

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2016.10001

申仕康, 张新军, 吴富勤, 杨冠松, 王跃华, 孙卫邦, 蔺汝涛. 极小种群野生植物大树杜鹃的解剖结构研究[J]. 植物科学学报, 2016, 34(1): 1-8

Shen SK, Zhang XJ, Wu FQ, Yang GS, Wang YH, Sun WB, Lin RT. Study on the anatomical structures of *Rhododendron protistum* var. *giganteum* with an extremely small population[J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(1): 1-8

## 极小种群野生植物大树杜鹃的解剖结构研究

申仕康<sup>1\*</sup>, 张新军<sup>1\*\*</sup>, 吴富勤<sup>1</sup>, 杨冠松<sup>1</sup>, 王跃华<sup>1</sup>, 孙卫邦<sup>2</sup>, 蔺汝涛<sup>3</sup>(1. 云南大学生命科学学院, 昆明 650091; 2. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明植物园, 昆明 650201;  
3. 高黎贡山国家级自然保护区管理局, 云南保山 678000)

**摘要:** 大树杜鹃 (*Rhododendron protistum* var. *giganteum*) 是杜鹃花科 (Ericaceae) 杜鹃属的常绿乔木, 由于分布地域的局限性和资源的稀少性, 该植物被列为我国首批极小种群野生植物保护名录。本文采用石蜡切片法和叶表皮装片法对大树杜鹃叶片、幼茎和根的解剖结构进行了研究, 并利用扫描电镜对其种子表面纹饰、气孔以及叶毛被特征进行了观察。石蜡切片显微观察结果显示, 大树杜鹃根的次生结构主要由周皮和维管柱组成, 茎的解剖结构由表皮、皮层、韧皮部、木质部和髓组成; 大树杜鹃的叶为异面叶, 上表皮具角质层, 气孔器只分布于下表皮, 气孔器类型为无规则型, 叶脉具发达的维管束鞘延伸区。扫描电镜观察结果发现, 大树杜鹃叶片毛被由两层不同类型的毛组成, 即上面一层为海绵状绒毛, 下面一层为短的薄片状绒毛; 种子具翅, 有明显的背腹面之分, 背腹面纵纹明显。该研究结果为进一步探明大树杜鹃的生物学特征、确定其系统分类位置和探讨其生境适应性提供了科学依据。

**关键词:** 杜鹃属; 分类; 解剖特征; 适应性; 表皮毛; 濒危植物

中图分类号: Q944.5; Q949.772.3

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2016)01-0001-08

## Study on the Anatomical Structures of *Rhododendron protistum* var. *giganteum* with an Extremely Small Population

SHEN Shi-Kang<sup>1\*</sup>, ZHANG Xin-Jun<sup>1\*\*</sup>, WU Fu-Qin<sup>1</sup>, YANG Guan-Song<sup>1</sup>, WANG Yue-Hua<sup>1</sup>,  
SUN Wei-Bang<sup>2</sup>, LIN Ru-Tao<sup>3</sup>

(1. School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Kunming Botanical Garden, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China; 3. Administration of Gaoligongshan Mountains National Nature Reserve, Baoshan, Yunnan 678000, China)

**Abstract:** *Rhododendron protistum* var. *giganteum* is an evergreen tree that belongs to subgenus *Hymenanthus* and subsection *Grandia* from the family Ericaceae. It is a highly endangered species in a small area in the southern part of Yunnan Province in China. This plant has been listed in the Conservation Program for Wild Plants with Extremely Small Populations in China (2012 – 2015 Operational Plan) due to its limited distribution and small populations. In the present study, the anatomical characteristics of the leaves, stems and roots of *R. protistum* var. *giganteum* were studied by paraffin sectioning and leaf epidermal isolation. Furthermore, seed surface, stoma and indumentum characteristics were also

收稿日期: 2015-07-18, 退修日期: 2015-08-10。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31360155); 国家自然科学基金-云南省联合基金项目 (U1302262)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (31360155) and National Natural Science Foundation of China-Yunnan (U1302262)。

作者简介: 申仕康 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为植物资源保护与开发利用 (E-mail: yunda123456@126.com)。张新军 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物资源保护与开发利用 (E-mail: 603293258@qq.com)。

\*\* 共同第一作者。

\* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: yunda123456@126.com)。

observed under scanning electron microscope (SEM). The paraffin sectioning results indicated that the secondary structure of the root was mainly composed of periderm and vascular cylinder. The anatomical structure of the stem consisted of the epidermis, cortex, phloem, xylem and pith. The leaf was bifacial with a cuticle on the upper epidermis. The epidermal hairs and stomata were only distributed on the lower epidermis. The stomata were anomocytic type. Palisade tissue was arranged closely and was well-developed, while the spongy tissue was arranged loosely. There were well-developed vascular bundles and bundle sheath extensions distributed in the structure of the leaf. Through SEM, it was found that the foliar trichome of *R. protistum* var. *giganteum* was composed of two layers of epidermal hairs, including a layer of cavernous villi and a layer of short lamelliform villi. Basal and apical wings were equally developed on the seeds. Seeds were flattened and exotesta longitudinal sculptures, which were conformed on the dorsal and ventral sides of the seed. The results obtained in the present study will not only help to further understand the biological characteristics of this species, but also provide a scientific basis to elucidate its systematic classification and habitat adaptation.

**Key words:** *Rhododendron*; Classification; Anatomical structure; Adaptation; Epidermal hair; Endangered plant

植物的解剖特征是物种自身遗传、进化及其适应环境的结果,不同物种之间具有不同的解剖结构特征,同一物种在不同生境条件下亦表现出明显的解剖结构差异,因此,通过对植物解剖结构的研究,不仅可以探明植物的基础生物学特性,为其形态学鉴定、系统位置确定提供科学依据,而且对探讨植物对环境的适应性具有重要意义<sup>[1-3]</sup>。

杜鹃花科(Ericaceae)植物种类繁多、变异大,特别是杜鹃属(*Rhododendron*)植物属下种级水平的分类一直是研究者关注的焦点<sup>[4,5]</sup>。早期的分类学者主要集中在经典的形态分类和细胞学等方面,随着电镜技术的发展,植物微形态包括叶表皮特征、气孔器类型、表皮毛特征、花粉形态、种子表面结构等一系列解剖结构为杜鹃属植物分类和系统演化提供了新的证据<sup>[6-9]</sup>。Ueda等<sup>[10]</sup>比较研究了*Rhododendron ripense*及其近缘种*Rhododendron macrosepalum*的叶片解剖特征,为其形态鉴定提供了依据;熊子仙等<sup>[11]</sup>对杜鹃属8个亚属33种植物的叶片进行了解剖结构观察,并根据叶脉维管束的特征将这8个亚属分为5种维管束类型,还探讨了8个亚属植物维管束的演化历史;王玉国等<sup>[5]</sup>对杜鹃花属6个亚属48种4变种植物的叶表皮特征进行了研究,其结果支持叶状苞亚属是杜鹃花属基部类群的观点;周兰英等<sup>[12]</sup>对四川省26种杜鹃属植物的花粉特征进行了观察,提出花

粉形态可以作为组或亚组水平上分类的重要依据。在生境适应性方面,Noshiro和Suzuki<sup>[1]</sup>比较研究了尼泊尔杜鹃属2种乔木植物和4种灌木植物的木材解剖特征,发现不同植物的木材解剖结构具有典型的系统学和生态学差异;容丽等<sup>[13]</sup>对杜鹃属13种植物叶片解剖结构的生态适应性进行了研究,发现叶片解剖结构在种间或种群间的明显差异是各自适应环境的结果。

大树杜鹃(*Rhododendron protistum* var. *giganteum* (Forrest) D.F. Chamberlain)为杜鹃花科杜鹃属常绿杜鹃亚属最高大的多年生乔木植物,该植物于1919年被英国爱丁堡皇家植物园的博物学家乔治·弗瑞斯特发现并命名,目前在高黎贡山国家级自然保护区发现的1株大树杜鹃高20~25 m,基径约3.3 m,被誉为“杜鹃王”<sup>[14]</sup>。但是,由于该植物分布地域的局限性以及种群和植株数量稀少,已经被国家林业局列入《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划(2011-2015年)》的极小种群野生植物保护名录。大树杜鹃是翘首杜鹃(*Rhododendron protistum*)的变种,叶背面全面被毛,淡棕色,不脱落;其花较大、花冠长7~8 cm、深紫红色、无斑点等特征可与翘首杜鹃区分,但Cox<sup>[15]</sup>和Davidson<sup>[16]</sup>先后将大树杜鹃作为原变种的同物异名归并,故关于大树杜鹃变种是否成立、其系统位置如何仍然存在争议<sup>[8]</sup>。鉴于

此, 本文通过对大树杜鹃根、茎、叶的石蜡切片解剖结构特征的研究, 并利用扫描电镜对大树杜鹃叶片毛被、气孔及种子表面纹饰等微形态特征进行观察, 以期进一步探明该植物的基础生物学特征, 并为探讨其系统分类地位与生境适应性提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究样地概况

大树杜鹃分布于高黎贡山国家级自然保护区大塘管理站西坡, 其分布海拔 2340 ~ 2600 m, 年平均气温 11℃; 年均降水量约 2000 mm, 干湿季分明, 区域年平均相对湿度在 80% 以上, 土壤为黄棕壤, 属典型的亚热带季风气候; 大树杜鹃分布区植被类型为中山湿性常绿阔叶林, 主要群落类型有青冈—南亚含笑 (*Cyclobalanopsis glauca-Michelia doltsopa*) 群落、薄片青冈 (*C. lamellosa*) 群落和旱冬瓜 (*Alnus nepalensis*) 群落等, 壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、木兰科 (Magnoliaceae)、山茶科 (Theaceae)、金缕梅科 (Hamamelidaceae)、杜鹃花科 (Ericaceae) 植物是乔木层主要优势物种。

### 1.2 材料采集

大树杜鹃叶片、根和种子材料均由高黎贡山国家级自然保护区工作人员采自大河头大树杜鹃居群 (25°46'42"N、98°42'29"E, 海拔 2414 m)。其中, 叶片采自该居群西南坡成年植株 (高约 15 m, 胸径 60 ~ 70 cm) 的成熟叶片; 根采自该居群内的大树杜鹃幼苗 (高约 1 m, 基径约 5 cm), 在确保不损伤植株正常生长的情况下, 选择与大树杜鹃主根相连的新鲜幼嫩的根段。材料采集后立即用 FAA 固定, 带回实验室备用。大树杜鹃茎样品来源于该居群种子经实验室萌发的幼苗 (出苗后约 4 周) 茎段。实验所用大树杜鹃的根、茎直径均小于 0.5 cm。凭证标本存放于云南大学植物标本馆。

### 1.3 实验方法

采用常规石蜡切片法观察大树杜鹃根、茎、叶的显微结构, 切片厚度为 8 ~ 10 μm, 番红-固绿双重染色, 中性树胶封片, 制成永久装片。采用 Olympus BX-51 显微镜进行观察与镜检, 并于 DP73-cellSens [Vers. 1.4] 显微数码成像系统观察、测量与拍照。

大树杜鹃叶表皮细胞及气孔解剖结构研究的具体方法为: 取叶片中部约 0.5 cm<sup>2</sup> 的小块放入 Jeffrey 溶液 (10% 铬酸 : 10% 硝酸 = 1 : 1) 中, 于 36 ~ 38℃ 下浸泡 12 ~ 16 h 至表皮与叶肉分离, 水洗后用毛笔将附着在表皮上的叶肉组织去除, 然后制成临时装片于 Olympus BX-51、DP73-cellSens [Vers. 1.4] 显微数码成像系统观察、测量与拍照。

用扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 观察大树杜鹃叶被毛、气孔及种子表面纹饰结构特征, 具体方法是: 取叶片中部一小块或种子一枚用双面胶粘贴在样品台上, 在真空条件下给样品表面镀金, 然后在扫描电镜下观察、拍照。

## 2 结果与分析

### 2.1 大树杜鹃根的解剖结构

石蜡切片法显微观察发现, 大树杜鹃幼根横切解剖结构为根的次生结构, 包括周皮和维管柱 (图版 I : A、B)。周皮由 2 ~ 3 层木栓层、1 层木栓形成层和 1 ~ 2 层栓内层构成, 且外层木栓层具有脱落现象。维管柱位于栓内层细胞之内, 主要由韧皮部和木质部构成, 形成层不明显, 其中韧皮部为维管柱外层被染颜色较深的绿色部分; 次生木质部发达, 由孔径较大的导管分子组成, 初生木质部孔径较小, 被挤压在维管柱的中央 (图版 I : B)。

### 2.2 大树杜鹃茎的解剖结构

石蜡切片法显微观察发现, 大树杜鹃幼茎横切解剖结构为茎的次生结构和残留的初生结构, 包括表皮、皮层、维管柱和髓等 (图版 I : C)。表皮由一层排列紧密的长方形细胞构成。皮层主要由多层薄壁细胞构成, 细胞较大, 呈无规则形, 具有明显的细胞间隙。维管柱位于皮层之内, 包括韧皮部、木质部和髓 (图版 I : D), 其中木质部占维管柱的绝大部分, 细胞呈方形, 木射线发达; 韧皮部在皮层细胞之下; 髓位于维管柱的中央, 由细胞间隙较大的薄壁细胞构成, 髓与皮层之间由髓射线相连接。

### 2.3 大树杜鹃叶片的解剖结构

石蜡切片法显微观察发现, 大树杜鹃叶片为典型的异面叶, 由上表皮、栅栏组织、海绵组织、下表皮组成 (图版 I : E)。其叶片上表皮由 2 ~ 3 层排列紧密的细胞组成复表皮, 上表皮细胞呈扁长方形, 外壁稍有加厚并覆盖较厚的角质层。栅栏组织



排列紧密,由2~3层规则的长柱形细胞组成,海绵组织细胞较短,排列疏松,细胞间隙较大。叶脉维管束嵌插分布于栅栏组织与海绵组织之间,维管束鞘由2层细胞构成,且向叶片上表皮延伸,形成发达的维管束鞘延伸区。下表皮仅由1层细胞组成,其上着生有叶表皮毛(图版I:F)。

#### 2.4 大树杜鹃叶表皮特征

大树杜鹃叶上表皮细胞呈多边形或近多边形,垂周壁平直,上表皮上无气孔分布(图版II:A)。气孔器呈块状聚集分布于下表皮,下表皮细胞呈不规则形,垂周壁波状,无副卫细胞分化,即大树杜鹃气孔类型为无规则型(anomocytic type)(图版II:B、C),气孔密度为 $(316.83 \pm 41.85)$ 个/ $\text{mm}^2$ 。

肉眼观察大树杜鹃的下表皮,可见密被棕色毛被,通过扫描电镜观察发现,大树杜鹃下表皮毛被由形态差异明显的2层毛组成,上层为长的海绵状绒毛,呈无序状排列;下层毛为短的薄片状绒毛,成簇排列在一起(图版II:D、E)。

#### 2.5 大树杜鹃种子表面纹饰

在扫描电镜下,大树杜鹃种子长约1.98 mm、宽约0.87 mm,呈长卵形,较扁平,有明显的背腹面之分,背面较突起,腹面平坦,外种皮由纵向长条形细胞组成(图版II:F)。种脐端较平,合点端较圆,种子两端均具发达的翅(图版II:G),翅在种脐端收缢且撕裂,似鱼尾状(图版II:H)。肋呈方柱状,近平行,肋间沟较深。

### 3 讨论

杜鹃属是杜鹃花科中种类最多、分布面积最广的一个属,全世界约1200余种,中国有540余种,且我国西南横断山区是该属植物现代演化与分布中心,区域内珍稀、特有种类丰富<sup>[8, 17, 18]</sup>。但是目前国内外对杜鹃属的系统分类仍然存在诸多分歧。植物的微形态特征主要是对物种本身遗传特征的反映,其在种间或更高分类等级间的分类价值已经得到众多学者认可<sup>[8, 19]</sup>。大树杜鹃作为狭域分布的珍稀、濒危植物,目前对其系统分类仍然存在较大争议,但有关大树杜鹃基础生物学特性的研究几乎处于空白状态。笔者首次通过常规石蜡切片、表皮装片以及扫描电镜观察等方法较系统地研究了大树杜鹃的解剖结构特征,这不仅有助于探明该物种的基础生物学特性,也对探讨其系统分类地位具

有重要的理论价值。

已有研究表明,叶表皮结构特征(包括叶表皮细胞形状、气孔器类型、表皮毛特征等)呈现出较高的多态性,而在特定的植物分类群中又表现出相对一致性,这使得叶表皮微形态可以作为特定分类群经典分类的重要依据,同时也是探讨植物分类群演化关系和演化趋势的途径之一<sup>[9, 19, 20]</sup>。通过叶片微形态特征探讨杜鹃属内植物分类群的系统发育已经得到众多学者的认可<sup>[5, 21, 22]</sup>。在本研究中,大树杜鹃叶片为异面叶、叶肉组织中栅栏组织与海绵组织分化明显、气孔仅分布于下表皮等解剖结构特征与前人对该属其他植物解剖结构的研究结果一致<sup>[5, 19]</sup>,但是大树杜鹃叶片气孔器类型为不规则型,此特征可与常绿杜鹃亚属(subgenus *Hymenanthus*)下其他植物如牛皮杜鹃(*R. aureum*)、都支杜鹃(*R. shanii*)等相区分<sup>[19, 23]</sup>,我们观察到大树杜鹃叶下表皮毛被由无序排列的海绵状绒毛和簇状排列的薄片状绒毛共同组成、以及叶脉组织中具有发达的维管束鞘延伸区等特征为杜鹃属植物首次报道。因此,本研究结果支持叶片微形态特征可以作为杜鹃属植物种间分类依据的观点。大树杜鹃为杜鹃属多年生常绿高大乔木,且叶片宽大,叶片上表皮具2~3层细胞构成的复表皮结构等原始特征与常绿杜鹃亚属其他植物如都支杜鹃、露珠杜鹃(*R. irroratum*)等较为一致<sup>[23]</sup>,本研究结果进一步支持闵天禄和方瑞征<sup>[4]</sup>提出的常绿杜鹃亚属在杜鹃属植物的系统发育中处于原始地位的观点。熊子仙等<sup>[11]</sup>基于杜鹃属8个亚属33个种的叶片解剖结构特征,将杜鹃属植物叶脉维管束划分为5个类型,并提出杜鹃属植物从周韧维管束向下韧维管束演化的趋势,大树杜鹃具有典型的下韧维管束进化特征,但本研究发现除此之外,大树杜鹃在叶片微形态上还具有复表皮等原始结构特征,这与前人的观察结果有所不同,故本研究认为如果单纯采用叶脉维管束的结构特征来探究杜鹃属下分类单位的系统演化仍不够全面。

杜鹃属植物种子为被子植物中的小型种子,种子表面微形态特征在该属植物的系统分类中具有重要作用<sup>[24-26]</sup>。Kingdon-Ward<sup>[27]</sup>根据种子周围是否有翅状附属物的特征,将杜鹃属植物种子分为高山型、森林型和附生型3种类型,而国内学者则将杜鹃属植物种子划分为有翅类和无翅类2种类

型<sup>[24, 26]</sup>。已有研究表明, 常绿杜鹃亚属的种子表面纹饰性状较为稳定, 但与杜鹃属其他亚属之间具有明显差异<sup>[26]</sup>。大树杜鹃种子两端均具发达的翅, 种子表面具明显的纵条纹结构, 可归入王玉国等<sup>[26]</sup>定义的有翅类云锦杜鹃型(*R. fortunei*-type)种子类型。此外, 根据大树杜鹃种子细小、具翅、具背腹之分, 种子表面具细长、深沟条纹等结构特征, 结合丁炳扬等<sup>[24]</sup>对杜鹃属植物种子系统演化的观点, 也支持将常绿杜鹃亚属作为杜鹃属原始类群的观点。

植物的解剖特征不仅反映其遗传特征, 同时因受生长环境的影响也反映物种对环境的适应性<sup>[3]</sup>。大树杜鹃分布于海拔 2340 ~ 2600 m 的原始森林, 生境湿度较大, 极端最低温在 0℃ 以下<sup>[14]</sup>, 在这样的高寒环境的选择压力下, 大树杜鹃也进化出适应性结构, 如: 须根具有发达的次生结构特别是具有孔径较大的导管分子, 叶为典型的异面叶, 叶上表皮由 2 ~ 3 层细胞构成且有较厚的角质层, 栅栏组织由 2 ~ 3 层排列紧密的方柱细胞构成, 维管束发达且具有维管束鞘延伸区, 能与叶片表皮细胞共同构成辅助输导系统, 气孔器只分布在下表皮, 上下表皮均有较厚的附属物等, 这与刘旭颖等<sup>[28]</sup>对 8 种耐寒杜鹃解剖结构的观察结果相似。综合大树杜鹃的解剖结构特征与物种分布生境, 可认为大树杜鹃为中生植物。

## 4 结论

综上分析认为, 大树杜鹃具有原始的结构特征, 符合常绿杜鹃亚属植物为杜鹃属原始类群的观点。大树杜鹃不仅具异面叶、叶肉组织中栅栏组织与海绵组织分化明显、气孔仅分布于下表皮等杜鹃属植物的共同结构特征, 亦具备其特有的解剖结构, 如叶片上表皮的复表皮、下表皮密被的海绵状绒毛和薄片状绒毛、以及维管束发达且具有维管束鞘延伸区等, 这些结构特征为探究其系统分类与演化提供了依据。尽管大树杜鹃在《中国植物志》、《云南植物志》以及 *Flora of China* 中均被处理为翘首杜鹃的变种, 但有关其分类地位一直存在争议<sup>[17, 29, 30]</sup>。因此, 大树杜鹃变种是否成立, 仍需对其原变种翘首杜鹃开展相关研究, 建议进一步对翘首杜鹃和大树杜鹃进行综合比较形态学研究, 并结合分子系统学研究方法, 确定大树杜鹃变种是否

成立及其系统分类学位置。

## 参考文献:

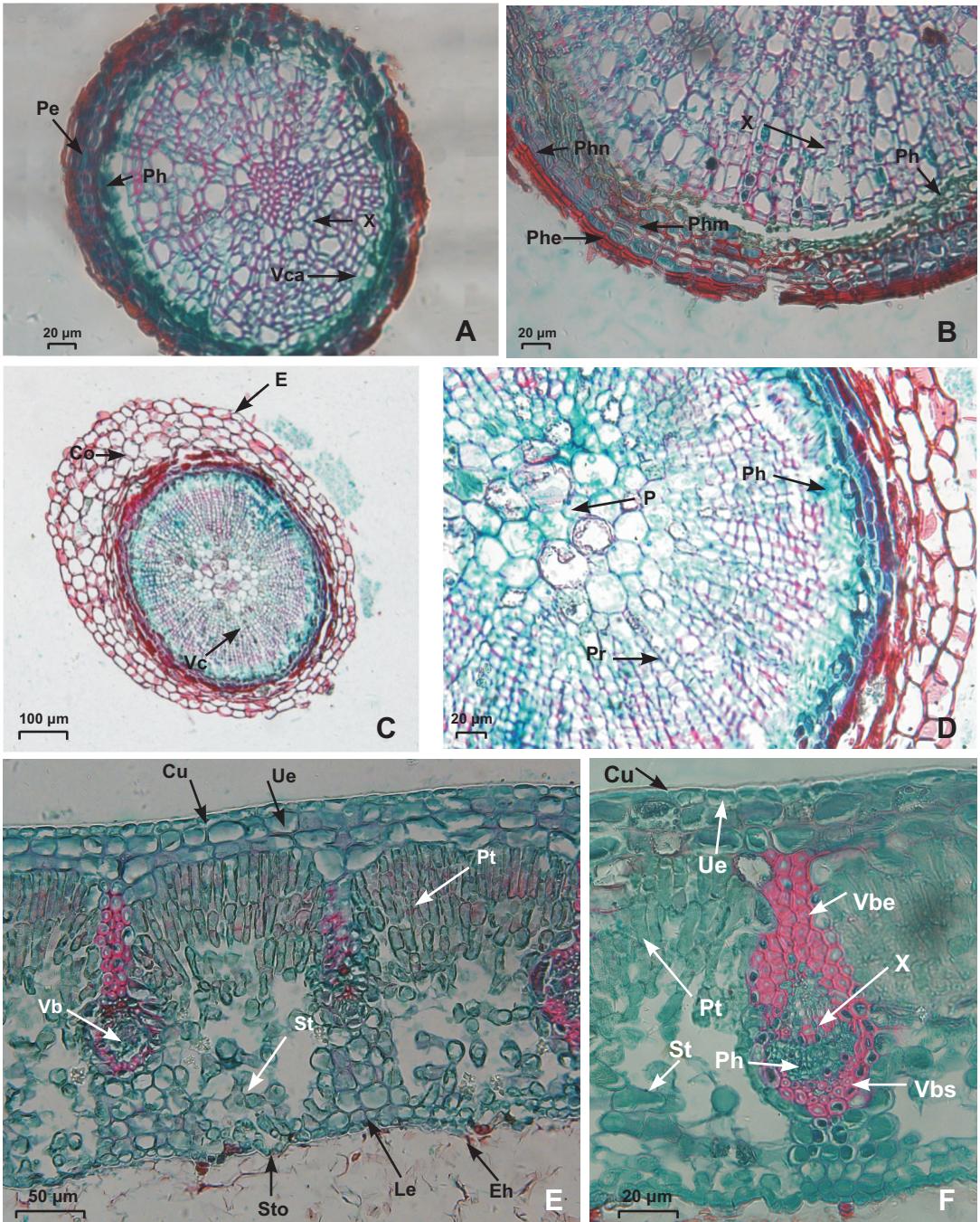
- [1] Noshiro S, Suzuki M. Ontogenetic wood anatomy of tree and subtree species of Nepalese *Rhododendron* (Ericaceae) and characterization of shrub species [J]. *Am J Bot*, 2001, 88(4): 560–569.
- [2] Poli LP, Temponi LG, Coan AI. Anatomical aspects of the gynoecium of species of *Anthurium* sect. *Urospadix* Engl. (Araceae, Alismatales) [J]. *Flora*, 2012, 207(8): 615–621.
- [3] 白潇, 李毅, 苏世平, 赵小仙. 不同居群唐古特白刺叶片解剖特征对生境的响应研究 [J]. *西北植物学报*, 2013, 33(10): 1986–1993.  
Bai X, Li Y, Su SP, Zhao XX. Response of leaf anatomical characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. from different populations to habitats [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, 33(10): 1986–1993.
- [4] 闵天禄, 方瑞征. 杜鹃属的系统发育与进化 [J]. *云南植物研究*, 1990, 12(4): 353–365.  
Min TL, Fang RZ. The phylogeny and evolution of genus *Rhododendron* [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1990, 12(4): 353–365.
- [5] 王玉国, 李光照, 张文驹, 尤佳, 陈家宽. 中国杜鹃花属的叶表皮特征及其系统学意义 [J]. *植物分类学报*, 2007, 45(1): 1–20.  
Wang YG, Li GZ, Zhang WJ, You J, Chen JK. Leaf epidermal features of *Rhododendron* (Ericaceae) from China and their systematic significance [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2007, 45(1): 1–20.
- [6] Chamberlain DF, Hyam R, Argent G. The Genus *Rhododendron*: Its Classification and Synonymy [M]. Edinburgh: Royal Botanic Garden Edinburgh, 1996.
- [7] 邹璞, 廖景平, 张莫湘. 羊蹄甲属植物种子表面微形态观察 [J]. *广西植物*, 2008, 28(1): 24–32.  
Zou P, Liao JP, Zhang DX. Spermodermal micro-morphology of *Bauhinia* (Leguminosae: Caesalpinioideae) [J]. *Guihaia*, 2008, 28(1): 24–32.
- [8] 耿玉英. 中国杜鹃花属植物 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014.  
Geng YY. The Genus of *Rhododendron* in China [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2014.
- [9] 苗燕, 王宁果, 李伟, 彭勇, 王丽, 蔡霞. 陕西分布 10 种大戟属植物茎叶形态结构比较 [J]. *西北植物学报*, 2014, 34(11): 2243–2254.  
Miao Y, Wang NG, Li W, Peng Y, Wang L, Cai X. Analysis on morphology and structure of the leaf and stem of 10 *Euphorbia* species in Shaanxi Province [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014, 34(11): 2243–2254.
- [10] Ueda R, Minamiya Y, Hirata A, Hayakawa H, Muramatsu Y, Saito M, Fukuda T. Morphological and anatomical analyses of rheophytic *Rhododendron ripense* Makino (Eri-

- caceae)[J]. *Plant Spec Biol*, 2012, 27(3): 233–240.
- [11] 熊子仙, 杜青. 国产杜鹃花叶解剖与分类群[J]. 广西植物, 2000, 20(4): 335–338.  
Xiong ZX, Du Q. Taxon and anatomy of leaves in *Rhododendron* from China[J]. *Guihaia*, 2000, 20(4): 335–338.
- [12] 周兰英, 王永清, 张丽. 26 种杜鹃属植物花粉形态及分类学研究[J]. 林业科学, 2008, 44(2): 55–63.  
Zhou LY, Wang YQ, Zhang L. Pollen morphology and its taxonomy of twenty-six species in *Rhododendron* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(2): 55–63.
- [13] 容丽, 陈训, 汪小春. 百里杜鹃杜鹃属 13 种植物叶片解剖结构的生态适应性[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1084–1088.  
Rong L, Chen X, Wang XC. Leaf anatomical characters and its ecological adaptation of 13 species of *Rhododendron* in Baili Azalea area[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(3): 1084–1088.
- [14] Wu FQ, Shen SK, Zhang XJ, Wang YH, Sun WB. Genetic diversity and population structure of an extremely endangered species-the world's largest *Rhododendron* [J]. *AoB Plants*, 2015, 7(82): 1–8.
- [15] Cox PA. The Encyclopedia of *Rhododendron* Species [M]. Singapore: Toppam Printing Co Ltd, 1997.
- [16] Davidian HH. The *Rhododendron* Species: Vol 4. Azaleas [M]. Portland: Timber Press, 1982.
- [17] Fang MY, Fang RZ, He MY. *Rhododendron* (Ericaceae) [M]// Wu ZY, Raven PH, eds. Flora of China: Vol. 14. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2005.
- [18] 申仕康, 吴富勤, 张新军, 王跃华. 杜鹃属植物人工繁殖与引种栽培研究进展[J]. 广东农业科学, 2014, 41(20): 37–40.  
Shen SK, Wu FQ, Zhang XJ, Wang YH. Advance researches on artificial propagation, introduction and cultivation of genus *Rhododendron* L. [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(20): 37–40.
- [19] Wang XW, Mao ZJ, Choi K, Park K. Significance of the leaf epidermis fingerprint for taxonomy of genus *Rhododendron*[J]. *J Forest Res*, 2006, 17(3): 171–176.
- [20] 肖寒, 白洁. 常绿杜鹃亚属云锦杜鹃亚组 26 种植物叶片微形态特征及其分类学意义[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2013, 50(2): 377–384.  
Xiao H, Bai J. Leaf micromorphological characteristics and taxonomic significance of twenty-six species of subsect. *Fortunes*. subgen. *Hymenanthe* (Ericaceae) [J]. *Journal of Sichuan University: Natural Science Edition*, 2013, 50(2): 377–384.
- [21] 唐光大, 吴海求, 庄雪影. 杜鹃花属 5 种植物叶表皮结构解剖及分类意义初探[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2010, 28(4): 371–374.  
Tang GD, Wu HQ, Zhuang XY. Leaf epidermal features and their taxonomic significance of five species of *Rhododendron* in China[J]. *Journal of Hubei University for Nationalities: Natural Science Edition*, 2010, 28(4): 371–374.
- [22] 陈翔, 黄承玲, 张玉武, 李苇洁, 龙成昌. 贵州 30 种杜鹃属植物叶背表皮显微形态特征[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 20–30.  
Chen X, Huang CL, Zhang YW, Li WJ, Long CC. Micro-morphological characters of leaf abaxial epidermis for 30 species of *Rhododendron* (Ericaceae) from Guizhou Province[J]. *Guihaia*, 2015, 35(1): 20–30.
- [23] 王桂芹, 刘艳然. 都支杜鹃茎、叶解剖特征与环境的适应性[J]. 植物研究, 2012, 32(5): 532–536.  
Wang GQ, Liu YR. Anatomy features and environment flexibility of *Rhododendron shanii* Fang[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2012, 32(5): 532–536.
- [24] 丁炳炆, 吴欢笑, 张慧明, 方云亿. 浙江杜鹃花属植物种子形态及其分类学意义[J]. 西北植物学报, 1995, 15(6): 36–42.  
Ding BY, Wu HX, Zhang HM, Fang YY. Seed morphology of *Rhododendron* 1. (Ericaceae) from Zhejiang and its taxonomic significance [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1995, 15(6): 36–42.
- [25] 陈翔, 黄家勇, 张玉武, 陈训. 贵州 13 种杜鹃属植物种子显微形态研究[J]. 种子, 2012, 31(10): 66–70.  
Chen X, Huang JY, Zhang YW, Chen X. Study on the micromorphological characters of seed for 13 species of *Rhododendron* (Ericaceae) from Guizhou Province [J]. *Seed*, 2012, 31(10): 66–70.
- [26] 王玉国, 李光照, 张文驹, 尤佳, 陈家宽. 果皮和种皮微形态特征在杜鹃花属系统学研究中的应用[J]. 植物分类学报, 2007, 45(1): 21–38.  
Wang YG, Li GZ, Zhang WJ, You J, Chen JK. A systematic study of the genus *Rhododendron* (Ericaceae) using micromorphological characters of fruit surface and seed coat [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2007, 45(1): 21–38.
- [27] Kingdon-Ward F. *Rhododendron* seed, with special reference to their classification [J]. *J Bot*, 1935, 73: 241–247.
- [28] 刘旭颖, 沈向群, 张艳红. 耐寒杜鹃叶片结构研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(8): 1903–1905.  
Liu XY, Shen XQ, Zhang YH. Study on the leaf structure of hardy *Rhododendron*[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(8): 1903–1905.
- [29] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 57 卷, 第 2 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.  
China Flora Editorial Board. Flora of China: Vol. 57 (2) [M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [30] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志: 第 4 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.  
Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Science. Flora of Yunnan Province: Vol. 4 [M]. Beijing: Science Press, 1986.



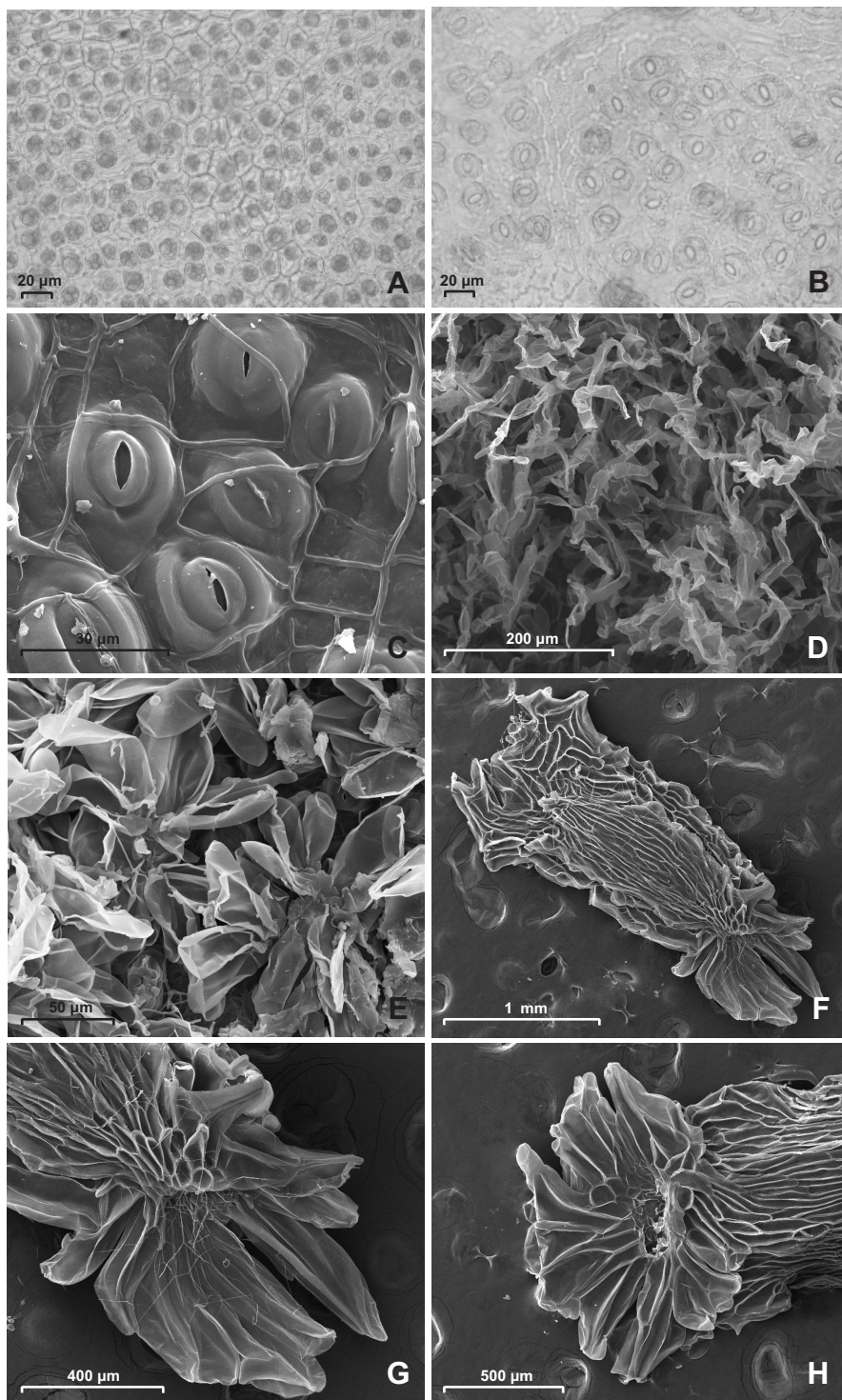
申仕康等：图版 I

SHEN Shi-Kang *et al.*: Plate I



大树杜鹃根、茎、叶的解剖结构。A、B：根；C、D：茎；E、F：叶。Pe：周皮；Ph：韧皮部；Vca：维管形成层；X：木质部；Phn：木栓形成层；Phm：栓内层；Phe：木栓层；Vc：维管柱；E：表皮；Co：皮层；P：髓；Pr：髓射线；Cu：角质层；Ue：上表皮；Le：下表皮；Pt：栅栏组织；St：海绵组织；Vb：维管束；Eh：表皮毛；Vbs：维管束鞘；Vbe：维管束鞘延伸区；Sto：气孔。  
Anatomical structures of the root, stem and leaf of *Rhododendron protistum* var. *giganteum*. A, B: Root; C, D: Stem; E, F: Leaf. Pe: Periderm; Ph: Phloem; Vca: Vascular cambium; X: Xylem; Phn: Phellogen cambium; Phm: Phelloderm; Phe: Phellem; Vc: Vascular cylinder; E: Epidermis; Co: Cortex; P: Pith; Pr: Pith ray; Cu: Cuticle; Ue: Upper epidermis; Le: Lower epidermis; Pt: Palisade tissue; St: Spongy tissue; Vb: Vascular bundle; Eh: Epidermis hair; Vbs: Vascular bundle sheath; Vbe: Vascular bundle extension; Sto: Stomata.





大树杜鹃叶表皮与种子微形态。A：叶上表皮；B：叶下表皮；C：气孔；D：叶片下表皮毛被(上层)；E：叶片下表皮毛被(下层)；F：种子；G：种子合点端；H：种子种脐端。

Microstructure of leaf epidermis and seed of *Rhododendron protistum* var. *giganteum*. A: Leaf upper epidermis; B: Leaf lower epidermis; C: Stomata; D: Leaf epidermis hairs (upper layer); E: Leaf epidermis hairs (lower layer); F: Seed; G: Chalaza of seed; H: Hilum of seed.

(责任编辑：张 平)