

海桑属(*Sonneratia*)植物的木材结构及其系统演化意义

邓传远^{1,2} 郭素枝³ 林鹏¹

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002; 3. 福建农林大学测试中心, 福建 福州 350002)

摘要: 研究了海桑科海桑属(*Sonneratia*) 6种植物的木材结构特征, 并与同科的八宝树属(*Duabanga*)、千屈菜科的紫薇属(*Lagerstroemia*)植物的木材结构进行比较。结果表明: 1. 射线高度和射线宽度可作为卵叶海桑区别于其它种类的鉴定特征或辅助特征; 2. 海桑属形成一单系的类群, 并与紫薇属有更近的亲缘关系, 而与同科的八宝树属的亲缘关系更远; 3. 导管数量特征的聚类分析可以推测海桑属植物沿两支进化, 一支进化为水分输导效率高的种类(即导管直径宽和输导面积大, 管孔密度小, 如海桑和拟海桑), 另一支进化为水分输导安全性高的种类(即导管直径窄、输导面积小, 管孔密度大, 如杯萼海桑、卵叶海桑、无瓣海桑、海南海桑)。

关键词: 海桑属; 木材解剖; 系统演化

中图分类号: Q949.761.401

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2004)03-0213-08

Wood Anatomy of Some *Sonneratia* Species in Relation to Phylogenetic Significance

DENG Chuan-yuan^{1,2} GUO Su-zhi³ LIN Peng¹

(1. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. School of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Test Center, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Wood structure of six *Sonneratia* species from Mangrove Nature Reserve at Dongzhai Port, Hainan Province, was observed under LM, SEM and Laser scanning confocal microscope. Ray height and ray width can be used for diagnostic or subsidiary diagnostic features to distinguish *S. ovata* from other *Sonneratia* species. *Sonneratia* forms a monophyletic group which has a closer affinity to *Lagerstroemia* (Lythraceae) instead of *Duabanga* (Sonneraceae). The result of clustering based on quantitative data of vessel elements (pores) suggests that the *Sonneratia* species evolved into two clades, one including *S. caseolaris* and *S. paracaseolaris* that has the wider vessel and lower pore density suggesting a high conducting efficiency, the other including *S. alba*, *S. ovata*, *S. apetala* and *S. hainanensis* that has the narrower vessel and higher pore density resulting in high conducting safety.

Key words: *Sonneratia*; Wood anatomy; Phylogeny

以往对海桑属(*Sonneratia*)植物的木材解剖学研究主要集中在海桑一种上^[1]。中国有6种海桑属植物或有人认为是4种2杂交种^[2,3]。由于研究方法和目的不同,与系统演化有关的木材结构特征往往被忽略,因此,对海桑属植物木材结构的种间差异进行研究,有一定的理论价值和实践意义。分子标记

方法应用于海桑属植物的系统演化研究已有报道^[4],以表现型为主要内容的系统解剖学研究,可以和以基因型为主要内容的分子系统学研究相互印证。本文以中国现有的海桑属种类为材料,采用多种观测技术,以补充报道海桑属的木材结构特征,对其种属鉴定、系统位置作较为全面的探讨。

收稿日期: 2003-03-24 接受日期: 2003-12-22

基金项目: 国家自然科学基金(49576295)项目资助

1 材料和方法

实验材料 海桑属(*Sonneratia*)6种植物(海桑 *S. caseolaris*, 杯萼海桑 *S. alba*, 海南海桑 *S. hainanensis*, 卵叶海桑 *S. ovata*, 无瓣海桑 *S. apetala*, 拟海桑 *S. paracaseolaris*)均采自海南省东寨港红树林自然保护区。

选取生长年龄一致, 株龄 10 a, 株高约 8 m, 直径在 9 cm 左右, 同一潮位和滩面的成熟侧枝。每一种在种群中选取 5 株标准木, 一共 90 个样品制成切片。

木材切片 应用常规制片方法^[5]。木材样品采集后用 FAA 固定液固定、保存。1 cm³ 左右的小木块经 10% 乙二胺溶液软化后用滑走切片机切取横、径、弦三向切片, 厚度为 15–25 μm, 一部分切片用冰醋酸:30% 过氧化氢离析液离析, 1% 番红水溶液染色后酒精系列脱水, 二甲苯透明, 加拿大树胶封固成永久切片, 在光学显微镜(Olympus, BHS 型)及激光共聚焦显微镜(Laser Scanning Confocal Microscope (LSCM), MRC-1024ES, Bio-Rad 公司)下观察次生木质部的形态特征; 另一部分切片直接用酒精系列脱水, 自然干燥后喷金, 在扫描电镜(JSM-5310LV 型)下观察拍照。

用激光共聚焦显微镜的附属配件直接从永久切片上测量数量特征的各项指标, 导管频率、单孔率、输导面积等每个指标测量 30 组数据, 其余指标测量 200 组以上的数据后计算平均值和标准差。

本文所用术语根据国际木材解剖学家协会制定的多国文字木材解剖学名词汇编^[6], 对各数量特征的描述和计算依据 Carlquist^[7]的专著“Comparative Wood Anatomy”和 Noshiro 等^[8]的论文中提出的标准和计算方法。

聚类分析方法 应用 SPSS 统计分析软件对导管的数量特征进行聚类分析。

2 结果

2.1 木材形态结构

Carlquist, Metcalf 和唐耀在各自的专著中总结了海桑属红树植物的木材结构特点: (1) 具附物纹孔; (2) 具韧型纤维; (3) 具分隔木纤维; (4) 具晶体; (5) 具侵填体; (6) 射线同型; (7) 轴向薄壁组织缺少^[7,9,10]。光镜、激光共聚焦显微镜、扫描电镜的观察结果证实了海桑属具有以上特征。本文对与系统演

化有关的海桑属木材结构特征作下述补充。

2.1.1 导管

横切面上管孔呈圆形、椭圆形或略呈多角形, 单管孔(solitary pore)和管孔群(vessel grouping)并存。以 2–4 个管孔紧密连接呈径向排列的复管孔(radial multiple pore)为主, 偶见管孔团(vessel cluster)(图版 I:1, 2)。

绝大部分导管分子(vessel element)具单穿孔(simple perforation), 端壁呈水平或倾斜状, 两端有尾(tail)或者无尾(图版 I:11–15), 尾部形态多样, 尾部壁上的纹孔式与侧壁的纹孔式相似(图版 I:10), 具纤维状导管分子和各种形状不规则的导管分子(图版 I:11), 导管腔内具侵填体(tylosis)和褐色不定形沉积物(amorphous dark-staining compound)(图版 I:2)。

绝大部分管间纹孔式为互列式(alternate pitting)(图版 I:5), 构成具缘纹孔对(bordered pit-pair)(图版 I:7)。大部分纹孔为附物纹孔(vestured pit), 但有些不具附物(图版 I:6), 可观察到丝状(filamentous)、念珠状(bead-like)、珊瑚状(coralloid)、叶状(foliate)4种附物, 附物的多少及形态在种内变化较大, 无种间差异(图版 I:16–19; 图版 II:20–22)。

径切面导管与射线间纹孔为半缘纹孔对(half-bordered pits)(图版 I:7), 大小和形状变化较大, 导管壁上具疣状突起(verrucae)(图版 II:24), 半缘纹孔对导管一边的有些纹孔具附物(vesturing)(图版 II:23)。

导管形态特征具滞留发生(paedomorphosis)现象, 表现在: (1) 绝大部分导管分子具单穿孔, 但少数导管分子具网状穿孔板(meshworklike perforation plate)(图版 II:26), (2) 绝大部分管间纹孔为互列式, 但少数为梯状纹孔式(scalariform pitting)(图版 II:25)。

2.1.2 韧型纤维

机械支持组织为韧型纤维(libriform fiber), 相当一部分为分隔木纤维(septate fiber)(图版 II:28)。胶质纤维(gelatinous fiber)易见(图版 II:29)。韧型纤维壁上具数量少的单纹孔(simple pit)(图版 II:27)。有些韧型纤维壁上具聚集成团块状的颗粒状疣(图版 I:8), 有些韧型纤维的单纹孔具网状附物(图版 II:27)。

2.1.3 射线薄壁组织

弦切面上看, 射线主要为单列射线(uniseriate ray), 极少多列射线(multiseriate ray), 单列射线细胞数 3–50(图版 I:3)。从径切面上看, 射线细胞主要由横卧细胞(procumbent cell)组成(图版 I:4), 根据

IAWA的分类标准^[6], 6种植物的射线类型均为同型 III型。射线薄壁细胞间的纹孔为单纹孔对(simple pit-pair) (图版 I:9), 射线细胞壁上具有疣状突起(图版 II:30, 31), 纹孔具附物(图版 II:32, 33)。可见射线穿孔细胞(perforated ray cell)(图版 II:34)。

2.1.4 轴向薄壁组织

轴向薄壁细胞(axial parenchyma)稀少, 为星散薄壁组织(diffuse axial parenchyma)。

2.2 木材结构的数量特征

2.2.1 管孔及导管分子的数量特征

海桑属植物管孔及导管分子的数量特征详见表 1。按 IAWA、Carlquist、Noshiro 的分类标准^[6,8], 有以下几个特点:(1)管孔密度(pore density)较大(48.90–89.39 个 mm²); (2)导管聚合度(vessel cluster size)较高(1.271–1.635 个 cluster⁻¹), 单孔率(solitary

pore ratio) 较低(16.70%–43.70%); (3) 导管分子(vessel element) 短(294.39–389.21 μm), 导管壁(vessel wall) 薄(2.71–3.47 μm); (4) 导管径向直径(radial pore diameter) 和弦向直径(tangential pore diameter) 小或非常小(47.95–68.61 μm; 41.89–63.09 μm); (5) 管孔面积(pore area) 小(2 036.63–3 499.73 μm²); (6) 海桑属植物种内管孔数量特征变化较大; (7) 估算有效输导率(estimated specific conductance)的值种间差异很大。

2.2.2 导管(管孔)数量特征的聚类分析图

应用 SPSS 统计分析软件对导管的数量特征进行聚类分析, 图 1 是导管数量特征的聚类分析图, 在个体发育时间(取生长年龄一致的侧枝)和环境条件(实验材料取自同一样地的同一潮位和滩面)一致的条件下, 可以看出海桑属导管的数量特征可以明显地聚成两类:(1) 海桑和拟海桑; (2) 杯萼海

表 1 管孔及导管分子的数量特征(平均值±标准差)
Table 1 Average values ± SD of vessel elements and pores in *Sonneratia* species

种类 Species	PD (pores mm ²)	SPR (%)	VCS (vessels cluster ⁻¹)	VEL (μm)	VWT (μm)	PA (μm ²)	PA50 (μm ²)	ESC (μm ²)	CA (%)	TD (μm)	TD50 (μm)	RD (μm)	RD50 (μm)
海桑 <i>S. caseolaris</i>	66.70±44.53	37.18±10.85	1.436±0.651	329.48±88.34	2.71±0.91	3351.18±1633.39	6353.37±1420.13	1126.29	22.35±10.89	63.08±17.41	87.23±8.58	65.08±19.95	91.68±11.29
杯萼海桑 <i>S. alba</i>	79.03±22.26	28.95±12.02	1.487±0.597	294.39±84.35	3.47±1.09	2036.63±813.96	3563.55±751.73	418.45	16.09±6.43	41.89±10.30	60.89±5.26	52.35±14.33	73.80±8.49
海南海桑 <i>S. hainanensis</i>	64.61±25.12	23.74±9.60	1.519±0.757	379.41±84.04	3.22±0.91	2053.28±1387.99	3899.79±934.84	352.04	12.38±6.37	48.67±12.57	68.24±5.35	47.95±16.33	73.32±8.54
卵叶海桑 <i>S. ovata</i>	89.39±40.69	16.70±8.76	1.635±0.892	389.21±99.82	3.18±0.87	2114.44±875.66	3646.92±829.44	629.00	19.05±7.89	53.48±11.78	68.73±9.50	49.27±14.18	66.83±5.53
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	66.24±22.06	22.87±7.58	1.548±0.706	315.04±71.01	3.05±0.91	2582.92±1129.12	5088.99±869.30	682.20	17.10±7.48	55.02±13.09	76.98±6.08	58.15±15.57	83.64±7.15
拟海桑 <i>S. paracaseolaris</i>	48.90±24.73	43.70±13.74	1.271±0.521	366.42±100.09	3.42±1.04	3499.73±1505.20	6361.49±981.64	925.15	17.11±7.36	63.09±15.20	84.76±7.10	68.61±18.58	95.03±6.58

PD: 管孔密度 Pore density; SPR: 单孔率 Solitary pore ratio; VCS: 导管聚合度 Vessel cluster size; VEL: 导管分子长度 Vessel element length; VWT: 导管壁厚 Vessel wall thickness; PA: 管孔平均面积 Pore area; PA50: 50 个最大管孔平均面积 Mean pore area of the 50 largest pores; ESC: 估算有效输导率 Estimated specific conductance; CA: 输导面积 Conductive area; TD: 管孔弦向直径 Tangential pore diameter; TD50: 50 个最大管孔弦向平均直径 Mean tangential diameter of the 50 largest pores; RD: 管孔径向直径 Radial pore diameter; RD50: 50 个最大管孔径向平均直径 Mean radial diameter of the 50 largest pores.

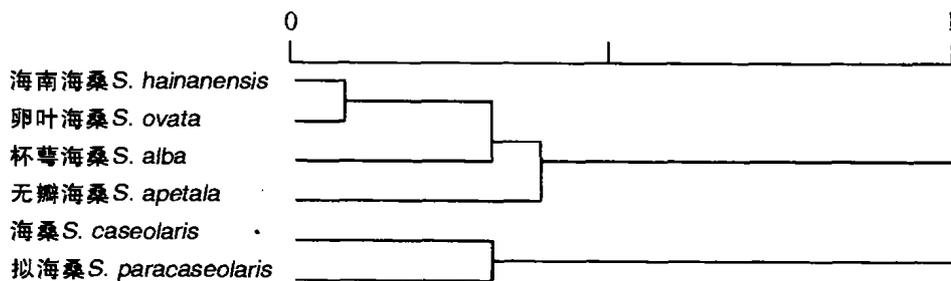


图 1 海桑属导管(管孔)数量特征的聚类分析图

Fig. 1 Clustering based on quantitative characters of vessel elements (pores)

桑、卵叶海桑、无瓣海桑、海南海桑。

2.2.3 射线的数量特征

海桑属植物射线的数量特征详见表 2。按 IAWA 的分类标准^[7], 其射线宽度(ray width)小

(12.12–25.72 μm), 射线高度(ray height)极低(230.67–408.55 μm), 但卵叶海桑的射线高度、射线宽度显著大于其它种类。

表 2 海桑属植物次生木质部射线的数量特征

Table 2 Average values \pm SD of quantitative characters of the ray in secondary xylem of *Sonneratia* species ($\bar{X}\pm\text{SD}$)

	海桑 <i>S. caseolaris</i>	杯萼海桑 <i>S. alba</i>	海南海桑 <i>S. hainanensis</i>	卵叶海桑 <i>S. ovata</i>	无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	拟海桑 <i>S. paracaseolaris</i>
RH(μm)	270.70 \pm 91.00	260.42 \pm 91.62	271.78 \pm 111.62	408.55 \pm 210.96	230.67 \pm 61.93	278.71 \pm 92.01
RW(μm)	12.12 \pm 2.71	14.42 \pm 3.06	18.12 \pm 4.31	25.72 \pm 5.41	19.40 \pm 3.20	19.44 \pm 5.72

RH: 射线高度 Ray height; RW: 射线宽度 Ray width

3 讨论

3.1 海桑属木材结构与种类识别

不同种类的射线高度和射线宽度往往具显著差异, 这可以作为鉴定种属的特征^[7,11]。但 Carlquist^[7]认为射线的数量特征易受个体发育时间、环境条件的影响^[8], 所以利用射线的数量特征作为分类依据时必须注意。本研究选取个体发育时间和环境条件一致的材料, 测得卵叶海桑的射线高度和射线宽度显著大于海桑属其它种类, 因此, 这一特征可以作为鉴定特征或鉴定的辅助特征。

3.2 海桑属木材结构与系统演化

海桑属属下分组问题的探讨 高蕴璋根据具花瓣与否把海桑属分为两组, 即: (1) 海桑组 (Sect. *Sonneratia*), 含杯萼海桑, 海桑, 海南海桑; (2) 拟海桑组 (Sect. *Pseudosonnertia*), 含无瓣海桑, 凹叶海桑, 卵叶海桑^[3,12]。海桑属植物的木材结构非常相似, 因此, 从木材比较解剖学的观点看, 海桑属应为一单系类群更为合理。由于性状进化水平异等级(heterobathmy)现象的存在, 植物体有可能呈现出一个不同进化水平性状的镶嵌(mosaic)组合, 仅凭木材结构的相似性并不能完全否定把海桑属分为两组, 但最近的分子系统学研究结果表明, 形态学上置于不同组的海桑属植物位于同一进化支上^[4], 因此, 木材解剖学的结果倾向于支持分子系统学的研究结果, 海桑属形成一单系的分类群, 而不是将海桑属分为海桑组和拟海桑组。

海桑属、八宝树属、紫薇属的亲缘关系 海桑科(Sonneratiaceae)包括 2 个属: 海桑属(*Sonneratia*)和八宝树属(*Duabanga*)。比较形态学研究证明海桑科与千屈菜科(Lythraceae)的紫薇属(*Lagerstroemia*)有较近的亲缘关系^[13]。分子系统学研究结果表明^[4]:

(1)海桑科可以归入千屈菜科, (2)八宝树属是紫薇属的姊妹群, 而海桑属形成一单系的类群, 与紫薇属有较近的亲缘关系, 而与八宝树属处于不同的进化支上, 亲缘关系较远。

海桑属植物具有许多特化的结构, 如: (1) 射线细胞和纤维的纹孔具附物, (2) 射线和纤维细胞壁具疣状突起, (3) 具射线穿孔细胞。这些特化的结构在海桑属各种间高度一致, 应是海桑属植物适应潮间带生境在长期系统演化中形成的^[7], 而八宝树属、紫薇属没有这些特化结构。

从表 3 可见, 海桑属与紫薇属木材结构的差异性较小(木薄壁组织类型不同和海桑属植物具有一些特化结构), 而与八宝树属差异较大, 因此, 木材结构的研究支持分子系统学的研究结果。海桑属、八宝树属和紫薇属具有相似的管孔排列方式、导管穿孔类型、管间纹孔类型和射线导管间纹孔类型, 特别是 3 属都存在附物纹孔, 比较解剖学的研究认为附物纹孔的存在与否在科与目这一级分类单位是较为稳定的^[14,15], 这支持形态学的研究结果, 海桑科与千屈菜科的紫薇属有较近的亲缘关系。但由于进化历程中的平行演化, 木材解剖特征在目以下的各科中可以有较大的相似性^[16], 且八宝树属与紫薇属在射线类型、木薄壁组织类型、有否分隔木纤维以及木纤维纹孔类型差别较大, 因此, 把海桑科归入千屈菜科, 或八宝树属是紫薇属的姊妹群^[9]这些分子系统学的结论还需进一步研究。

3.3 海桑属植物导管数量特征与系统演化

分子系统学的研究表明, 海桑属植物分两支进化, 一支进化为杯萼海桑、卵叶海桑、无瓣海桑、海南海桑, 另一支为海桑和拟海桑^[4]。本研究根据导管的数量特征也将海桑属明显地聚成同样的两类, 这表明海桑属植物的演化可能与导管的进化有关。根

表3 海桑属、八宝树属、紫薇属的木材结构比较
Table 3 Comparison of wood structure among genera *Sonneratia*, *Duabanga*, and *Lagerstroemia*

	海桑属 <i>Sonneratia</i>	八宝树属 <i>Duabanga</i> ^[11]	紫薇属 <i>Lagerstroemia</i> ^[11]
管孔排列 Pore arrangement	短径列复管孔或单管孔 Short radial multiple or solitary pores	短径列复管孔或单管孔 Short radial multiple or solitary pores	短径列复管孔或单管孔 Short radial multiple or solitary pores
导管穿孔类型 Vessel perforation	单穿孔 Simple	单穿孔 Simple	单穿孔 Simple
管间纹孔类型 Intervessel pitting	互列, 附物型 Alternate and vested	互列, 附物型 Alternate and vested	互列, 附物型 Alternate and vested
射线导管纹孔类型 Ray-vessel pitting	大的单纹孔或一侧复开口的纹孔(有附物) Large simple pits or long scalariform pits on one side contacted with alternate lateral wall pits (some with vesturing)	大的单纹孔或一侧复开口的纹孔 Large simple pits or long scalariform pits on one side contacted with alternate lateral wall pits	大的单纹孔或一侧复开口的纹孔 Large simple pits or long scalariform pits on one side contacted with alternate lateral wall pits
射线类型 Ray type	同型 Homogeneous	异型 Heterogeneous	同型 Homogeneous
木薄壁组织类型 Xylem parenchyma	星散 Diffuse	环孔状 Vasicentric	带状 Banded
分隔木纤维 Septate fibre	有 Presence	无 Absence	有 Presence
木纤维纹孔类型 Pitting in fibre	单纹孔(有附物) Simple pits (some with vesturing)	小的重纹孔 Small bordered pits	单纹孔 Simple pits

据 Carlquist 生态 - 系统演化木材解剖学观点^[7], 海桑属植物导管数量特征的进化动力可能是对水分获得的方式不同, 进化趋势是沿着水分输导的安全性和输导有效性两个方向进行。一支进化为海桑和拟海桑, 代表水分输导效率高, 安全性低(在导管或管孔的数量特征中具有管孔密度较低, 单孔率较高, 输导面积较高, 管孔直径较大), 相对而言, 如果盐度不高, 较易获得水分、矿质营养和有机质, 是竞争力较强的种类, 另一支进化为杯萼海桑、卵叶海桑、无瓣海桑、海南海桑, 代表水分输导效率低, 安全性高(在导管或管孔的数量特征中具有管孔密度较高, 单孔率较低, 输导面积较低, 管孔直径较窄), 是抗盐性较强的种类, 能在盐度较高的生境中生长而成为先锋树种。

参考文献

- [1] Lin P(林鹏), Lin Y M(林益明), Lin J H(林建辉). Evolution ecology and structure of secondary xylem of mangroves [J]. Acta Oceanol Sin (海洋学报), 1998, 20(4):108-114. (in Chinese)
- [2] Wang R J(王瑞江), Chen Z Y(陈忠毅), Chen E Y(陈二英), et al. Two hybrids of the genus *Sonneratia* (Sonneratiaceae) from China [J]. Guihaia(广西植物), 1999, 19(3):199-204. (in Chinese)
- [3] Ko W C(高蕴璋). Notes on genus *Sonneratia* (Sonneratiaceae) in S. E. Asia [J]. Acta Phytotax Sin (植物分类学报), 1985, 23(4):311-314. (in Chinese)
- [4] Shi S H, Huang Y L, Tan F X, et al. Phylogenetic analysis of the Sonneratiaceae and its relationship with Lythraceae based on ITS sequences of nrDNA [J]. J Plant Res, 2000, 113 (1111): 253-258.
- [5] Wang C M(王昌命), Zhang X Y(张新英). Studies on wood anatomy of *Eucalyptus globulus* under different habitats [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1994, 36(1):31-38. (in Chinese)
- [6] IAWA Committee. IAWA list of microscopic features for hardwood identification [J]. Inter Assoc Wood Anat New Series, 1989, 10:219-332.
- [7] Carlquist S. Comparative Wood Anatomy [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 55-88.
- [8] Noshiro S, Joshi L, Suzuki M. Ecological wood anatomy of *Alnus nepalensis* (Betulaceae) in east Nepal [J]. J Plant Res, 1994, 107: 399-408.
- [9] Metcalf C R, Chalk L. Anatomy of the Dicotyledons Volume II [M]. 2nd ed, Oxford: Clarendon Press, 1983. 7-28.
- [10] Tang Y(唐燿). Tropical and Subtropical Woods in Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1973. 145-196. (in Chinese)
- [11] Quirk J T. Wood anatomy of the Vochysiaceae [J]. Inter Asso Wood Anat New Series, 1980, 1:172-179.
- [12] Ko W C (高蕴璋). Notes on some *Sonneratia* (Sonneratiaceae) species in China [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 1993, 1(1):11-13. (in Chinese)
- [13] Cronquist A. An Integrated System of Classification of Flowering Plants [M]. New York: Columbia University Press, 1981. 167-181.
- [14] Jansen S, Piesschaert F, Smets E, et al. Wood anatomy of Elaeagnaceae, with comments on vested pits, helical thickenings, and systematic relationships [J]. Amer J Bot, 2000, 87(1):20-28.
- [15] Jansen S, Baas P, Smets E. Vested pits in *Malvales* s.l.: a character with taxonomic significance hidden in the secondary xylem [J]. Taxon, 2000, 49(5):169-182.
- [16] Basa P, Wheeler E A. Parallelism and reversibility on wood evolution — a review [J]. Inter Asso Wood Anat New Ser, 1996, 17:351-364.

图版说明

LM: 光学显微镜 Light microscope; SEM: 电子显微镜 Scanning electron microscope; LSCM: 激光共聚焦显微镜 Laser scanning confocal microscope.

图版 I

1. 无瓣海桑横切面(LM), 示管孔排列方式, 箭头示管孔团; ×200
2. 杯萼海桑横切面(LM), 箭头示不定形沉积物; ×200
3. 卵叶海桑弦切面(LM), 示单列射线和多列射线, 箭头示多列射线; ×200
4. 卵叶海桑径切面(LM), 示横卧射线细胞; ×100
5. 海桑弦切面(LM), 示纹孔互列式; ×1000
6. 海桑弦切面(SEM), 示有些纹孔无附物; ×7 500
7. 无瓣海桑横切面(LSCM), 示具缘纹孔对(箭头)和半缘纹孔对; ×400
8. 海桑离析的导管分子(SEM), 示初型纤维壁上具疣, 箭头示颗粒状疣聚集成团块状附在壁上; ×7 000
9. 卵叶海桑横切面(LSCM), 箭头示单纹孔对; ×200
10. 无瓣海桑离析的导管分子(SEM), 示尾部壁上的纹孔与侧壁的相似; ×500
11. 无瓣海桑离析的导管分子(LM), 示不规则的导管分子; ×100
12. 卵叶海桑离析的导管分子(LM), 示导管两端无尾和水平的穿孔; ×100
13. 卵叶海桑离析的导管分子(LM), 示导管一端有尾和倾斜的穿孔; ×100
14. 卵叶海桑离析的导管分子(LM), 示导管两端的短尾和近水平的穿孔; ×100
15. 卵叶海桑离析的导管分子(LM), 示导管的长尾和倾斜的单穿孔; ×100
- 16–18. 杯萼海桑弦切面(SEM), 示导管侧壁纹孔附物的多少及形态; ×5 000
19. 海南海桑弦切面(SEM), 箭头示珊瑚状附物纹孔; ×7 000

图版 II

20. 拟海桑弦切面(SEM), 箭头示叶状附物纹孔; ×3 500
21. 拟海桑弦切面(SEM), 箭头示丝状附物纹孔; ×3 000
22. 海桑弦切面(SEM), 箭头示念珠状附物纹孔; ×2 000
23. 杯萼海桑径切面(SEM), 示导管-射线半缘纹孔对中导管这一边有些小纹孔具附物, 但许多大纹孔不具附物; ×2 000
24. 海桑径切面(SEM), 示导管壁上的疣状突起; ×2 000
25. 拟海桑弦切面(SEM), 示梯状纹孔; ×2 000
26. 杯萼海桑离析的导管分子(SEM), 箭头示网状穿孔板; ×1 500
27. 无瓣海桑离析的纤维分子(SEM), 示纤维壁上的单纹孔和纹孔上的网状附物, 箭头示纤维纹孔上的网状附物; ×15 000
28. 海南海桑径切面(SEM), 箭头示分隔木纤维; ×750
29. 杯萼海桑横切面(SEM), 箭头示胶质纤维; ×1 500
- 30–31. 海桑径切面(SEM), 箭头示射线细胞壁上的疣状突起; ×7 500
- 32–33. 海桑径切面(SEM), 箭头示射线细胞壁上的纹孔具附物; ×7 500
34. 无瓣海桑径切面(LM), 箭头示射线穿孔细胞; ×100

Explanation of plates

Plate I

1. Transverse section of *S. apitata* (LM), showing the type of pore arrangement. Arrow shows vessel cluster; ×200
2. Transverse section of *S. alba* (LM). Arrow shows amorphous dark-staining compounds in vessel lumens; ×200
3. Tangential section of *S. ovata* (LM), showing uniseriate and multi-seriate rays. Arrow shows multiseriate ray; ×200
4. Radial section of *S. ovata* (LM), showing procumbent ray cells; ×200
5. Tangential section of *S. caseolaris* (LM), showing alternate pitting; ×1 000
6. Tangential section of *S. caseolaris* (SEM), showing non-vestured pits; ×7 500

7. Transverse section of *S. apitata* (LSCM), showing bordered pit-pair and half-bordered pits. Arrow shows bordered pit-pair; ×400

8. Macerated vessel elements of *S. caseolaris* (SEM), showing verrucae on fiber wall. Arrow shows the verrucae being aggregated into lamina-like outgrowths; ×7 000

9. Transverse section of *S. ovata* (LSCM). Arrow shows simple pit-pair; ×200

10. Macerated vessel elements of *S. apitata*, showing pitting of tail similar to those of lateral wall; ×500

11. Macerated vessel elements of *S. apitata* (LM), showing irregular vessel element; ×100

12. Macerated vessel elements of *S. ovata* (LM), showing non-tail vessel element and transverse simple perforation plate; ×100

13. Macerated vessel elements of *S. ovata* (LM), showing a tail at one end and oblique simple perforation plate; ×100

14. Macerated vessel elements of *S. ovata* (LM), showing short tails at both ends and nearly transverse simple perforation plate; ×100

15. Macerated vessel elements of *S. ovata* (LM), showing a long tail and oblique simple perforation plate; ×100

16–18. Tangential section of *S. alba* (SEM), showing vested pits varying in size and morphology; ×5 000

19. Tangential section of *S. hainanensis* (SEM), arrow shows coralloid vested pit; ×7 000

Plate II

20. Tangential section of *S. paracaseolaris* (SEM), arrow shows foliate vested pit; ×3 500

21. Tangential section of *S. paracaseolaris* (SEM), arrow shows filamentous vested pit; ×3 000

22. Tangential section of *S. caseolaris* (SEM). Arrow shows bead-like vested pit; ×2 000

23. Tangential section of *S. alba* (SEM), showing some small pits of vessel with vesturing, but many large pits of vessel without vesturing in vessel-ray half-bordered pits; ×2 000

24. Tangential section of *S. caseolaris* (SEM), showing verrucae in the vessel wall; ×2 000

25. Tangential section of *S. paracaseolaris* (SEM), showing scalariform pitting; ×2 000

26. Macerated vessel element of *S. alba* (SEM). Arrow shows meshworklike perforation plate; ×1 500

27. Macerated fiber element of *S. apitata* (SEM), showing simple pit on fiber wall and vesturing in pit of fiber wall. Arrow shows vesturing in pit of fiber wall; ×15 000

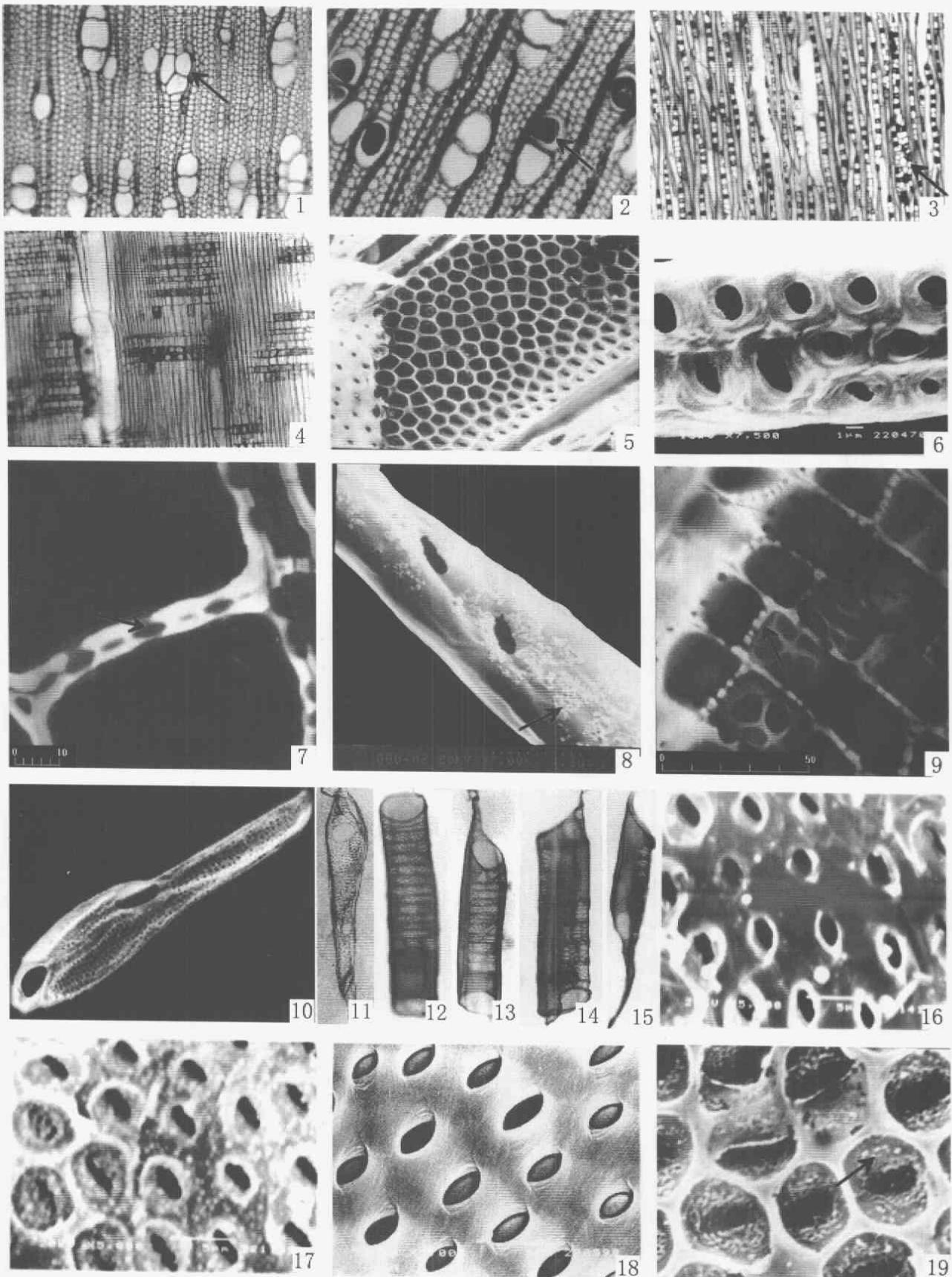
28. Radial section of *S. hainanensis* (SEM). Arrow shows septate fiber; ×750

29. Transverse section of *S. alba* (SEM). Arrow shows gelatinous fiber; ×1 500

30–31. Radial section of *S. caseolaris* (SEM). Arrow shows verrucae on ray cell wall; ×7 500

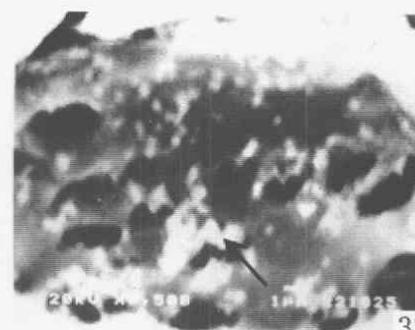
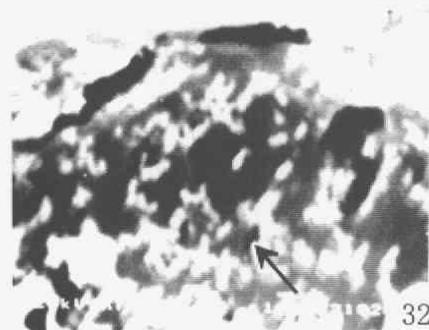
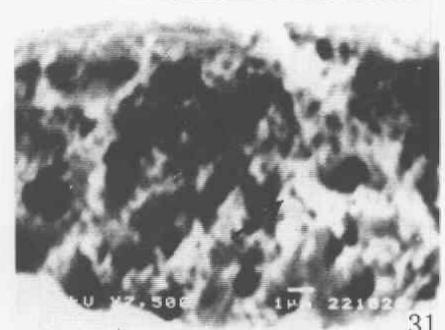
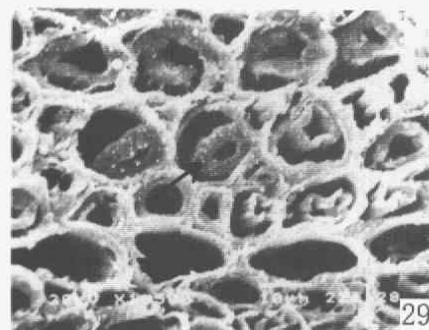
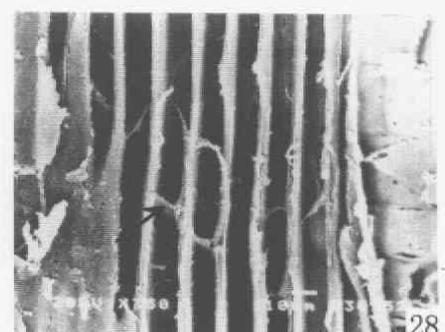
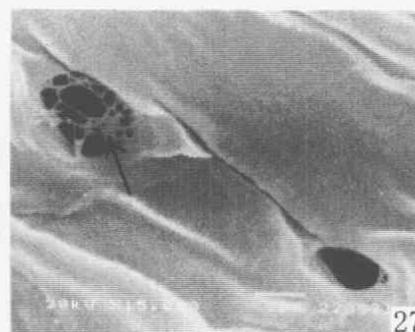
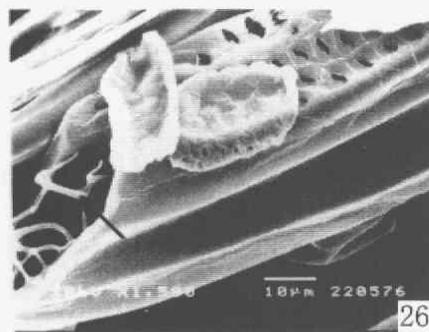
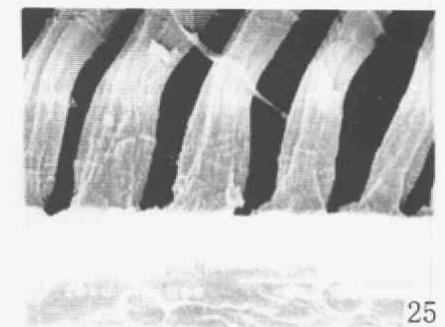
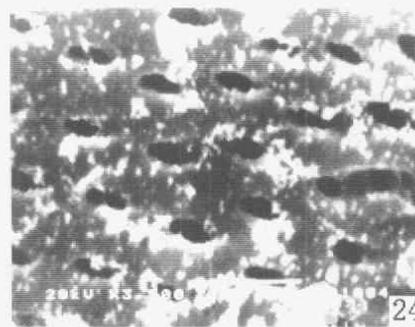
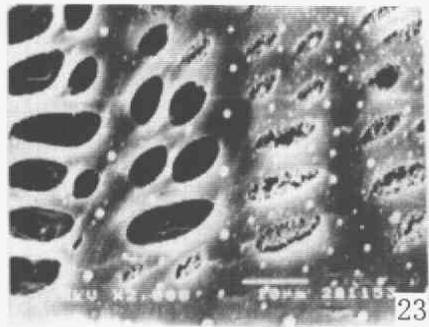
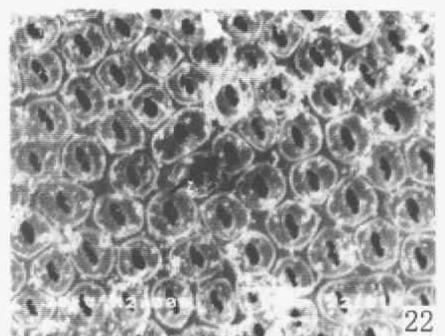
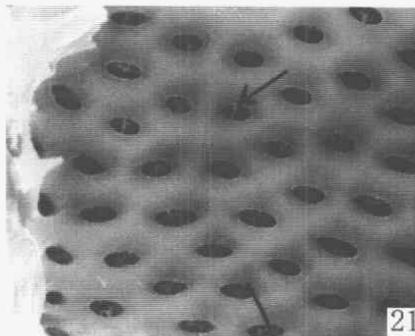
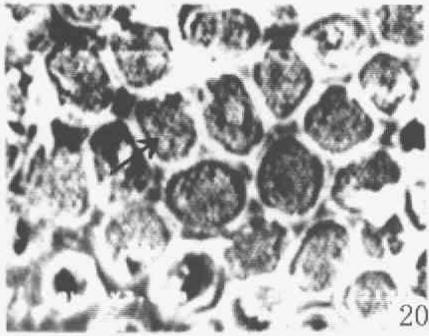
32–33. Radial section of *S. caseolaris* (SEM). Arrow shows vested pits on ray cell wall; ×7 500

34. Radial section of *S. apitata* (LM). Arrow shows perforated ray cell; ×100



邓传远等: 图版 I

DENG Chuan-yuan et al.: Plate I



邓传远等: 图版 II

DENG Chuan-yuan et al.: Plate II