

# 七种阔叶常绿植物叶片的生态解剖学研究

史刚荣

(淮北煤炭师范学院生物系, 安徽淮北 235000)

**摘要:** 对7种常绿阔叶植物叶片的解剖学特征观察结果表明, 它们的叶片在结构上均表现出典型的旱生特点: 异面叶, 上表皮细胞较厚且排列紧密, 具发达的角质膜, 无气孔器分布, 下表皮细胞较小, 气孔器密度较大; 栅栏组织细胞层数较多, 排列紧密, 海绵组织细胞排列极其疏松, 并形成通气组织; 中脉及其输导组织和机械组织发达。越冬叶和越夏叶在解剖结构上存在一定的差异: 前者在角质膜, 叶片厚度和栅栏组织厚度等方面比后者厚, 而在气孔密度和输导组织方面则比后者略有减少或不发达。这些差异(发育可塑性)是常绿阔叶植物适应冬、夏季截然不同的两种生境(生境的时间异质性)的表现形式。

**关键词:** 常绿阔叶植物; 越冬叶; 越夏叶; 生态解剖学

**中图分类号:** Q944.56 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)04-0334-05

## A study on ecological anatomy of leaves in 7 broad-leaved evergreen plants

SHI Gang-rong

(Department of Biology, Huaibei Coal Industry Teachers College, Huaibei 235000, China)

**Abstract:** Ecological anatomy of leaves in 7 broad-leaved evergreen plants is studied in this paper. The results show that all plants share typical xerophytic features as follows: the leaf blades are all typical back-abdomen bifacial type, compared to the lower epidermis which formed by one layers of small cells. The upper epidermis were formed by one or two layers of bigger cells on which covered with thicker cuticle. There are many stomas distributed in lower epidermis, while the upper epidermis have not any stomas. The palisade tissue consists of many layers of cells that line up densely, and cells of the spongy tissue line up loosely and formed aerenchyma. Middle vein was comparatively developed with obvious mechanical tissues and transport tissue. There are some differences in the structure of winter and summer leaf blades in broad-leaved evergreen plants: the thickness of cuticle, palisade tissue and leaf blade of the winter leaves are all thicker than that of the summer leaves, while the density of stomas and transport tissue of the former are less or less developed than that of the latter. These differences in the structure of winter leaves and summer leaves (developmental plasticity) reflect the adaptation of broad-leaved evergreen plants to the two different completely habitats in winter and summer (time heterogeneity of habitat).

**Key words:** broad-leaved evergreen plants; winter leaves; summer leaves; ecological anatomy

现代植物解剖学正朝着3个主要的研究方向发展: 植物生态解剖学、植物功能解剖学和植物系统发育解剖学(张新英, 1993)。三者之间既密切联系, 又

各有其特定的研究内涵。其中, 植物生态解剖学是运用植物形态解剖学的观察和实验方法, 对生长在不同生境中的植物或演替系列中优势种进行研究,

收稿日期: 2003-05-08 修订日期: 2003-11-20

作者简介: 史刚荣(1968-), 男, 甘肃陇西人, 硕士, 副教授, 研究方向为植物生态学及物种生物学。

探讨其在外形和内部显微结构的动态变化规律及与功能相互变化的科学。它是联系另两个分支的桥梁和纽带(Zhang 等,1992;Grubb,1977;Bongers 等,1990),同时也是最受关注的分支(张新英,1993;Hickey,1984)。常绿性状是维管束植物最古老的特征之一,是在晚白垩纪之前均一、暖湿的气候条件下形成的(Banks,1981;Stewart,1983);更新世以后由于气候变冷,落叶生长型形成,并在原本属于常绿植物的生态空间中不断扩大范围(Pignatti,1979)。常绿生长型则在热带地区或在夏季干旱的沙漠和温带之间的不连续的区域生存下来(Axelrod,1975),但由于长期面临不同的选择压力,叶在结构和生理上发生了一系列变化(Oppenheimer,1960),并分化出不同的生态适应类群(蔡永立等,1999,2002;贺金生等,1994;De Lillis,1991)。目前,对不同种群常绿植物叶片的生态解剖学研究已有报道(蔡永立等,1999,2002;贺金生等,1994)。但同一种群内常绿植物叶片适应年生长周期中生态因子变化的解剖学机制的研究尚属空白。为此,本文对淮北地区广为栽培的7种常绿阔叶植物为研究对象,对其越冬叶和越夏叶进行了比较解剖学研究,并就其适应生态学意义进行了讨论。

## 1 材料与方 法

### 1.1 取样和制片方法

研究材料包括石楠、女贞、海桐、桂花、栀子、荷花玉兰、冬青卫矛等7种植物,均于2003年2月1日和7月1日取自安徽淮北煤炭师范学院校园,选择受光较为均匀的植株,采集每株上层不同向光方位的成熟叶4片,每种植物取样植株数16~20株。对所采集的样品进行编号,立即带回实验室用刀片沿叶片中脉从叶片中间切取0.5 cm×1 cm的小片,置FAA固定液中固定,并用真空泵抽气。常规石蜡切片法制片,切片厚度10~12 μm。番红—固绿对染,OlympusBH-2型光学显微镜观察并照相。

### 1.2 测定指标

在光镜下用目镜测微尺测定,主要包括叶片厚度,上表皮、下表皮细胞厚度,上表皮、下表皮角质膜厚度,栅栏组织厚度和海绵组织厚度等结构指标;气孔器密度用指甲油涂于叶片表面取印记,水封后制成临时封片,在光镜下观察测量。每项指标测量数据40组,以进行数据的统计分析。

## 2 观察结果

### 2.1 叶片解剖结构的一般特征

7种常绿植物的叶片均为叶肉组织分化明显的异面叶,自上而下依次为上表皮、栅栏组织、海绵组织和下表皮(图版I:1~7)。各植物叶片均较厚,厚度变化在245~412 μm之间,依次为石楠>冬青卫矛>女贞>海桐>荷花玉兰>桂花>栀子;具有发达的角质膜,且上角质膜比下角质膜发达。上表皮角质膜厚度3.04~8.26 μm,依次为女贞>石楠>海桐>冬青卫矛>桂花>荷花玉兰>栀子,下表皮角质膜厚度1.96~7.13 μm,依次为女贞>冬青卫矛>桂花>石楠>海桐>荷花玉兰>栀子。上表皮细胞排列紧密,海桐和荷花玉兰的上表皮是由两层表皮细胞组成的复表皮,外层细胞小而壁厚,内层细胞较大,其它几个种为单层表皮细胞,近方形或长方形;上表皮厚度变化在15.57~45.10 μm之间,依次为海桐>荷花玉兰>石楠>女贞>冬青卫矛>栀子>桂花。除桂花的下表皮由1~2层细胞组成以外,其它种的下表皮均为单层细胞,细胞形态常不规则,厚度11.11~25.51 μm,依次为桂花>冬青卫矛>女贞>海桐>石楠>栀子>荷花玉兰。7种常绿植物上表皮均无气孔分布,而下表皮气孔密度则较大,平均气孔密度在225.99~599.49个/mm<sup>2</sup>之间,依次为桂花>栀子>海桐>石楠>女贞>冬青卫矛>荷花玉兰。栅栏组织细胞长柱形,除荷花玉兰栅栏细胞排列较为疏松外,其它植物的栅栏细胞排列都比较紧密,由2~5层细胞组成,不同种类的植物以及同种植物不同叶片栅栏细胞层数均有差异,厚度变化在96.44~176.96 μm之间,依次为女贞>石楠>荷花玉兰>冬青卫矛>海桐>桂花>栀子;海绵组织细胞形态不规则,排列极为疏松,并形成发达的通气组织,厚度为111.74~205.60 μm,依次为石楠>冬青卫矛>海桐>荷花玉兰>女贞>桂花>栀子;栅栏组织和海绵组织厚度的比例在0.63~1.18之间,依次为女贞>桂花>栀子>荷花玉兰>海桐>石楠>冬青卫矛。

7种常绿植物叶片中脉在解剖结构上虽然存在明显的差异,但总体上都比较发达,并有发达的输导组织(图版I:8~14),中脉平均厚度为682.29~1428.73 μm,依次为荷花玉兰>石楠>栀子>桂花>海桐>女贞>冬青卫矛(表2)。此外,在冬青卫

矛、石楠、海桐、栀子的叶肉组织及叶脉中均存在含晶细胞或异染色细胞。

## 2.2 越冬叶和越夏叶解剖学特征的比较

为了探讨常绿植物的叶片适应生境时间异质性的解剖学机制,我们对除荷花玉兰以外的其它6种常绿植物越冬叶和越夏叶的解剖学特征进行了比较

研究(表1、2)。结果表明,6种常绿植物的越冬叶和越夏叶在叶片的解剖学性状上存在一定的差异。与越夏叶相比较,越冬叶在上、下表皮角质膜厚度、栅栏组织厚度、栅栏组织和海绵组织厚度之比以及叶片厚度等方面均有增加趋势,而下表皮气孔密度却呈下降趋势。越冬叶和越夏叶在解剖学性状上的这

表1 七种常绿植物叶的解剖特征比较

Table 1 The comparison of anatomic traits of leaves in 7 broad-leaved evergreen plants

种名 Species	LT	UE		LE		DS(个/mm <sup>2</sup> )	CL	PT		TST ( $\mu\text{m}$ )	TPT/ TST	TL( $\mu\text{m}$ )
		TC( $\mu\text{m}$ )	T( $\mu\text{m}$ )	TC( $\mu\text{m}$ )	T( $\mu\text{m}$ )			T( $\mu\text{m}$ )	T( $\mu\text{m}$ )			
海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	w	7.25 $\pm$ 2.29	45.10 $\pm$ 19.42	3.71 $\pm$ 1.66	18.55 $\pm$ 2.68	297.33 $\pm$ 67.07	3~4	123.25 $\pm$ 19.55	170.49 $\pm$ 35.79	0.72	364.80 $\pm$ 52.43	
	s	5.77 $\pm$ 1.25*	35.57 $\pm$ 11.87	3.87 $\pm$ 0.71	19.68 $\pm$ 3.33	294.45 $\pm$ 63.41	2~4	80.32 $\pm$ 16.09**	172.57 $\pm$ 26.79	0.46	289.01 $\pm$ 31.39**	
石楠 <i>Photinia emulata</i> Lindl.	w	7.83 $\pm$ 1.23	27.83 $\pm$ 5.65	5.31 $\pm$ 1.34	13.33 $\pm$ 2.30	276.11 $\pm$ 44.95	2~5	138.84 $\pm$ 35.56	205.60 $\pm$ 31.26	0.68	412.72 $\pm$ 38.15	
	s	7.57 $\pm$ 1.84	24.22 $\pm$ 1.62	5.71 $\pm$ 1.31	11.30 $\pm$ 1.00	298.32 $\pm$ 46.34	2~5	119.64 $\pm$ 22.07*	196.77 $\pm$ 23.00	0.61	359.38 $\pm$ 39.08**	
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	w	3.04 $\pm$ 1.51	20.70 $\pm$ 3.04	1.96 $\pm$ 1.09	13.22 $\pm$ 3.17	446.92 $\pm$ 59.99	2~5	96.44 $\pm$ 21.17	111.74 $\pm$ 27.77	0.86	245.39 $\pm$ 38.76	
	s	0.00 $\pm$ 0.00**	21.48 $\pm$ 4.66	0.00 $\pm$ 0.00	13.65 $\pm$ 2.09	567.76 $\pm$ 55.64**	2~4	91.65 $\pm$ 16.15	218.97 $\pm$ 36.85	0.74	251.14 $\pm$ 5.78	
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	w	8.26 $\pm$ 2.33	23.13 $\pm$ 5.46	7.13 $\pm$ 1.96	19.19 $\pm$ 1.81	249.36 $\pm$ 38.26	2~4	176.96 $\pm$ 51.09	150.35 $\pm$ 27.12	1.18	379.74 $\pm$ 51.66	
	s	5.30 $\pm$ 1.61**	22.70 $\pm$ 3.00	4.26 $\pm$ 1.04**	17.39 $\pm$ 2.05	281.26 $\pm$ 57.33*	2~3	104.09 $\pm$ 25.56**	144.61 $\pm$ 16.19	0.78	308.26 $\pm$ 46.33**	
冬青卫矛 <i>Euonymus fortunei</i>	w	7.19 $\pm$ 1.37	21.45 $\pm$ 3.23	5.97 $\pm$ 0.92	20.52 $\pm$ 3.98	244.97 $\pm$ 43.72	2~4	126.38 $\pm$ 31.26	200.58 $\pm$ 24.59	0.63	381.10 $\pm$ 49.18	
	s	6.96 $\pm$ 1.29	22.13 $\pm$ 1.8	4.35 $\pm$ 1.23	21.98 $\pm$ 1.91	262.88 $\pm$ 50.58	2~4	102.13 $\pm$ 21.90*	218.97 $\pm$ 36.85	0.47	378.74 $\pm$ 47.68	
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	w	7.03 $\pm$ 1.55	15.57 $\pm$ 2.07	5.39 $\pm$ 1.22	25.51 $\pm$ 4.49	599.49 $\pm$ 91.72	3~5	117.57 $\pm$ 13.80	122.00 $\pm$ 25.48	0.96	287.13 $\pm$ 30.58	
	s	4.57 $\pm$ 0.83**	15.00 $\pm$ 3.36	4.57 $\pm$ 1.30	8.48 $\pm$ 2.69**	652.92 $\pm$ 80.10	2~5	95.65 $\pm$ 24.40*	141.52 $\pm$ 11.01	0.68	269.78 $\pm$ 28.51	
荷花玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	w	3.58 $\pm$ 0.68	33.04 $\pm$ 5.33	3.58 $\pm$ 1.82	11.11 $\pm$ 2.56	225.99 $\pm$ 37.01	3	129.57 $\pm$ 15.77	160.77 $\pm$ 25.07	0.81	339.71 $\pm$ 29.09	

注: LT=叶的类型 Leaf type; UE=上表皮 Upper epidermis; LE=下表皮 Lower epidermis; DS=下表皮气孔密度 Density of stoma; PT=栅栏组织 Palisade tissue; ST=海绵组织 Spongy tissue; T=厚度 Thickness; TL=叶厚 Thickness of leaves; TC=角质层厚度 Thickness of cuticle; TPT=栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue; TST=海绵组织厚度 Thickness of spongy tissue; w=越冬叶 Winter leaves; s=越夏叶 Summer leaves.

些差异可能是由于它们所处的生态条件不同所致。

越冬叶和越夏叶在中脉解剖学性状上的变化程度及其趋势因物种的不同而不同,海桐、石楠、栀子和桂花中脉各解剖学性状在越冬叶和越夏叶之间差异不明显,女贞和冬青卫矛的越冬叶和越夏叶却在中脉厚度、木质部厚度、韧皮部厚度、维管束厚度等方面存在明显的差异,且性状的变化趋势相反。女贞越冬叶的木质部厚度、韧皮部厚度、维管束厚度等均显著大于越夏叶,而冬青卫矛越冬叶的中脉厚度、木质部厚度、维管束厚度以及导管直径等均显著小

于越夏叶,这种差异表明不同植物的越冬叶和越夏叶对其生境的适应方式可能不同。

## 3 分析与讨论

植物长期生长在某一环境中,获得了一些适应环境相对稳定的遗传特征,其中包括形态结构的适应特征。叶片作为光合作用的重要器官,是植物进化过程中可塑性最大的器官,并在不同选择压力下已经形成多种不同的适应类型(Hickey, 1984)。在

众多生态因子中,叶片受水分、温度和光因子的影响最为显著(王勋陵,1993;王勋陵等,1989),主要表现为叶形的变化、叶片的厚度及解剖结构的差异(Wyllie,1951;Jackson,1967)。常绿阔叶植物在冬、夏季所面临的生境截然不同,同一植物的越冬叶和越夏叶在适应生境的这种时间异质性的过程中,叶片的发育可塑性起着十分重要的作用。

7种常绿阔叶植物的越冬叶和越夏叶都表现为旱生叶的特征:叶片较厚,叶肉组织分化明显的异面叶,具发达的角质膜,上表皮细胞较厚,且排列紧密,无气孔器分布,下表皮细胞较小,形态不规则,气孔

器密度较大;栅栏组织细胞层数较多,排列紧密,海绵组织细胞排列极其疏松,并形成通气组织;机械组织发达;在一些类群的叶肉组织及中脉薄壁组织中还含有一定数目的含晶细胞或异染色细胞。但由于长期适应冬、夏季截然不同的生境条件,不同类型的叶片在叶片厚度及解剖结构等方面存在一定的差异:常绿阔叶植物越冬叶具发达角质膜,厚的叶片和栅栏组织,气孔密度相对较少,输导组织相对不发达。而越夏叶的角质膜,叶片和栅栏组织相对较薄,气孔密度相对较大,输导组织比较发达,但差异的显著水平并不一致。

表 2 六种常绿植物中脉的解剖特征比较

Table 2 The comparison of anatomic traits of middle vein in 6 broad-leaved evergreen plants

种名 Species	LT	TX( $\mu\text{m}$ )	TP( $\mu\text{m}$ )	TX/TP	TB( $\mu\text{m}$ )	TMV( $\mu\text{m}$ )	TB/TMV	DV( $\mu\text{m}$ )
海桐	w	162.14±22.11	118.43±12.08	1.37	275.29±36.14	837.86±122.56	0.33	14.01±1.53
<i>Pittosporum tobira</i>	s	158.73±18.03	94.36±18.04**	1.68	253.09±34.18	853.27±117.62	0.30	14.84±1.90
石楠	w	194.40±40.70	74.40±13.16	2.61	264.84±6.83	1188.6±150.40	0.22	13.67±1.35
<i>Photinia emulatelindl</i>	s	206.33±31.30	82.33±13.23	2.51	288.67±40.21	1258.33±53.03	0.23	15.90±2.80*
栀子	w	464.20±74.01	42.20±16.56	11.00	504.60±77.82	1149.40±171.37	0.44	14.96±1.68
<i>Gardenia jasminoides</i>	s	442.20±71.45	43.40±6.96	10.19	537.80±60.45	1266.60±104.34	0.43	14.23±1.68
女贞	w	134.44±21.04	116.67±28.34	1.15	251.11±43.05	701.33±125.26	0.36	15.79±2.42
<i>Ligustrum lucidum</i>	s	112.2±14.22**	73.6±13.49**	1.52	185.20±16.74**	752.20±65.11	0.25	15.45±1.82
冬青卫矛	w	98.93±21.14	43.20±9.53	2.29	142.13±24.89	689.87±71.14	0.21	9.43±1.12
<i>Euonymus fortunei</i>	s	135.27±26.69**	43.64±10.39	3.09	178.91±27.12**	889.09±132.76**	0.20	10.66±0.72**
桂花	w	290.22±55.96	52.44±9.48	5.54	342.67±61.56	847.11±181.24	0.41	14.09±1.22
<i>Osmanthus fragrans</i>	s	332.00±50.55	42.00±4.38*	7.91	374.00±53.96	840.00±113.68	0.43	15.30±0.83*

注: TX=木质部厚度 Thickness of xylem; TP=韧皮部厚度 Thickness of phloem; DV=导管直径 Diameter of vessels; TMV=中肋厚 Thickness of middle vein; TB=维管束厚度 Thickness of bundle; w=越冬叶 Winter leaves; s=越夏叶 Summer leaves.

费松林等(1999)指出,叶片总厚度与寒冷指数呈正相关。寒冷一般能使叶片增厚 1.5 倍,主要是靠叶肉细胞体积增大,而不是增加细胞层数(Hunner 等,1981)。王勋陵等(1989)也认为高山植物叶片一般地缩小且增厚,表皮外有较为发达的角质膜,这种增厚的角质膜对增强高山植物的御寒性也有一定的作用。另外,叶片的角质膜增厚,栅栏组织层数增加,叶片的厚度增加又被认为是一种旱生结构(刘家琼等,1982)。栅栏组织和角质膜的增厚,气孔密度的减少以及相对不发达的输导组织都有利于防止水分的过分蒸腾,从而保持正常的代谢。因此,可以认为越冬叶对低温的适应与旱生结构有关。在冬季,低温阻碍了常绿植物对水分的吸收,使植物呈现出“生理性干旱”的状态(王为义,1985),这些“旱生”结构,不仅有利于减少水分丧失,还可避免因水分蒸腾而导致的叶片热量的大量散失,对越冬叶片抵御低温侵害具有积极的意义。

气孔是植物体与大气交换气体的通道与门户,同时直接影响着植物体的蒸腾作用(费松林等,1999)。气孔的密度、大小主要受光照、温度和降水的影响,随着光照和温度的增加,气孔密度增加(Carpenter,1975;Strobel,1984)。而气孔密度增加不仅有利于加快叶肉组织与外界的气体交换,提高光合效率,还能通过提高蒸腾速率加速植物体对水分的运输和降低叶片温度。可见,越夏叶气孔密度的增加是植物对夏季高温、光照强度大等生境条件的一种主动适应。

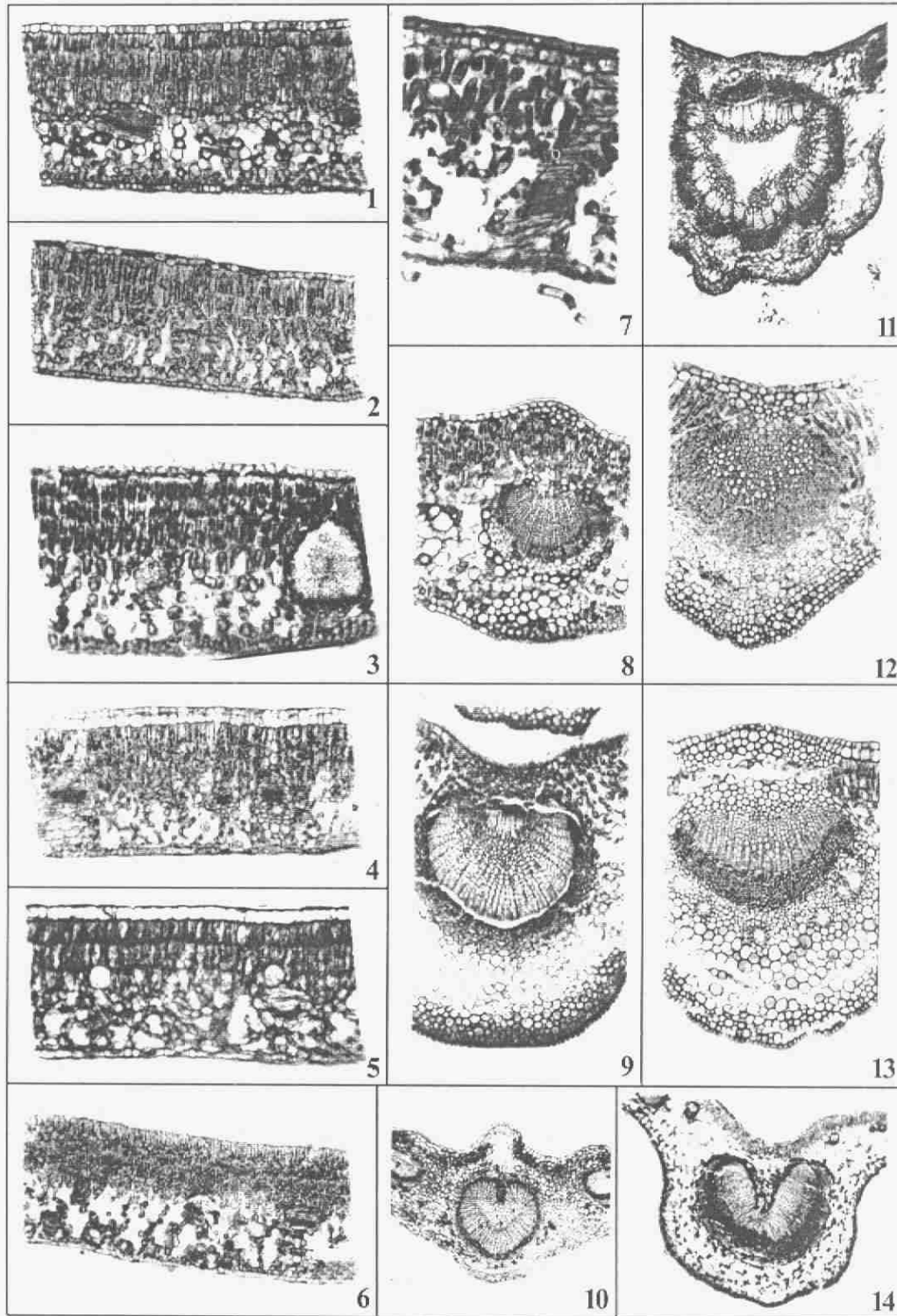
叶脉在叶片中起着支持和输导作用,中脉及其维管束的发达程度直接决定水分的输导效率。对于越夏叶来说,发达的木质部有利于提高水分的输导效率,可起到补偿叶片失水的作用,但对越冬叶而言,叶肉组织含水量的增加则意味着抗寒性的下降。因此,在本文研究的几种常绿阔叶植物中,除女贞外,越夏叶的中脉及其输导组织与越冬叶相比有增

加趋势,其中以冬青卫矛最为显著。贺金生等(1994)也发现,高山栎组植物叶片中脉的导管平均直径随海拔升高(温度降低)而减小。女贞越冬叶的木质部厚度、韧皮部厚度、维管束厚度等均显著大于越夏叶,其原因尚不清楚,但从2003年2月中旬的一次低温天气导致的受害情况看,恰恰是女贞叶受到冻害,而其它植物却安然无恙。因此,可以推测发达的输导组织对叶片抵御低温不利。

综上所述,常绿阔叶植物越冬叶对低温适应的解剖机制,在很大程度上与旱生结构是一致的,这是由保水和保温密切相关的物理学效应所决定的。

### 参考文献:

- 王勋陵,王静. 1989. 植物形态结构与环境[M]. 兰州: 兰州大学出版社.
- Axelrod DI. 1975. Evolution and biogeography of Madro Tethyansclerophyll vegetation[J]. *Ann Gar Bot (Missouri)*, **62**: 280—334.
- Banks HP. 1981. Time of appearance of some plant bicharacters during Siluro Devonian time[J]. *Can J Bot*, **59**: 1 292—1 296.
- Bongers F, Popma J. 1990. Leaf characteristics of the tropical rainforest flora of lostuxtlas, Mexico[J]. *Bot Gaz*, **151**: 354—365.
- 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 Eco Sin(生态学报)*, **19**(6): 844—849.
- Cai YL(蔡永立), Da LJ(达良俊). 2002. Leaf ecological anatomy of six evergreen species of Fagaceae in the eastern subtropical area of China(亚热带东部壳斗科6种常绿植物叶的生态解剖)[J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, **8**(5): 460—466.
- Carpenter SB, Smith NB. 1975. Stomatal distribution and size in southern Appalachian hard woods[J]. *Can J Bot*, **53**: 1 153—1 156.
- De Lillis M. 1991. An Ecomorphological Study of the Evergreen Leaf [M]. Germany: Braun Blanquetia, Camerino Bailleul, 1—127.
- Fei SL(费松林), Fang JY(方精云), Fan YJ(樊拥军), et al. 1999. Anatomical characteristics of leaves and woods of *Fagus lucida* and their relationship to ecological factors in Mountain Fanjing-shan, Guizhou, China(贵州梵净山亮叶水青冈叶片和木材的解剖学特征及其与生态因子的关系)[J]. *Acta Botanica Sinica(植物学报)*, **41**(9): 1 002—1 009.
- Grubb PJ. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition[J]. *Ann Rev Ecol Syst*, **8**: 83—107.
- He JS(贺金生), Chen WL(陈伟烈), Wang XL(王勋陵). 1994. Morphological and anatomical features of *Quercus* section *Suber* and its adaptation to the ecological environment(高山栎叶的形态结构及其与生态环境的关系)[J]. *Acta Phytoeco Sin(植物生态学报)*, **18**: 219—227.
- Hunner NPA, Palta JP, Li PH, et al. 1981. Anatomical changes in leaves of *Pumarye* in response to growth at cold-hardening temperature[J]. *Bot Gaz*, **142**: 55—62.
- Hickey LJ. 1984. Changes in the Angiosperm Flora Across the Cretaceous Tertiary Boundary[M]. In: Bergren WA, van Couvering JA (eds). *Catastrophes and Earth History*. Princeton: Princeton University Press.
- Jackson LWR. 1967. Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species[J]. *Ecology*, **48**: 498—499.
- Liu JQ(刘家琼), Qiu MX(邱明新). 1982. Ecophysiological and anatomical study on *Ammopiptanthus mongolicus*(我国荒漠特有的常绿植物——沙冬青的生态生理及解剖学特征)[J]. *Acta Bot Sin(植物学报)*, **24**: 568—574.
- Oppenheimer HR. 1960. Adaptation to Drought; Xerophytism. *Arid Zones Res X V: Plant Warter Relationships in Arid and semi arid conditions*[M]. Paris: Unesco, 105—138.
- Pignatti S. 1979. Evolutionary trends in Mediterranean flora and vegetation[J]. *Vegetatio*, **37**(3): 175—185.
- Stewart WN. 1983. Paleobotany and the Evolutionary of Plants[M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Strobel DM, Sundberg MD. 1984. Stomatal density in leaves of various xerophytes preliminary studies[J]. *J Minn Acad Sci*, **49**: 7—9.
- Wang WY(王为义). 1985. A Study on the structural particularity of alpine plants(高山植物结构特异性研究)[J]. *Acta Biol Plateau(高原生物学集刊)*, **4**: 19—32.
- Wang XL(王勋陵). 1993. The development of plant ecological anatomy[J]. *Chin Bull Bot(植物学通报)*, **10**(Suppl.): 1—10.
- Wylie RB. 1951. Principles of foliar organization shown by sun shade leaves from ten species of deciduous dicotyledon trees(植物生态解剖学研究进展)[J]. *Amer J Bot*, **38**: 355—361.
- Zhang XY(张新英). 1993. The history and development of wood anatomy(木材解剖学的历史及发展)[J]. *Chin Bull Bot(植物学通报)*, **10**(Suppl.): 52—62.
- Zhang XY, Baas P, Zandee M. 1992. Wood structure of the Rosaceae in relation to ecology, habit and phenology[J]. *IAWA Bull n. s.*, **13**: 307—349.



1~7. 叶片 Leaf blade. 1. 冬青卫矛 *Euonymus fortunei* Thunb. ( $\times 33$ ); 2. 女贞 *Ligustrum lucidum* Ait. ( $\times 33$ ); 3. 桂花 *Osmanthus fragrans* Lour. ( $\times 66$ ); 4. 海桐 *Pittosporum tobira* (Thunb.) Ait. ( $\times 33$ ); 5. 栀子 *Gardenia jasminoides* Ellis ( $\times 66$ ); 6. 石楠 *Photinia semulatelindl* Lindl. ( $\times 33$ ); 7. 荷花玉兰 *Magnolia grandiflora* L. ( $\times 66$ ); 8~14. 中脉 (middle vein). 8. 冬青卫矛 *Euonymus fortunei* Thunb. ( $\times 33$ ); 9. 桂花 *Osmanthus fragrans* Lour. ( $\times 33$ ); 10. 栀子 *Gardenia jasminoides* Ellis ( $\times 13.2$ ); 11. 荷花玉兰 *Magnolia grandiflora* L. ( $\times 13.2$ ); 12. 女贞 *Ligustrum lucidum* Ait. ( $\times 33$ ); 13. 海桐 *Pittosporum tobira* Thunb. Ait. ( $\times 33$ ); 14. 石楠 *Photinia semulatelindl* Lindl. ( $\times 13.2$ ).