

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2020.10039

刘雄盛, 肖玉菲, 王勇, 黄荣林, 姜英, 刘菲, 蒋燚. 江南油杉营养器官的解剖结构及其生态适应性[J]. 植物科学学报, 2020, 38(1): 39~46
Liu XS, Xiao YF, Wang Y, Huang RL, Jiang Y, Liu F, Jiang Y. Anatomical structures of vegetative organs of *Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba and its ecological adaptability [J]. *Plant Science Journal*, 2020, 38(1): 39~46

江南油杉营养器官的解剖结构及其生态适应性

刘雄盛, 肖玉菲, 王勇, 黄荣林, 姜英, 刘菲, 蒋燚*

(广西壮族自治区林业科学研究院, 广西优质用材林资源培育重点实验室, 南宁 530002)

摘要: 采用石蜡切片和光学显微技术对江南油杉(*Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba)根、茎、叶的解剖结构进行观测, 研究其形态结构对环境的适应性。结果显示: 江南油杉叶片为异面叶, 上表皮厚 11.5 μm , 外侧覆盖厚 4.5 μm 的角质层, 下表皮厚 8.6 μm , 外侧覆盖厚 2.4 μm 的角质层, 有气孔器分布, 栅栏组织由 1~2 层细胞组成, 海绵组织由 2~3 层细胞组成, 主脉为单脉, 厚 474.1 μm 。茎的初生结构中表皮细胞 1~2 层, 外皮层细胞 4~6 层, 内皮层细胞 6~8 层, 其内分布有树脂道; 次生结构中木栓层细胞 2~3 层, 栓内层细胞 1~2 层, 皮层内有树脂道和分泌腔分布, 维管束紧密排列连成环状。根的初生结构中外皮层细胞 3 层, 内皮层细胞 1~2 层, 具凯氏带, 初生木质部为四原型; 次生结构中木栓层细胞 3~4 层, 栓内层细胞 2~3 层。江南油杉营养器官的解剖结构表现出较大的可塑性, 使之既能较好地适应阳生环境又对阴生环境具备一定的适应性, 还可耐受一定的干旱和寒冷。

关键词: 江南油杉; 营养器官; 解剖结构; 生态适应性

中图分类号: Q944.5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2020)01-0039-08

Anatomical structures of vegetative organs of *Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba and its ecological adaptability

Liu Xiong-Sheng, Xiao Yu-Fei, Wang Yong, Huang Rong-Lin, Jiang Ying, Liu Fei, Jiang Yi*

(Guangxi Key Laboratory of Superior Trees Resource Cultivation, Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, China)

Abstract: In this paper, the anatomical structures of the roots, stems, and leaves of *Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba were observed by paraffin-sectioning and optical microscopy to analyze the adaptability of its morphological structure to the environment. Results showed that the leaves of *K. fortunei* var. *cyclolepis* were bifacial, including an 11.5 μm thick upper epidermis (outer layer covered by 4.5 μm cuticle) and an 8.6 μm thick lower epidermis (outer layer covered by 2.4 μm cuticle). Stomata were observed on the surface of the lower epidermis. There were 1~2 layers of cells in the palisade tissue and 3~4 layers of cells in the spongy tissue. There was a single, 474.1 μm thick main vein. In the primary structure of the stem, there were 1~2 layers of epidermal cells, 4~6 layers of outer cortical cells, 6~8 layers of endothelial cells, and resin ducts distributed in the inner cortex. In the secondary structure of the stem, there were 2~3 layers of cork cells and 1~2 layers of phellogen cells. There were resin ducts and secretory cavities in the cortex, and vascular

收稿日期: 2019-06-04, 退修日期: 2019-07-02。

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB16380100)。

This work was supported by a grant from the Guangxi Key Research and Development Plan (AB16380100).

作者简介: 刘雄盛(1988-), 男, 硕士研究生, 从事植物形态解剖学研究(E-mail: 517261654@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: jy68@163.com)。

bundles were closely arranged in a ring. In the primary structure of the roots, there were three layers of cells in the exodermis and 1–2 layers of endothelial cells, with a Caspary strip. There were four types of primary xylem in the roots. In the secondary structure of the roots, there were 3–4 layers of cork cells and 2–3 layers of phellogen cells. Thus, the anatomical structure of the vegetative organs showed great plasticity, which may account for the adaptive ability of this species to the sunlit as well as shaded environments, and its tolerance to both drought and cold.

Key words: *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis*; Vegetative organ; Anatomical structure; Ecological adaptability

江南油杉 (*Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba) 隶属松科 (Pinaceae) 油杉属 (*Keteleeria*)，是我国特有常绿针叶大乔木；叶条形，先端圆或钝，树皮灰褐色，一年生枝疏被褐色柔毛；花期 1–3 月，果期 6–9 月，球果圆柱形或椭圆状圆柱形，种子椭圆形，10 月至 11 月成熟^[1]。江南油杉具有很强的抗逆性和生态适应性，加之其树干高大通直，材质优良，是山地造林、用材林和园林绿化的理想树种，现散生于我国广西、云南、贵州、广东、湖南、福建、浙江、江西等省区海拔 1000 m 以下的丘陵和低山^[2]，表现出广泛的适应性。其生境条件温暖湿润，年均气温 17.0~22.5℃，年均降水 1000~1900 mm，常在土层深厚、土质疏松的阳坡地带生长良好，为阳性树种。由于长期的人为砍伐和自生自灭过程，江南油杉天然种质资源流失严重，现处于渐危状态，已被江西省和福建省列为地方保护树种^[3]。

植物营养器官的形态结构特征是其自身遗传进化以及适应环境的综合结果。了解植物的形态结构特征不仅可阐明其生物学特性，还可揭示植物对环境的适应机制^[4, 5]。近年来，学者们对植物形态结构的研究主要集中在特定生境下植物营养器官的生态解剖机制研究和相同环境因子对植物营养器官的形态结构造成的影响两方面^[6, 7]。目前，对江南油杉的研究主要集中在种群分布特征^[3, 8]、人工林培育^[9, 10]、种子生物学特性^[2, 11, 12]、育苗技术^[13, 14]等方面，而对其营养器官解剖结构的研究未见报道。在此，笔者通过植物解剖学方法对江南油杉的营养器官(根、茎、叶)进行全面系统的观察和研究，从解剖学角度探讨江南油杉营养器官的形态结构特征与其所处生境的关系，以期为江南油杉推广栽培提供科学依据，并为研究江南油杉的生态学特征提供理论基础。

性和分类学地位提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试材料为江南油杉的成熟叶片和成熟枝，均采自广西壮族自治区林业科学研究院老虎岭试验基地内保存良好的江南油杉林，当年生枝和根采自林下一年生江南油杉幼苗。试验基地位于广西南宁市北郊 (22°56'N, 108°56'E)，属南亚热带季风气候，年均温 21.7℃，年均相对湿度 80%，年均降水量 1347.2 mm，海拔 90~250 m。土壤为红壤(厚度 5~25 cm)，土壤 pH 值 5~6，肥力中等，植被以亚热带常绿季雨林为主^[15]。

1.2 实验方法

选取江南油杉健康的成熟叶片、根(主根和侧根)和茎(老茎和幼茎)，清水冲洗后，从叶基部以上叶片 1/3 处(保留主脉)用单面刀片将叶片切成 3 mm × 3 mm 的小块，根、茎切成 5 mm 长的小段，切好后立即放入 FAA 固定液中固定 48 h，然后将主根和老茎用 10% 的乙二胺软化 15 d 左右^[7]。采用常规石蜡切片法^[16]对处理后的叶片、根、茎进行切片，切片厚度 8 μm，用番红-固绿对切片进行双重对染，中性树胶封片，于 Olympus CX-41 型光学显微镜下观察、记录并拍照。

选取健康生长的江南油杉枝条，自顶往下取第 3~4 片成熟叶片，清洗后用单面刀片沿主脉中部横切成 5 mm × 2 mm 的小条，放入 FAA 固定液中固定 24 h，然后将材料取出再放入 30% 次氯酸钠溶液中进行离析，待叶片上、下表皮分离后，分别取上、下表皮用清水洗净，平铺于载玻片上，于 Olympus CX-41 型光学显微镜下观测^[17]。

通过 Digimizer 测量软件对各组织结构及其细

胞大小进行测量, 在显微镜下选取5个视野, 每个视野测定10个数据, 最后计算平均值。

2 结果与分析

2.1 叶的形态结构

江南油杉叶条形, 革质, 为典型的异面叶, 正面光绿色, 表面凹凸不平(图版Ⅰ: A), 背面浅绿色, 边缘稍卷曲, 沿中脉两侧每边分布10~15条气孔线, 被白粉(图版Ⅰ: B)。横切面观, 江南油杉叶片呈线形, 平均厚度408.5 μm(图版Ⅰ: C), 其上表皮由1层排列紧密的圆形或椭圆形细胞组成, 平均厚度11.5 μm, 外壁覆盖厚4.5 μm的角质层, 细胞内富含单宁类物质(图版Ⅰ: D、F), 在叶片中部和两端角部上表皮下有少数皮下层细胞分布(图版Ⅰ: D、H)。下表皮细胞椭圆形, 呈犬牙状向外凸起, 平均厚度8.6 μm, 外壁覆盖厚2.4 μm的角质层, 有气孔器分布, 气孔下具孔下室(图版Ⅰ: D、G)。叶片两端角部靠下表皮一侧各有1个圆形树脂道(图版Ⅰ: H)。栅栏组织由1~2层长柱形细胞组成, 平均厚度146.7 μm, 第1层细胞较第2层排列紧密且长(图版Ⅰ: F)。海绵组织由2~3层形状不规则的薄壁细胞组成, 排列疏松, 细胞间隙大, 与气孔相通, 平均厚度230.3 μm(图版Ⅰ: G)。江南油杉叶脉为单脉, 近轴面向外凸起, 远轴面扁平, 平均厚度474.1 μm。叶脉维管束为外韧型, 外侧有1层由薄壁细胞排列成环状的内皮层; 木质部管胞较小, 韧皮部内有不少形状不规则的粘液细胞分布(图版Ⅰ: E)。

江南油杉叶表皮表面观, 上表皮细胞呈长方形, 分布均匀一致(图版Ⅰ: I), 细胞壁呈微波浪状, 有大量叶绿体分布(图版Ⅰ: J)。下表皮细胞呈狭长方形, 细胞壁呈波浪状(图版Ⅰ: K)。下表皮内具明显气孔带和中脉带。中脉带细胞呈长方形, 气孔带位于中脉带两侧, 气孔器呈横列分布, 每带具10~16列, 气孔器呈椭圆形, 具2个保卫细胞和2个副卫细胞, 平均长62.5 μm、平均宽51.6 μm(图版Ⅰ: K、L)。

2.2 茎的形态结构

江南油杉幼茎横切面呈不规则圆形(图版Ⅱ: A), 其表皮由1~2层排列疏松的近长方形细胞组成, 细胞质富含单宁类物质(图版Ⅱ: A、B)。皮层占据幼茎横切面积的大部分, 外皮层由4~6层

排列紧密的近圆形薄壁细胞组成(图版Ⅱ: A、B)。内皮层围绕着维管柱分布, 由6~8层形状不规则的薄壁细胞组成, 其内散布有一些含单宁类物质的细胞(图版Ⅱ: A)。另外, 在内皮层中有14~18个树脂道镶嵌分布(图版Ⅱ: A、C)。维管组织围绕髓呈辐射状排列, 由初生韧皮部、形成层和初生木质部组成。初生韧皮部由近圆形韧皮薄壁细胞组成, 排列疏松; 形成层由3~4层排列紧密的近方形细胞组成; 初生木质部管胞横切面呈近圆形, 整齐排列, 其间也有含单宁物质的细胞零散分布(图版Ⅱ: A、D)。髓位于中央, 由近圆形或椭圆形的大型薄壁细胞组成(图版Ⅱ: E)。

江南油杉茎的次生结构主要由周皮和次生维管柱组成(图版Ⅱ: F、G)。周皮最外层是一层未脱落的表皮细胞, 细胞近圆形; 木栓层由2~3层扁长方形细胞组成, 木栓形成层1层, 细胞较大, 形状不规则, 栓内层由1~2层近椭圆形的薄壁细胞组成, 胞内含单宁类物质(图版Ⅱ: G)。皮层由多层薄壁细胞构成, 靠近栓内层处皮层细胞较大, 呈扁长形, 排列紧密, 围绕维管组织的皮层细胞排列较疏松, 有明显的细胞间隙, 皮层内具树脂道和较多分泌腔分布(图版Ⅱ: G)。次生维管柱中次生木质部导管呈近圆形, 排列整齐, 木射线由薄壁细胞组成, 呈径向排列(图版Ⅱ: H); 形成层由3~5层排列紧密的细胞构成; 次生韧皮部由4~5层长方形细胞组成(图版Ⅱ: G)。髓位于中央, 由圆形薄壁细胞组成(图版Ⅱ: H)。

2.3 根的形态结构

江南油杉根的初生结构由表皮、皮层和初生维管柱组成(图版Ⅱ: I、J)。表皮为一层被挤毁但尚未脱落的黑褐色细胞; 外皮层由3层形状不规则的细胞壁较厚的细胞组成, 内皮层由1~2层薄壁细胞紧密排列组成, 具凯氏带(图版Ⅱ: K); 中柱鞘由细胞壁增厚、体积较大的油细胞组成, 一部分为1层细胞, 另一部分为2层细胞, 间断分布形成不连续圆环。初生木质部4束, 为四原型, 由管胞构成, 初生韧皮部分布于初生木质部旁, 由少量韧皮薄壁细胞组成, 髓由2层薄壁细胞环形排列, 内部形成空腔(图版Ⅱ: I、J)。

江南油杉根的次生结构中, 周皮内木栓层细胞3~4层, 细胞呈长方形, 排列整齐紧密, 木栓形成层细胞1层, 形状不规则; 栓内层细胞2~3层,

形状扁长形, 细胞内含单宁类物质呈深蓝色(图版Ⅱ:L); 皮层占据次生结构横切面大半面积, 由薄壁细胞组成, 排列疏松不整齐, 细胞内含大量淀粉粒和单宁类物质, 在皮层内存在较多分泌腔。次生维管柱内次生韧皮部由韧皮薄壁细胞组成, 细胞形状近圆形、较大、排列紧密, 形成层由4~5层方形细胞构成, 次生木质部由导管、木薄壁细胞、木射线组成, 导管口径较小, 木射线明显, 由1列薄壁细胞构成, 木薄壁细胞排列整齐紧密(图版Ⅱ:M、N)。髓由2~3层薄壁细胞环形排列, 内部形成空腔(图版Ⅱ:N)。

3 讨论

3.1 叶片结构特征对环境的适应性

植物叶片的形态结构特征是适应环境的直观反映。江南油杉叶为异面叶, 上、下表皮细胞较小、层数少, 下表皮细胞呈犬牙状向外凸起, 栅栏组织和海绵组织分化明显, 海绵组织疏松, 由2~3层细胞组成, 胞间隙较大, 栅海比的比值低, 为0.64, 且气孔下具较大的孔下室, 与南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei* (Lemée et H. Lév.) L. K. Fu et Nan Li)^[18]、红豆杉(*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd.)^[19]的叶片结构相似。这种结构特征有利于提高叶片内的气体交换和贮存, 增强其对CO₂的摄入, 使其在通气性较差和弱光环境下能够更有效地进行光合作用^[20], 以适应阴生环境。

相关研究表明, 角质层是植物叶片抵御外界环境不良因子影响的屏障, 不仅可使表皮具有高度的不透水性, 且能反射强光, 避免强光灼伤叶片, 减少水分过度蒸腾, 维持正常生理代谢, 还可防止病菌的侵入以及增加叶片的机械支持^[21, 22]; 气孔器分布于叶片下表皮既可促进叶片与外界气体的交换, 又能保持水分, 同时, 气孔器内陷形成空腔, 阻止了气孔与外界的干燥空气直接接触, 有效地减少了叶内的水分蒸腾^[23]; 另外, 叶片内的粘液细胞以及细胞内富含的单宁类物质(尤其是表皮细胞)可使叶片的渗透势减小, 当叶片内水分减少时可导致其水势下降, 进而提高水分利用率和抗旱能力^[24]; 植物叶片这些结构特征均是对阳生和旱生环境的适应。江南油杉叶片上下表皮均覆盖有较厚的角质层(2.4~4.5 μm), 其气孔器较大, 密集分

布于下表皮, 略下陷, 具孔下室, 且表皮细胞内富含单宁类物质, 韧皮部内有不少粘液细胞, 这与巴山榧树(*Torreya fargesii* Franch.)^[25]叶片结构相似, 说明江南油杉不仅能够较好地适应阳生环境, 且具备一定的抗旱能力。

3.2 茎的结构特征对环境的适应性

茎是植物主要的输导和机械组织。江南油杉茎的初生结构中表皮细胞排列疏松, 外侧无角质层覆盖, 导管直径较小(平均8.5 μm), 说明江南油杉茎初生结构的机械组织和输导组织较弱。这种特征使其幼苗不能长时间在高温强日照环境下生存, 只能在透光率较低和阴湿的林下才能得到充足的水分, 以满足其生理代谢的需要^[22]。Houle^[26]认为发达的皮层组织可储藏水分和养分来抵御干旱; 钱鑫等^[27]指出细胞壁较厚、排列紧密的皮层细胞和散生的维管束能够给予植物一定的韧性和刚性, 且皮层细胞内的单宁类物质可提高植物的抗旱性。江南油杉茎的初生结构中皮层组织占据大部分面积, 外皮层细胞壁较厚、排列紧密, 内皮层细胞较大、富含单宁类物质, 说明江南油杉幼苗具一定韧性, 可抵抗外力、避免倒伏, 且能够适应干旱环境。

江南油杉茎的次生结构中维管柱发达, 占据其绝大部分面积, 木质部导管数量多, 韧皮部薄壁组织发达, 这些特征有利于增强茎的贮藏和运输功能, 使其能更好地适应高温、干旱环境^[28]。同时, 在江南油杉茎的初生和次生结构中在皮层内均分布有较多的树脂道, 尤其是在次生结构中除了分布树脂道外还大量分布着分泌腔和发达的周皮组织, 这些分泌组织能够向管道中分泌树脂, 在植物受伤时, 树脂封住伤口, 对其愈伤和防腐起着十分重要的作用, 而周皮组织能够有效地保护茎的内部组织免受外界的机械损伤, 是一种防御机制, 有利于适应不良环境^[29], 另外, 这些分泌组织中的树脂和周皮具有保温和保水作用, 能够帮助其抵御寒冷和干旱^[30]。

3.3 根的结构特征对环境的适应性

细根是植物吸收水分和养分的主要器官。江南油杉根的初生结构中表皮为一层被挤毁后形成的细胞壁栓质化加厚、原生质体瓦解的死组织, 主要起保护和被动吸水的作用。皮层中外皮层细胞较大, 外壁加厚, 排列紧密, 为根的内部组织提供一定的保护作用, 且能够储藏水分, 内皮层保障了水和溶

质的正常运输。初生维管柱中木质部和韧皮部均不发达, 导管口径小且数量少, 这种结构使幼苗只能在阴湿弱光条件下生存^[27]。

江南油杉根的次生结构中周皮发达, 木栓层具3~4层细胞, 具不透气和不透水性, 栓内层2~3层细胞, 细胞内富含单宁类物质, 可控制水分散失, 传递热量, 这些结构保证了根代谢活动的正常进行, 且防止了外界不良因素的影响^[31]。江南油杉根的次生结构中皮层较厚, 薄壁细胞大, 细胞多、内含物丰富, 且存在大量分泌组织, 这种结构均有利于增强其贮藏功能, 使其在温暖湿润的生长季能够满足生长的需要, 而在寒冷的冬季可以维持正常的生理功能^[32]。

4 结论

综上所述, 江南油杉营养器官的解剖结构对环境的适应性表现出较大的可塑性, 使之既能较好地适应阳生环境, 又对阴生环境具备一定的适应性, 同时, 还可耐受一定的干旱和寒冷, 在目前生态环境恶化, 生境日益丧失的情况下保持了一定的对环境的适应能力, 使其种群能够继续繁衍更新。

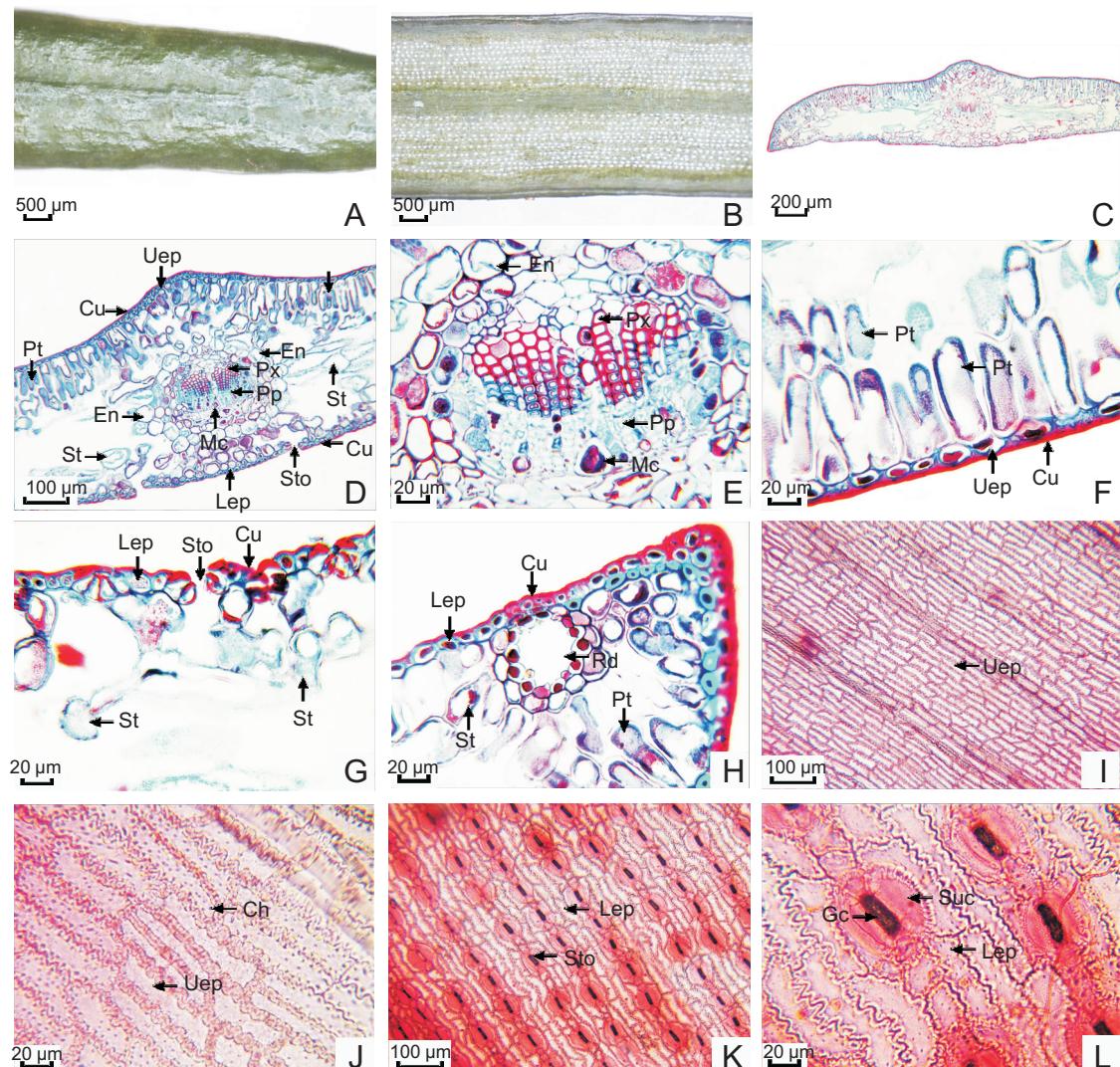
参考文献:

- [1] 广西壮族自治区林业科学研究院. 广西树木志: 第1卷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [2] 刘雄盛, 蒋燚, 黄荣林, 刘菲, 肖玉菲, 姜英, 韦铄星. 江南油杉种实性状变异及其与环境因子的关系 [J]. 广西植物, 2017, 37(1): 118-126.
- Liu XS, Jiang Y, Huang RL, Liu F, Xiao YF, Jiang Y, Wei SX. Variation in traits of cone and seed of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* and its relationship with environmental factors [J]. *Guizhou Forestry*, 2017, 37(1): 118-126.
- [3] 姜英, 蒋燚, 黄荣林, 刘菲, 刘雄盛. 广西江南油杉天然林种群分布特征 [J]. 广西林业科学, 2016, 45(3): 322-327.
- Jiang Y, Jiang Y, Huang RL, Liu F, Liu XS. Distribution characteristics of *Keteleeria cyclolepis* natural forest community in Guangxi [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2016, 45(3): 322-327.
- [4] Wetzel MLR, Sylvestre LDS, Barros CF, Vieira RC. Vegetative anatomy of Aspleniaceae newman from Brazilian Atlantic rainforest and its application in taxonomy [J]. *Flora*, 2017, 233: 118-126.
- [5] Bryant PH, Trueman SJ. Stem anatomy and adventitious root formation in cuttings of *Angophora*, *Corymbia* and *Eucalyptus* [J]. *Forests*, 2015, 6: 1227-1238.
- [6] Cui KM, Hu ZH. Advancement of structural botany in the past fifty years in China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1043-1067.
- [7] 刘雄盛, 肖玉菲, 蒋燚, 李娟, 林建勇, 梁瑞龙. 闽楠营养器官的解剖结构及其生态适应性 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 153-161.
- Liu XS, Xiao YF, Jiang Y, Li J, Lin JY, Liang RL. Anatomical structures of the vegetative organs of *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang and ecological adaptability [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(2): 153-161.
- [8] 罗金旺. 福建光泽江南油杉群落结构与植物多样性 [J]. 防护林科技, 2016(4): 11-16.
- Luo JW. Community structure and plant diversity of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* in Guangze county of Fujian province [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2016(4): 11-16.
- [9] 姜英, 蒋燚, 张家昌, 刘菲, 黄荣林, 刘雄盛, 林建勇. 江南油杉人工林植物多样性与生境因子关系 [J]. 湖南林业科技, 2016, 43(6): 40-45.
- Jiang Y, Jiang Y, Zhang JC, Liu F, Huang RL, Liu XS, Lin JY. Study on relationship between plant diversity and habitat factor of artificial *Keteleeria cyclolepis* forest of Guangxi [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2016, 43(6): 40-45.
- [10] 黄荣林, 何应会, 蒋燚, 张家昌, 刘菲, 姜英. 广西江南油杉人工林生长与气象因子的关系 [J]. 广西林业科学, 2016, 45(3): 328-333.
- Huang RL, He YH, Jiang Y, Zhang JC, Liu F, Jiang Y. Relationships between meteorological factors and artificial forest growth of *Keteleeria cyclolepis* Flous in Guangxi [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2016, 45(3): 328-333.
- [11] 刘雄盛, 王鸿彬, 晏巢, 蒋燚, 肖玉菲, 刘菲, 黄荣林. 不同种源江南油杉种子基本生物学特性差异比较 [J]. 西部林业科学, 2017, 46(4): 1-6.
- Liu XS, Wang HB, Yan C, Jiang Y, Xiao YF, Liu F, Huang RL. Difference in biological characteristics of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* seeds from different provenances [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2017, 46(4): 1-6.
- [12] 何应会, 蒋燚, 黄荣林, 刘菲, 姜英. 不同种源江南油杉球果种子品质差异 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(11): 38-41.
- He YH, Jiang Y, Huang RL, Liu F, Jiang Y. Difference of seed quality in *Keteleeria cyclolepis* Flous from different provenances [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2017, 37(11): 38-41.
- [13] 何应会, 蒋燚, 李娟, 戴菱, 黄荣林, 刘菲, 邓小军. 轻基质复配功能菌对江南油杉苗生长的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(8): 15-19.
- He YH, Jiang Y, Li J, Dai L, Huang RL, Liu F, Deng XJ. Effect of light matrix compound functional bacteria on the

- growth of *Keteleeria cyclolepis* seedlings [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2016, 36(8): 15–19.
- [14] 彭玉华, 郝海坤, 曹艳云, 黄志玲. 江南油杉容器育苗基质筛选 [J]. 林业工程学报, 2014, 28(2): 78–81.
- Peng YH, Hao HK, Cao YY, Huang ZL. Medium screen for containerized seedlings raising of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* [J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2014, 28(2): 78–81.
- [15] 黄小荣, 申文辉, 庞世龙, 彭玉华, 何峰, 黄志玲. 南宁老虎岭松栎公益林的火潜势评估 [J]. 生态学杂志, 2014, 33(3): 602–610.
- Huang XR, Shen WH, Pang SL, Peng YH, He F, Huang ZL. Evaluating fire potential of non-commercial pine-beech forests in tiger mountain, Nanning [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(3): 602–610.
- [16] 李正理. 植物制片技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 10–15.
- [17] 吴丽君, 李志辉, 杨模华, 王佩兰. 赤皮青冈幼苗叶片解剖结构对干旱胁迫的响应 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3619–3626.
- Wu LJ, Li ZH, Yang MH, Wang PL. Response of leaf anatomical characteristics of *Cyclobalanopsis gilva* seedlings to drought stress [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3619–3626.
- [18] 李凤英, 梁士楚. 元宝山南方红豆杉的解剖结构及其环境适应性 [J]. 广西植物, 2013, 33(2): 219–224.
- Li FY, Liang SC. Anatomical structure and environmental adaptability of *Taxus wallichiana* var. *mairei* in yuanbaoshan [J]. *Guizhou Botany*, 2013, 33(2): 219–224.
- [19] 孙珺, 胡正海. 红豆杉营养器官的解剖学研究 [J]. 西北植物学报, 1997(5): 75–79.
- Sun J, Hu ZH. Anatomical studies on the vegetative organs of *Taxus chinensis* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 1997(5): 75–79.
- [20] 张明明, 高瑞馨. 针叶植物叶片比较解剖及生态解剖研究综述 [J]. 森林工程, 2012, 28(2): 9–13.
- Zhang MM, Gao RX. Research review on comparative anatomy and ecological anatomy of conifers blade [J]. *Forest Engineering*, 2012, 28(2): 9–13.
- [21] Nadiminti PP, Rookes JE, Boyd BJ, Cahill DM. Confocal laser scanning microscopy elucidation of the micromorphology of the leaf cuticle and analysis of its chemical composition [J]. *Protoplasma*, 2015, 252(6): 1475–1486.
- [22] 王玉, 赵虎, 潘香香. 青钱柳营养器官的解剖结构及其生态适应性 [J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(10): 40–44.
- Wang Y, Zhao H, Fu XX. Anatomical structures of vegetative organs of *Cyclocarya paliurus* and its ecological adaptability [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39(10): 40–44.
- [23] Bosabalidis AM, Kofidis G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars [J]. *Plant Science*, 2002, 163(2): 375–379.
- [24] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应 [J]. 植物学报, 2005, 22(S1): 118–127.
- Li FL, Bao WK. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, 22(S1): 118–127.
- [25] 江波, 宋航, 周先容, 梁沙, 姚玲玲, 游婷. 巴山榧树营养器官的解剖学研究 [J]. 北方园艺, 2018(6): 74–80.
- Jiang B, Song H, Zhou XR, Liang S, Yao LL, You T. Anatomical studies on vegetative organs of *Torreya fargesii* Franch [J]. *Northern Horticulture*, 2018(6): 74–80.
- [26] Houle G. The advantage of early flowering in the spring ephemeral annual plant *Floerkea proserpinacoides* [J]. *New Phytol*, 2002, 154(3): 689–694.
- [27] 钱鑫, 李全健, 连静静, 王彩霞, 田敏. 珍稀植物扇脉杓兰营养器官的解剖学研究 [J]. 植物研究, 2013, 33(5): 540–545.
- Qian X, Li QJ, Lian JJ, Wang CX, Tian M. Vegetative anatomy of the rare plant *Cypripedium japonicum* Thunb [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2013, 33(5): 540–545.
- [28] 何涛, 吴学明, 贾敬. 青藏高原高山植物的形态和解剖结构及其对环境的适应性研究进展 [J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2574–2583.
- He T, Wu XM, Jia J. Research advances in morphology and anatomy of alpine plants growing in the Qinghai-Tibet Plateau and their adaptations to environments [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2574–2583.
- [29] 周荃, 姜笑梅. 中国裸子植物材的木材解剖学及超微构造 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [30] Israel LCN, Fabiano MM, Somner GV, Neusa T. Secretory structures in stems of five lianas of *Paullinia* (Sapindaceae): Morphology and histochemistry [J]. *Flora*, 2017, 235: 29–40.
- [31] 汪攀, 陈奶奶, 邹显花, 马祥庆, 吴鹏飞. 植物根系解剖结构对逆境胁迫响应的研究进展 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(2): 550–556.
- Wang P, Chen NL, Zhou XH, Ma XQ, Wu PF. Research progress on adaptive responses of anatomical structure of plant roots to stress [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(2): 550–556.
- [32] 李凤英, 唐绍清, 李先琨. 南方红豆杉气生不定根的解剖结构及发育 [J]. 海南大学学报, 2007, 25(2): 152–155.
- Li FY, Tang SQ, Li XK. Anatomical structure and development of aerial adventitious roots of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2007, 25(2): 152–155.

刘雄盛等: 图版 I

Liu Xiong-Sheng et al.: Plate I

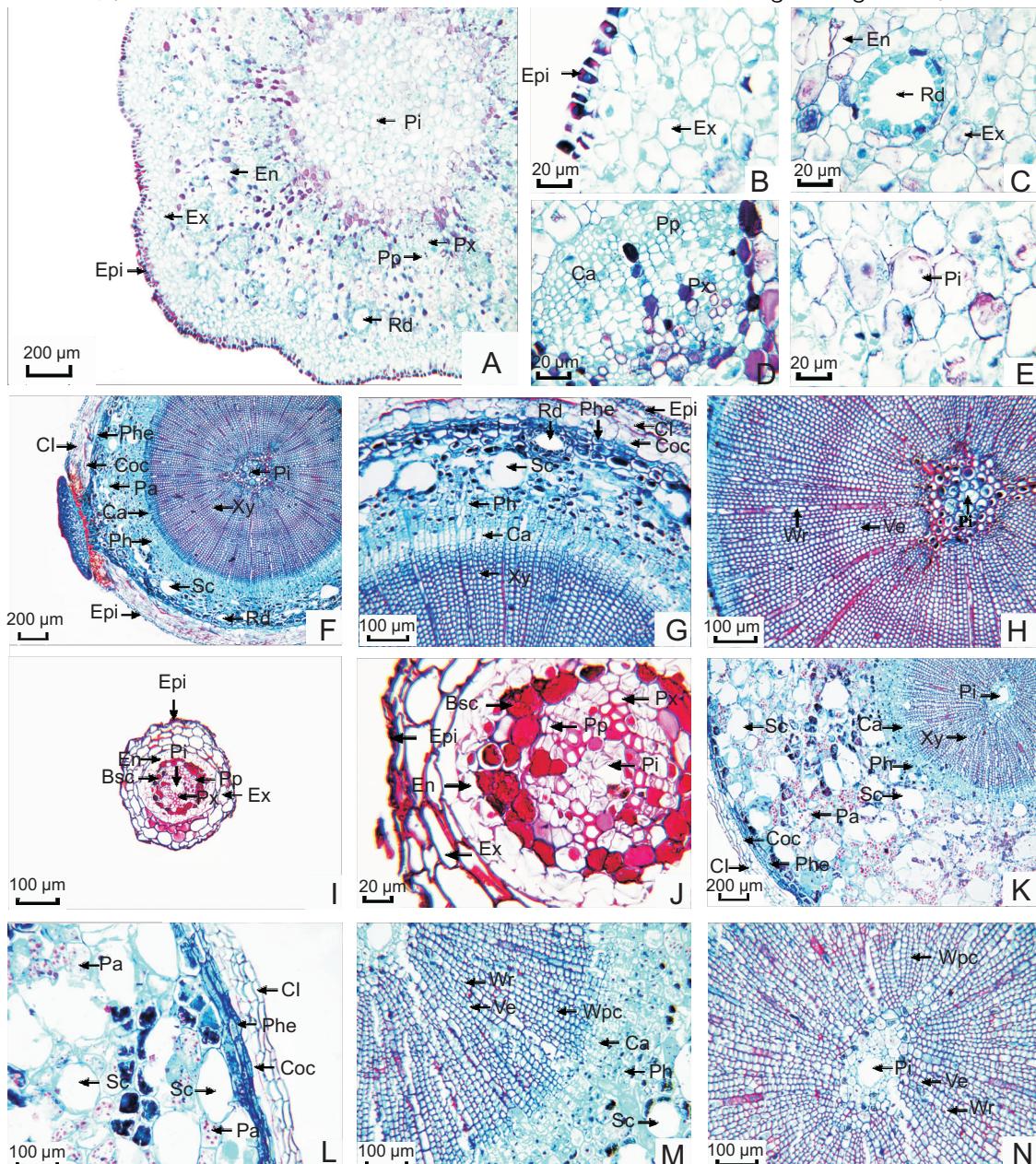


江南油杉叶的形态解剖结构。A: 叶片正面; B: 叶片背面; C: 叶片横切面; D: 主脉横切面; E: 主脉横切面, 示维管束; F: 叶片横切面, 示栅栏组织和上表皮; G: 叶片横切面, 示海绵组织和下表皮; H: 叶片横切面, 示树脂道; I: 上表皮表面观; J: 上表皮细胞; K: 下表皮表面观; L: 下表皮细胞和气孔器。Uep: 上表皮; Lep: 下表皮; Px: 初生木质部; Pp: 初生韧皮部; Cu: 角质层; Pt: 栅栏组织; St: 海绵组织; En: 内皮层; Sto: 气孔; Rd: 树脂道; Mc: 粘液细胞; Suc: 副卫细胞; Gc: 保卫细胞; Ch: 叶绿体。

Morphological and anatomical structure of leaves of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis*. A: Surface of leaf; B: Back of leaf; C: Transverse section of leaf; D: Transverse section of principal vein; E: Transverse section of principal vein, showing vascular bundle; F: Transverse section of leaf, showing palisade tissue and upper epicuticle; G: Transverse section of leaf, showing spongy tissue and lower epidermis; H: Transverse section of leaf, showing resin duct; I: Surface view of upper epicuticle; J: Upper epicuticle cells; K: Surface view of lower epidermis; L: Lower epidermis cells and stomata. Uep: Upper epicuticle; Lep: Lower epidermis; Px: Primary xylem; Pp: Primary phloem; Cu: Cuticle; Pt: Palisade tissue; St: Spongy tissue; En: Endodermis; Sto: Stomata; Rd: Resin duct; Mc: Mucous cell; Suc: Subsidary cell; Gc: Guard cell; Ch: Chloroplast.

刘雄盛等: 图版II

Liu Xiong-Sheng et al.: Plate II



江南油杉茎和根的解剖结构。A: 茎的初生结构; B: 茎的初生结构, 示表皮和皮层; C: 茎的初生结构, 示皮层内的树脂道; D: 茎的初生结构, 示初生维管柱; E: 茎的初生结构, 示髓; F: 茎的次生结构; G: 茎的次生结构, 示周皮、皮层和次生韧皮部; H: 茎的次生结构, 示次生木质部和髓; I: 根的初生结构; J: 根的初生结构, 示表皮、皮层和初生维管柱; K: 根的次生结构; L: 根的次生结构, 示周皮和皮层; M: 根的次生结构, 示次生维管柱; N: 根的次生结构, 示次生木质部和髓。Px: 初生木质部; Pp: 初生韧皮部; En: 内皮层; Rd: 树脂道; Epi: 表皮; Ex: 外皮层; Pi: 髓; Sc: 分泌腔; Xy: 木质部; Ph: 韧皮部; Ca: 形成层; Wr: 木射线; Cl: 木栓层; Coc: 木栓形成层; Phe: 栓内层; Ve: 导管; Bsc: 维管束鞘细胞; Pa: 薄壁细胞; Wpc: 木薄壁细胞。

Anatomical structure of stem and roots of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis*. A: Primary structure of stem; B: Primary structure of stem, showing epidermis and cortex; C: Primary structure of stem, showing resin duct in cortex; D: Primary structure of stem, showing primary vascular column; E: Primary structure of stem, showing pith; F: Secondary structure of stem; G: Secondary structure of stem, showing periderm, cortex, and secondary phloem; H: Secondary structure of stem, showing secondary xylem and pith; I: Primary structure of root; J: Primary structure of root, showing epidermis, cortex, and primary vascular column; K: Secondary structure of root; L: Secondary structure of root, showing peridermis and cortex; M: Secondary structure of root, showing secondary vascular column; N: Secondary structure of root, showing secondary xylem and pith. Px: Primary xylem; Pp: Primary phloem; En: Endodermis; Rd: Resin duct; Epi: Epidermis; Ex: Exodermis; Pi: Pith; Sc: Secretory cavity; Xy: Xylem; Ph: Phloem; Ca: Cambium; Wr: Wood ray; Cl: Cork layer; Coc: Cork cambium; Phe: Phellogen; Ve: Vessel; Bsc: Bundle sheath cell; Pa: Parenchyma cell; Wpc: Wood parenchymatous cell.