



## 研究报告

### Research Report

# 地枫皮营养器官解剖结构特征及其叶片结构的生态适应性

孔德鑫<sup>1</sup>, 李雁群<sup>2</sup>, 梁惠凌<sup>1</sup>, 王满莲<sup>1</sup>, 史艳财<sup>1</sup>, 蒋运生<sup>1</sup>

1 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 桂林, 514006;

2 华南农业大学生命科学学院, 广州, 510642

✉ 通讯作者: lhl@gxib.cn ✉ 作者

植物药与药理学杂志, 2012年, 第1卷, 第1篇 doi: 10.5376/jpmpp.cn.2012.01.0001

收稿日期: 2012年04月17日

接受日期: 2012年05月16日

发表日期: 2012年06月07日

本文首次发表在《基因组学与应用生物学》(2012年第31卷第3期282-288页)上。现依据版权所有人授权的许可协议, 采用 Creative Commons Attribution License 对其进行授权, 再次发表与传播。只要对原作有恰当的引用, 版权所有人允许并同意第三方无条件的使用与传播。

建议最佳引用格式:

引用格式(中文):

孔德鑫等, 2012, 地枫皮营养器官解剖结构特征及其叶片结构的生态适应性, 植物药与药理学杂志(online) Vol.1 No.1 pp.1-7 (doi: 10.5376/jpmpp.cn.2012.01.0001)

引用格式(英文):

Kong et al., 2012, Anatomical Features of Vegetative Organs and Ecological Adaptability of Leaf Structure of *Illicium difengpi*, Zhiwuyao Yu Yaolixue Zazhi (online) Vol.1 No.1 pp.1-7 (doi: 10.5376/jpmpp.cn.2012.01.0001)

**摘要** 为了明确地枫皮的结构特征及其在石灰岩山顶和山腰疏林间两种环境下生长的叶片解剖结构的差异, 本研究采用石蜡切片和半薄切片对地枫皮营养器官进行解剖观察并评价了叶片结构对不同生态环境的响应。结果表明: 地枫皮根中次生维管组织发达, 木射线和韧皮射线明显。老茎的次生构造中, 皮层贮藏物质丰富, 内有大的石细胞群, 韧皮射线和木射线明显; 而髓细胞内含有大量晶簇和少量单晶。在叶片横切面观上, 叶为异面叶, 表皮细胞一层, 上表皮无气孔分布, 主脉中薄壁细胞中分散有石细胞。叶片解剖结构显示, 随海拔高度上升, 地枫皮趋向于旱生植物的特点, 其主要表现在叶片表皮细胞外壁角质层加厚、栅海比增加、海绵组织排列由紧密变疏松。另外, 根皮、茎皮和叶肉中都分布有大量油细胞。

**关键词** 地枫皮; 解剖结构; 营养器官; 叶片结构; 生态适应性

## Anatomical Features of Vegetative Organs and Ecological Adaptability of Leaf Structure of *Illicium difengpi*

Kong Dexin<sup>1</sup>, Li Yanqun<sup>2</sup>, Liang Huiling<sup>1</sup>, Wang Manlian<sup>1</sup>, Shi Yancai<sup>1</sup>, Jiang Yunsheng<sup>1</sup>

1. Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin, 541006;

2. College of Life Science, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642

✉ Corresponding author, lhl@gxib.cn; ✉ Authors

**Abstract** In order to study the structural characteristic of *Illicium difengpi*, and the difference of leaf anatomy between leaves from trees which grow in the limestone mountaintop and the open mountainside forest, the paraffin and half thin section technology were used to observe the vegetative organs of *Illicium difengpi* and the responses of leaf structure in different ecological environments were also evaluated. The results show that in roots, the secondary vascular tissue is well developed and the xylem ray and phloem ray are all obvious. In stem, the storage substance in secondary structure is abundant and has large stone cells group, and the xylem ray and phloem ray are apparent as well, while marrow cells contain a large number of druse and a few of single crystal. In the cross section, the leaf is typically bifacial, and epidermal cells are only in one layer and no stomata is in the upper epidermis. Moreover, there are sclereids scattered in parenchyma cells of main vein. The anatomical features of leaf show that the *I. difengpi* has the characters of typical xerophytic plants when it grows in naked limestone mountaintop. The cuticle of leaf epidermis cell wall is thicker and the ratio of palisade to spongy tissues increased, but the cells of spongy tissue become to be organized loosely rather than tightly. In addition, there are a large number of oil cells distributed in velamen, bark and mesophyll.

**Keywords** *Illicium difengpi*; Anatomical features; Leaf; Ecological adaptability

地枫皮(*Illicium difengpi* K.I.B.et K.I.M.)又名枫榔、高山龙, 为八角科常绿植物, 主要生长在石灰岩山顶裸岩上或灌丛中, 偶见于半山腰石山疏林下, 以灌木为主, 也能长成小乔木。通常高2~3 m,

有时可达6~7 m; 全株有浓郁香气。根长条形, 外皮暗红褐色, 具有不规则的纵条棱。嫩枝褐色, 较粗, 老枝灰色; 外树皮松脆, 易折断。单叶互生, 常3~5片聚生于枝梢; 叶片革质, 长椭圆形或倒披



针形,长8~18 cm,宽3~6 cm,先端短渐尖,基部楔形,全缘,两面光滑;花腋生或近顶生,单朵或3~5朵簇生;花两性,花被裂片15~20枚,肉质,红色;雄蕊常为20~24枚,花丝圆柱状,药室内侧向纵裂;心皮多为13枚,轮状排列于隆起的花托上。聚合蓇葖果木质,沿各心皮的腹缝线开裂;种子卵圆形,侧向压扁,有光泽,易碎。花期4~5月;果熟期8~9月(广西科学院广西植物研究所,1991;唐辉等,2011)。

地枫皮是特产于广西岩溶石山上的一种中药材,属国家Ⅲ级重点保护珍稀濒危植物(傅立国,1992,科学出版社,pp.62)。地枫皮在广西马山,靖西分布较多,其茎皮和根皮具有祛风除湿,行气止痛等功效,临床常用于风湿关节痛、腰肌劳损和跌打损伤等的治疗,疗效好,药用价值高,也是多种中成药产品的主要原材料(中国药典委员会,2010,中国医药科技出版社,pp.144)。目前,有关地枫皮的研究已有关于药用部位的化学成分(黄平等,1996)、真伪鉴别(赖茂祥等,1997)和药理药性等(刘元等,1997)方面的报道,对其器官解剖学研究尚未见报道。

植物的器官结构为植物的生命活动提供物质基础,内部结构的变化随着生理生态功能的改变而改变,因而,了解植物形态解剖结构对环境变化的响应与适应是探索植物对环境变化的适应机制和制定相应对策的基础(赵祥等,2011)。叶片是植物在进化过程中对环境变化较为敏感且可塑性又较大的器官,因此,环境变化常导致叶片的形态、长度、宽度及厚度,叶片表面的气孔、表皮细胞及附属物,叶肉中的栅栏组织、海绵组织、胞间隙、厚角组织和叶脉等形态解剖结构的响应与适应(潘存娥等,2011)。

经过我们调查发现地枫皮主要生长在山顶石灰岩和山腰林下这两种环境生态下,同时在调查广西不同产地地枫皮群落植被覆盖率时发现马山地区的地枫皮群落植被覆盖率最低,仅为15%,而像天峨群落高达80%以上,鉴于此,本研究主要选用广西马山地区的地枫皮,在分析地枫皮营养器官中根和茎的结构基础上,进一步分析分布于石灰岩山顶和山腰疏林间地枫皮的叶片解剖结构的异同,进一步揭示地枫皮植株对岩溶山顶恶劣环境的适应机制,以期有效保护和可持续利用地枫皮种质资源提供理论依据。

## 1 结果与分析

### 1.1 根的次生构造

从根的横切面上看,从外到内依次由周皮、皮层、

次生韧皮部、维管形成层和次生木质部组成(图1:1,2)。

#### 1.1.1 周皮与皮层

周皮由木栓层、木栓形成层和栓内层组成,细胞圆形或类圆形,径向排列。木栓层细胞3~5层,栓化,排列紧密,含染色呈红棕色的物质;木栓形

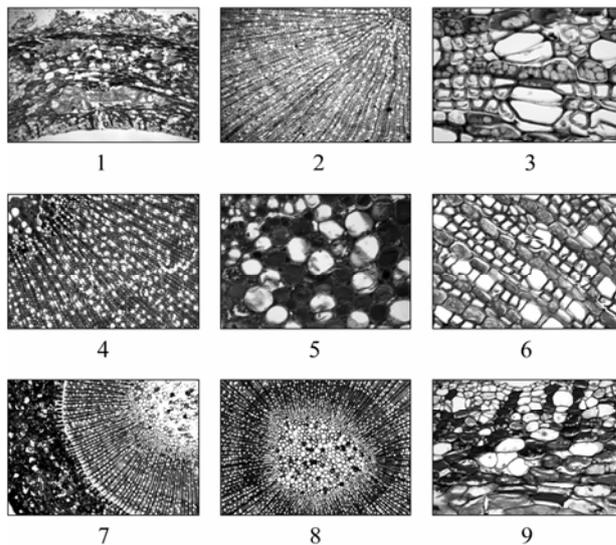


图1 地枫皮根和茎的内部结构

注:1~3 示地枫皮根的局部横切面:1:根皮( $\times 40$ );2:示根中木质部( $\times 100$ );3:木质部放大( $\times 400$ );4~6:表示地枫皮6年生(老茎)横切面:4:表示茎中木质部( $\times 100$ );5:髓( $\times 200$ );6:木质部放大( $\times 200$ );7~8:表示地枫皮3年生(嫩茎)的横切面( $\times 40$ );7:茎的内部结构( $\times 100$ );8:髓( $\times 40$ );9:示油细胞在根皮中分布( $\times 200$ )

Figure 1 Internal structure of root and stem of *Illicium difengpi*  
Note: 1~3 show root cross section of *Illicium difengpi*, 1: Root bark ( $\times 40$ ); 2: Xylem in root ( $\times 100$ ); 3: Xylem ( $\times 400$ ); 4~6 show old stem cross section for six years old *Illicium difengpi*; 4: Xylem in stem ( $\times 100$ ); 5: Pith ( $\times 200$ ); 6: Xylem ( $\times 200$ ); 7~8 show tender stem cross section for three years old *Illicium difengpi* ( $\times 40$ ); 7: Interior structure of stem ( $\times 100$ ); 8: Pith ( $\times 40$ ); 9: Oil cells location in root skins ( $\times 200$ )

成层为1层细胞,细胞质浓厚;栓内层细胞2~3层,比木栓形成层细胞略大,周皮外附有残留的表皮细胞(图1:1)。石细胞成簇存在皮层,面积较大,细胞壁厚,被染成红色,其内还有少量纤维束分布,同时,可见不同发育形态的油细胞,油细胞比周围的细胞要大,细胞质浓厚,被染成绿色,成熟油细胞由于在制片过程中油被提取出来而成空泡状(图1:9),易与周围细胞相区别。

#### 1.1.2 次生韧皮部

韧皮部厚度约为268  $\mu\text{m}$ ,在横切面观上,次生韧皮部由筛管、伴胞、韧皮纤维和韧皮薄壁细胞组成。韧皮薄壁细胞类圆形或多边形。筛管与韧皮薄



壁细胞不易区分, 伴胞为方形的小细胞。韧皮射线明显, 着色深, 呈红色, 射线细胞为1列, 薄壁细胞含着色为红棕色的物质和淀粉粒(图1: 1)。在韧皮部中也发现有大量油细胞, 其主要分布在韧皮部的薄壁细胞中, 且比皮层的油细胞多且大(图1: 9), 直径为约118  $\mu\text{m}$ 。

### 1.1.3 维管形成层

维管形成层由2~3层长扁形细胞组成。细胞径向排列成行, 向内向外产生根的次生构造。

### 1.1.4 次生木质部

次生木质部由导管、管胞、木纤维和木薄壁细胞组成。导管口径大、被染成红色, 数量多(图1: 3)。导管之间口径较小的为管胞、木纤维和木薄壁细胞, 木射线明显, 射线细胞为1列, 细胞内含大量草酸钙簇晶及少量方形单晶, 无髓(图1: 2)。

## 1.2 茎的次生构造

从茎横切面上看, 由外向内依次可观察到周皮、皮层、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部和髓(图1: 4,7)。

### 1.2.1 周皮和皮层

周皮由2~3层细胞组成, 细胞狭长。皮层占茎皮面积较大, 薄壁细胞椭圆形或圆形, 含丰富的贮藏物质, 细胞排列较紧密, 有小的胞间隙。皮层内分散有大量被染成红色石细胞, 同时也分布有大量油细胞(图1: 7)。

### 1.2.2 次生韧皮部

韧皮部厚度约为289  $\mu\text{m}$ , 由筛管、伴胞、韧皮纤维、韧皮薄壁细胞以及韧皮射线组成。韧皮纤维单个存在于次生韧皮部的外缘, 细胞多边形, 壁比较厚且木化。筛管与韧皮薄壁细胞为多边形, 不易区分, 韧皮射线明显, 内也有油细胞分布(图1: 7)。

《中华人民共和国药典》中记载其主要的药用部位为树皮, 地枫皮之所以有那么高的药用价值, 主要是因为树皮内含有大量的挥发油, 挥发油中含有大量的萜烯类化合物和芳香族化合物。而油细胞是精油产生、分泌和积累的主要部位, 在地枫皮植物中油细胞主要分布在树皮中, 而树皮中以韧皮部分布最多, 皮层和周皮有少量分布。

### 1.2.3 维管形成层区

维管形成层区由3~4层扁长方形细胞组成, 排

列成整齐的径向行列(图1: 7)。

### 1.2.4 次生木质部

次生木质部由导管、管胞、木纤维、木薄壁细胞和木射线组成。导管口径呈椭圆形或多边形, 多呈径向排列; 管胞和木纤维发达; 木薄壁细胞与木射线明显, 木射线由1列细胞组成, 细胞内含纤维晶簇及少量方形单晶(图1: 6)。

### 1.2.5 髓

在幼嫩的茎中, 髓的横切面积比较大, 且要比比较老的茎中髓的横切面面积大很多(图1: 4, 5, 7, 8)。细胞内含大量晶簇及少量方形单晶(图1: 6)。

## 1.3 叶的构造及其对两处生境的适应性比较

### 1.3.1 表皮

两处生境下生长的地枫皮的叶片上下表皮均由1层生活细胞组成。上表皮细胞排列整齐, 且紧密, 近圆形或长形, 细胞核着色明显, 无气孔分布(图2: 3, 4)。下表皮细胞较小, 长方形或近圆形, 有气孔分布(图2: 1, 2)。分析表明, 山顶裸岩生境下, 其叶表皮外壁的角质层厚度较山腰稀疏林生境下的厚, 且表皮细胞趋于近等径, 体积越小, 形状越规则, 具体差别见表1。

### 1.3.2 叶肉

地枫皮叶片为异面叶, 栅栏组织和海绵组织分化明显。栅栏组织发达, 细胞排列紧密、排列整齐, 由2~3层细胞组成, 细胞呈椭圆形和长柱形, 内含较多叶绿体, 其中上两层细胞长且紧密, 第三层短且疏松, 另外发现, 高海拔裸岩生长的地枫皮叶片栅栏组织厚度较低海拔稀疏林生长的地枫皮叶片栅栏组织要厚和紧密; 而低海拔稀疏林生长的地枫皮叶片海绵组织较高海拔裸岩生长的地枫皮叶片海绵组织排列疏松, 叶绿体较少, 细胞核着色明显(图2: 3,4)。用PAS染色发现, 地枫皮叶片的栅栏组织细胞均显示含有较多的多糖物质, 被染成紫红色(图3: 1), 同时, 在栅栏组织和海绵组织均分布有不同发育阶段的油细胞, 有的处于液泡化阶段(图3: 3), 有的处于成熟阶段(图3: 4), 呈圆形或椭圆形, 油细胞较周围的叶肉细胞大(图3: 1~4), 不同生境地枫皮的叶肉具体差别见表1。

### 1.3.3 叶脉

两处生境下生长的地枫皮叶片主脉差异不明显, 主脉背面圆形隆起, 于叶片腹面略下陷, 由表

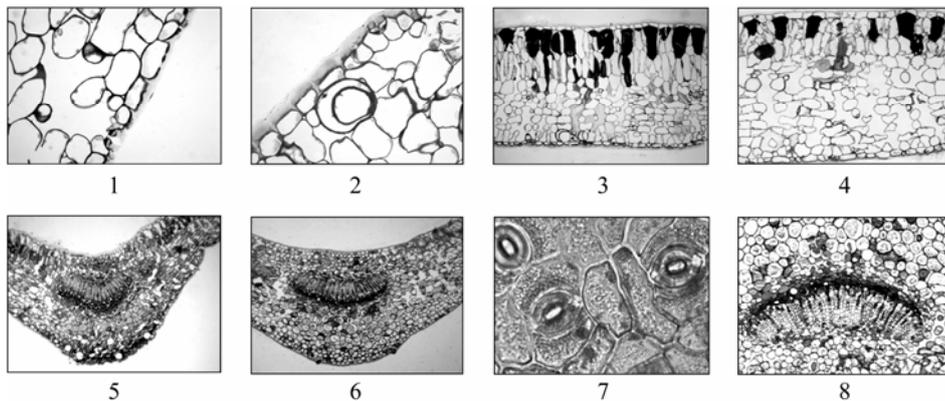


图2 地枫皮叶片结构

注: 1,3,5 石灰岩山顶裸露生境中的地枫皮; 2,4,6 山腰疏林生境中的地枫皮; 1,2: 下表皮气孔横切面( $\times 400$ ); 3,4: 叶片横切面( $\times 100$ ); 5,6: 叶片主脉横切面( $\times 40$ ); 7: 气孔的表面观( $\times 400$ ); 8: 叶片主脉中石细胞( $\times 100$ )

Figure 2 The leaf structure of *Illicium difengpi*

Note: 1, 3, 5 are the *Illicium difengpi* grown in naked limestone mountaintop; 2, 4, 6 are the *Illicium difengpi* grown in open mountainside forest; 1,2 are the lower epidermis stoma ( $\times 400$ ); 3,4: Leaf cross section ( $\times 100$ ); 5,6: Crosse section of mid veins in leaf ( $\times 40$ ); 7: Stomas ( $\times 400$ ); 8: Sclereids in mid vein ( $\times 100$ )

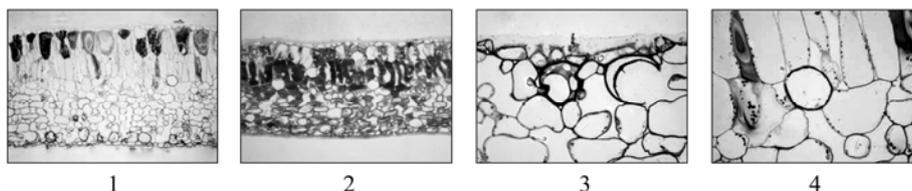


图3 油细胞在地枫皮叶片中分布情况

注: 1: PAS 染色法示油细胞在叶片中的分布( $\times 100$ ); 2: 番红-固绿染色法示油细胞在叶片中的分布( $\times 100$ ); 3,4: 示油细胞在叶片中不同发育形态( $\times 400$ ); 箭头示油细胞

Figure 3 Oil cell location in leaf of *Illicium difengpi*

Note: 1: Oil cell location in leaf through PAS pigmentation ( $\times 100$ ); 2: Oil cell location in leaf through safranin and fast green staining technique ( $\times 400$ ); 3, 4: The different developmental forms of oil cells in leaf; Aarrow indicates oil cells

皮、薄壁组织及维管束等组成, 厚角组织细胞1~2层(图2: 5,6)。主脉中央有一个较粗大的、横切面上呈新月形的周韧维管束(图2: 8), 有时外侧还有一个小维管束, 渐渐向大维管束靠近, 最后融合在一起, 成为一个大的维管束(图4: 1~4), 维管束外有厚壁细胞组成的维管束鞘包围, 木质部排列在维管束中央, 靠近中心的木质部导管口径较大, 向外依次减少, 韧皮部细胞较小, 呈多边形, 内侧韧皮薄壁细胞发达, 方形或多边形, 外侧有大量韧皮纤维群, 着色较深。主脉薄壁细胞内分散有大量的石细胞, 被染成红色(图2: 8)。

## 2讨论

经过野外调查, 发现地枫皮生长在以喀斯特次生林为主, 98%以上居群生长在石灰岩山顶裸露的岩石上, 长期处于干旱、风大、光照强烈、土层浅、土壤少的极端恶劣环境中, 周围仅有少量小灌木或草本植物。有研究表明(刘元等, 1997; 赵祥等, 2011), 在根系解剖结构中其木质化程度、输导组织、表皮上的附属结构等会影响植物抵抗干旱的能力, 抗旱性强的植物一般表现出根周皮和木质部输导组织均比较发达。本研究在对地枫皮结构特征观

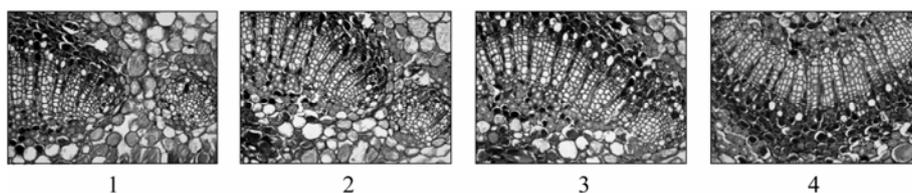


图4 1~4 叶片主脉维管束融合情况( $\times 200$ )

Figure 4 The inosculation of vascular bundle and main veins in leaf ( $\times 200$ )



表 1 两处不同生境下地枫皮叶片解剖结构特征的比较

Table 1 Comparison of anatomical features of leaves from *I. difengpi* growing in naked limestone mountaintop and open mountainside forest

横切面显微结构特征 Microstructure characteristics of cross section	石灰岩山顶 Naked limestone mountaintop	山腰疏林 Open mountainside forest	备注 Remark
叶片类型 Leaf types	异面叶 Bifacial leaf	异面叶 Bifacial leaf	图 2: 3,4 Figure 2 3,4
叶肉平均厚度(μm) Thickness of leave (μm)	910.00	1097.00	图 2: 3,4
上下表皮外壁的角质层平均厚度(μm) Horny layer thickness of epidermal ectexine (μm)	33.14	20.10	图 2: 3,4
上表皮细胞平均垂周壁长(μm) The length of anticlinal wall of upper epidermal cells (μm)	52.63	41.21	图 2: 3,4
上表皮细胞垂周壁长与切向壁长比 Ratio of the length of anticlinal wall to tangential wall in upper epidermal cells	1.31	2.23	图 2: 3,4
下表皮细胞平均厚度(μm) Thickness of lower epidermis cell (μm)	42.35	35.13	图 2: 1,2
栅栏组织细胞层数 Number of palisade tissue layer	2~3	2~3	图 2: 3,4
栅栏组织细胞排列 Cell arrangement of palisade tissue	紧密	较紧密	图 2: 3,4
栅栏组织平均厚度(μm) Thickness of palisade tissue (μm)	490.00	241.00	图 2: 3,4
栅栏组织细胞垂周壁长度(μm) The length of anticlinal wall of palisade cell (μm)	273.31	119.07	图 2: 3,4
海绵组织细胞排列 Cell arrangement of spongy tissue	较疏松	疏松	图 2: 3,4
海绵组织平均厚度(μm) Thickness of sponge tissue (μm)	607.00	669.00	图 2: 3,4
栅海比 Ratio of palisade to sponge tissue	0.81	0.36	图 2: 3,4
胞间隙 Intercellular space	数量多, 面积大	数量少, 面积少	图 2: 3,4
下表皮气孔密度(No./mm <sup>2</sup> ) Stomatal ensity of lower epidermis (No./mm <sup>2</sup> )	34	29	图 2: 7
叶脉下表皮内方的厚角组织层数 Number of horny layer in lower epidermis of main veins	2~3	0~1	图 2: 5,6

察中, 发现地枫皮根中导管丰富, 纵向输导系统发达, 木射线和韧皮射线均明显, 说明地枫皮根系在结构上具备了旱生植物的特点。叶是植物进行代谢功能的主要器官, 李芳兰和包维楷(2005)认为环境变化常导致叶片的生长特性和内部结构发生相应变化, 不同的环境中空气湿度、CO<sub>2</sub>浓度、大气温度、太阳光及紫外线辐射强度等均不相同, 这必然会导致植物内部结构发生相应的改变。本研究发现地枫皮植物叶片组织结构与生境变化和植物的抗旱能力表现出密切的相关性。生长在石山山顶裸露岩石上生长的地枫皮, 其叶片气孔密度及开口都较大, 这与Carpenter和Smith(1975)和Strobel和Sundberg(1984)认为的随温度

增加和水分减少而气孔器密度增加的观点相一致。另外, 其叶片角质层较厚, 可以防止水分过度蒸腾, 加固叶片整体的机械性能, 抵御外界伤害(李有忠, 1995; 贺学礼, 2001; E.G.卡特, 1973)。本研究在比较石灰岩山顶裸岩和山腰稀疏林的地枫皮叶片内部结构时, 石灰岩山顶裸岩地区生长的地枫皮栅栏组织厚, 栅栏组织细胞也比较大, 紧密, 栅海比值大、通气组织较发达、叶脉上下表皮内方的厚角组织等支持性结构增加, 这些与长期生长在旱生的石山环境条件下有关(Lee et al., 1990), 旱生植物需要靠消耗海绵组织而增加栅栏组织(张泓等, 1992)。更好地说明地枫皮叶片具备了旱生植物的结构特征, 在干旱条件下, 具有较



大的利用价值。据观察,地枫皮根皮、茎皮和叶肉中均分布有大量油细胞。油细胞为内分泌结构,所产生的次生物质,如萜烯类化合物、酚类、脂类等可以使植物免受病原微生物和虫害的危害,具有驱虫、杀虫作用,如木姜子(*Litsea pungens Hemsl.*)和山苍子(*Litsea cubeba (Lour.) Pers.*)可以防治粉纹夜蛾,迷迭香(*Rosmarinus officinalis*)防治细胸金针虫等,对植物起保护作用,以防止昆虫及动物等的伤害和咬噬,保证植物正常的生理功能(邓鸿飞, 2011, 世界农药, 33(3): 17-21)。另外,在地枫皮的根皮、茎皮和叶片主脉的薄壁细胞中都发现有大量的石细胞,这使地枫皮有了发达的机械组织,均可增强地枫皮的抗逆能力,同时,其茎内的射线细胞和髓中的大量晶簇和单晶的出现能减弱代谢中产生的或从外界吸收的有毒物质对植株的伤害,说明地枫皮经过长期的自然选择和生存竞争已经形成了与岩溶山顶恶劣条件的结构适应性。

### 3 材料和方法

#### 3.1 材料

实验材料为常绿灌木野生地枫皮植株(*Illidium difengpi*),分别采自广西马山县海拔587±2.18 m处的石灰岩山顶裸岩上和海拔455±1.46m处的石灰岩山腰疏林中。

#### 3.2 采集地自然概况及群落特征

采集地位于广西马山瑶族自治县合群乡,东经108°13'50.5",北纬23°45'25.3",属暖温带大陆季风型山地气候。一年中温差大,年平均气温21.3℃,一月份平均气温12.4℃,极端最低温度-0.7℃,降水多且时间上比较集中,年降水量1606.8 mm,多集中在5~8月份,相对湿度76%,土壤类型属黑色石灰土,pH值6.94,有机质35.8%,全氮20.41 g/kg,全磷0.73 g/kg,全钾1.86 g/kg,钙34.22 g/kg,镁4.31 g/kg。山顶地枫皮生长在裸露石灰岩上,长期处于干旱、风大、光照强烈、土层浅、土壤少的极端恶劣环境中。主要伴生植物有细叶楷木(*Pistacia weinmannifolia*)、米念芭(*Tirpitzia ovoidea*)、三脉荚蒾(*Viburnum triplinerve*)、樟叶木防己(*Cocculus laurifolius*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、秀丽海桐(*Pittosporum pulchrum*)和肾蕨(*Nephrolepis cordifolia*)等;山腰地枫皮生长在乔木林下的灌木丛中,土层相对较厚、湿度也较高、光照弱,生存环境优于山顶。主要伴生植物有广西密花树(*Rapanea kwangsiensis*)、苹婆(*Sterculia nobilis*)、石山楠(*Phoebe calcarea*)、石山棕(*Trachycarpus argyratus*)、芸香竹(*Monocladus amplexicaulis*)、圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)和石韦(*Pyrrhosia lingua*)等。

#### 3.3 实验方法

##### 3.3.1 临时装片法

用于观察叶片表皮气孔,以蒸馏水冲洗叶片,用镊子撕取叶片的下表皮小块置于载玻片上,滴加水合氯醛,按常规装片法制片,水合氯醛封片镜检,Leica DMLB显微镜观察、照相和计数。

##### 3.3.2 石蜡制片法

①根和茎:选具有代表性的老茎、嫩茎和直径约0.35 cm的根均切出长0.5 cm的小段,于FAA固定液中固定24 h,经沸水煮沸1~2 h后冷却,用酒精甘油软化15 d,石蜡制片法(李正理,1987,科学出版社,pp1-60.),切片厚12~15 μm,番红—固绿染色,中性树胶封片,在Leica DMLB显微镜下观察。

②叶片:取发育成熟、健康的叶片,切出0.5 cm×0.5 cm的小块,用FAA溶液固定24 h,石蜡法制片,切片厚度8~12 μm,番红—固绿染色,中性树胶封片,在Leica DMLB显微镜下观察。

##### 3.3.3 半薄切片法

取发育成熟、健康叶片,切出0.2 cm×0.1 cm的小块,固定于4%戊二醛(0.1 mol/L磷酸缓冲液配制,pH 7.2)固定液中,低温4℃固定,过夜,缓冲液冲洗,1%锇酸室温后固定2 h,缓冲液冲洗,系列酒精脱水,环氧丙烷过渡,Epon 812环氧树脂包埋,Leica EM UC6切片,切片厚2 μm,甲苯胺蓝染色和PSA染色,Leica DMLB显微镜观察并照相。

##### 3.3.4 数值统计方法

气孔密度( $n/mm^2$ )换算为每平方毫米内的气孔个数,文中的每项指标均为15个样本的平均值。数据的显微测量在Motic Image Advanced 3.2 软件下进行。

#### 作者贡献

本文作者孔德鑫是本研究执行人主要完成试验设计及论文撰写和修改工作;李雁群负责实验及论文部分撰写工作;王满莲和史艳财参与了野外调查和材料的收集和试验材料前处理工作;蒋运生作者负责实验的管理工作和实验的指导工作;梁惠凌是本文通讯作者主要负责资料查阅并指导本研究试验设计及论文撰写指导工作。

#### 致谢

本研究由广西区科技攻关项目(10124008-1);中国科学院“西部之光”人才培养计划项目[(2009)24]和广西植物研究所科学研究基金项目(11008)共同资助。感谢广西植物研究所韦宵研究员和唐辉研究员在材料收集及论文修改工作上给予的极大帮助,感谢评审人对本文提出的宝贵意见。

#### 参考文献

- Carpenter S.B., and Smith N.B., 1975, Stomatal distribution and size in southern Appalachian hard woods, *Canadian Journal of Botany*, 53(11): 1153-1156  
<http://dx.doi.org/10.1139/b75-137>
- Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, ed., 1991, *Flora of Guangxi*, Volume 1, Guangxi Science and Technology Press, Nanning, pp.104 (广西科学院广西植物研究所, 1991, 广西植物志(第一卷), 广西科学技术出版社, 南宁, pp.104)
- He X.L., ed., 2001, *Botany*, Shaanxi Science and Technology



- Publishing House, Xi' an, China, pp.54-55 (贺学礼, 主编, 2001, 植物学, 陕西科学技术出版社, 西安, 中国, pp.54-55)
- Huang P., Yang M., Lai M.X., Zheng X.Z., Xi Z.M., and Zhong X.Q., 1996, Studies on the chemical constituents of the traditional Chinese medicine difengpi, *Yaouxue Xuebao (Acta Pharmaceutica Sinica)*, 4: 278-279 (黄平, 杨敏, 赖茂祥, 郑学忠, 西正敏, 中西勤, 1996, 中药地枫皮的化学成分研究, *药学报*, 4: 278-279)
- Lai M.X., Yao W.Y., Yang M., Huang P., Liu B.M., and Zheng X.Z., 1997, Studies on the pharmacognosy of cortex illicii and its adulterants, *Zhongyao (Journal of Chinese Medicinal Materials)*, 20(12): 601-602 (赖茂祥, 饶伟源, 杨敏, 黄平, 刘布鸣, 郑学忠, 1997, 地枫皮及其混伪品的生药鉴别, *中药材*, 20(12): 601-602)
- Lee D.W., Bone R.A., Tersis S.L., and Storch D., 1990, Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plants, *American Journal of Botany*, 77(3): 370-380 [http:// dx.doi.org/10.2307/2444723](http://dx.doi.org/10.2307/2444723)
- Li Y.Z., Ben G.Y., Han F., and Shi S.B., 1995, The effect of altitude variation on the structure of plant leaf lamina, *Qinghai Shifan Daxue Xuebao (Ziranhexue Ban) (Journal of Qinghai Normal University (Natural Science))*, (4): 34-40 (李有忠, 贲桂英, 韩发, 师生波, 1995, 海拔高度的变化对植物叶片内部结构的影响, *青海师范大学学报(自然科学版)*, (4): 34-40)
- Li F.L., and Bao W.K., 2005 Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change, *Zhiwuxue Tongbao (Chinese Bulletin of Botany)*, 22 (supplement): 118-127 (李芳兰, 包维楷, 2005, 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应, *植物学通报*, 22(增刊): 118-127)
- Liu Y., Wei H.Y., Yao S.H., and Zheng X.Z., 1997, Study on pharmacological effects of of *Illicium difengpi*, *Hunan Zhongyiyao Daobao (Hunan Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacology)*, 3(Z1): 72-75 (刘元, 韦焕英, 姚树汉, 郑学忠, 1997, 地枫皮类药理作用研究, *湖南中医药导报*, 3(Z1): 72-75)
- Pan C.E., Tian L.P., Li Z.Z., Zhang T.Y., and Li P.C., 2011, Studies on drought resistance on anatomical structure of leaves of 5 poplar clones, *Zhongguo Nongxue Tongbao (Chinese Agricultural Science Bulletin)*, 27(02): 21-25 (潘存娥, 田丽萍, 李贞贞, 张天义, 李鹏程, 2011, 5种杨树无性系叶片解剖结构的抗旱性研究, *中国农学通报*, 27(02): 21-25)
- Strobel D.M., and Sundberg M.D., 1984, Stomatal density in leaves of various xerophytes—a preliminary study, *Journal of the Minnesota Academy Science*, 49(2): 7-9
- Tang H., Shi Y.C., Kong D.X., Wang M.L., Zou R., and Jiang Y.S., 2011, Investigation on the wild germplasm resources and geographical distribution of *Illicium difengpi*, a limestone endemic plant, *Guangdong Nongye Kexue (Guangdong Agricultural Sciences)*, (12): 113-117 (唐辉, 史艳财, 孔德鑫, 王满莲, 邹蓉, 蒋运生, 2011, 岩溶特有植物地枫皮种质资源调查及地理分布, *广东农业科学*, (12): 113-117)
- Zhang H., Chen L.C., and Hu Z.H., 1992, Xeromorphic characters in the vegetative organs of pegans of *peganum harmala*, *Zhiwu Shengtaixue Yu Dizhiwuxue Congkan (Journal of Plant Ecology)*, (3): 243-248, 293-294 (张泓, 陈丽春, 胡正海, 1992, 骆驼蓬营养器官的旱生结构, *植物生态学与地植物学丛刊*, (3): 243-248, 293-294)
- Zhao X., Dong K.H., Zhang Y., Zhu H.S., Yang W.D., and Yang M.H., 2011, Drought resistance and root anatomy of *Lespedeza davurica (Laxm.) Schindl*, *Caodi Xuebao (Acta Agrestia Sinica)*, 19(1): 13-19 (赵祥, 董宽虎, 张垚, 朱慧森, 杨武德, 杨美红, 2011, 达乌里胡枝子根解剖结构与其抗旱性的关系, *草地学报*, 19(1): 13-19)