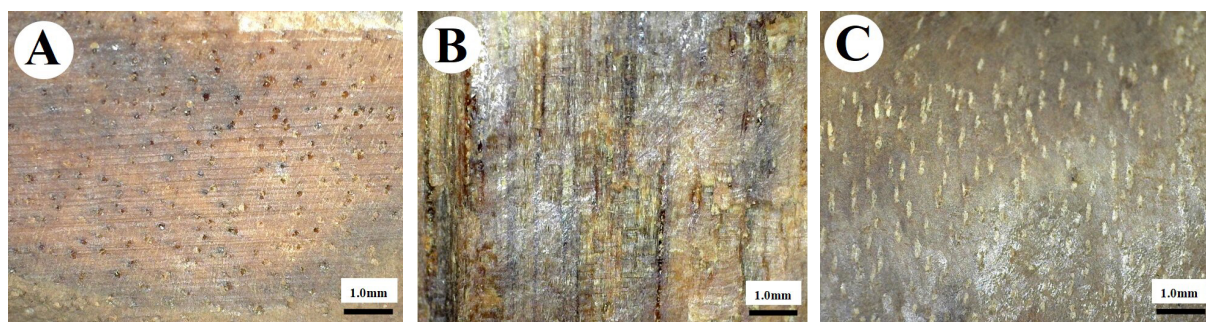


Figure 1. Macro sections of the wood of *A. sympetalum*: (A) Cross section (35×); (B) Radial section (35×); (C) Tangential section (35×)

图 1. 鹰木香的木材宏观切面图: (A) 横切面(35×); (B) 径切面(35×); (C) 弦切面(35×)

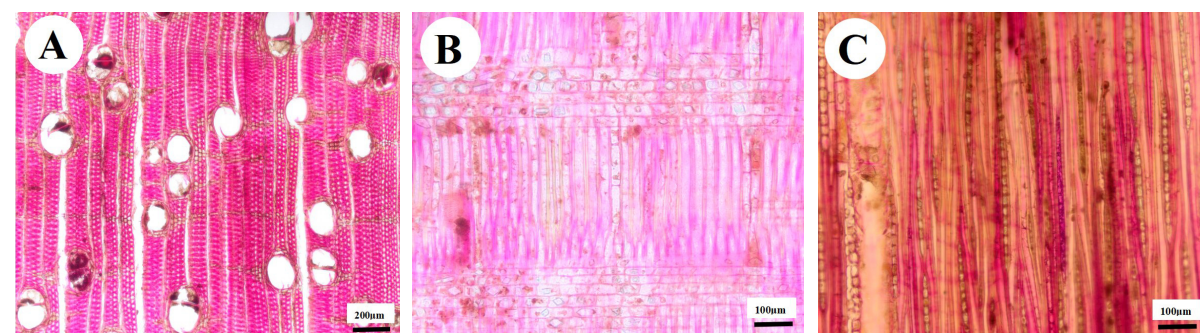


Figure 2. Micro sections of the wood of *A. sympetalum*: (A) Cross section (100×); (B) Radial section (100×); (C) Tangential section (100×)

图 2. 鹰木香的木材微观切面图: (A) 横切面(100×); (B) 径切面(100×); (C) 弦切面(100×)

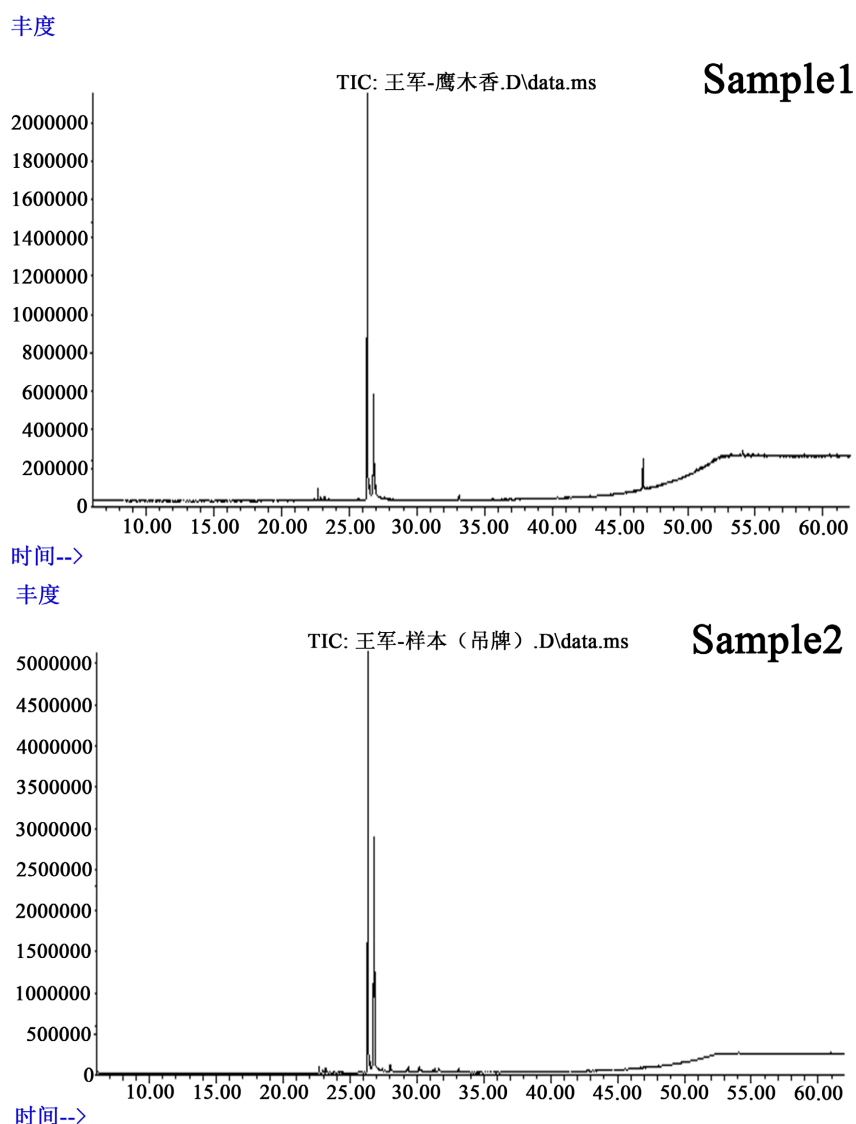
木材粗视构造: 黄褐色至黑褐色, 心边材区别明显; 有光泽; 木材具香味。生长轮不明显, 木材类型为散孔材。管孔略大, 肉眼下略清晰, 在放大镜下清晰可见; 管孔大小略一致, 分布均匀; 管孔内及边缘含有金黄色侵填体, 丰富。轴向薄壁组织放大镜下明显, 管孔两侧呈翼状, 少数不规则细带状。木射线: 横切面上射线清晰, 很窄; 波痕未见。

木材显微构造: 散孔材, 管孔为圆形、卵圆形; 数目为 3~4 个/mm²; 单管孔为主, 径列复管孔(2~3

个)普遍;分散分布,管孔弦径 75~200 μm ,管孔内及边缘含有黄色至黄褐色树胶,树胶通常有不规则分隔;导管分子长度 570~620 μm ,单穿孔,穿孔板斜列。管间纹孔式互列。轴向薄壁组织明显,量多,翼状、聚翼状及少数弦向续断窄带状(宽通常 1~2 细胞),常含树胶。木射线非叠生,异形单列为主,偶见同形单列,稀两列,7~9 根/mm;射线细胞较小,清晰可见,大小稍均等,高 10~39 μm ,宽 10~12 μm ,两端细胞大小高 30~40 μm ,宽 6~10 μm ,清晰可见;多数为椭圆形、长圆形,端细胞圆锥形,边缘规则,内含树胶和菱形或棱柱形晶体;射线高度为 5~25 细胞(125~600 μm),多数为 10~15 细胞(260~350 μm);射线间距 45~80 μm ;导管与射线间纹孔式同管间纹孔式。横卧射线方形细胞 5~10 层,长 300~750 μm ,高 150~300 μm ;含菱形晶体,数量众多,纵向排列规则,大小平均为 17 $\mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 。

3.3. 鹰木香挥发性成分的 GC-MS 分析

三份鹰木香样品的 GC-MS 总离子流图见图 3。对总离子流图中的各峰经质谱数据系统检索及核对 Nist 2005 和 Wiley 275 标准质谱图,并借鉴前人的鉴定方法[28][29],结合质谱图与文献数据进行对照,并用峰面积归一化法得出色谱峰在样品中的总相对含量,各挥发性化学成分的类型和相对百分含量见表 1。



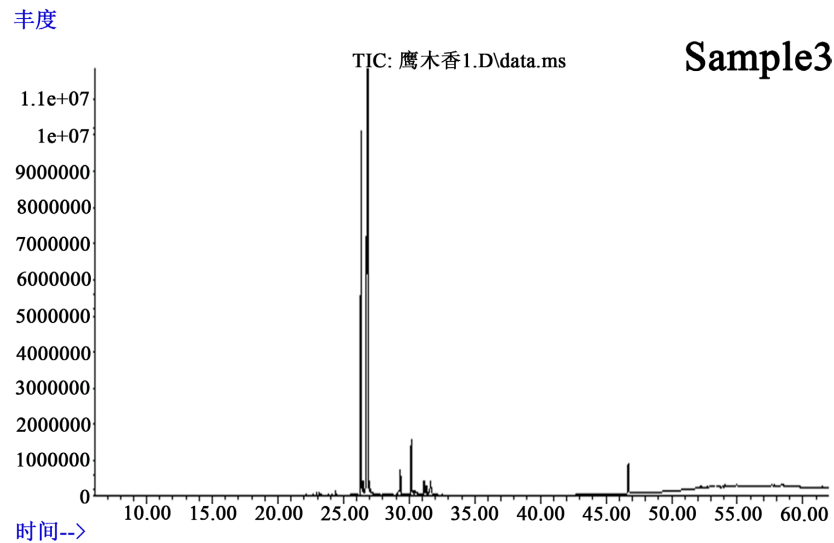


Figure 3. GC-MS total ion charts of three wood samples of *A. sympetalum*
图 3. 三份鹰木香木材的 GC-MS 总离子流图

Table 1. The volatile constituents in three wood samples of *A. sympetalum*
表 1. 三份鹰木香木材的挥发性成分

序号 No.	化合物 Compounds	分子式 Molecular formula	分子量 Molecular weight	相对百分含量(RC/%)		
				Sample 1	Sample 2	Sample 3
1	(8R,8aS)-8,8a-dimethyl-2-(propan-2-ylidene)-1,2,3,7,8,8a-hexahydronaphthalene▲ (8R,8aS)-8,8a-二甲基-2-(丙-2-亚基)-1,2,3,7,8,8a-六氢萘▲	C ₁₅ H ₂₂	202	/	/	1.21
2	α-humulene▲ α-蛇麻烯▲	C ₁₅ H ₂₄	204	1.70	0.61	0.14
3	α-selinene▲ α-芹子烯▲	C ₁₅ H ₂₄	204	0.61	0.55	0.18
4	β-selinene▲ β-芹子烯▲	C ₁₅ H ₂₄	204	0.33	0.36	0.14
5	(+)-calarene▲ (+)-白菖烯▲	C ₁₅ H ₂₄	204	/	0.10	/
6	valencene▲# 瓦伦烯▲#	C ₁₅ H ₂₄	204	/	0.28	/
7	4aH-eudesmane▲ 4aH-桉叶烷▲	C ₁₅ H ₂₈	208	0.65	/	/
8	4(15),5,10(14)-germacatrien-1-ol▲ 4(15),5,10(14)-大根香叶三烯-1-醇▲	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	0.28	/
9	6-isopropenyl-4,8a-dimethyl-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-naphthalen-2-ol▲ 6-异丙烯基-4,8a-二甲基-1,2,3,5,6,7,8,8a-八氢萘-2-醇▲	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	0.59	0.90
10	(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol▲ (1R,7S,E)-7-异丙基-4,10-二亚甲基环癸-5-烯醇▲	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	/	0.37
11	(-)-spathulenol▲ (-)-匙叶桉醇▲	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	/	0.25
12	α-vetivol▲# α-岩兰草酮▲#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	/	0.61
13	2-methylene-6,8,8-trimethyl-tricyclo[5.2.2.0 ^(1,6)]undecan-3-ol▲ 2-亚甲基-6,8,8-三甲基三环[5.2.2.0 ^(1,6)]十一烷-3-醇▲	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	/	0.15
14	valenca-1(10),8-dien-11-ol▲# 瓦伦-1(10),8-二烯-11-醇▲#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	/	/	1.91
15	α-eudesmol▲# α-桉叶油醇▲#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	19.84	29.52	27.41
16	β-eudesmol▲# β-桉叶油醇▲#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	1.77	1.18	1.07
17	γ-eudesmol▲# γ-桉叶油醇▲#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	60.79	55.55	53.49
18	eudesm-7(11)-en-4-ol▲ 桉叶-7(11)-烯-4-醇▲	C ₁₅ H ₂₆ O	222	/	/	0.15
19	α-cedrol▲ α-雪松醇▲	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.39	/	/

续表

20	hedycaryol [▲] 姜花醇 [▲]	C ₁₅ H ₂₆ O	222	/	0.25	/
21	elemol ^{▲#} 榄香醇 ^{▲#}	C ₁₅ H ₂₆ O	222	/	/	0.35
22	dihydroeudesmol ^{▲#} 二氢桉叶油醇 ^{▲#}	C ₁₅ H ₂₈ O	224	2.47	/	/
23	2-methyl-9-(prop-1-en-3-ol-2-yl)-bicyclo[4.4.0]dec-2-ene-4-ol [▲] 2-甲基-9-(丙烯-3-醇-2-基)-双环[4.4.0]癸-2-烯-4-醇 [▲]	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	236	/	0.81	/
24	6-(2-hydroxypropan-2-yl)-4,8a-dimethyl-2,3,4,6,7,8-hexahydro-1H-naphthalen-1-ol [▲] 6-叔羟基异丙基-4,8a-二甲基六氢萘醇 [▲]	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238	/	0.90	/
25	arctiol [▲] 牛蒡醇 [▲]	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238	/	0.30	/
26	cryptomeridiol ^{▲#} 柳杉二醇 ^{▲#}	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	240	/	1.49	3.96
27	7-(2-hydroxypropan-2-yl)-1,4a-dimethyldecahydronaphthalen-1-ol [▲] 7-(2-羟丙烷-2-基)-1,4a-二甲基十氢萘-1-醇 [▲]	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	240	/	/	1.80
28	1(5)-ene-7,10-epoxy-guaia-12-one ^{▲#} 1(5)-烯-7,10-环氧愈创木-12-酮 ^{▲#}	C ₁₅ H ₂₀ O ₃	248	0.76	0.41	/
29	squalene [*] 角鲨烯 [*]	C ₃₀ H ₅₀	410	5.79	/	2.26
合计 Total				95.10	93.18	96.35

注：▲：倍半萜类；*：烯炔类；/：未检出；#：与沉香属(Aquilaria)共有化学成分[27]。

由图3和表1可知，三份样品的总检出率较高，分别为95.10%、93.18%和96.35%。三份样品的挥发性成分共计鉴定出29种化合物，分别为11、16、18种化合物，分为两大类成分，即倍半萜类(28种)和烯炔类(1种)，其中有10种化合物在沉香属(Aquilaria)植物所产沉香种被分离鉴定，均为倍半萜类成分。桉叶油醇的三种异构体，即α-桉叶油醇、β-桉叶油醇和γ-桉叶油醇为主要的倍半萜类成分，总相对含量合计均超过80%，其中γ-桉叶油醇相对含量最高(>50%)，α-桉叶油醇次之，β-桉叶油醇则最少。另外，三份样品中的共有成分为6种，分别为α-蛇麻烯、α-芹子烯、β-芹子烯、α-桉叶油醇、β-桉叶油醇和γ-桉叶油醇，分别占总相对含量的85.04%、87.77%和82.43%，具有较好的一致性。

4. 讨论

木材的基本密度是木材的一种属性，是在木材干燥状态下测定的，鹰木香的木材基本密度为1956 Kg/m³，远远高出已经报道的沉香属(335~400 Kg/m³)和棱柱木属(530~785 Kg/m³)木材的基本密度，前者属于软轻木，而后者属于轻质硬木[30]。由于本研究中鹰木香样品是含有树脂的年代久远的心材，因此造成如此之大的差异。

木材的酸碱性质主要来自抽提物、半纤维素的糖醛酸和乙酰基、木质素具有的弱酸性基团和纤维素含有的羟基，并且木材在贮藏过程中，会不断产生酸性物质，因此世界上绝大部分木材呈弱酸性，pH值小于6.5的木材归属于酸性木材，pH值大于6.5的木材归属于碱性木材，极少数木材或者心材属于碱性木材[31]。本研究中，鹰木香的pH值与白木香的pH值(5.40~6.06)相似，均属呈酸性木材[32]。

淀粉、可溶性糖是树干营养物质的储存形式，其含量是植物生长状态的判定方式[33]；可溶性糖和可溶性蛋白是植物体内重要的渗透调节物质，与植物的生长发育及抗逆性密切相关，因此，经常把这2个指标作为筛选优良种质资源的重要指标[34][35]。有学者测得白木香不同种质树干淀粉含量为13.16~33.85 mg/g，可溶性糖含量为3.60~20.16 mg/g，可溶性蛋白含量为0.17~0.25 mg/g [32]，与本研究中鹰木香相比，结果前两者生理指标均高于白木香，可溶性蛋白含量低于白木香。造成如此大的差异可能与所取的木材年份有关，年份越久，淀粉和可溶性糖的积累则越多。

此前，有学者研究报道过鹰木香的木材构造特征[21][22]，并强调其与白木香木材的最大区别在于无岛屿状内韧刺皮部，而白木香有。也有学者将棱柱木属和沉香属的木材解剖特征进行了比较，如Nordahlia

等[36]曾比较了马来西亚产沉香属 3 种和棱柱木属 5 种树木的木材解剖特征, 研究表明, 沉香属具有傍管稀疏型轴向薄壁组织, 并在内涵韧皮部周围形成厚鞘; 而棱柱木属则呈现翼状至聚翼状的窄翅型轴向薄壁组织, 除 *G. maingayi* 外均无内涵韧皮部。棱柱木属的射线高度(平均 1273 μm)显著高于沉香属(平均 619 μm)。棱柱木属射线及轴向薄壁组织中含棱柱状晶体, 而沉香属则无晶体存在。作者曾对白木香多个样品及马来西亚的小果沉香(*A. microcarpa*)、马来沉香(*A. malaccensis*)、贝卡利沉香(*A. beccariana*)木材进行解剖研究, 发现晶体广泛存在于射线细胞、内涵韧皮部及髓心中, 特别是在受伤部位附近更多, 与 *Nordahlia* 等的研究不同。本文对鹰木香的木材解剖学特征进行了补充完善, 总体比较与棱柱木属非常相似, 而与沉香属差异较大(见表 2), 主要表现在: 1) 内涵韧皮部: 鹰木香属和棱柱木属均无, 而沉香属有。2) 管孔类型: 鹰木香属单管孔为主、径列复管孔(2~3 个)普遍, 棱柱木属单管孔为主、偶见径列复管孔(2 个), 沉香属径列复管孔为主(2~6 个)、偶见单管孔或管孔团。3) 轴向薄壁组织: 鹰木香属为翼状、聚翼状及少数弦向窄带状(宽 1~2 细胞), 棱柱木属为翼状、聚翼状及不规则带状(宽 1~2 细胞), 而沉香属则在内涵韧皮部的厚鞘中, 环状, 甚少。4) 木射线类型: 鹰木香属和棱柱木属均以单列为主, 前者为异形单列, 偶见同形单列, 后者为同形单列, 偶见异形单列, 而沉香属为异形 III 型, 少数异形 II 型, 单列至多列(2~3 细胞)。

Table 2. Comparison of wood anatomical characteristics among *Aquilaria*, *Aetoxylon* and *Gonystylus* [27] [36]-[38]
表 2. 沉香属、棱柱木属和鹰木香属木材解剖特征的比较[27] [36]-[38]

序号 No.	特征 Characters	沉香属 <i>Aquilaria</i>	鹰木香属 <i>Aetoxylon</i>	棱柱木属 <i>Gonystylus</i>
1	轴向薄壁组织 Axial parenchyma	在内涵韧皮部的厚鞘中, 环状, 甚少 Scanty paratracheal and in thick sheaths around the included phloem	翼状、聚翼状及少数弦向窄带状(宽 1~2 细胞) Winged-aliform, cluster winged-aliform and a few as tangential bands (1~2 cells width)	翼状、聚翼状及不规则带状(宽 1~2 细胞) Winged-aliform, cluster winged-aliform and irregular bands (1~2 cells width)
2	木射线类型 Wood ray type	异形 III 型, 少数异形 II 型, 单列至多列(2~3 细胞) Heterogeneous III, few heterogeneous II, uniseriate 2~3 to multiseriate (2~3 cells)	异形单列, 偶见同形单列 Heterogeneous uniseriate, occasional homogeneous uniseriate	同形单列, 偶见异形单列 Homogeneous uniseriate, occasional heterogeneous uniseriate
3	木射线高度 Wood ray height	2~25 细胞(70~769 μm), 多数为 4~18 细胞(120~465 μm), 2~25 cells (70~769 μm)	5~25 细胞(125~600 μm), 多数为 10~15 细胞 (260~350 μm), 5~25 cells (125~600 μm)	3~18 细胞 (90~460 μm), 多数为 8~12 细胞(230~400 μm), 3~18 cells (90~460 μm)
4	内涵韧皮部 Included phloem	横切面上呈分散的岛屿状 Scattered islands in cross section	缺如 Absent	除 <i>G. maingayi</i> 外缺如 Absent except in <i>G. maingayi</i>
5	管孔 Pore	径列复管孔为主(2~6 个), 偶见单管孔或管孔团; 弦径 131~201 μm Mainly radial multiple pore (2~6), occasional single pore or cluster pores; tangential diameters 131~201 μm	单管孔为主, 径列复管孔 (2~3 个)普遍; 弦径 75~200 μm Mainly single pore, radial multiple pores (2~3) are common; tangential diameters 75~200 μm	单管孔为主, 偶见径列复管孔(2 个); 弦径 100~160 μm Mainly single pore, occasional radial multiple pore (2); tangential diameters 100~160 μm
6	导管分子长度 Vessel elements length	260~590 μm	570~620 μm	310~450 μm

续表

7	内含物(晶体) Inclusion (Crystal)	晶体菱形或棱柱形，存在于射线细胞、内涵韧皮部及髓心中，受伤部位附近更多 Prismatic crystals exist in rays, included phloem and pith, more near the injured area	晶体菱形为主，稀棱柱形，存在于射线细胞中，偶见于轴向薄壁组织中 Rhombic mainly, prismatic sparsely crystals exist in rays, and occasionally in axial parenchyma	晶体呈棱柱状或柱状，存在于射线细胞中，偶见于轴向薄壁组织中 Prismatic or columnar crystals are small and sometimes styloid in rays and occasionally in axial parenchyma
---	--------------------------------	---	--	--

本文对鹰木香挥发性成分的 GC-MS 分析结果与 Oktavianawati 等[39] [40]对婆罗洲邦加棱柱木[*Gonystylus bancanus* (Miq.) Kurz]木材精油的研究结果相似，核心成分都是桉叶油醇异构体(α -, β -, γ -)相对含量最高(>80%)，且相对含量最高的成分为 γ -桉叶油醇(鹰木香)和 γ -桉叶油醇的差向异构体 10-表- γ -桉叶油醇(邦加棱柱木)。有研究表明，桉叶油醇异构体(α -, β -, γ -)存在于多种植物中，如番荔枝科(Annonaceae)的 *Guatteria friesiana* (W.A. Rodrigues) Erkens & Maas [41]、*Guatteropsis* R.E.Fr. [42]、依兰(*Cananga odorata* (Lam.) Hook. f. & Thomson)和柏科(Cupressaceae)的圆柏(*Juniperus chinensis* L.)、菊科(Asteraceae)的苍术 [*Atractylodes chinensis* (Bunge) Koidz.] [43]、唇形科(Lamiaceae)的 *Plectranthus cylindraceus* Hochst. ex Benth. 和 *Meriandra bengalensis* (K.D. Koenig ex Roxb.) Benth. [44]等。桉叶油醇异构体具有多种生物活性，如抗高血压[45]、抗惊厥[46]、抗血管生成[47]、抗肿瘤[48]-[51]、细胞毒活性[44]-[52]、抗菌[42]、杀螨[53]、抗偏头痛[54]、杀虫[43]、抗曲霉菌[55]和抗炎[56]活性。本文研究的鹰木香精油挥发性成分中主要化合物也是上述桉叶油醇异构体，因此，我们推断鹰木香挥发性成分具有上述活性。

传统沉香(*Aquilaria*)中含有沉香呋喃型、沉香螺旋烷型、愈创木烷型、艾里莫芬烷型、前香草烷型等多种类型挥发性倍半萜类致香成分[27]，且多为致香成分，绝大多数成分在鹰木香和棱柱木属木材中均未发现，另外，也缺乏色酮类(Chromones)化合物，因此他们不具备传统沉香所富有的复杂而多变的香气。尽管如此，鹰木香和棱柱木属木材的挥发性成分也因其富含多种倍半萜类(本文检测出 28 种)以及较高的桉叶油醇类化合物而表现出其独特性。然而，尚未有对桉叶油醇香气的报道，依据桉叶油醇的不同构型，我们可以尝试推测 α -桉叶油醇由于羟基暴露度高，可能增强与木质调受体的结合，因此可能带有偏木质调香气，并带有樟脑或松木的香气，类似于雪松醇； β -桉叶油醇的羟基位置导致极性降低，可能减少了挥发性香气分子的释放，推测其可能带有较温和的草本香，并略带辛辣或泥土感； γ -桉叶油醇的立体构型差异可能会平衡极性与空间位阻效应，其极性介于 α -桉叶油醇和 β -桉叶油醇之间，推测其可能带有花香或树脂香，这也印证了行业中对其香气的描述“淡淡的苔泥清香、柔致的胡椒辛香和优雅的花香”。未来还需要进行试验验证(如气相色谱-嗅觉测定法)，并建立羟基位置、立体构型与香气强度的数学模型，以及通过分子对接技术解析桉叶油醇与嗅觉受体的相互作用机制，来准确描述其香气。

5. 结语

综上所述，鹰木香属和棱柱木属在植物形态特性、花粉外壁结构、木材解剖学特征以及化学成分方面都较为近似，而与沉香属区别较大。对于鹰木香和棱柱木属木材的鉴定，还需要综合分子生物学等其他方面的数据，以及对更多样本的研究才能做到准确。虽然鹰木香含有树脂的木材被认定为“劣质”的沉香，但其依然具有一些沉香中的特殊香味成分和多种萜类成分，在国际市场中占有一定的份额，且具有作为天然香料、药用植物精油、食品添加剂以及保鲜剂等方面的开发利用价值和应用潜质。本文归纳总结了鹰木香名称的由来、亲缘关系和所产沉香(广义)的特性；完善了木材解剖学相关的数据；补充了木材生理特性(pH、基本密度、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量)和挥发性成分方面的研究；与棱柱木属和沉

香属在木材解剖学和化学成分方面做了对比分析,并推测了其可能的香气类型,为后续的深入研究打下基础。

致 谢

感谢马来西亚梁山海先生(Mr. Sam Lion)提供的鹰木香研究样品。

基金项目

中国科学院华南植物园子课题——三亚市新优乡土植物的栽培繁殖技术研究与示范。

参考文献

- [1] Pratama, B.A., Rahmawati, K., Atikah, T.D., *et al.* (2017) Populasi Gaharu buaya (*Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw) di kabupaten kapuas hulu, Kalimantan barat. *Seminar Nasional Biodiversitas dan Ekologi Tropika Indonesia Ke-4 dan Kongres Penggalang Taksonomi Tumbuhan Ke-12*, Padang, 15-17 September 2017, 105-112.
- [2] 王军, 戴好富. 世界沉香植物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 164.
- [3] Hutchinson, J. (1959) The Families of Flowering Plants: Vol. II. Monocotyledons. 2nd Edition, The Clarendon Press.
- [4] Nowicke, J.W., Patel, V. and Skvarla, J.J. (1985) Pollen Morphology and the Relationships of *Aetoxylon*, *Amyxa*, and *Gonystylus* to the Thymelaeaceae. *American Journal of Botany*, **72**, 1106-1113. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1985.tb08358.x>
- [5] Domke, F.W. (1934) Untersuchungen über die systematische und geographische Gliederung der Thymelaeaceen. *Bibliotheca Botanica*, **27**, 1-151.
- [6] Wagenitz, G. (1964) Thymelaeales. In: Engler, Ed., *Syllabus der Pflanzenfamilien*, Gebrüder Borntraeger, Vol. 2, 316-321.
- [7] Willis, J.C. and Airy Shaw, H.K. (1973) A Dictionary of the Flowering Plants and Ferns, 8th ed. (Revised). Cambridge University Press, 1-1245.
- [8] Cronquist, A. (1981) An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, Vol. 18, 1-1262.
- [9] The Angiosperm Phylogeny Group, *et al.* (2016) An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **181**, 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- [10] Shaw, H.K.A. (1947) Notes on the Genus *Gonystylus* Teijsm. et Binnend (Thymelaeaceae). *Kew Bulletin*, **2**, 9-16. <https://doi.org/10.2307/4109491>
- [11] Shaw, H.K.A. (1950) New or Noteworthy Species of *Gonystylus* and Related Genera. *Kew Bulletin*, **5**, 138-147. <https://doi.org/10.2307/4119831>
- [12] Pratama, B.A., Rahmawati, K., Atikah, T.D., *et al.* (2017) Populasi Gaharu Buaya (*Aetoxylon sympetalum* (Steenis & Domke) Airy Shaw) di Kabupaten Kapuas Kalimantan Barat. In: *Seminar Nasional Bioetika dan Teknologi Indonesia Ke-4 Kongres Perhimpunan Teknologi Tumbuhan Indonesia Ke-12*, Perhimpunan Teknologi Tumbuhan Indonesia (PTTI), 105-112.
- [13] 颜志成, 陈滢, 陈秉慈. *Aetoxylon* 属木材探究[J]. 绿色科技, 2018(24): 245-246.
- [14] Browne, F.G. (1955) Forest Trees of Sarawak and Brunei. Government Printing Office, 370.
- [15] Anderson, J.R. (1980) A Checklist of the Trees of Sarawak. Forest Department.
- [16] Wyn, L.T. and Anak, N.A. (2010) Wood for Trees: A Review of the Agarwood (Gaharu) Trade in Malaysia. *Traffic Southeast Asia*, 5-6.
- [17] Meidianto, A., Jayuska, A. and Wibowo, M.A. (2019) Bioaktivitas antirayap ekstrak Kayu Gaharu Buaya (*Aetoxylon sympetalum*) Terhadap rayap tanah (*Coptotermes* sp.). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, **8**, 11-16.
- [18] Yuniar, R., Jayuska, A., Alimuddin, A.H., Wibowo, M.A. and Ardiningsih, P. (2023) Anti-Termite Activities of the Bioactive Compounds of Gaharu Culture (*Aetoxylon sympetalum*) from Maceration Results Using Acetone Solvent. *Berkala Sainstek*, **11**, 106-113. <https://doi.org/10.19184/bst.v11i2.38015>
- [19] Wigati, L.P., Wardana, A.A., Tanaka, F. and Tanaka, F. (2022) Edible Film of Native Jicama Starch, Agarwood *Aetoxylon* Bouya Essential Oil and Calcium Propionate: Processing, Mechanical, Thermal Properties and Structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, **209**, 597-607. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.021>

- [20] 颜志成, 陈滢, 周聪. 瑞香科 *Aetoxylon sympetalum* 木材探究[J]. 质量技术监督研究, 2019(2): 27-29.
- [21] 李萍, 吕杰, 钟遇安, 等. 4 种常见仿沉香木的木材构造特征比较[J]. 植物检疫, 2023, 1(37): 63-67.
- [22] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1927.5-2021 无疵小试样木材物理力学性质试验方法第 5 部分: 密度测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [23] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6043-2009 木材 pH 值测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [24] 王军, 段瑞军, 黄圣卓, 等. 西沙群岛 4 种木材的解剖学研究[J]. 热带作物学报, 2020, 41(3): 603-608.
- [25] 王露露, 刘欣怡, 王雅丽, 等. 茶鹃木木材解剖学、生理特性及挥发性成分研究[J]. 热带作物学报, 2023, 44(10): 2102-2109.
- [26] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [27] 戴好富. 沉香的现代研究[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-257.
- [28] Ishihara, M., Tsuneya, T. and Uneyama, K. (1993) Fragrant Sesquiterpenes from Agarwood. *Phytochemistry*, **33**, 1147-1155. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)85039-t](https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)85039-t)
- [29] Mei, W.L., Yang, D.L., Zuo, W.J., et al. (2013) GC-MS Analysis and Identification of 2-(2-Phenylethyl) Chromone Derivatives of Agarwood "Qi-Nan". *Chinese Journal of Tropical Crops*, **34**, 1819-1824.
- [30] Lim, S.C., Nordahlia, A.S., Abd, L.M., et al. (2016) Identification and Properties of Malaysian Timbers. Malaysian Forest Records No. 53. Forest Research Institute Malaysia.
- [31] 王忠. 植物生理学[M]. 第二版. 北京: 中国农业出版社, 2017: 124-234, 404-550.
- [32] 李慧婷, 徐诗涛, 王军, 等. 白木香 6 个不同种质的树干木材生理特性研究[J]. 热带作物学报, 2023, 44(4): 746-756.
- [33] 王旭, 李敬芬, 黄剑. 树木叶片可溶性糖含量测定及树种优选[J]. 佳木斯医学院学报, 1996(1): 34.
- [34] 赵铁鹏, 赵新勇. 植物体可溶性糖测定方法的优化[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(4): 184-185.
- [35] 刘怡凡, 张蓓蓓, 王荷, 等. 光照强度对黑麦草叶片可溶性蛋白含量及生长发育的影响[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2018, 38(4): 5349-5366.
- [36] Nordahlia, A.S., Lim, S.C. and Anwar, U.M.K. (2017) Wood Anatomical Features of *Aquilaria* (Thymelaeaceae) and *Gonystylus* (Gonystylaceae) in Malaysia. *Malayan Nature Journal*, **69**, 63-69.
- [37] 殷亚方. 白木香属木材的鉴别[J]. 收藏与投资, 2014(8): 110-115.
- [38] 刘欣怡, 王露露, 袁靖喆, 等. 栽培奇楠的显微结构研究[J]. 热带作物学报, 2022, 43(5): 986-1000.
- [39] Oktavianawati, I., Santoso, M. and Fatmawati, S. (2023) Metabolite Profiling of Borneo's *Gonystylus bancanus* through Comprehensive Extraction from Various Polarity of Solvents. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 15215. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41494-7>
- [40] Oktavianawati, I., Santoso, M. and Fatmawati, S. (2024) The Chemical Profiles and Cytotoxicity of *Gaharu bouya* Oil from Borneo's *Gonystylus bancanus* Wood. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 12064. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58529-2>
- [41] Britto, A., de Oliveira, A., Henriques, R., Cardoso, G., Bomfim, D., Carvalho, A., et al. (2012) *In Vitro* and *in Vivo* Antitumor Effects of the Essential Oil from the Leaves of *Guatteria friesiana*. *Planta Medica*, **78**, 409-414. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1298173>
- [42] Costa, E.V., Teixeira, S.D., Marques, F.A., Duarte, M.C.T., Delarmelina, C., Pinheiro, M.L.B., et al. (2008) Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oils of the Amazon *Guatterioopsis* Species. *Phytochemistry*, **69**, 1895-1899. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.03.005>
- [43] Chu, S.S., Jiang, G.H. and Liu, Z.L. (2011) Insecticidal Compounds from the Essential Oil of Chinese Medicinal Herb *Atractylodes chinensis*. *Pest Management Science*, **67**, 1253-1257. <https://doi.org/10.1002/ps.2180>
- [44] Ali, N.A.A., Wurster, M., Denkert, A., Arnold, N., Fadail, I., Al-Didamony, G., et al. (2012) Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant and Cytotoxic Activity of Essential Oils of *Plectranthus cylindraceus* and *Meriandra benghalensis* from Yemen. *Natural Product Communications*, **7**, 1099-1102. <https://doi.org/10.1177/1934578x1200700834>
- [45] Arora, C.K., Arora, R.B., Mesta, C.K., et al. (1967) Hypotensive Activity of β -Eudesmol and Some Related Sesquiterpenes. *The Indian Journal of Medical Research*, **55**, 463-472.
- [46] Chiou, L., Ling, J. and Chang, C. (1997) Chinese Herb Constituent β -Eudesmol Alleviated the Electroshock Seizures in Mice and Electrophysiological Seizures in Rat Hippocampal Slices. *Neuroscience Letters*, **231**, 171-174. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(97\)00557-0](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(97)00557-0)
- [47] Tsuneki, H., Ma, E., Kobayashi, S., Sekizaki, N., Maekawa, K., Sasaoka, T., et al. (2005) Antiangiogenic Activity of β -

- Eudesmol *in Vitro* and *in Vivo*. *European Journal of Pharmacology*, **512**, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2005.02.035>
- [48] Hsieh, T., Chang, F., Chia, Y., Chen, C., Chiu, H. and Wu, Y. (2001) Cytotoxic Constituents of the Fruits of *Cananga odorata*. *Journal of Natural Products*, **64**, 616-619. <https://doi.org/10.1021/np0005208>
- [49] Ma, E., Li, Y., Tsuneki, H., Xiao, J., Xia, M., Wang, M., *et al.* (2008) β -Eudesmol Suppresses Tumour Growth through Inhibition of Tumour Neovascularisation and Tumour Cell Proliferation. *Journal of Asian Natural Products Research*, **10**, 159-167. <https://doi.org/10.1080/10286020701394332>
- [50] Ben Sghaier, M., Skandrani, I., Nasr, N., Franca, M.D., Chekir-Ghedira, L. and Ghedira, K. (2011) Flavonoids and Sesquiterpenes from *Teucrium ramosissimum* Promote Antiproliferation of Human Cancer Cells and Enhance Antioxidant Activity: A Structure-Activity Relationship Study. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **32**, 336-348. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.07.003>
- [51] Bomfim, D.S., Ferraz, R.P.C., Carvalho, N.C., Soares, M.B.P., Pinheiro, M.L.B., Costa, E.V., *et al.* (2013) Eudesmol Isomers Induce Caspase-Mediated Apoptosis in Human Hepatocellular Carcinoma HepG2 Cells. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, **113**, 300-306. <https://doi.org/10.1111/bcpt.12097>
- [52] Ryu, N.H., Park, K., Kim, S., Yun, H., Nam, D., Lee, S., *et al.* (2012) A Hexane Fraction of Guava Leaves (*Psidium guajava* L.) Induces Anticancer Activity by Suppressing Akt/Mammalian Target of Rapamycin/Ribosomal P70 S6 Kinase in Human Prostate Cancer Cells. *Journal of Medicinal Food*, **15**, 231-241. <https://doi.org/10.1089/jmf.2011.1701>
- [53] Lee, C.H., Park, J.M., Song, H.Y., *et al.* (2009) Acaricidal Activities of Major Constituents of Essential Oil of *Juniperus chinensis* Leaves against House Dust and Stored Food Mites. *Journal of Food Processing and Preservation*, **33**, 560-569.
- [54] Horak, S., Koschak, A., Stuppner, H. and Striessnig, J. (2009) Use-Dependent Block of Voltage-Gated Cav2.1 Ca²⁺ Channels by Petasins and Eudesmol Isomers. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, **330**, 220-226. <https://doi.org/10.1124/jpet.109.151183>
- [55] Otoguro, K., Iwatsuki, M., Ishiyama, A., Namatame, M., Nishihara-Tukashima, A., Kiyohara, H., *et al.* (2011) *In Vitro* Antitrypanosomal Activity of Plant Terpenes against Trypanosoma Brucei. *Phytochemistry*, **72**, 2024-2030. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.07.015>
- [56] Seo, M., Kim, S., Kang, T., Rim, H., Jeong, H., Um, J., *et al.* (2010) The Regulatory Mechanism of β -Eudesmol Is through the Suppression of Caspase-1 Activation in Mast Cell-Mediated Inflammatory Response. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, **33**, 178-185. <https://doi.org/10.3109/08923973.2010.491082>