

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201603015

引文格式: 刘培卫, 张玉秀, 杨云, 等. 六种沉香属植物叶片解剖结构研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(5):565-571

LIU PW, ZHANG YX, YANG Y, et al. Leaf anatomical structure of six *Aquilaria* species[J]. Guihaia, 2017, 37(5):565-571

六种沉香属植物叶片解剖结构研究

刘培卫, 张玉秀, 杨云*, 陈波

(中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所海南分所 海南省南药资源保护与开发重点实验室, 海口 570311)

摘要: 为比较沉香属不同种植物间的叶片形态解剖特征, 将不同来源的六种沉香属植物在海南省兴隆南药园种植, 运用石蜡切片法和撕片法对其成熟叶片的解剖特征进行观察, 并对叶片的上下表皮, 叶脉和叶横切面等 12 项数量性状进行统计分析。结果表明: 六种沉香属植物叶片解剖结构基本一致, 均为典型的异面叶, 由表皮、叶肉和叶脉组成, 表现出典型的旱生形态特点。表皮细胞单层, 气孔微下陷, 仅分布在下表皮, 上下表皮上零星分布着表皮毛。叶肉组织发达, 栅栏组织由 1~2 层排列紧密地圆柱状细胞组成, 其间分布着大量的长方晶体, 海绵组织内有一层排列较整齐, 染色较深的异细胞组成的下皮层。主脉维管束双韧型, 呈圆环状, 内含大量异细胞。方差分析表明, 除栅海比外, 叶片厚度、叶脉条数、主脉厚度等其余 11 项数量指标在六种植物间差异均达到显著水平。聚类分析将这六种植物聚成 3 类, *Aquilaria sinensis* (白木香), *A. crassna* 和 *A. banaensis* 聚为一类, *A. baillonii* 和 *A. malaccensis* 聚为一类; *A. yunnanensis* (云南沉香) 单独为一类。该研究结果为沉香属植物的物种鉴定提供了解剖学依据, 同时对沉香属植物合理开发利用具有重要意义。

关键词: 沉香属, 比较解剖学, 叶片, 沉香

中图分类号: Q944.56 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)05-0565-07

Leaf anatomical structure of six *Aquilaria* species

LIU Pei-Wei, ZHANG Yu-Xiu, YANG Yun*, CHEN Bo

(Hainan Provincial Key Laboratory of Resources Conservation and Development of Southern Medicine, Hainan Branch, Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Haikou 570311, China)

Abstract: Agarwood is a resin wood, which formed in the stem of *Aquilaria* and may represent the most prized non-timber forest product, which can be used in fragrances, incense, medicines, aromatherapy, and religious ceremonies. *Aquilaria* is an endangered genus due to the excessive exploitation of its precious agarwood, while not all *Aquilaria* species can produce agarwood effectively or different *Aquilaria* species produce agarwood with distinctive fragrances and price. Therefore, it is an important task to improve the identification methods of *Aquilaria* species. In order to identify the *Aquilaria* species, the leaf anatomical structures of selected *Aquilaria* species were compared in this study. The mature leaves of the six *Aquilaria* species (Thymelaeaceae) were studied with light microscopy and paraffin sectioning, and twelve quantitative traits of the leaves were measured and analyzed. The result showed that the leaf structures of six *Aquilaria* species were similar. All leaves showed the xerophytic feature. All leaves were typical bifacial type and were composed of epidermis, mesophyll and vein. The epidermis consisted of single layer epidermal cells. The upper epidermis were much thicker than the lower epider-

收稿日期: 2016-03-18 修回日期: 2016-08-27

基金项目: 海南省中药现代化项目(2015ZY13); 国家中医药行业科研专项(201407005); 海南省自然科学基金(314183); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程(2016-I2M-1-012) [Supported by Modernization of Traditional Chinese Medicine of Hainan Province(2015ZY13); Traditional Chinese Medicine Industry Special Project (201407005); Natural Science Foundation of Hainan Province (314183); CAMS Innovation Fund for Medical Sciences (CIFMS) (2016-I2M-1-012)]。

作者简介: 刘培卫(1983-), 男, 山东德州人, 博士, 助理研究员, 主要从事药用植物结构和活性成分研究, (E-mail) brucelpw@aliyun.com。

*通信作者: 杨云, 副研究员, 主要从事珍稀南药植物资源利用和开发, (E-mail) yangyun43@aliyun.com。

mis. The sunken stomata existed only in lower epidermis which was sporadically covered by hairs. The stomata were of anomocytic type. The mesophyll was well developed which were composed of palisade parenchyma, spongy parenchyma and lithocyst. The palisade parenchyma was composed of 1–2 layers of cylindrical cells, in which many rectangular lithocyst arranged perpendicularly to the epidermis. The hypodermis was located in spongy parenchyma, which was composed of idioblasts. The micrib belonging to bicollateral bundle was well developed. The bundle sheath and pith both contain a number of idioblasts. ANOVA analysis showed that the eleven quantitative traits were significantly different among six species, except for ratio of palisade to spongy tissue. Clustering analysis showed that six species were clustered into three main groups. Group 1 consisted of *A. sinensis*, *A. crassna* and *A. banaensis*; Group 2 consisted of *A. baillonii* and *A. malaccensis*; Group 3 only consisted of *A. yunnanensis*. The results provides some new information for the species identification, but also is of great significance for the conservation and utilization of *Aquilaria* spp.

Key words: *Aquilaria*, anatomical structure, leaf, agarwood

瑞香科 (Thymelaeaceae) 沉香属 (*Aquilaria*) 植物为热带及亚热带常绿乔木, 是生产珍稀沉香的最主要植物资源。全世界约有 15 种, 分布于缅甸、泰国、越南、老挝、柬埔寨、印度东北部及不丹、马来半岛、苏门答腊、加里曼丹等地 (中国植物志编辑委员会, 2004)。我国有沉香属植物 2 种: 白木香 (*A. sinensis*) 和云南沉香 (*A. yunnanensis*) (中国植物志编辑委员会, 2004), 其中白木香是国产沉香的正品植物资源 (国家药典委员会, 2015)。由于过度伐树结香和自然环境的破坏, 导致包括白木香在内沉香属野生资源濒临灭绝, 目前沉香属植物均被列入了《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录 II (CITES, 2004), 其国际贸易必须在管制下进行。

不同沉香树种产生的沉香具有不同的香味和药用属性 (Chen et al, 2012), 因此不同沉香树种间的经济价值差异较大。过去主要依据花和果实的特征对沉香属植物进行分类和鉴定 (Lee et al, 2016), 但这只能在开花结果期进行。申彦晶等 (2008) 利用 ISSR 和 ITS 建立的系统树得到的聚类结果相近却不完全相同。Lee et al (2016) 选择 *trnL-trnF* 和 ITS2 组合对沉香属进行研究, 获得较好结果。为保证结果的可靠性, DNA 条形码鉴定必须和传统的形态分类紧密结合起来。叶片是植物进行光合作用、呼吸作用和蒸腾作用等生理代谢活动的重要器官, 叶片的解剖结构特征与植物的遗传特性及生态环境密切相关, 常作为鉴定种质的重要手段 (常雪刚等, 2011)。赵翹和赵树进 (2007) 采用 UPGMA 法对国内不同居群的白木香叶片形态特征进行聚类分析, 按照地理位置聚成 4 组。目前依据叶片微形态对沉香属植物进行分类和鉴定的研究未见报道。因此, 本研究对引种到海南兴隆热带药用植物园的六种沉香属植物叶片的解剖学特征做了比较和分析, 旨在

为沉香属植物的物种鉴定提供解剖学依据, 同时对沉香属植物的合理开发利用具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试沉香属六种植物见表 1。供试材料均采自海南兴隆热带药用植物园沉香种植基地, 2015 年 8 月选取健康植株上完整成熟的叶片, 在叶片 1/2 处取主脉及相邻的侧部, 切成 5 mm × 5 mm 的小块作为切片材料, 每种取 10 个叶片。

表 1 沉香属植物材料

Table 1 Materials for anatomic studies on *Aquilaria*

编号 Number	种名 Species name	原产地 Originally source
1	<i>A. sinensis</i> 白木香	中国海南 Hainan, China
2	<i>A. baillonii</i>	柬埔寨 Cambodia
3	<i>A. crassna</i>	老挝 Laos
4	<i>A. banaensis</i>	越南 Vietnam
5	<i>A. malaccensis</i>	马来西亚 Malaysia
6	<i>A. yunnanensis</i> 云南沉香	中国云南 Yunnan, China

1.2 方法

1.2.1 制片方法 将切片材料固定于 FAA 溶液中, 经抽气, 酒精脱水, 二甲苯透明, 石蜡包埋等过程制成蜡块, Lecia RM2215 石蜡切片机上切片, 厚度 8 μm, 番红-固绿染色, 加拿大树胶封片。撕取上下表皮制成临时装片。

1.2.2 图片采集和数据统计分析 在 Nikon 80i 型生物显微镜下观察、拍照, 测量其解剖结构的数量性状。测量指标包括: 叶片厚度、叶上下表皮细胞厚

度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、主脉厚度、气孔密度。每个性状测量 20 个数值。利用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 表皮细胞的结构特征

沉香属六种植物叶片的上下表皮均由单层细胞构成,细胞形状不规则,大小不等,彼此间紧密嵌合(图版 I、II),上下表皮上具有较厚的角质膜。上表皮细胞厚度明显大于下表皮细胞厚度(表 2);上表皮细胞厚度总平均值为 25.6 μm ,其中 *A. crassna*

上表皮厚度最大(28.8 μm),显著大于 *A. baillonii* (23.8 μm)和 *A. yunnanensis* (23.8 μm)。下表皮厚度总平均值为 14.8 μm ,变异系数为 13.5%,其中 *A. crassna* 下表皮厚度最大(16.9 μm),显著大于 *A. baillonii* 柬埔寨(11.9 μm)和白木香 *A. sinensis* (13.5 μm) (表 2)。气孔仅分布在下表皮上,微下陷;保卫细胞肾形,外围由几个普通表皮细胞不规则围绕,无副卫细胞(图版 II)。气孔密度约 148 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$,变异系数为 10.1%。气孔密度除白木香和云南沉香间存在显著差异外,其他植物间差异均不显著(表 2)。下表皮上还零星分布着由单个细胞形成的表皮毛(图版 II :C,F)。

表 2 六种沉香属植物的叶片解剖特征的数量性状(平均值 \pm 标准差)

Table 2 Anatomical quantity characters of leaves of six *Aquilaria* species (Data are $\bar{x} \pm s$)

形状 Trait	<i>A. sinensis</i>	<i>A. baillonii</i>	<i>A. crassna</i>	<i>A. banaensis</i>	<i>A. malaccensis</i>	<i>A. yunnanensis</i>	总平均 Mean	变异系数 CV(%)
LT (μm)	196.7 \pm 7a	168.3 \pm 7b	155.6 \pm 8c	204.3 \pm 10a	143.4 \pm 5c	151.6 \pm 13c	167.0 \pm 8	4.8
VN (n)	50 \pm 6a	57 \pm 7a	50 \pm 10a	49 \pm 5a	55 \pm 16a	38 \pm 6b	50 \pm 11	22
MT (μm)	591.6 \pm 37b	703.6 \pm 56a	610.0 \pm 30b	535.0 \pm 19b	693.1 \pm 36a	732.2 \pm 49a	644.2 \pm 78	12.1
MBH (μm)	319.62 \pm 27bc	385.9 \pm 21b	296.1 \pm 11c	344.7 \pm 66bc	363.2 \pm 22bc	468.2 \pm 52a	364.1 \pm 67	18.4
MBW (μm)	423.7 \pm 36c	524.5 \pm 21b	425.1 \pm 22c	485.3 \pm 69bc	457.7 \pm 25bc	672.1 \pm 66a	502.7 \pm 98	19.5
MIN (n)	10.8 \pm 2.3ab	8.3 \pm 2.0bc	7.8 \pm 1.2bc	7.8 \pm 1.3bc	7.1 \pm 1.5c	11.5 \pm 1.9a	8.9 \pm 2.3	25.8
UET (μm)	25.6 \pm 2ab	23.8 \pm 4bc	28.8 \pm 4a	24.9 \pm 2ab	26.4 \pm 3ab	23.8 \pm 2c	25.6 \pm 3	11.7
LET (μm)	13.5 \pm 4bc	11.9 \pm 1c	16.9 \pm 2a	14.6 \pm 3ab	16.6 \pm 3a	15.1 \pm 2ab	14.8 \pm 2	13.5
SD ($n \cdot \text{mm}^{-2}$)	182 \pm 15a	116 \pm 13ab	140 \pm 14ab	169 \pm 22ab	148 \pm 12ab	104 \pm 14b	148 \pm 15	10.1
PTT (μm)	31.9 \pm 7ab	31.8 \pm 5ab	24.8 \pm 5c	38.3 \pm 5a	28.3 \pm 4bc	25.8 \pm 5bc	30.2 \pm 5	16.6
STT (μm)	115.0 \pm 10b	99.5 \pm 3c	95.7 \pm 7c	133.4 \pm 14a	87.7 \pm 8c	96.2 \pm 13c	104.6 \pm 9	8.6
PRS	0.27a	0.31a	0.26a	0.28a	0.32a	0.27a	0.29	24

注:同行间小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。LT=叶片厚度;VN=叶脉条数;MT=主脉厚度;MBH=主脉维管束的高度;MBW 主脉维管束的宽度;MIN 主脉维管束内异细胞个数;UET=叶上表皮细胞厚度;LET=叶下表皮厚度;SD=气孔密度;PTT=栅栏组织厚度;STT=海绵组织厚度;PRS=栅海比。

Note: Different small letters in a row indicate significant differences ($P < 0.05$). LT = Leaf thickness; VN = Vein number; MT = Midrib thickness; MBH = Midrib bundle height; MBW = Midrib bundle width; MIN = Midrib idioblast number; UET = Upper epidermis cell thickness; LET = Lower epidermis cell thickness; SD = Stomata density; PTT = Palisade tissue thickness; STT = Spongy tissue thickness; PRS = The ratio of palisade to spongy tissue.

2.2 叶肉的结构特征

六种沉香属植物的叶肉组织主要由含有叶绿体的薄壁细胞组成,根据细胞形态和胞间隙的不同,分为栅栏组织和海绵组织(图版 III)。栅栏组织紧贴表皮,由 1~2 层排列比较紧密的长圆柱状细胞构

成,染色较深(图版 III :A-F)。海绵组织位于栅栏组织的下方,细胞形态不规则,含有叶绿体较少,排列疏松,胞间隙大(图版 III :A-F)。在六种沉香属叶片中,栅栏组织总平均厚度为 30.2 μm ,变异系数为 4.8%,其中 *A. banaensis* 栅栏组织最厚,为 38.3

μm ,显著大于 *A. crassna* (24.8 μm), *A. malaccensis* (28.3 μm) 和 *A. yunnanensis* (25.8 μm) 栅栏组织的厚度(表2);海绵组织厚度的平均值为 104.6 μm ,变异系数为 8.6%,其中 *A. banaensis* 的海绵组织最厚(133.4 μm),显著厚于其他 5 种沉香属植物(表2)。植物栅栏组织与海绵组织的比值反映了栅栏组织的发育程度,比值越大,其栅栏组织越发达,越有利于植物的生长。通过多重比较发现,六种沉香属植物栅海比总平均值为 0.29,各种间差异不显著(表2)。

除栅栏组织和海绵组织细胞外,在六种沉香属植物叶肉细胞中我们均观察到了下皮层和长方晶体(图版Ⅲ:A-F)。下皮层紧贴下表皮,由一层排列较整齐,染色较深的异细胞组成(图版Ⅲ:B,C,E,F)。长方晶体从上表皮开始,穿过栅栏组织,深入到海绵组织中部(图版Ⅲ:A-F)。

2.3 叶脉的结构特征

沉香属植物的叶片为网状脉,具有一条明显的主脉,沿主脉分出多条纤细平行的侧脉。六种沉香属植物叶片主脉解剖特征类似,均为双韧维管束(图版Ⅳ:A-F)。在主脉横切面上,被番红染成红色的圆环状木质部,由 1~3 列径向排列的导管分子与 1 列木射线薄壁细胞相间排列构成(图版Ⅳ:A-F)。环状木质部外侧为外生韧皮部,外生韧皮部中分布着染色较深的异细胞,在异细胞外侧则是十分发达的成环状排列的木质部外纤维(图版Ⅳ:A-F)。环状木质部内侧为较发达的内生韧皮部。主脉的中心为大型的薄壁细胞和染色较深的异细胞组成的髓部(图版Ⅳ)。统计分析后发现 *A. yunnanensis* (云南)主脉最厚,约 732.2 μm ,与 *A. banaensis* (535.0 μm)、*A. crassna* (610 μm) 和 *A. sinensis* (591 μm) 存在显著性差异(表2)。叶主脉维管束的高度平均为 364.1 μm ,宽度平均为 502.7 μm ,*A. yunnanensis* 主脉维管束的高度和宽度显著大于其他沉香属植物(表2)。主脉维管束内异细胞个数平均为 8.9 个,其中 *A. yunnanensis* 中显著多于 *A. baillonii*,*A. crassna* 和 *A. banaensis*。侧脉总平均值为 50 条,*A. yunnanensis* 的侧脉条数最少为 38 条,显著少于其他 5 种沉香植物(表2)。

2.4 聚类分析

利用 SPSS 软件对叶片厚度,叶脉条数,主脉厚度,主脉维管束高度,主脉维管束宽度,表皮厚度,气孔密度和栅栏与海绵组织的厚度及其比值等 12 个解剖学性状数据(表3)进行聚类分析,可将六种沉

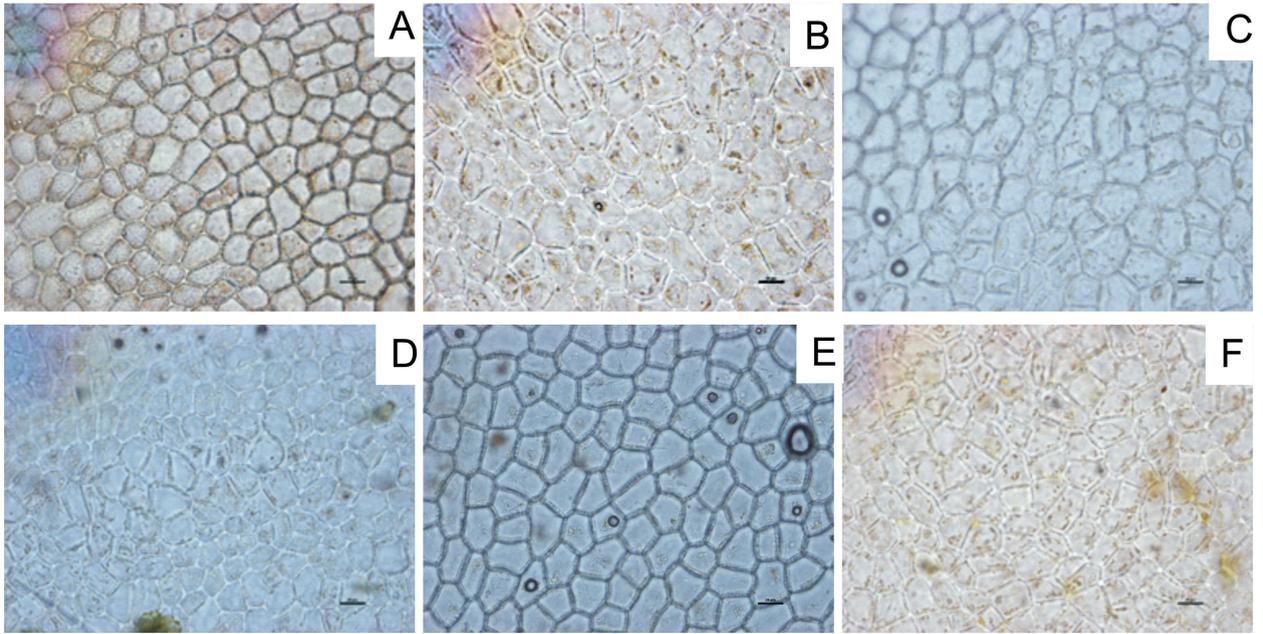
香属植物聚为 3 个组(图版 V)。 *A. sinensis* (白木香)、*A. crassna* 和 *A. banaensis* 聚为一类;*A. baillonii* 和 *A. malaccensis* 聚为一类;*A. yunnanensis* (云南沉香)单独为一类,与以上两组的距离较远。其中 *A. sinensis* (白木香)和 *A. crassna* 关系最近。

3 讨论与结论

在适应自然环境的过程中,植物逐渐演化出各种各样的比较稳定的外部形态和内部结构(陈树思和唐为萍,2005;吴涛等,2013)。叶片是植物进行光合作用、气体交换及蒸腾作用的主要器官(胡正海,2010;招礼军等,2014),其所处环境的水分供应情况和光照情况是影响叶片形态和内部结构的重要因素。因此,叶片结构可以从一定程度上反应植物对环境的适应性和进化机制(招礼军等,2014)。

沉香属植物分布在高低温、少低温,多台风、干湿季分明,紫外线强的国家和地区,其叶片逐渐演化出适应此种环境的结构特征。六种沉香属植物叶片的整体解剖结构基本一致,为典型的异面叶,上下表皮各一层,表皮毛较少,栅栏组织 1~2 层,海绵组织中有较大的胞间隙,栅海比约为 0.29,表现出中生植物的特点。六种沉香属植物叶片都具有微下陷的气孔,发达的输导组织和内生韧皮部,并含有大量的晶体和异细胞等,均表现出典型的旱生特征。

叶片表皮细胞排列紧密,具有较厚的角质膜,可以防止热带亚热带地区高温下水分的过度散失(陈树思和唐为萍,2005),同时,还有助于沉香属植物顺利地度过降水稀少的干季。另外气孔仅分布在下表皮上,且气孔微下陷,都是抗旱性强的标志(陈树思和唐为萍,2005)。祁如虎等(1998)在研究高山植物时发现叶片内的异细胞在抵御干旱和短期低温等方面具有重要的意义,同时在抵抗太阳辐射及强紫外辐射等方面也发挥着重要的作用,因此我们认为沉香属叶片内大量存在的异细胞在抵御热带亚热带环境中强紫外辐射、干旱和短期低温等方面发挥着一定的作用。植物体内的晶体可以改变细胞的渗透势,提高吸水 and 保水能力;同时晶体还与植物防御、解毒、光的聚集和反射等相适宜(朱广龙等,2014)。因此叶表皮下长方晶体的存在,可能是沉香属植物应对强光,干旱和有害物质等逆境的积极适应方式。叶脉的主要功能是输导和支持作用。在热带和亚热带地区,植物叶脉中的内生韧皮部对植

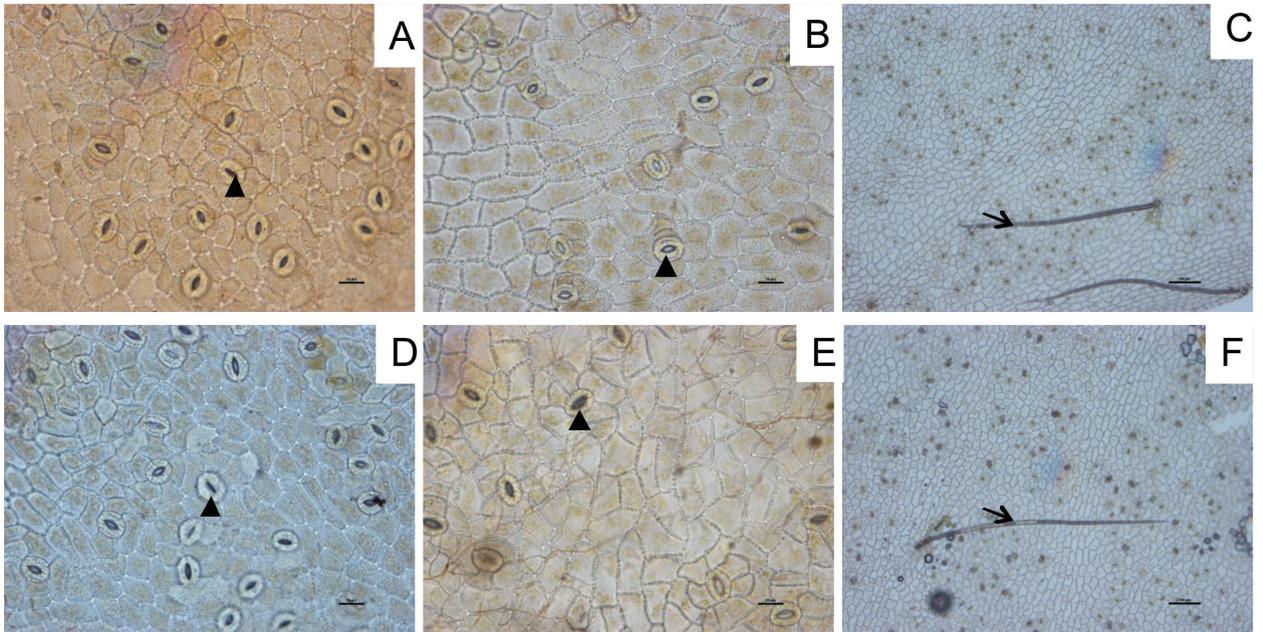


图版 I 六种沉香属植物成熟叶片上表皮的显微结构特征 A. 白木香; B. *Aquilaria baillonii*;

C. *A. crassna*; D. *A. banaensis*; E. *A. malaccensis*; F. 云南沉香。比例尺=20 μm 。下同。

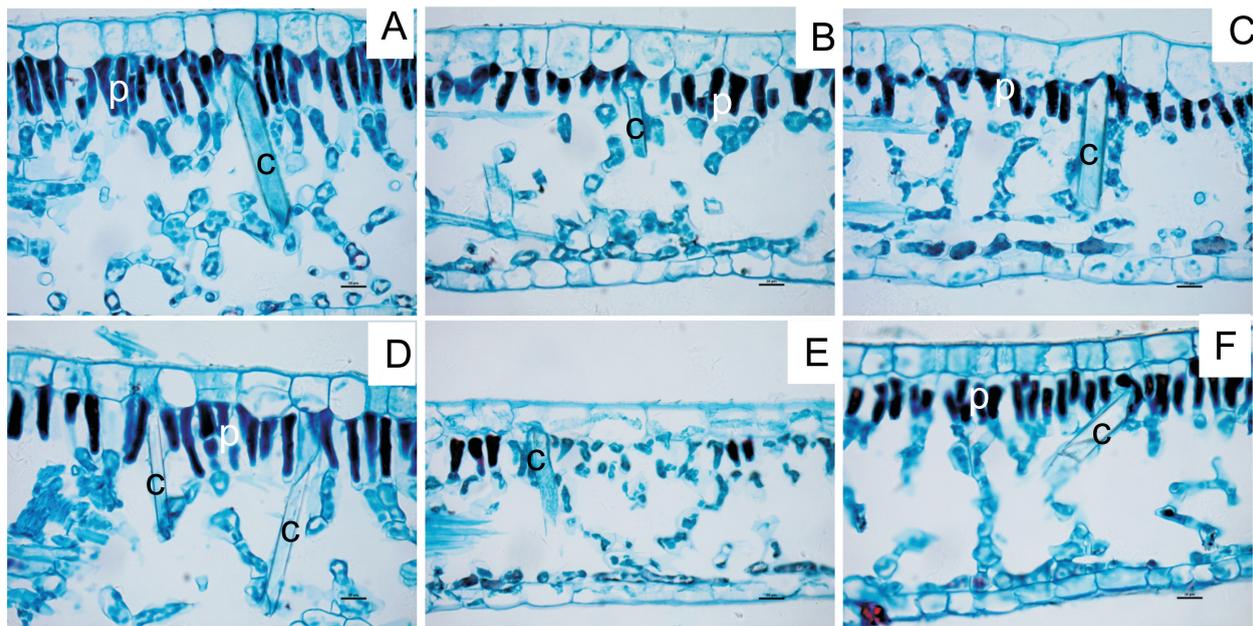
Plate I Microscopic characteristics of leaf upper epidermis of six *Aquilaria* species A. *A. sinensis*; B. *A. baillonii*;

C. *A. crassna*; D. *A. banaensis*; E. *A. malaccensis*; F. *A. yunnanensis*. Bar=20 μm . The same below.

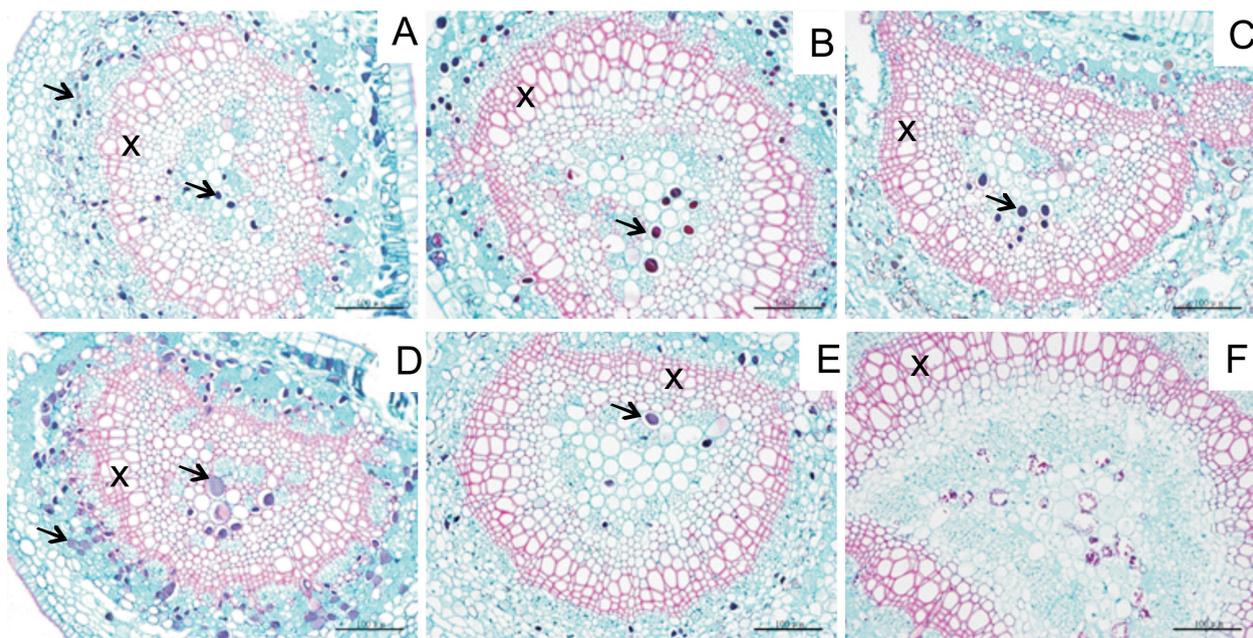


图版 II 六种沉香属植物成熟叶片下表皮的显微结构特征 三角示气孔; 箭头示表皮毛; 比例尺 A,B,D,E=20 μm ; C,F=100 μm 。

Plate II Microscopic characteristics of leaf lower epidermis of six *Aquilaria* species Stoma(triangle); Epidermal hair (arrowhead); Bar: A,B,D,E=20 μm ; C,F=100 μm .



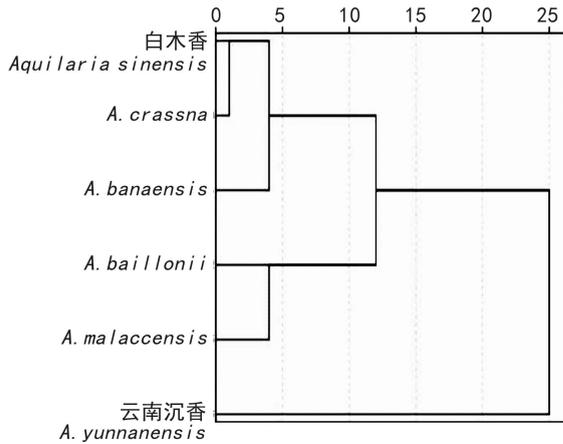
图版 III 六种沉香属植物叶片的横切面 C. 晶体; P. 栅栏组织; 箭头示下皮层; 比例尺=20 μm 。
Plate III Cross section of leaf of six *Aquilaria* species C. Crystal; P. Palisade; Idioblast (arrowhead). Bar=20 μm .



图版 IV 六种沉香属植物的主脉横切面 X. 木质部; 箭头示异细胞。比例尺=100 μm 。
Plate IV Cross section of midrib of six *Aquilaria* species Xylem (X); Idioblasts (arrowhead). Bar=100 μm .

物抗拒水分过度散失具有一定的生态学意义(陈树思和唐为萍, 2005)。叶脉中大量存在的木质部外纤维, 可能是沉香属植物积极应对台风一种方式。

本研究中发现除栅海比外, 叶片厚度, 叶脉数, 主脉厚度, 主脉维管束的高度、宽度, 上下表皮厚度, 气孔密度, 栅栏组织和海绵组织的厚度等 11 项数量



图版 V 沉香属六种植物的聚类树状图
Plate V Cluster of six *Aquilaria* species

指标在六种植物间差异均达到显著水平。通过进一步的聚类分析发现, *A. sinensis* (白木香)、*A. crassna* 和 *A. banaensis* 亲缘关系较近, 聚为一类, *A. baillonii* 和 *A. malaccensis* 聚为一类, *A. yunnanensis* 与它们的关系较远, 单独为一类。申彦晶等(2008)利用 ITS 序列聚类分析发现, *A. sinensis* 与 *A. crassna* 聚为一类, *A. yunnanensis* 与 *A. sinensis* 亲缘关系比较远, 而与 *A. rugosa* 亲缘关系较近, 这与本研究的结果比较相近。但是 Lee et al(2016)综合 *matK*+*tmL*-*tmF*+*ITS2* 序列聚类分析表明 *A. sinensis* 和 *A. yunnanensis* 亲缘关系较近, 而与 *A. malaccensis* 的亲缘关系较远。以上研究结果存在一定的差异, 可能与取样有关, 也有可能与研究方法不同有关。下一步我们将收集更多的沉香属植物, 利用形态学, DNA 条形码和生物化学等多种技术深入研究沉香属植物的亲缘关系, 对沉香属植物进行精确的分类和鉴定, 为沉香属植物资源的合理开发与保护等提供理论依据。

参考文献:

CHEN HQ, WEI JH, YANG JS, et al, 2012. Chemical constituents of agarwood originating from the endemic genus *Aquilaria* plants [J]. *Chem & Biodivers*, 9(2):236-250.
CHEN SS, TANG WP, 2005. Studies on anatomical structure of the leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop & Subtrop Bot*, 13(4): 291-295. [陈树恩, 唐为萍, 2005. 白木香叶解剖结构的研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 13(04):291-295.]
CHANG XG, XU Z, YI J, et al, 2011. Comparison of leaf anatomical characteristics of six species of *Roegneria* [J]. *Acta Agr sin*, 19(3):443-450. [常雪刚, 徐柱, 易津, 等, 2011. 六种鹅观草属植物叶片形态解剖特征比较 [J]. *草地学报*, 19(3):443-450.]
CITES, 2004. Amendments to Appendices I, II and III of CITES [R].

Editorial Board of Chinese Pharmacopoeia, 2015. Chinese Pharmacopoeia [M]. Beijing: Chinese Medicine Science and Technology Publishing House. [国家药典委员会, 2015. 中华人民共和国药典(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社.]
Flora of China Editorial Committee, 2004. *Flora republicae popularis sinicae* [M]. Beijing: Science Press, 52(1):289. [中国植物志编辑委员会, 2004. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 52(1):289.]
HU ZH, 2010. Plant anatomy [M]. Beijing: Higher Education Press. [胡正海, 2010. 植物解剖学 [M]. 北京: 高等教育出版社.]
LEE SY, NG WL, MAHAT MN, et al, 2016. DNA Barcoding of the endangered *Aquilaria* (Thymelaeaceae) and its application in species authentication of agarwood products traded in the market [J]. *PLoS ONE*, 11(4): e0154631.
LI HC, QIU ZJ, 2003. A review of studies of drought resistance in tree species and drought resistant forestation technology [J]. *World For Res*, 16(4):17-22. [黎枯琛, 邱治军, 2003. 树木抗旱性及抗旱造林技术研究综述 [J]. *世界林业研究*, 16(4):17-22.]
LIU YY, CHEN HQ, YANG Y, et al, 2013. Whole-tree agarwood-inducing technique: an efficient novel technique for producing high-quality agarwood in cultivated *Aquilaria sinensis* trees [J]. *Molecules*, 18(3): 3086-3106.
QI RH, LI YZ, FAN JP, 1998. The idioblasts and their ecological significance in the leaves of 16 alpine plants [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 18(2):270-276. [祁如虎, 李有忠, 范建平, 1998. 16种高山植物叶片内的异细胞及其生态学意义 [J]. *西北植物学报*, 18(2): 270-276.]
SHEN ND, WEI MQ, MA WP, 2007. A comparative study on the leaf anatomical structure of 8 species in *Syngia* [J]. *J Qinghai Univ(Nat Sci Ed)*, 25(3):11-13. [沈宁东, 韦梅琴, 马文萍, 2007. 丁香属植物叶片解剖结构的比较研究 [J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 25(03):11-13.]
SHEN YJ, YAN P, ZHAO X, et al, 2008. Application of ISSR marker and ITS sequence to investigation of genetic variation of *Aquilaria sinensis* [J]. *J S Chin Univ Technol*, 36(12):128-132. [申彦晶, 严萍, 赵翔, 等, 2008. ISSR 和 ITS 标记在白木香遗传变异研究中的应用 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 36(12):128-132.]
WU T, HAN MY, SIMA YK, et al, 2013. Comparative anatomy on the leaves of 27 species of 6 genera in Magnoliaceae [J]. *J West Chin For Sci*, 42(6):25-37. [吴涛, 韩明跃, 司马永康, 等, 2013. 木兰科 6 属 27 种植物的叶片比较解剖学研究 [J]. *西部林业科学*, 42(6):25-37.]
ZHAO LJ, ZHU LQ, HUANG SX, et al, 2014. Genetic diversity of leaves anatomical traits in different provenances of *Liriodendron chinense* seedlings [J]. *Guihaia*, 34(3): 308-314. [招礼军, 朱栗琼, 黄寿先, 等, 2014. 不同种源鹅掌楸苗木叶解剖性状的遗传多样性 [J]. *广西植物*, 34(3): 308-314.]
ZHAO X, ZHAO S, 2007. Phenotypic diversity of different *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng. populations [J]. *J S Chin Univ Technol*, 35(4):117-1223. [赵翔, 赵树进, 2007. 白木香群体的表型多样性分析 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 35(4):117-122.]
ZHU GL, MA Y, HAN L, et al, 2014. Current status of research on morphological structure, biological function and formation mechanism of plant crystals [J]. *Acta Ecol Sin*, 34(22): 6429-6439. [朱广龙, 马茵, 韩蕾, 等, 2014. 植物晶体的形态结构、生物功能及形成机制研究进展 [J]. *生态学报*, 34(22): 6429-6439.]