

弄拉典型峰丛岩溶区青冈栎叶片 形态特征及对环境的适应

邓艳¹, 蒋忠诚¹, 曹建华¹, 李强^{1,2}, 蓝芙宁^{1,2}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004; 2. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541004)

摘要: 选取广西弄拉典型峰丛洼地生态系统中不同地貌类型的青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)叶片进行形态解剖特征比较分析, 结果表明: (1) 峰丛洼地生态系统中不同地貌青冈栎叶片形态解剖特征差异显著。山顶青冈栎叶片部分表皮结构(角质膜、表皮毛、表皮细胞、气孔)趋向旱化。山顶青冈栎下表皮毛比山腰青冈栎的浓密且长。两者叶片的厚度和宽度、上表皮细胞个数、气孔指数、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度存在着显著性差异; 位于山顶的青冈栎受到水分的胁迫, 在形态解剖上呈现出中生偏旱的结构。(2) 青冈栎的各种形态解剖指标说明在岩溶区青冈栎的抗旱性主要是通过抵御干旱来适应水分的胁迫, 并主要取决于减少蒸腾失水和维持水分吸收能力两个方面。

关键词: 弄拉; 峰丛洼地; 青冈栎; 形态解剖; 岩溶干旱

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)04-0317-06

Characteristics comparison of the leaf anatomy of *Cyclobalanopsis glauca* and its adaption to the environment of typical karst peak cluster areas in Nongla

DENG Yan¹, JIANG Zhong-cheng¹, CAO Jian-hua¹,
LI Qiang^{1,2}, LAN Fu-ning^{1,2}

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China; 2. College of Life
Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: The anatomical characters of *Cyclobalanopsis glauca* of different physiognomy in peak cluster areas depression ecological system in Guangxi Nongla were analyzed. The results are as follows: (1) The leaf anatomical characteristics of *C. glauca* are obviously different in peak cluster areas depression ecological system. Some of structures such as cuticle, trichomes, epidermis cell, stomata will express the trend of xerophilization. *C. glauca* trichomes on the the mountain top is denser and longer than that in the mountain side. Some characters such as lamina thickness and width, the number of upper epidermis cell, stomata index, the lower epidermis thickness, palisade tissue thickness and sponge tissue thickness, are more variational. *C. glauca* leaves on the mountain top have some adaptation to the water stress, such as the columniation shape of palisade cell, the closer arrange of sponge cell and hyperdomis and so on. (2) All indexes of anatomical characters indicate that

收稿日期: 2003-09-17 修订日期: 2003-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30069005); 国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-08)资助; 国土资源部大调查项目(200130000005); 广西科技厅项目(0322027-8)。

作者简介: 邓艳(1978-), 女, 广西贵港人, 硕士, 环境生态学专业, 主要从事岩溶生态学研究。

C. glauca can adapt to the water stress by the drought resistance in karst ecological system.

Key words: Nongla; karst peak cluster area; *Cyclobalanopsis glauca*; anatomy; karst drought

树木的生长环境直接影响着其营养器官的内部结构。叶片的解剖显微结构,最能反映树种对环境的适应特征(蔡永立等,2001)。关于旱生植物形态结构与环境之间相互关系的研究,国内外学者做了大量的工作(李军等,1997;周智彬等,2002;Stace, 1965;Fahn, 1986;),特别是国内外对在沙漠、高原等恶劣地区生长的植物的形态解剖学研究较多(燕玲等,2000;刘家琼等,1987),但对我国西南广大岩溶区来说,地质性干旱是岩溶地区的普遍特点,它不同于沙漠、高原等环境引起的干旱。在岩溶区,降水后形成的地表岩溶水很快向地下渗漏,地面不能存贮雨水,加上土层薄,岩石裸露,地表蒸发强烈,降雨时地表水常沿溶蚀裂隙、落水洞等很快向地下漏失,只有少量的水保存在土壤—表层岩隙—森林生态系统中(周运超等,2001)。因此,即使是雨水非常丰富的地区,其生态环境也经常干旱,形成一种特殊的岩溶干旱环境,在岩溶区生长的植物常表现出岩溶植物特有的旱生性(袁道先等,1988)。由于这种特殊的地形条件引起的水分胁迫导致植物在生态解剖上表现出一定的适应性。但这方面的研究至今仍较少(何梅,1998)。

峰丛洼地是中国西南典型的岩溶地貌类型,是非常脆弱的生态环境,也是国家进行环境治理和扶贫的重点。由于可溶岩这种特殊的地质背景,在峰丛洼地生态系统中,水分不足是生境的主要特征之一,并成为植物生长和植被恢复的限制因子。随着岩溶森林的退化,岩溶生态系统的多样性向单一的旱生类型变化,旱生特征更集中、普遍和典型。影响

岩溶退化生态系统恢复的主导生态因子应该是水因子和土壤因子(李先琨等,2003)。因此,水分因子和土壤因子成为很多岩溶区经济发展和生态环境建设的关键性制约因素。青冈栎是构成我国亚热带森林的主要成分之一,具有较强的适应性,是岩溶区生态系统顶级群落的建群种,是森林生态系统恢复到一定程度才出现的物种(苏宗明,1998)。对岩溶森林中顶级树种水分生态进行研究,阐明小生境水分不足的特征,植物适应临时性干旱生境的途径、方式和类型,可为人工造林和植被自然恢复的树种选择、措施拟订提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

弄拉位于广西南宁地区马山县的东南部,距县城约 25 km,地理坐标为 108°19' E, 23°29' N,作为古零镇的一个自然屯,土地面积约 1 km²,总人口 125 人。地貌类型为典型的峰丛洼地地貌,属于亚热带季风气候区,气候特点是高温多雨、降雨集中、湿度大。据气象观测资料,多年平均气温为 19.84 °C,多年降雨量为 1 700 mm,4~10 月份雨量占年降雨量的 82%,年均相对湿度为 85%。弄拉屯的地质背景为泥盆系东岗岭组中段(D₂d²)。岩性比较复杂,以含泥硅质的白云岩为主,局部有纯的灰岩或纯白云岩出露,西北部山坡白云岩夹钙质页岩,区内很多地点的裂隙中充填有红色角砾等(蒋忠诚, 1999)。

表 1 青冈栎样本所在地的自然环境概况

Table 1 The environmental factors of distribution sites of *Cyclobalanopsis glauca* populations

项目 Items	N (La.)	E (Lo.)	海拔 Alt(m)	土壤 Soil	年降雨量 Ar. (mm)	年均温 Mat. (°C)	坡向 S. direction	坡位 S. place	坡度 S. dregree
山顶 Mountain top	23°29.500'	108°19.467'	620	黑色石灰土	1 700	19.84	—	山顶	—
山腰 Mountain side	23°29.819'	108°19.360'	550	褐色石灰土	1 700	19.84	SE 70°	中坡	40°

1.2 取样和制片

实验材料采自广西弄拉鸡蛋堡,采集的生境如表 1 所示。选择生长正常的代表植株,取植株中部朝阳方向的成熟正常叶片进行离体分析,沿中脉部位切取小块放入 FAA(38%的甲醛、5%的冰醋酸和 70%的酒精按 1:1:19 的比例配制)固定液中固

定。

1.2.1 角质层制片 在成熟叶片的中部取宽 0.4 cm 的叶片,煮 15 min 后,用 Jeffrey 溶液(10%铬酸和 10%硝酸混合)浸泡至角质层与叶肉分离(约 20 h),撕下表皮,去掉叶肉,清洗后,部分用 1%番红染色,用 1%的甘油封片。在光学显微镜下观察、拍

照。测量并统计以下指标:

(1)气孔大小:取叶表皮封片,置光学显微镜下,随机测 50 个气孔大小,气孔大小主要测量保卫细胞的长度、宽度,求其平均值并计算其长宽比。

(2)气孔器类型:随机检查 50 个气孔器,记录其气孔器类型。

(3)气孔分布特征:观察气孔器是随机分布还是有序分布或是聚集成群。

(4)叶脉处气孔分布情况:观察叶脉处有无气孔分布。

(5)气孔器密度:在同样倍数下(物镜 40×目镜 10)测量 15 个视野内的气孔器个数,求出观察单位面积内的气孔器个数。

(6)气孔指数(I):在同样倍数下(物镜 40×目镜 10),测量单位视野气孔数(S)、单位视野普通表皮细胞数(P),观察 15 个视野平均值,其中:

$$I = \frac{S}{S+P} \times 100$$

本文所得数据用 SPSS 11.0 分析,所用术语参考 Stace(1965)。

1.2.2 叶纵切面制片 用常规徒手切片法,部分用番红染色,光学显微镜下观察、拍照。测量并统计以下指标:上下角质膜厚度,表皮的层数、厚度,栅栏组织、海绵组织的层数和厚度,栅栏组织、海绵组织细胞的长度、宽度等。每个指标测 30 个数据,并分别

计算平均值。

2 观察结果

2.1 光学显微镜下的叶表皮特征

2.1.1 叶片上表皮 从图版 I:1,2 可见,上表皮均无气孔器,山顶的青冈栎表皮细胞(表面观)为 5~6 边形(图版 I:1),大小比较均一,排列紧密,单位面积细胞个数为 2 281 个/mm²,细胞表面积为 4.4 mm²,垂周壁呈浅波状,细胞壁节状增厚,细胞内含物较多。位于山腰的青冈栎叶表皮细胞为 5~6 边形(图版 I:2),大小不等,单位面积的细胞个数为 1 731 个/mm²,细胞表面积为 5.8 mm²,垂周壁平直,细胞壁薄,为薄壁细胞。

2.1.2 叶片下表皮 下表皮的构造远比上表皮复杂,表皮细胞形态各异,有较多的气孔器,两者的气孔大小、气孔器类型、气孔分布特征、气孔器密度、气孔指数均不一样(表 2)。

(1)表皮细胞。下表皮细胞的变异程度比上表皮大。山顶的青冈栎表皮细胞排列紧密,呈 5~6 边形,垂周壁平直或浅波状,细胞壁加厚(厚角组织发达),叶脉处细胞长方形(图版 I:6)。位于山腰的青冈栎表皮细胞为 5~6 边形或近圆形,垂周壁平直或呈浅波状,叶脉处细胞为长方形或正方形,还可观察到没有脱落的表皮毛的形态(图版 I:4)。

表 2 青冈栎叶表皮特征

Table 2 Characters of the leaf epidermis of *Cyclobalanopsis glauca*

项目 Items	山顶 Mountain top	山腰 Mountain side	T
上表皮细胞个数 No. of upper epidermis cell (个/mm ²)	2 281±75	1 731±38	0.013
气孔大小 Stomata size	长 Length (μm)	20.55±0.56	0.799
	宽 Width (μm)	4.55±0.23	0.614
	长/宽 Length/Width	5.26	—
气孔密度 Stomata density (个/mm ²)	383.7±12	379.5±15.7	0.212
气孔指数 Stomata index (%)	22.7	29.3	0.027

(2)气孔器。青冈栎仅在下表皮观察到有气孔的分布。山顶的青冈栎气孔的平均长度为 20.55 μm,平均宽度为 4.55 μm,长度和宽度的比为 5.26。气孔器的密度为 383.7 个/mm²,气孔指数是 22.7,气孔器的类型为亚环列型(图版 I:5)。环列型气孔器由 5~6 个副卫细胞围绕着保卫细胞,副卫细胞大小不等;亚环列型是 Baranova(1987)划分出来的新气孔类型,它和环列型的主要区别是副卫细胞形成的环不明显。气孔以集群形式集中在三级或

四级脉之间(图版 I:3),在叶脉表皮细胞上无气孔的分布(图版 I:6)。气孔内陷,保卫细胞和副保卫细胞不在同一个平面上,副卫细胞和表皮不在同一平面上,保卫细胞内壁增厚,其内含物较多,叶绿体集中分布在外壁(图版 I:5)。位于山腰的青冈栎气孔的平均长度为 18.95 μm,平均宽度为 6.3 μm,长度和宽度的比为 3.15。气孔器的密度为 379.5 个/mm²,气孔指数是 29.3,气孔分布均匀(图版 I:4),在叶脉表皮细胞上无气孔的分布。气孔器的类型为

亚环列型,保卫细胞和副保卫细胞几乎在一个平面上,保卫细胞叶绿体呈粒状均匀分布(图版 I : 4)。

2.2 光学显微镜下的叶解剖特征

青冈栎叶片为异面叶,中脉在叶的下部凸起,呈不规则半圆形(图版 I : 7, 8),表皮细胞外覆盖角质膜,表皮毛为单毛,叶肉明显地分化为栅栏组织和海绵组织两部分,角质膜的厚度、栅栏组织细胞的层数和厚度、海绵组织细胞的层数和厚度以及在横切面

上所占的比例可因不同的生境而有较大的变化。

2.2.1 角质膜 角质膜厚薄通常反映了叶片对环境水分和湿度条件的适应状况。从表 4 可以看出,山顶青冈栎的上角质膜厚度高达 $12.5 \mu\text{m}$,平均厚度为 $8.07 \mu\text{m}$,下角质膜的平均厚度为 $2.34 \mu\text{m}$;山腰青冈栎的上角质膜最大值为 $7.5 \mu\text{m}$,平均厚度为 $4.37 \mu\text{m}$,下角质膜平均厚度为 $0.6 \mu\text{m}$,山顶青冈栎的角质膜比山腰的厚 2 倍左右。

表 3 青冈叶片解剖结构特征

Table 3 The leaf anatomical structure characters of *Cyclobalanopsis glauca*

项目 Items	叶肉组织类型 Type of the leaf tissue	胞间隙 Lacuna	表皮细胞 Epidermis cell		栅栏组织 Palisade tissue	海绵组织 Sponge tissue
			上表皮 Upper ep.	下表皮 Lower ep.		
山顶 Mountain top	普通型异叶面,无 孔下室	无	1~2层,细胞近长方形或正方形,排列紧密,被稀疏表皮毛。	1~2层,细胞不规则,排列紧密,被浓密的长的表皮毛。	由2~3层长柱形细胞组成,排列紧密,叶绿体为粒状。	由近圆形或近正方形细胞组成,排列整齐。
山腰 Mountain side	普通型异叶面,无 孔下室	不发达	1层,圆形,近长方形或四方形,排列紧密,被少的表皮毛。	1层,细胞形状不规则,被稀疏的短小表皮毛。	由1~2层近长方形细胞组成。	形状不规则,排列较紧密。

2.2.2 表皮 ①上表皮:从表 3 可知,山顶的青冈栎上表皮细胞为 1~2 层,近长方形或正方形,排列紧密,被稀疏表皮毛;山腰的青冈栎上表皮细胞只有 1 层,呈圆形、近长方形或正方形,排列紧密,被少量的表皮毛。山顶的青冈栎上表皮厚度为 $28.42 \mu\text{m}$,山腰的青冈栎上表皮厚度为 $19.92 \mu\text{m}$ 。②下表皮:山顶的青冈栎下表皮细胞为 1~2 层,此称为复表皮,这种结构被认为是对旱生环境的一种适应(Esau, 1977),细胞不规则,排列紧密,被浓密的长的褐色表皮毛;山腰的青冈栎下表皮细胞只有 1 层,细胞形状不规则,被稀疏的短小表皮毛。山顶的青冈栎下表皮厚度为 $20.83 \mu\text{m}$,山腰的青冈栎下表皮厚度为 $7.67 \mu\text{m}$ 。

2.2.3 叶肉 叶肉是叶片结构中变异最大的部分,细胞形态、数目和厚度以及栅栏组织和海绵组织的比例等在不同生境植物间均存在很大的差异(蔡永立等, 2001)。山顶的青冈栎栅栏组织由 2~3 层长柱形细胞组成,排列紧密,叶绿体呈粒状(图版 I : 9),平均厚度为 $96.92 \mu\text{m}$,最大可达 $150 \mu\text{m}$;山腰的青冈栎栅栏组织由 1~2 层近长方形细胞组成(图版 I : 10),排列整齐,平均厚度 $59.67 \mu\text{m}$,最大只有 $88 \mu\text{m}$ 。山腰的青冈栎栅栏组织细胞长/宽为 3.43,山顶的为 5.37。山顶的青冈栎海绵组织由近圆形或近正方形细胞组成,排列整齐,平均厚度为 $66.25 \mu\text{m}$,最大可达 $100 \mu\text{m}$,栅栏组织/海绵组织为 1.6。

山腰的青冈栎海绵组织形状不规则,排列较紧密,平均厚度为 $70.78 \mu\text{m}$,最大可达 $100 \mu\text{m}$,栅栏组织/海绵组织为 0.87。

3 讨论

虽然弄拉地处亚热带季风气候区,年平均降雨量达 1700mm ,但是水分时空分布不均,部分地方常年干旱,部分地方容易形成涝灾。青冈栎受多种环境因素的胁迫,在形态解剖上表现出一定的适应性。植物对干旱环境的适应方式多种多样,不同植物之间,存在着形式和程度上的差别,即使同一种植物也因生态环境的变化而有所差异。关于形态解剖特征与抗旱性的关系,许多研究的结果也不完全一致,一般认为,旱生结构的基本特征为:叶表面积与体积的比值缩小;表皮组织有发达的角质层和蜡被;气孔下陷而密度小;栅栏组织高度发达;机械组织强化等(Stace, 1965)。根据我们对弄拉青冈栎叶片进行形态解剖的试验结果和前人的一些观点,提出以下 3 点供讨论商酌。

3.1 青冈栎表皮结构(角质膜、表皮毛、表皮细胞、气孔)的旱生特征

刘家琼等(1987)指出旱生植物的表皮细胞外壁常覆盖有较厚的角质膜及发达的毛状体。角质层是表皮细胞壁表面的一层脂肪性物质,是不透水的,具

有保护作用,它的厚度受到环境条件的影响(K. 伊销,1982)。角质层厚度是反映植物抗旱能力的一个重要指标。一般旱生植物角质层都比较发达,角质层的存在能够有效地减少植物体内水分的流失,从而达到减少蒸腾的目的(李军等,1997)。据本试验观测,虽然两处青冈栎的上下角质膜厚度不存在着显著性差异,但是仍可看出,山顶青冈栎的上角质膜比山腰的厚 2 倍左右,其下角质膜比山腰的厚 4 倍左右。

山顶青冈栎表皮毛的密度和长度比山腰青冈栎

的高。Fahn(1986)在研究旱生植物表皮毛的功能后发现,毛状体加厚的细胞壁很难被穿透,从而表明旱生植物的表皮毛具有良好的隔水保水功能。此外,表皮毛有隔热作用,可避免叶肉组织过热(周智彬等,2002)。由此可以认为,当外界水分充足时,气孔张开,植物进行强烈的蒸腾作用,当外界水分亏缺时,气孔关闭,角质膜与表皮毛可有效防止水分散失。因此,山顶的青冈栎比山腰的能更好的防止水分散失。

表 4 青冈栎叶片解剖特征测定

Table 4 The leaf anatomical characters of *Cyclobalanopsis glauca*

项目 Items		山顶 Mountain top	山腰 Mountain side	T
叶片 Leaf	长度 Length(cm)	5.17±0.18	9.422 2±0.33	0.075
	宽度 Width(cm)	1.566 7±0.07	2.744 4±0.10	0.025
	厚度 Thickness(μm)	373±15	273±9	0.022
角质层 Cuticle	上厚度 Up thickness(μm)	8.07±0.3	4.37±0.3	0.973
	下厚度 Low thickness(μm)	2.34±0.5	0.6±0.8	0.282
上表皮 Upper epidermis	厚度 Thickness(μm)	28.42±1.2	19.92±0.9	0.338
	细胞宽度 Cell width(μm)	17.83±8.7	17.08±0.12	0.010
	细胞长度 Cell length(μm)	23.33±1.0	19.92±0.9	0.805
下表皮 Lower epidermis	厚度 Thickness(μm)	20.83±1.1	7.67±0.4	0.00
	细胞长度 Cell length(μm)	11.00±0.9	7.67±0.4	0.00
	细胞宽度 Cell width(μm)	12.250±0.9	13.58±1.0	0.836
栅栏组织 Palisade tissue	厚度 Thickness(μm)	96.92±4.9	59.67±2.5	0.001
	细胞长度 Cell length(μm)	48.17±2.0	37.67±2.1	0.601
	细胞宽度 Cell width(μm)	9.50±0.5	11.50±0.4	0.232
	细胞高/宽 Cell high/width(μm)	5.37	3.43	—
海绵组织 Spongy tissue	厚度 Thickness(μm)	66.25±3.0	70.78±2.2	0.044
	细胞长度 Cell length(μm)	16.56±1.0	15.42±0.6	0.003
	细胞宽度 Cell width(μm)	12.52±0.6	13.50±0.5	0.309
栅栏组织/海绵组织 Palisade/spongy tissue		1.61	0.87	0.00

山顶青冈栎表皮细胞小而排列紧密,细胞壁加厚且厚角组织发达,可以提供机械支持作用。山顶青冈栎和山腰青冈栎的上表皮个数差异显著。上表皮细胞厚度差异不显著,而下表皮厚度差异显著。

由于气孔在维持植物体内水分平衡和进行气体交换中具有重要的作用,因此它与植物的抗旱性有很大的关系。气孔反应和适应性的关键,是在干旱时植物既要保住水分,又要获得自养光合作用所需要的 CO₂。气孔差异包括气孔形态、结构、大小和分布频率的差异。众所周知,气孔的形态、结构、大小和分布频率在植物种间上有很大的差异,而植物种内的差异主要受环境的影响。汤章城(1986)对具有不同气孔大小和分布频率的树种进行研究,得出保

卫细胞大的,叶子扩散阻力小,日蒸腾大,在干旱条件下受到的影响就大,表现出叶子水势下降和叶子扩散阻力大大地增加。但是,气孔扩散阻力不仅单纯决定于气孔大小,而且也决定于气孔密度和气孔结构。山顶青冈栎的保卫细胞(长×宽=93.5 μm²)虽比山腰青冈栎(119.4 μm²)的小,但是两者没有显著性差异。山顶和山腰青冈栎气孔器的密度不存在着显著性差异,但是两者的气孔指数差异性显著。气孔下陷是旱生植物的一种习性,是植物为减少水分蒸腾的一种适应,而且气孔下陷,在减少光线辐射和水分散失方面有积极的作用(黄振英等,1997)。位于山顶的青冈栎相对山腰的气孔来说,下陷并且形成气孔窝,一方面减少水分散失,气孔窝的

形成可以提高光合作用的效率。

3.2 青冈栎叶肉形成各种类型的形态结构

植物叶肉是叶片光合作用的主要部位,栅栏组织和海绵组织厚度、细胞层数及栅栏细胞的形态(高/宽)变化等的差异必然影响到光合作用的效率。山顶青冈栎的栅栏组织比山腰青冈栎的发达,既可避免强烈光照对叶肉细胞的灼伤,又可有效地利用衍射光进行光合作用,而细胞体积的缩小更增强了这一功能(燕玲等,2000)。同时,栅栏细胞的形态影响到叶绿体的分布,方形细胞可以提高近轴面和侧面叶绿体分布的密度,被认为是对阴生环境的适应(Lee,1990)。山顶和山腰青冈栎的栅栏组织和海绵组织的厚度存在显著性差异。另外,栅栏组织与海绵组织分化程度反映了其环境的水分状态。栅栏组织与海绵组织比值越大,说明植物光合的效率越高,生长速度和产量相应越大(李军等,1997)。两处青冈栎的栅栏组织和海绵组织之比具有显著性差异。与山腰青冈栎相比,山顶青冈栎的栅栏组织层数,细胞的形态,栅栏组织与海绵组织的分异程度都说明,山顶青冈栎受环境的胁迫,叶肉形成一定的适应性,既可以减少水分的蒸腾,同时又能保证光合作用的正常进行。

3.3 青冈栎主要以减少蒸腾失水去适应岩溶干旱

位于山顶的青冈栎受到水分的胁迫,在解剖结构上呈现中生偏旱的类型。虽然减少失水的因素也常常减低光合强度,但光合强度比蒸腾强度下降相对较少,因而提高了水分利用效率(蔡永立等,1999)。

植物的抗旱性类型可分为3种:回避干旱、抵御干旱和忍耐干旱。青冈栎的各种形态解剖指标说明其抗旱性主要是通过抵御干旱来适应水分的胁迫,并主要取决于减少蒸腾失水和维持水分吸收能力两方面。植物减少蒸腾失水主要表现在:(1)增加气孔和角质层阻力。(2)减低对光能的吸收。由于叶片的运动或叶片反光性能的改变,减低对光能的吸收,叶片温度下降,气孔内外蒸气压下降,减少了蒸腾失水,但光合作用也会下降。在正常情况下,山顶青冈栎的叶片比较弯曲,山腰的叶片则比较平整,以中脉为界,形成一个弧度,从而减少对光能的吸收。这是青冈栎植物对岩溶干旱的适应。

参考文献:

K 伊销. 1982. 种子植物解剖学[M]. 上海: 上海科学技术

出版社, 63—64.

汤章城. 1986. 水分胁迫和植物的气孔运动. 植物生理生化进展(四)[M]. 北京: 科学出版社, 43—50.

袁道先, 蔡桂鸿. 1988. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1—100.

Baranova MA. 1987. Historical development of the present classification of morphological types of stomata [J]. *BotRev*, 53(1): 53—79.

Cai YL(蔡永立), Wang XH(王希华), Song YC(宋永昌). 1999. An ecoanatomical study on leaves of *Cyclobalanopsis glauca* populations in the eastern subtropical zone, China (中国东部亚热带青冈种群叶片的生态解剖[J]). *Acta Ecological Sinica*(生态学报), 19(6): 844—849.

Cai YL(蔡永立), Song YC(宋永昌). 2001. Adaptive ecology of lianas in Tiantong evergreen broad-leaved forest, Zhejiang, China I Leaf anatomical characters(浙江天童常绿阔叶林藤本植物的适应生态学 I. 叶片解剖特征的比较)[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*(植物生态学报), 25(1): 90—98.

Esau K. 1977. Anatomy of seed plants[M]. New York: John Wiley and Sons Press, 351—372.

Fahn A. 1986. Structural and functional properties of trichomes of xeromorphic leaves[J]. *Annals of Botany*, 57: 631—637.

He M(何梅). 1998. A preliminary inquire on the moisture ecological physiology and channels of enduring temporarily drought in 27 species tree-shrubs(27种乔灌木水分生态生理及耐临时性干旱的多种途径初探)[J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*(贵州林业科技), 26(1): 17—24.

Huang ZY(黄振英), Wu H(吴鸿), Hu Zh(胡正海). 1997. The structures of 30 species of psammophytes and their adaptation to the sandy desert environment in Xinjiang(30种新疆沙生植物的结构及其对沙漠环境的适应)[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*(植物生态学报), 21(6): 521—530.

Jiang ZC(蒋忠诚). 1999. Element migration of karst dynamic system(岩溶动力系统中的元素迁移)[J]. *Acta Geographica Sinica*(地理学报), 54(5): 438—444.

Lee DW, Bone RA, Tersis S, et al. 1990. Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plates[J]. *American Journal of Botany*, 77: 370—380.

LI J(李军), Wei FX(卫发兴), Chen FS(陈风顺), et al. 1997. The form dissection and the drought-resistant ability of blades in six juglans clones(从六个核桃无性系(种)叶的形态解剖比较其抗旱性)[J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*(河南林业科技), 17(3): 9—11.

(下转第 331 页 Continue on page 331)

ACKNOWLEDGEMENT: The authors own great thanks to Prof. Wei Jiangchun (CAS) for the identification of some difficult specimens.

References:

- Aptroot A, Sipman HJM. 2001. New Hong Kong Lichens, Ascomycetes and Lichenicolous Fungi[J]. *Journ Hattoui Bot Lob*, **91**: 317-343.
- Archer AW. 1993. A Chemical and Morphological Arrangement of the Lichen Genus *Pertusaria*[J]. *Bibliotheca Lichenologica*, **53**: 1-17.
- Archer AW. 1997. The lichen genus *Pertusaria* in Australia [J]. *Bibliotheca Lichenologica*, **69**: 1-249.
- Culberson CF. 1972. Improved conditions and new data for the identification of lichen products by a standardized thin-layer chromatographic method[J]. *Journal of Chromatography*, **72**: 113-125.
- Culberson CF, Kristinsson H. 1970. A standardized method for the identification of lichen products[J]. *Journal of Chromatography*, **46**: 85-93.
- Dibben MJ. 1980. The chemosystematics of the lichen genus *Pertusaria* in North America North of Mexico[M]. Milwaukee Public Museum, Publication in Biology and Geology, **5**: 1-162.
- Erichsen CFE. 1936. Pertusariaceae in Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz[M]. Ed. 2, 9 Band, 5 Abt., 1 Teil. Leipzig, 687-699.
- Oshio M. 1968. Taxonomical Studies on the Family Pertusariaceae of Japan[J]. *Journal of Science Hiroshima University*, **B(2)12**: 81-151.
- Wei JC. 1991. An Enumeration of Lichens in China[M]. Beijing: International Academic Publishers, 1-278.
- Yu SH(俞森华), Wu JN(吴继农), Li P(李 萍). 1999. Some lichen species of *Pertusaria* new to China(中国鸡皮衣属地衣新纪录种)[J]. *Mycosystema(菌物系统)*, **18**(1): 112-115.
- Zahlbruckner A. 1928. Catalogus Lichenum Universalis 5 [M]. Leipzig: Gebrüder Borntraeger.
- Zahlbruckner A. 1930. Lichenes in Handel-Mazzetti [J]. *Symbolae Sinicae*, **3**: 142-148.
- Li XK(李先琨), He CX(何成新), Jiang ZC(蒋忠诚). 2003. Method and principles of ecological rehabilitation and reconstruction in fragile karst ecosystem(岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法)[J]. *Carsologica Sinica(中国岩溶)*, **22**(1): 12-17.
- Liu JC(刘家琼), Pu XC(蒲新春), Liu XM(刘新民). 1987. The comparative study on drought structure and water relation of different ecological type plant in the mid-area desert of China(我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究)[J]. *Acta Botanica Sinica(植物学报)*, **29**(6): 662-673.
- Stace CA. 1965. Cuticular studies as an aid to plant taxonomy[J]. *Bull Brit Mus(Nat Hist) Bot*, **4**: 1-78.
- Su ZM(苏宗明). 1998. The classified system of natural vegetation in Guangxi(广西天然植被类型分类系统)[J]. *Guihaia(广西植物)*, **18**(3): 237-246.
- Yan L(燕 玲), Li H(李 红), He X(贺 晓), et al. 2000. Ecological anatomy of nine priority species in lasan arwa(阿拉善地区 9 种珍稀濒危植物营养器官生态解剖观察)[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University(内蒙古农业大学学报)*, **21**(3): 65-71.
- Zhou YC(周运超), Pang GX(潘根兴). 2001. Adaptation and adjustment of maolan forest ecosystem to karst environment(茂兰森林生态系统对岩溶环境的适应与调节)[J]. *Carsologica Sinica(中国岩溶)*, **20**(1): 47-52.
- Zhou ZB(周智彬), Li PJ(李培军). 2002. A review on the phytotomy research of xerophytes in China(我国旱生植物的形态解剖学研究)[J]. *Arid Zone Reseach(干旱区研究)*, **19**(1): 35-40.

(上接第 322 页 Continue from page 322)