

三种红树植物叶片的比较解剖学研究

李元跃, 林鹏*

(厦门大学生命科学院, 湿地与生态工程研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 研究了采自福建九龙江口的3种红树植物, 秋茄(*Kandelia candel*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)和红海榄(*Rhizophora stylosa*)的叶片结构并探讨了其生态学意义。结果表明, 这3种红树植物叶片都具有适应海生环境的结构, 较厚的角质层, 表皮之内有内皮层, 内皮层属贮水组织; 气孔都分布在下表皮, 下陷, 并有大的孔下室; 中脉有发达的维管束, 其导管粗大。从叶片的横切面来看, 秋茄叶片具有对称的结构, 为等面叶; 木榄和红海榄的叶片结构不对称, 为异面叶。3种植物叶内都含有较丰富的单宁, 以秋茄最高, 红海榄次之, 木榄最少。这些结构差异可为物种鉴定提供依据。

关键词: 红树植物; 叶片结构; 比较解剖; 秋茄; 木榄; 红海榄

中图分类号: Q944.56

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2006)04-0301-06

Anatomical Characteristics of Leaves in Three Mangrove Species

LI Yuan-yue, LIN Peng*

(School of Life Science, Research Centre for Wetland and Ecological Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The leaves of three mangrove species, *Kandelia candel* (L.) Druce, *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Blume and *Rhizophora stylosa* Griff., collected from the access to Jiulong River, Fujian, were studied anatomically. Results showed that the three species were adapt to aquatic environment in structure: having thicker cuticle, epidermis with hypodermis as aquiferous tissue, stomata sunk in and distributed in lower epidermis, with large substomatal chambers, developed vascular bundles with enlarged vessels in mid rib. Cross section views indicated that leaves of *K. candel* was isolateral with symmetric structure, whereas those of *B. gymnorhiza* and *R. stylosa* were dorsi-ventral and asymmetric. Leaves of all the 3 species were abundant in tannin that was richest in *K. candel*, followed by *R. stylosa* and *B. gymnorhiza*. The differences in leaf structure could help specific identification in taxonomy.

Key words: Mangrove; Leaf structure; Comparative anatomy; *Kandelia candel*; *Bruguiera gymnorhiza*; *Rhizophora stylosa*

红树林是生长在热带和亚热带海滩的木本植物群落, 通常生长在港湾河口地区的淤泥质滩涂上, 是滨海湿地特有的森林类型。红树林生态系统处于海洋与陆地的动态交界面, 周期性遭受海水浸淹的潮间带环境, 使其结构和功能上具有既不同于陆地生态系统也不同于海洋生态系统的特性, 作为独特的海陆边缘生态系统在自然生态平衡中起着

特殊的作用。

红树科植物是红树植物的重要组成类型, Schimpe^[1]、Chapman^[2,3]和林鹏^[4,5]等对红树林的植物生态学、植物生理学、植物形态学等有较详细研究; Walsh^[6]、林鹏^[7]、邓传远等^[8]对红树植物的木材和根的解剖特征也进行了研究; Stace^[9]研究了红树科4属间叶片的不同解剖特征; Rao^[10,11]研究了 *Aegiceras*

收稿日期: 2006-01-04 接受日期: 2006-05-08

基金项目: 教育部博士点基金项目(20030384007); 国家自然科学基金项目(40276028)资助

* 通讯作者 Corresponding author

和 *Scaevola* 的叶片和石细胞的特征, 随后 Rao 和 Hugh^[12]研究了生长在新加坡的 16 种红树植物的叶片结构及其生态适应性; 除红树植物外, Waisel^[13]和 Rao^[11,14]对其他一些海滨植物叶片的含水量、表皮毛和石细胞的特征也做了详细的描述。

本文主要对红树科的 3 种红树植物—秋茄 (*Kandelia candel*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 和红海榄 (*Rhizophora stylosa*) 的叶片结构进行研究, 探讨其生态学意义, 为红树科植物的分类、系统进化和移栽提供依据。

1 材料和方法

秋茄 (*Kandelia candel*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 和红海榄 (*Rhizophora stylosa*) 的叶片均取自福建九龙江口龙海市浮宫镇草埔头村 (24°29' N, 117°55' E), 选取正常植株上的完整成熟叶片 (顶芽下第三对叶片) 10 片。

用火棉胶溶液直接涂抹于 3 种植物的叶片, 取其胶膜装片观察, 并用 100 目网格测微尺计算单位面积的气孔数和测量气孔的大小。

剪取成熟叶片中脉两侧约 5 mm×5 mm 的小块, 用 FAA 固定, 系列酒精脱水, 石蜡包埋, Leica-2235 切片机制片, 厚度 8–10 μm, 番红-固绿对染, 中性树胶封片, 制成永久切片, 显微测微尺测量, OLYMPUS 显微镜观察拍片。切片经番红-固绿对染后, 部分细胞中具有被染成红褐色的小体, 红褐色的小体表明了单宁的存在, 因单宁细胞中的单宁化合物可氧化成褐色和红褐色的鞣酐^[15]。每个实验数据各为 15 个数值的平均值。

叶片面积的测量采用剪纸法计算; 叶片的含水量以烘干法, 计算其水分占叶片鲜重的百分比。

用 SPSS 软件进行方差分析。

2 结果

2.1 叶片的形态特征

秋茄的上下表皮细胞外的角质层较厚, 各具有 2 层的内皮层细胞 (图版 I: 1, 2), 第一层细胞较小, 不含单宁, 第二层细胞较大, 含有大量的单宁 (图版 I: 3), 栅栏组织分化为上下栅栏组织两部分, 中间是海绵组织, 栅栏组织细胞排列较紧密, 且上栅栏组织比下栅栏组织厚, 海绵组织排列疏松, 无规则,

在栅栏组织和海绵组织细胞中均含有单宁 (图版 I: 3); 气孔只位于下表皮, 气孔下陷, 气孔下有大的孔下室, 并与海绵组织的空隙连在一起组成气道; 中脉维管束发达, 木质部导管多列, 径向放射排列, 呈类圆形 (图版 I: 4)。

木榄的上下表皮细胞外具有很厚的角质层, 且表皮细胞外壁加厚, 上表皮下具有一层内皮层, 不具有下内皮层, 在上表皮细胞和内皮层中具有大量的紫红色的单宁 (图版 I: 5, 6), 栅栏组织排列紧密, 海绵组织排列疏松, 也含有单宁 (图版 I: 7), 靠近下表皮的海绵组织排列较紧密和有规律, 气孔仅分布在下表皮, 气孔也下陷, 并有大的孔下室 (图版 I: 8); 中脉有一个大的维管束, 维管束不发达, 呈新月形或半圆形 (图版 I: 9)。

红海榄的上下表皮细胞外的角质层也较厚, 上下表皮细胞较小, 细胞外壁不见加厚 (图版 I: 10, 11), 上表皮下具 5–7 层的内皮层细胞, 且第一层含有大量的单宁, 逐层减少, 且细胞由小到大, 并嵌入栅栏组织, 使栅栏组织成山峰状排列 (图版 I: 10–12), 海绵组织排列疏松, 不规则, 具有大的细胞通道, 具一层下内皮层, 且含单宁 (图版 I: 13), 气孔也只位于下表皮并下陷, 气孔下也有大的孔下室 (图版 I: 10); 中脉维管束略发达, 木质部导管径向放射排列, 且木质部偏下表皮方向发达, 近上表皮方向不发达, 呈横向长圆形 (图版 I: 14)。

2.2 叶片的形态数量性状

3 种植物叶片的形态特征数据见表 1.2。方差分析表明, 3 种植物叶的组织结构和指标间的数量都存在显著差异 ($P < 0.01$)。

3 种植物叶片横切面上, 都具有上内皮层, 其中红海榄最厚, 有 4–7 层细胞, 占叶片总厚度的 34.2%; 秋茄次之, 有 1–2 层细胞, 占叶片总厚度的 7.4%; 木榄最薄, 只有一层细胞, 占叶片总厚度的 5.3%。但秋茄和红海榄同时具有下内皮层, 分别占叶片厚度的 5.4% 和 4.1%, 且秋茄在下内皮层的内侧还分化出下栅栏组织, 占 13.5%。因此, 从叶片的横切面上看, 只有秋茄具有对称的结构, 为等面叶, 而木榄和红海榄为异面叶。

秋茄成熟叶片厚度最大, 达 666.60 μm, 红海榄次之, 为 596.50 μm, 木榄最小, 为 582.73 μm。叶片厚度排列顺序与它们的维管束发达程度 (秋茄 > 红

海榄 > 木榄)是一致的,说明维管束的发达程度与叶片厚度有关,这是由于维管束越发达,水分及营养输送则越丰富,细胞分裂和生长越旺盛,叶片则越厚。叶片面积大小依次为红海榄 (37.5 cm²)、木榄 (35.0 cm²)、秋茄 (24.0 cm²),可见叶片的面积和厚度不存在正相关关系。

木榄叶片的含水量最高,为 72.1%,红海榄次

之,为 70.5%,秋茄最小,为 62.8%,3 种植物的含水量和叶片的内皮层厚度无关。3 种植物都含有较多的单宁,从显色效应看,3 种植物的单宁含量是秋茄 > 红海榄 > 木榄,这和林鹏^[10]的研究结果一致。3 种植物的气孔都分布在下表皮,气孔密度较高,气孔密度木榄 > 秋茄 > 红海榄,其气孔面积大小与气孔密度成反比。

表 1 3 种红树植物叶片各组织的厚度和层数
Table 1 Thickness and number of tissue layers in leaves of mangrove plants

		秋茄 <i>Kandelia candel</i>	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>
上角质层 Upper cuticle	厚度 Thickness (μm)	6.87 ±0.46 (1.0)	13.17±0.93 (2.3)	6.10±0.68 (1.0)
上表皮 Upper epidermis	厚度 Thickness (μm)	13.53 ±1.50 (2.0)	21.53±2.10 (3.7)	12.73±1.32 (2.1)
上内皮层 Upper hypodermis	厚度 Thickness (μm)	49.60±6.91 (7.4)	31.13 ±4.78 (5.3)	203.80±29.41 (34.2)
	层数 No. of layers	1-2	1	4-7
上栅栏组织 Upper palisade tissue	厚度 Thickness (μm)	158.53±14.91 (23.8)	174.90±21.4 (30.0)	110.00±32.27 (18.4)
	层数 No. of layers	4-5	4-9	2-7
海绵组织 Spongy tissue	厚度 Thickness (μm)	294.00±14.13 (44.1)	320.40±44.29 (55.0)	219.13±28.58 (36.8)
	层数 No. of layers	13-16	15-19	10-15
下栅栏组织 Lower palisade tissue	厚度 Thickness (μm)	89.53±5.23 (13.5)	—	—
	层数 No. of layers	2-3		
下内皮层 Lower hypodermis	厚度 Thickness (μm)	35.87 ±1.38 (5.4)	—	24.60±2.11 (4.1)
	层数 No. of layers	2		1
下表皮 Lower epidermis	厚度 Thickness (μm)	14.07±1.15 (2.1)	15.70 ±2.32 (2.7)	14.40±3.01 (2.4)
下角质层 Lower cuticle	厚度 Thickness (μm)	4.60±0.56 (0.7)	5.90±1.16 (1.0)	5.73±1.18 (1.0)
叶片 Leaf	厚度 Thickness (μm)	666.60	582.73	596.5

括号中数字指该组织的厚度占叶片厚度的百分率。Values in parentheses indicate percentage of tissue thickness to total leaf thickness.

表 2 3 种红树植物叶片面积、含水量、气孔密度及气孔大小
Table 2 Leaf area, moisture, stomatal density and size in 3 plants

植物 Species	叶片面积 Leaf area (cm ²)	含水量 Water content (%)	气孔密度 No. of stomata per mm ²	气孔长度×宽度 Mean length× width (μm)
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	24.0±5.8	62.8	195.7±32.6	36.1 ±3.9×17.1±1.9
木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	35.0±7.1	72.1	250.7±26.5	30.8 ±2.4×17.8±1.6
红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	37.5±4.6	70.5	104.1 ±29.9	44.6 ±3.5×29.1±2.1

3 讨论

红树植物通常分布于热带海岸潮间带,土壤盐渍化,通气不良,富有机质的淤泥海滩,受着潮汐的影响。为适应特殊的生境,红树植物的营养器官显示出与陆生植物不同的形态、结构与功能。从 3 种红树科植物的叶片研究可以看出,红树科海生植物作为红树植物的重要组成类型,其形态结构和海生环境相适应。

3 种红树植物叶片的解剖结构说明,红树植物叶片为适应环境,主要是出现了较厚的角质层和贮水组织等旱生及抗盐结构,这和 Rao 和 Hugh^[12]的研究是一致的。另一方面,红树植物的厚角质层及内皮层的形成与其水生环境关系密切。叶片结构中具有厚的角质层也是红树植物区别于其他中生植物的重要特征^[17,18]。在红树植物的生态生理学研究中,叶片结构中的贮水组织对于植物的蒸腾作用和调节水分平衡的功能具有重要意义^[6,13],因此,内皮层的结构对于红树植物适应海滩环境具有重要的意义。

黄桂玲和黄庆昌^[19]的研究表明,秋茄叶片具有木栓瘤结构,红海榄叶片有皮孔排水器。本研究没有发现类似的结构,说明叶片是否有木栓瘤和排水器的结构还和植物本身生长的环境有关。

从 3 种红树植物的叶片横切面上看,三者的叶片解剖结构特征具有显著的差异,只有秋茄同时具有上下内皮层和上下栅栏组织,具有对称的结构,为等面叶;红海榄只有上下内皮层和上栅栏组织,没有下栅栏组织,木榄则只有上内皮层和上栅栏组织,没有下内皮层和下栅栏组织,因此红海榄和木榄同为异面叶。以上结构特征可作为种间鉴别依据。

Powman 认为,美洲红树 (*Rhizophora mangle*) 叶的内皮层的数目与土壤水分中盐的含量有关^[20],而其他学者认为可能是一个年龄现象^[2]。本实验表明,内皮层数目和红树植物种类也有一定关系。

参考文献

- [1] Schimper A F W. Die Indo-Malaysche Strandflora [J]. Bot Mit Trop, 1891, 3:1-204.
- [2] Chapman V J. Mangrove Vegetation [M]. Heidelberg: Strauss & Cramer Gmbh, 1975. 10-301.
- [3] Chapman V J. Wet coastal formations of Indo-Malesia and Papua New Guinea [A]. In: Chapman V J. Ecosystems of the World 1: Wet Coastal Ecosystems [M]. Amsterdam: Elsevier, 1977. 261-270.

- [4] Lin P, Chen R H. Study on the mangrove ecosystem of the Jiulongjiang River Estuary in China. III. Accumulation and biological cycle of calcium and magnesium in *Kandelia candel* Community [J]. Acta Ocean Sin, 1986, 5(3):447-455.
- [5] Lin P, Wang W Q. Changes in the leaf composition, leaf mass and leaf area during leaf senescence in three species of mangroves [J]. Ecol Engin, 2001, 16(3):415-424.
- [6] Walsh G E. Mangroves: A review [A]. In: Reimold R J. Ecology of Halophytes [M]. New York: Acad Press, 1974. 51-74.
- [7] Lin P(林鹏), Lin Y M(林益明), Lin J H(林建辉). The ecological secondary xylem anatomy of the mangrove *Aegiceras corniculatum* and *Sonneratia caseolaris* [J]. Sci Sil Sin(林业科学), 2000, 36(2): 125-128.(in Chinese)
- [8] Deng C Y(邓传远), Lin P(林鹏), Li Z B(黎中宝). Study on comparative anatomy of secondary xylem in six *Sonneratia* species of mangrove [J]. J Xiamen Univ (Nat Sci) (厦门大学学报自然科学版), 2001, 40(5):1100-1106.(in Chinese)
- [9] Stace C A. The use of epidermal characters in phylogenetic considerations [J]. New Phytol, 1966, 65:304-318.
- [10] Rao A N. Morphology of foliar sclereids in *Aegiceras corniculatum* [J]. Israel J Bot, 1971, 20:124-132.
- [11] Rao A N. Sclereid variations in *Scaevola frutescens* from two different habitats [J]. Flora, 1977, 166:111-116.
- [12] Rao A N, Tan H. Leaf structure and its ecological significance in certain mangrove plants [A]. In: Soepadmo E, Rao AN, Macintosh D J. Mangrove Environment Research and Management [C]. Kuala Lumpur: Organised and sponsored by university of Malaya and Unesco, 1984.183-194.
- [13] Waisel Y. Biology of Halophytes [M]. New York: Acad Press, 1972. 16-28.
- [14] Rao A N. Sclereid variations in *Scaevola frutescens* from two different habitats [J]. Flora, 1977, 166:111-116.
- [15] 伊稍 K. 李正理译. 种子植物解剖学 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1973. 158.
- [16] 林鹏. 红树林 [M]. 北京: 海洋出版社, 1984. 26-34.
- [17] Sharma G K, Dunn D B. Effect of environment on the cuticular features in *Kalanchoe fedchenkoi* [J]. Bull Torrey Bot Club, 1968, 95:464-473.
- [18] Sharma G K, Dunn D B. Environmental modifications of cell differentiations of leaf surface traits in *Datura stramonium* [J]. Can J Bot, 1969, 47:1211-1216.
- [19] Huang G L(黄桂玲), Huang Q C(黄庆昌). The structure of vegetative organs and ecological adaptation of mangrove plants in China I [J]. Ecol Sci(生态科学), 1989, (1):100-105.(in Chinese)
- [20] Powman. 张宏达译. 热带雨林 [M]. 北京: 科学出版社, 1976. 334-349.

图版说明

图版 I

Cu: 角质层; Ep: 表皮; Hy: 内皮层; Pt: 栅栏组织; St: 海绵组

织; S: 气孔。

1. 秋茄的叶片横切面; ×100
2. 秋茄的叶片横切面(描);
3. 秋茄叶片的上表皮、上内皮层及栅栏组织; ×400
4. 秋茄叶片的中脉维管束; ×100
5. 木榄的叶片横切面; ×100
6. 木榄的叶片横切面(描);
7. 木榄叶片的上表皮、上内皮层及栅栏组织; ×400
8. 木榄叶片下表皮的气孔; ×1 000
9. 木榄叶片的中脉维管束; ×100
10. 红海榄的叶片横切面; ×100
11. 红海榄的叶片横切面(描);
12. 红海榄叶片的上表皮及上内皮层; ×400
13. 红海榄叶片的下表皮、下内皮层及海绵组织; ×400
14. 红海榄叶片的中脉维管束; ×100

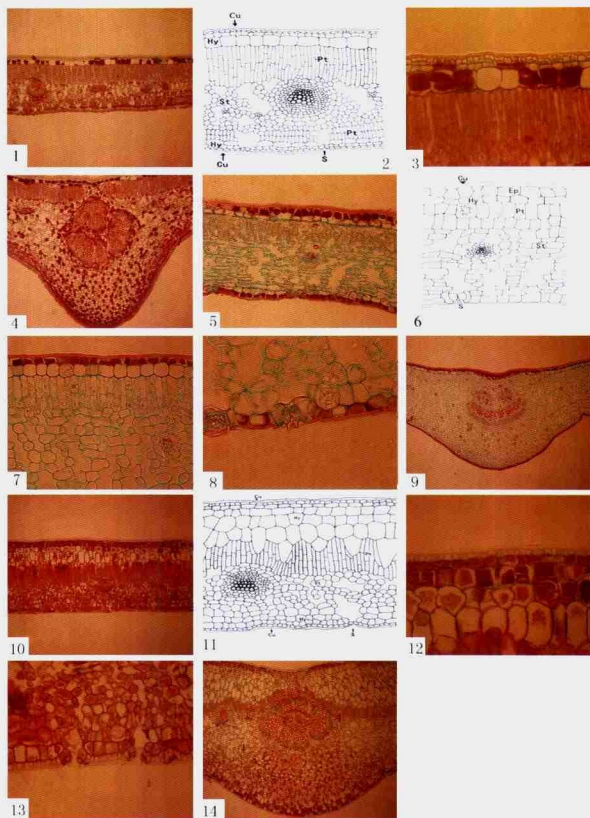
Explanation of plate

Plate I

Cu: Cuticle; Ep: Epidermis; Hy: Hypodermis; Pt: Palisade tissue;

St: Spongy tissue; S: Stoma.

1. Transverse section of the leaf of *Kandelia candel*; ×100
2. Transverse sections of the leaf of *Kandelia candel* (drawing);
3. Upper epidermis upper hypodermis and palisade tissue of the leaf of *Kandelia candel*; ×400;
4. A vascular bundle in midrib of *Kandelia candel*; ×100
5. Transverse section of the leaf of *Bruguiera gymnorrhiza*; ×100
6. Transverse section of the leaf of *Bruguiera gymnorrhiza* (drawing);
7. Upper epidermis, upper hypodermis and palisade tissue of the leaf of *Bruguiera gymnorrhiza*; ×400
8. Stomata in lower epidermis of the leaf of *Bruguiera gymnorrhiza*; ×1 000
9. A vascular bundle in midrib of *Bruguiera gymnorrhiza*; ×100
10. Transverse section of the leaf of *Rhizophora stylosa*; ×100
11. Transverse section of the leaf of *Rhizophora stylosa* (drawing);
12. Upper epidermis and upper hypodermis of the leaf of *Rhizophora stylosa*; ×400
13. Lower epidermis. Lower hypodermis and spongy tissue of the leaf of *Rhizophora stylosa*; ×400
14. A vascular bundle in midrib of *Rhizophora stylosa*. ×100



李元跃等: 图版 I

LI Yuan-yue et al.: Plate I