

海桑和无瓣海桑叶片结构的比较研究

陈健辉^{1,2}, 缪绅裕^{1,2}, 黄丽宜^{1,2}, 王厚麟^{1,2}

(1. 广州大学生命科学学院, 广州 510006; 2. 广州大学生命科学学院, 华南生物多样性保护与利用实验室, 广州 510006)

摘要: 为了探讨外来植物无瓣海桑的潜在危害, 采用石蜡切片法对海桑 (*Sonneratia caseolaris* Engl.)、无瓣海桑 (*S. apetala* B. Ham) 叶片进行了解剖学研究。实验结果显示, 两种植物的叶片均为等面叶; 中脉维管束为周韧维管束; 具 4 级侧脉, 第 1 级侧脉为半周韧维管束; 成熟叶片叶肉组织具发达的贮水薄壁细胞, 具含单宁成分的薄壁细胞, 具晶体细胞和石细胞; 盐腺由表皮细胞发育而成, 可分为 3 个发育阶段。作为外来植物的无瓣海桑, 其中脉维管束具微弱形成层, 叶脉维管组织比海桑更发达; 贮藏组织中含单宁细胞、晶体细胞较多; 栅栏组织含叶绿体多于海桑等特点, 使其比海桑对环境具有更大的适应性。因此, 无瓣海桑有可能成为入侵植物。

关键词: 石蜡切片法; 海桑; 无瓣海桑; 外来植物; 叶片结构

中图分类号: Q944. 5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2015)01-0001-08

Comparative Study on the Leaf Structures of *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala*

CHEN Jian-Hui^{1,2}, MIAO Shen-Yu^{1,2}, HUANG Li-Yi^{1,2}, WANG Hou-Lin^{1,2}

(1. College of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Laboratory for Conserving and Utilizing Biodiversity of South China, College of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This study investigated the potential endanger of alien plant *Sonneratia apetala*. The leaf structures of *S. caseolaris* and *S. apetala* were studied by paraffin sectioning under a light microscope. Results showed that both *S. caseolaris* and *S. apetala* had isobilateral leaves; the midrib vascular bundle was amphicribal; the leaves had four veins, with the primary vein having a semi-amphicribal vascular bundle; the mesophyll of the mature leaves had aqueous tissues, crystal cells, tannin cells and stone cells; the salt glands were developed from the epidermis cells of the leaves, experiencing three periods. As an alien plant species, compared with *S. caseolaris*, *S. apetala* had a faint cambium, better-developed vascular tissues, more crystal and tannin cells in the storage tissues, and more chloroplasts in the palisade. Furthermore, *S. apetala* had obviously better ecological adaptability than *S. caseolaris*. Thus, *S. apetala* may become an invasive plant.

Key words: Paraffin sectioning; *Sonneratia caseolaris*; *Sonneratia apetala*; Alien plant; Leaf structure

海桑科 (Sonneratiaceae) 海桑属 (*Sonneratia* Linn. f.) 的海桑 (*S. caseolaris* Engl.) 和无瓣海桑 (*S. apetala* B. Ham) 作为红树林中的速生丰产乔木, 是目前海岸防护林中的主要造林树种。随着海桑、无瓣海桑的开花结实, 其已成为红树林群落的

优势种群并以上层和中层乔木的形式存在^[1]。无瓣海桑之所以能在盐渍环境中生活, 主要依靠盐腺将体内过多的盐分排出体外, 有效地降低体内盐分的浓度, 较好地适应盐渍环境^[2,3]。自 1985 年我国海南东寨港红树林自然保护区引进并试种无瓣海

收稿日期: 2014-03-05, 退修日期: 2014-04-15。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31270526); 广州市教育科学“十二五”规划项目 (12A008)。

作者简介: 陈健辉 (1966-), 男, 副教授, 研究方向为植物形态和植物发育 (E-mail: gzhubchjh@163.com)。

桑以来,该物种在中国沿海形成疯长势头,对本地红树林植物造成了一定的影响^[4,5]。海桑属植物以盐生和胎生特性而独树一帜,并且具有拒盐、聚盐、泌盐的特性,从生理上适应海洋河口生态系统^[6]。

已有学者从宏观和微观上对海桑属不同植物的叶、种子、木材的结构形态进行了大量的研究,例如:陈长平等^[2]研究了盐度对无瓣海桑幼苗的影响;陈泽濂^[7]对海桑属植物解剖结构进行了研究;邓传远等^[8,9]先后对海桑木材的结构和系统演化进行了研究;李元跃等^[10]对红树植物的生态解剖学进行了综述;廖岩等^[11]研究了盐胁迫对无瓣海桑的影响;吴佃等^[12]对海桑属植物叶片结构进行了研究;陈健辉等^[13]对无瓣海桑叶片结构进行了研究;王瑞江等^[14]对海桑科植物的系统进化及地理分布进行了研究;周涵韬等^[15]对海桑属植物遗传多样性和引种关系进行了研究。关于海桑属植物的主要特征已有了明确的定论与解释,但针对潜在的外来入侵植物无瓣海桑和本地种海桑叶片结构的比较研究尚未见报道。目前我国红树林主要以海桑、无瓣海桑为优势种^[1,16],对这两种植物叶片的形态发育进行系统的观察比较,特别是外来植物的叶片形态结构特点,将有助于了解潜在入侵植物对本土植物的影响。因此,我们通过对海桑、无瓣海桑叶片在不同发育阶段的形态特点进行比较研究,探讨两者在结构、生理功能上的差异,以期为我国海桑属植物的研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2012 年 5 月分别在深圳市福田区(简称福田区)和广州市南沙区湿地公园(简称南沙区),采集两种不同生境的海桑(*Sonneratia caseolaris* Engl.)和无瓣海桑(*S. apetala* B. Ham)叶片用于实验。

1.2 实验方法

切取不同生境(福田区和南沙区)、不同植株、不同发育程度的海桑、无瓣海桑叶片,分别用卡诺氏固定液固定。叶表皮解离:用 4%氢氧化钠沸水解离,1%碱性品红染色,阿拉伯树胶封固,对叶表皮装片进行观察。组织切片:采用常规石蜡切片

法制片(切片厚度 8 μm),即用爱氏苏木精整体染色,幼嫩叶片材料用 1%碱性品红酒精溶液复染,光学树胶封固,对叶片横切面切片进行观察。单宁成分的鉴定:常规石蜡切片法制片,用 1%三氯化铁染色,光学树胶封固,对叶片横切面切片进行观察。所有材料均于 Olympus 显微镜下观察并拍照。数据测量、统计、计算方法:观察不同切片 15 个视野,对每个视野中的细胞大小、比值及密度进行测量、计算,再统计其平均值。

2 观察结果

2.1 叶片的结构

2.1.1 两种植物叶片的基本结构相同

采自福田区和南沙区的两种植物叶片组成结构基本相同。观察发现,无瓣海桑、海桑的成熟叶片均由表皮、叶肉和叶脉 3 部分组成。叶片上、下表皮均有表皮细胞 1 层,外切向壁较厚、角质层发达,分布有较多气孔器和盐腺;气孔器具 4(~5)个副卫细胞,属 4(~5)细胞轮列型;盐腺由分泌细胞和收集细胞组成。叶肉的栅栏组织紧贴于上、下表皮细胞;海绵组织紧靠在栅栏组织内,胞间隙不发达;海绵组织内为具贮藏功能的、不含叶绿体的薄壁组织,且多数薄壁细胞含单宁成分;还有石细胞分布于叶肉组织中。叶脉分布在叶肉组织中,具 4 级侧脉。两种植物的叶片均属于等面叶(图版 I: 1、2)。

2.1.2 两种植物幼嫩叶片结构的共同特征

经观察,无瓣海桑、海桑幼嫩叶片的横切面上、下表皮均有一层细胞,有气孔器,但盐腺尚未分化完成。叶肉由不同形态的细胞组成:上、下表皮层内的 2~3 层细胞,排列紧密、呈长条形,为含较多叶绿体的栅栏组织;紧靠栅栏组织的一层细胞呈方形,为含较少叶绿体的海绵组织;两层海绵组织之间有 4~6 层不含叶绿体的薄壁细胞,其中多数薄壁细胞富含单宁成分。靠近上表皮的栅栏组织细胞长宽比值大于靠近下表皮的栅栏组织细胞;在上、下两部分栅栏组织中,最内一层细胞长宽比值小于其外面 1~2 层细胞。

中脉维管束为周韧维管束,维管束外面环绕着薄壁细胞形成鞘;维管束外靠近下表皮的中间几个

细胞不分化形成同化薄壁组织细胞，以此为中心对称的细胞则逐步形成同化薄壁组织细胞。除中脉外，其叶脉具有 4 级分支，第 1 级侧脉较大，维管束为半周韧维管束类型；第 2、3、4 级侧脉的维管束为外韧维管束，呈圆形；两种植物幼嫩叶片阶段第 4 级侧脉韧皮部尚未分化完成。

2.1.3 两种植物幼嫩叶片结构的区别特征

除上述相同结构外，两种植物幼嫩叶片横切面在中脉区和非中脉区的细胞构成、不同类型叶肉细胞间厚度比值等方面还具有一定的区别，具体见表 1。

2.1.4 两种植物成熟叶片结构的共同特征

观察无瓣海桑、海桑成熟叶片的横切面结构可见，均有上、下表皮细胞 1 层，细胞排列较整齐，具轮列型气孔器，盐腺发育完善；叶表皮细胞外切

向壁较厚，角质化程度高。靠近上、下表皮的栅栏组织均有 3 层细胞，含较多叶绿体；海绵组织 1 层，细胞略呈方形，胞间隙不发达，含较少叶绿体；两层海绵组织之间 4~6 层稍大于海绵组织内不含叶绿体的薄壁细胞，用三氯化铁处理后呈蓝色，表明含较多单宁成分。与幼嫩叶片相比，成熟叶片叶肉细胞的长、宽均有所增大；均可观察到石细胞、含单宁成分的异细胞、晶体细胞。此时中脉维管束已发育完成，为周韧型维管束(图版I：13、14)；4 级叶脉也发育完成(图版I：15、16)。

2.1.5 两种植物成熟叶片结构的区别特征

除上述相同结构外，两种植物成熟叶片横切面在中脉区和非中脉区的细胞构成、表皮的气孔器密度、盐腺密度、不同类型叶肉细胞间的厚度比值等方面也具有一定的区别，具体见表 2。

表 1 两种植物幼嫩叶片结构的区别特征
Table 1 Differences in leaf structures in the tender period between the two species

物种 Species	叶片结构区别 Differences in leaf structures		
	中脉区 Midvein region	非中脉区叶肉细胞 Mesophyll of non-midvein region	非中脉区石细胞 Stone cell of non-midvein region
无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	维管束具微弱形成层；薄壁组织含单宁成分的异细胞多(图版 I：3、4)	海绵组织与其内不含叶绿体的薄壁细胞层的总厚度大于上、下栅栏组织细胞层的总厚度(图版 I：5、6),两者比值为 1.31 (± 0.19) : 1.00	毛状石细胞(图版 I：7)
海桑 <i>S.caseolaris</i>	维管束未观察到形成层；薄壁组织含单宁成分的异细胞少(图版 I：8、9)	海绵组织与其内不含叶绿体的薄壁细胞层的总厚度大于上、下栅栏组织细胞层的总厚度(图版 I：10、11),两者比值为 1.29 (± 0.16) : 1.00	短石细胞(图版 I：12)

表 2 两种植物成熟叶片结构的区别特征
Table 2 Differences in leaf structures in the mature period between the two species

物种 Species	叶片结构区别 Differences in leaf structures							
	中脉区 Midvein region	上表皮细胞 Upper epidermis	下表皮细胞 Lower epidermis	叶肉薄壁细胞比值 Ratio of mesophyll parenchyma cell	叶肉薄壁细胞 Mesophyll parenchyma cell	上表皮解离 Upper epidermis dissociation	下表皮解离 Lower epidermis dissociation	气孔器 Stomatal apparatus
无瓣海桑 <i>S.apetala</i>	维管束具微弱形成层	角质层厚度为 6.2 (± 0.9)μm	角质层厚度为 5.3 (± 0.8)μm	海绵组织与其内不含叶绿体的薄壁细胞层的总厚度与上、下栅栏组织总厚度的比值为 1.24 (± 0.19) : 1.00 (图版 II：17、18)	含单宁成分的细胞多，晶体细胞多	气孔器密度为 119 (± 8) 个/mm ² 、盐腺密度 52 (± 3) 个/mm ²	气孔器密度为 132 (± 7) 个/mm ² 、盐腺密度 65 (± 7) 个/mm ² (图版 II: 19)	保卫细胞下陷于 4~5 个副卫细胞围成的空间内，副卫细胞与表皮细胞在同一平面上 (图版 II：20、21)
海桑 <i>S.caseolaris</i>	维管束无形成层	角质层厚度为 4.5 (± 0.8)μm	角质层厚度为 2.9 (± 0.7)μm	海绵组织与其内不含叶绿体的薄壁细胞层的总厚度与上、下栅栏组织总厚度的比值为 1.10 (± 0.15) : 1.00 (图版 II：22、23)	含单宁成分的细胞少，晶体细胞少	气孔器密度为 157 (± 7) 个/mm ² 、盐腺密度 124 (± 6) 个/mm ²	气孔器密度为 170 (± 7) 个/mm ² 、盐腺密度 144 (± 7) 个/mm ² (图版 II：24)	保卫细胞下陷于 4~5 个副卫细胞围成的空间内，副卫细胞稍突出于表皮细胞 (图版 II：25、26)

2.2 盐腺的结构

2.2.1 两种植物盐腺结构的共同特征

无瓣海桑、海桑的盐腺均由收集细胞、分泌细胞组成。叶片幼嫩期，均未发现有明显的盐腺结构，但发现一些具明显分化趋势的细胞；叶片成熟期则形成了完善的盐腺。腺体外包被着一层角质层，在分泌细胞和角质层之间形成腔室，腔室呈膜状、透明。两种植物的发育过程均可分为：表皮细胞分化期、分泌细胞形成期、盐腺成熟期 3 个阶段，发育特点已另文发表^[13]。

2.2.2 两种植物盐腺结构的区别特征

两种植物盐腺结构除具有上述相同特征外，在盐腺的大小、分布、分泌细胞形态等方面也存在一定的区别，具体见表 3。

3 讨论

3.1 两种植物叶形态结构特征对盐生环境的适应性

李元跃和林鹏总结了我国红树植物叶片解剖结构，认为它们具有“表皮细胞较小、气孔下陷、栅栏组织发达、中脉维管束发达”等共同特征^[10]，无瓣海桑、海桑叶片也具有这些特征。从成熟叶片解剖结构来看，这两种植物叶表皮的外切向壁较厚，且角质化程度高，能很好地控制水分蒸腾、防止水分散失，还能防御病菌或异物入侵；表皮具有较多的气孔器和盐腺，有利于多余盐分的排出，这也是它们适应高盐环境的表现；较厚的上表皮角质层，是其长期适应强光照的特化结果^[12]，无瓣海桑在这方面具有更大优势。

邓传远等^[8]对海桑属红树植物次生木质部的比较解剖学研究认为，海桑属植物存在纤维状导管分子，能较好地维持输水系统的完整性。无瓣海桑、海桑叶片内具有发达的输导组织，其叶片可获得充足水分，既能满足叶肉细胞进行光合作用又能抵抗

盐胁迫，也证明了这一点。这两种植物的维管束以周韧和半周韧维管束为主要输导结构，中脉维管束特别发达，其结构特点有利于盐分输出体外，在长期的演化过程中为适应盐生环境形成了保证水分、无机盐及有机物质在叶片中充分运输的生理特性。

李元跃和林鹏发现，气孔器也是红树植物排出盐分的一条途径，下皮结构是红树植物与陆生植物叶结构的显著差异，它的主要功能是贮水^[10]。我们对无瓣海桑、海桑叶片结构的观察中，没有发现下皮结构，但发现具有明显的贮水功能的薄壁组织细胞，且无瓣海桑更为发达；两种植物叶肉组织结构中，海绵组织与贮水组织的结构具有明显区别，其中海绵组织与栅栏组织一样含叶绿体，而不含叶绿体的贮水薄壁组织中却分布有较多含单宁成分的异细胞。

对两种植物叶片结构的比较可见，无瓣海桑主脉形成层的存在、机械组织分布更为广泛、输导组织更发达、具有抗病功能的单宁异细胞更多、角质层更发达的特征，使无瓣海桑在生长过程中比海桑具有更优越的条件^[17]。因此，无瓣海桑在速生、抗寒、防风、消浪等方面比其它红树植物具有显著优势，已成为华南沿海防护林体系工程建设中的优良树种之一^[18]。

3.2 两种植物叶片盐腺的发生与环境的关系

通过对无瓣海桑、海桑叶片解剖结构的观察发现，盐度对这两种植物的影响主要体现在生长、组织结构、体内离子水平等方面，它们的生长环境特征是土壤高度盐渍化，从而导致土壤具有较高的渗透势，迫使植物木质部必须产生很强的负压才能使水分顺利运输，两种植物发达的输导组织能够维持其正常的生理功能。有研究表明，高盐分会干扰植物体内的离子动态平衡，植物所分泌的盐类主要是 NaCl，由于细胞质的流动和非选择性离子通道

表 3 两种植物盐腺结构的区别特征
Table 3 Differences in salt gland structures between the two species

物种 Species	盐腺结构区别 Differences in salt gland	
	盐腺大小及分布 Size and distribution of salt gland	分泌细胞形态、位置 Shape, location of secretory cells
海桑 <i>S. caseolaris</i>	盐腺大。分布于上、下表皮到栅栏组织、海绵组织中，被栅栏组织、海绵组织的细胞所包围	分泌细胞呈不规则的长椭圆形，位于收集细胞顶部(图版 II：27、28)
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	盐腺小。分布于上、下表皮到栅栏组织中，极少被栅栏组织细胞、海绵组织细胞所包围	分泌细胞呈不规则的圆形，位于收集细胞顶部(图版 II：29、30)

的存在, 高盐度下植物体内会积累或多或少的盐离子^[19]。不同的红树植物具有不同的盐度适应范围, 高于或低于该盐度范围, 生长将受到抑制甚至会导致死亡^[16]; 过高或过低盐度会抑制红树植物种子萌发和幼苗生长, 并通过抑制红树植物的光合作用和减少叶片面积来减少红树植物对碳的吸收^[20]。无瓣海桑、海桑长期被海水浸淹, 土壤含盐量高, 所以盐腺在盐渍环境中对维持细胞正常生命活动具有重要作用。盐腺的功能是借助蒸腾势将侵入体内的多余水分排出体外, 但植物叶片的上、下表皮都被着 1 层角质层, 水分并不容易蒸发, 而盐腺上的角质层具有小孔, 所以水分可以透过盐腺蒸发, 从而维持体内的平衡。已有研究表明, 盐腺通过分泌离子直接控制植物体内的离子水平^[20,21]。在盐渍环境中, 无瓣海桑、海桑具有的盐腺可借助蒸腾势将体内过多的盐分排出体外, 盐腺在调节体内离子平衡、维持渗透压稳定、提高植物的耐盐性等方面发挥了重要作用。

3.3 叶片结构的差异决定了无瓣海桑比海桑对环境有更强的适应性

无瓣海桑、海桑作为目前海岸防护林中的主要造林树种, 已在我国保护区局部区域形成了自然林, 成为保护区红树林群落的优势种群; 目前人工红树林在华南沿海防护林体系中 90% 为无瓣海桑^[1]。单宁具有抗水解、抗腐烂、抑制微生物活动、防止动物危害的作用, 发达的单宁异细胞可使无瓣海桑在盐渍环境中更好地生长^[12,22]。无瓣海桑作为外来植物, 叶脉维管组织发达, 中脉有微弱的形成层、4 级叶脉结构相对发达, 使该植物在与其它物种竞争中占据优势地位; 发达的单宁异细胞使其抵抗盐胁迫的能力更强; 上表皮角质层厚、晶体细胞相对较多, 可有效减弱离子对植物的伤害。这些有利因素使无瓣海桑成为抗盐性极强的树种, 比海桑对环境有更强的适应性。

无瓣海桑生长迅速, 导致其在同一地域郁闭度增高。在高郁闭度的红树林下, 海桑幼苗存活率下降, 在极端条件下甚至不能生长^[23]。有研究表明: 单宁是酚类化合物, 是主要化感物质^[1], 无瓣海桑总酚在单宁各组分中的含量最高, 且不同发育阶段酚含量的差异不显著^[24]。本研究也证实无瓣海

桑叶片存在发达的单宁异细胞, 所以它对本地种海桑具有明显的化感效应。基于上述原因, 今后在人工红树林布局、选择树种时应合理配置、科学管理, 防止无瓣海桑成为入侵植物^[25]。

参考文献:

- [1] 李玫, 廖宝文. 无瓣海桑的引种及生态影响[J]. 防护林科技, 2008(3): 100-102.
- [2] 陈长平, 王文卿, 林鹏. 盐度对无瓣海桑幼苗的生长和某些生理生态特性的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(5): 457-461.
- [3] 李海生, 陈桂珠. 无瓣海桑引种种群遗传多样性的 IS-SR 分析[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(4): 7-13.
- [4] 李玫, 廖宝文, 郑松发, 陈玉军. 外来种无瓣海桑化感作用研究初报[J]. 生态科学, 2002, 17(5): 641-645.
- [5] 潘辉, 薛志勇, 陈国荣. 无瓣海桑造林是否造成九龙江口生物入侵的探讨[J]. 湿地科学与管理, 2006, 2(2): 52-55.
- [6] 廖岩, 陈桂珠. 盐度对红树植物影响研究[J]. 湿地科学, 2007, 5(3): 266-273.
- [7] 陈泽濂. 国产海桑属植物的形态解剖[J]. 热带亚热带植物学报, 1996, 4(2): 18-24.
- [8] 邓传远, 林鹏, 黎中宝. 海桑属红树植物木材结构的比较解剖学研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(5): 1100-1106.
- [9] 邓传远, 郭素枝, 林鹏. 海桑属植物的木材结构及其系统演化意义[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 213-220.
- [10] 李元跃, 林鹏. 中国红树植物生态解剖学研究综述[J]. 海洋科学, 2006, 30(4): 69-73.
- [11] 廖岩, 赵肖, 陈桂珠. 盐胁迫对无瓣海桑幼苗根茎叶膜保护系统的影响[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(2): 154-158.
- [12] 吴佃, 周畅, 刘敏超, 刘素青. 五种海桑属红树植物叶片的结构及其生态适应[J]. 广西植物, 2010, 30(4): 484-487.
- [13] 陈健辉, 缪绅裕, 张志坤, 杜翠华, 罗韵, 陈倩韵. 无瓣海桑叶结构的研究[J]. 广西科学, 2011, 18(2): 169-176.
- [14] 王瑞江, 陈忠毅. 海桑科的系统进化及地理分布[J]. 广西植物, 2002, 22(3): 214-219.
- [15] 周涵韬, 林鹏. 海桑属红树植物遗传多样性和引种关系研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(5): 5-7.
- [16] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 李玫, 李意德. 外来红树植物无瓣海桑生物学特性与生态环境适应性分析[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 10-15.

- [17] 胡正海主编. 植物解剖学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 41.
- [18] 周元满, 王平, 刘素青, 麦楚君, 冯慧敏, 徐正春. 无瓣海桑人工林树冠结构的分形分析[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(3): 252–256.
- [19] 茹巧美, 郑海雷, 肖强. 红树植物耐盐机理研究进展[J]. 云南植物研究, 2006, 28(1): 78–84.
- [20] Vassilyev AE, Stepanova AA. The ultrastructure of ion-secreting and non-secreting salt glands of *Limonium platyphyllum*[J]. *J Exp Bot*, 1990, 41: 41–46.
- [21] Faraday CD, Thomson WW. Structure aspects of the salt glands of the Plumbaginaceae[J]. *J Exp Bot*, 1986, 13(7): 461–470.
- [22] Benner R, Weliky K, Hedges JI. Early diagenesis of mangrove leaves in a tropical estuary: Molecular-level analyses of natural sugars and lignin-derived phenols [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1990, 54: 1991–2001.
- [23] 曾雪琴, 陈鹭真, 谭凤仪, 黄建辉, 徐华林, 林光辉. 深圳湾引种红树植物海桑的幼苗发生和扩散格局的生态响应[J]. 生物多样性, 2008, 16(3): 236–244.
- [24] 张慧, 刘晓伟, 李敏, 林益明. 无瓣海桑不同部位单宁含量及叶片单宁的结构分析[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2008, 47(增刊2): 186–192.
- [25] 田广红, 陈蕾伊, 彭少麟, 杨雄邦, 陈俊勤, 陈沐荣, 李静, 曾艳, 雷振胜. 外来红树植物无瓣海桑的入侵生态特征[J]. 生态环境学报, 2010, 19(12): 3014–3020.

图版说明

图版 I : 海桑、无瓣海桑叶片解剖结构。1: 无瓣海桑等面叶(福田区); 2: 海桑等面叶(福田区); 3: 无瓣海桑嫩叶中脉维管束(福田区); 4: 无瓣海桑嫩叶中脉维管束(南沙区); 5: 无瓣海桑嫩叶非主脉区(福田区); 6: 无瓣海桑嫩叶非主脉区(南沙区); 7: 无瓣海桑叶肉组织中的石细胞(福田区); 8: 海桑嫩叶中脉维管束(福田区); 9: 海桑嫩叶中脉维管束(南沙区); 10: 海桑嫩叶非主脉区(福田区); 11: 海桑嫩叶非主脉区(南沙区); 12: 海桑叶肉组织中的石细胞(福田区); 13: 无瓣海桑成熟叶中脉维管束(福田区); 14: 海桑成熟叶中脉维管束(福田区); 15: 无瓣海桑成熟叶片非主脉区(示3级叶脉, 福田区); 16: 海桑成熟叶片非主脉区(示3级叶脉, 南沙区)。

图版 II : 海桑、无瓣海桑叶片解剖结构。17: 无瓣海桑成熟叶片非主脉区(示叶肉, 福田区); 18: 无瓣海桑成熟叶片非主脉区(示叶肉, 南沙区); 19: 无瓣海桑的气孔器(A)和盐腺(B)(福田区); 20: 无瓣海桑气孔器(A为保卫细胞, B为副卫细胞)(福田区); 21: 无瓣海桑气孔器(A为保卫细胞, B为副卫细胞)(南沙区); 22: 海桑成熟叶片非主脉区(示叶肉, 福田区); 23: 海桑成熟叶片非主脉区(示叶肉, 南沙区); 24: 海桑的气孔器(A)和盐腺(B)(福田区); 25: 海桑气孔器(A为保卫细胞, B为副卫细胞)(福田区); 26: 海桑气孔器(A为保卫细胞, B为副卫细胞)(南沙区); 27: 海桑盐腺(福田区); 28: 海桑盐腺(南沙区); 29: 无瓣海桑盐腺(福田区); 30: 无瓣海桑盐腺(南沙区)。

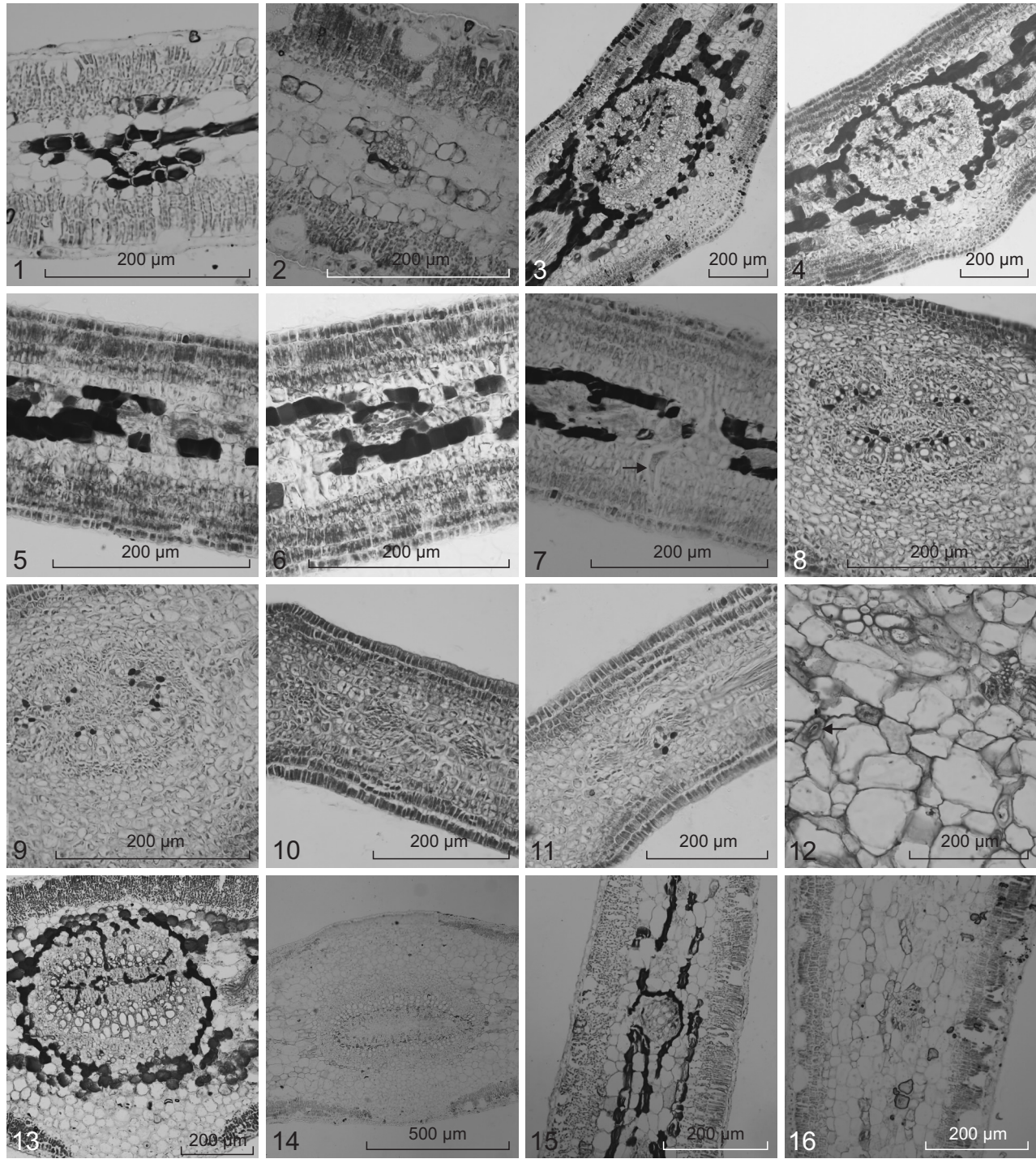
Explanation of Plates

Plate I Anatomic structure of the leaves of *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala*. 1: Isobilateral leaf of *S. apetala* (from Futian district, FT); 2: Isobilateral leaf of *S. caseolaris* (FT); 3: Vascular bundle of tender *S. apetala* leaf (across midrib) (FT); 4: Vascular bundle of tender *S. apetala* leaf (across midrib) (from Nansha district, NS); 5: Vascular bundle of tender *S. apetala* leaf (non-across midrib) (FT); 6: Vascular bundle of tender *S. apetala* leaf (non-across midrib) (NS); 7: Sclereid in mesophyll tissue of *S. apetala* (FT); 8: Vascular bundle of tender *S. caseolaris* leaf (across midrib) (FT); 9: Vascular bundle of tender *S. caseolaris* leaf (across midrib) (NS); 10: Vascular bundle of tender *S. caseolaris* leaf (non-across midrib) (FT); 11: Vascular bundle of tender *S. caseolaris* leaf (non-across midrib) (NS); 12: Sclereid in mesophyll tissue of *S. caseolaris* (FT); 13: Vascular bundle of mature stage *S. apetala* leaf (across midrib) (FT); 14: Vascular bundle of mature stage *S. caseolaris* leaf (across midrib) (FT); 15: Vascular bundle of mature stage *S. apetala* leaf (non-across midrib), showing third vein (FT); 16: Vascular bundle of mature stage *S. caseolaris* leaf (non-across midrib), showing third vein (NS).

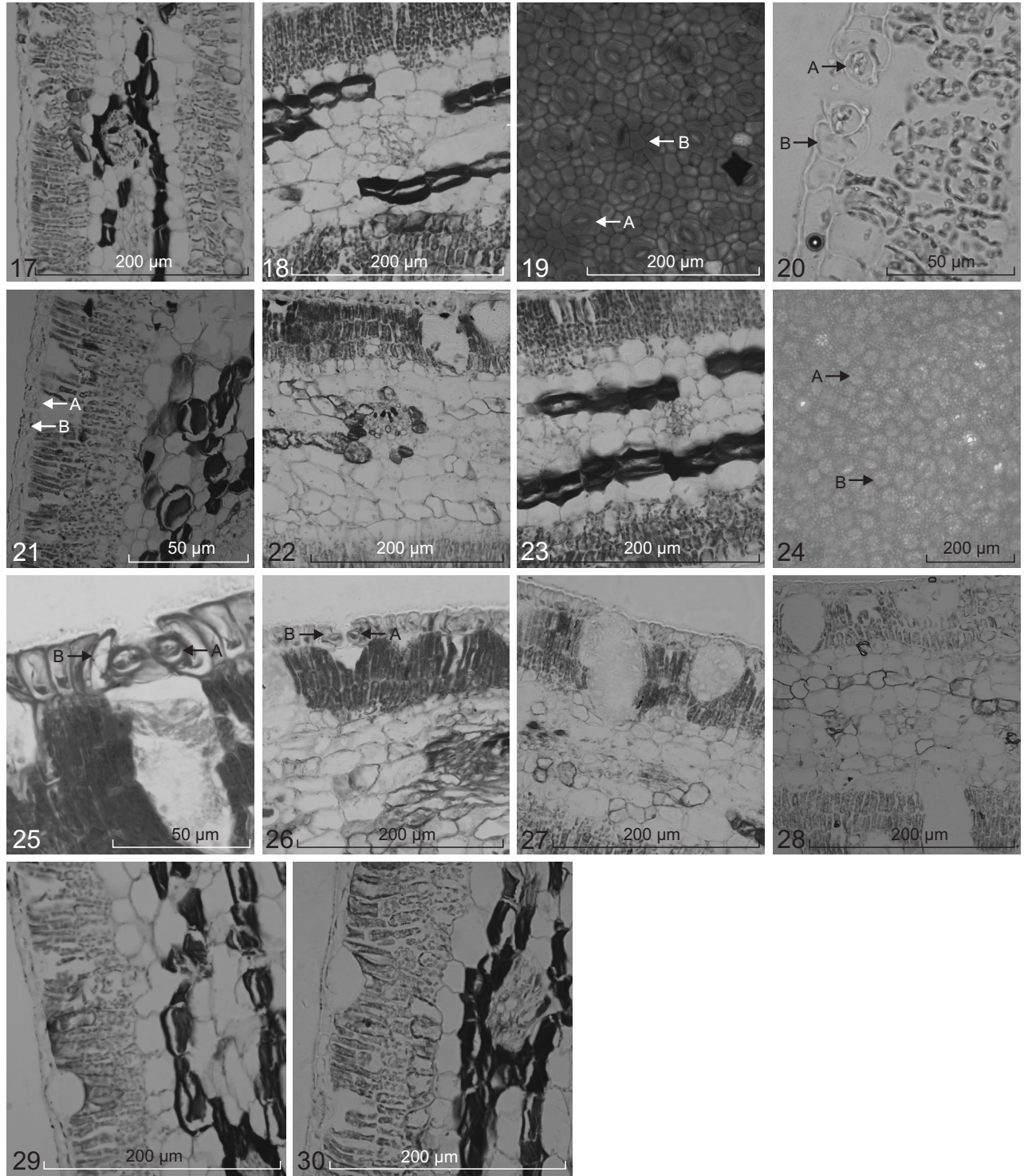
Plate II Anatomic structure of the leaves of *S. caseolaris* and *S. apetala*. 17: Vascular bundle of mature stage *S. apetala* leaf (non-across midrib), showing mesophyll (FT); 18: Vascular bundle of mature stage *S. caseolaris* leaf (non-across midrib), showing mesophyll (NS); 19: Stomatal apparatus (A) and salt gland (B) of *S. apetala* (FT); 20: Stomatal apparatus of *S. apetala* (A showing guard cells, B showing subsidiary cells) (FT); 21: Stomatal apparatus of *S. apetala* (A showing guard cells, B showing subsidiary cells) (NS); 22: Vascular bundle of mature stage *S. caseolaris* leaf (non-across midrib), showing mesophyll (FT); 23: Vascular bundle of mature stage *S. caseolaris* leaf (non-across midrib), showing mesophyll (NS); 24: Stomatal apparatus (A) and salt gland (B) of *S. caseolaris* (FT); 25: Stomatal apparatus of *S. caseolaris* (A showing guard cells, B showing subsidiary cells) (FT); 26: Stomatal apparatus of *S. caseolaris* (A showing guard cells, B showing subsidiary cells) (NS); 27: Salt gland of *S. caseolaris* (FT); 28: Salt gland of *S. caseolaris* (NS); 29: Salt gland of *S. apetala* (FT); 30: Salt gland of *S. apetala* (NS).

陈健辉等：图版 I

CHEN Jian-Hui *et al.*: Plate I



See explanation at the end of text



See explanation at the end of text

(责任编辑：张 平)