

海桑属 (*Sonneratia*) 6种红树植物的 木材解剖特性及其应用

邓传远, 林清贤, 林 鹏, 黎中宝, 刘俊杰, 陈长平
(厦门大学生物系, 福建 厦门 361005)

摘要: 应用光镜及扫描电镜对生长在热带、亚热带海岸潮间带的6种海桑属红树植物的次生木质部进行了解剖学研究。表明: 海桑属6种红树植物的次生木质部具有导管直径小, 导管分布频率高, 复孔率高, 导管壁厚和纤维壁较厚且具次生加厚, 木薄壁组织缺乏或稀少等与环境相适应的特点。海桑属6种红树植物的数量特征还表明: 海桑、无瓣海桑、卵叶海桑的木材可能适合造纸。

关键词: 海桑属; 木材解剖; 生态适应

中图分类号: S781.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-7351(2000)03-0001-05

Wood Anatomy Characteristics of 6 Mangrove Species of *Sonneratia* and Their Application

DENG Chuan-yuan LIN Qing-xian, LIN Peng LI Zhong-bao, LIU Jun-jie, CHEN Chang-ping

(The Biology Department of Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The study reveals that the secondary xylem of 6 mangrove species of *Sonneratia* possesses the following characteristics: the diameter of vessel is small, the distribution frequency of vessel is high, the reperforating rate is high, the wall of vessel is thick, the wall of fibre is relatively thick and the wood parenchyma is short or sparse, which is suitable with the environment. The quantitative feature of 6 mangrove species of *Sonneratia* also indicates that the wood of *S. caseolaria*, apetalous sonneratia and ovate-leaf sonneratia is probably suitable for paper-making.

Key words: *Sonneratia*; Wood anatomy; Ecological suitability

红树林是生长在热带海滩的木本植物群落, 是生产力高的森林生态系统, 也是全球海陆脆弱带的特殊生态系统。近年来, 联合国科教文组织(UNESCO)、国际红树林生态系统学会(ISME)和国际热带木材组织(ITTO)多次召开国际会议, 讨论保护、合理开发和持续利用红树植物资源。本文比较观察并探讨海桑属6种红树植物次生木质部结构特点及其与生态环境相适应的关系, 为中国海岸湿地生态系统陆海迁移的理论发展和合理开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

本研究选用海桑科海桑属6种红树植物: 海桑(*Sonneratia 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. caseolaroides*), 均采自海南岛东寨港红树林自然保护区。海南岛为北热带地区, 位于北纬 $18^{\circ}09'$ ~ $20^{\circ}10'$, 东经 $108^{\circ}33'$ ~ $111^{\circ}9'$ 之间, 土壤多为淤泥沉积土, 土壤盐度在13%左右。株龄均在10a以上, 株高约7~8m, 基径约20~30cm。

光学显微镜下观察的材料处理如下: ①木材切片: 将材料切成 1cm^3 左右的小木块, 用甘油-酒精软化法软化, 软化适当后, 用自来水洗净, 在滑走切片机上切成横、径、弦三向切片, 厚度为 $15\mu\text{m}$ 。番红-固绿双重染色, 按常规法制片, 中性树胶封固。②离析材料: 将木块切成火柴杆细的小条, 用冰醋酸:30%过氧化氢=1:1的离析法离析, 番红染色, 中性树胶封固^[1]。

扫描电镜观察的材料处理: 将木块切成横、径、弦三个方向的切片, 各级酒精脱水, 自然干燥后喷金, 在

收稿日期: 2000-05-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49576295)

作者简介: 邓传远(1971-), 男, 福建永安人, 在读博士生, 主要从事植物木材解剖学研究和进化生态学研究。

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

扫描电镜下观察拍照。

用测微尺测量各数量特征。导管分子长度、导管直径及纤维长度等分别测量 60 个值, 计算平均值、方差和标准差。若导管分子有尾巴, 则以尾巴末端为起点和终点。横切面测量导管分布频率取 30 个视野。

2 观察结果

2.1 海桑属 6 种红树植物次生木质部的形态解剖特征

海桑属 6 种红树植物次生木质部均由导管、木纤维、木薄壁组织和木射线组成, 其形态特征见表 1。

2.1.1 木材宏观构造 海桑属 6 种红树植物材色为灰白色, 端同可为刀片所削, 管孔密且细, 肉眼下可见至隐约可见, 分布较均匀, 散生。肉眼下可见横端面上的木射线, 细且密, 均匀分布。在径面上可见径面花纹呈线状, 互相平行。弦面上花纹不见。纹理直, 无特殊气味。

海桑属 6 种红树植物次生木质部从横切面上观察均为散孔材, 肉眼下具有与亚热带木材相似的“生长轮”, 依 P. B. Tomlinson 的解释^[4], 此“生长轮”是由化学壁物质沉积而使壁密度不同而形成的, 并非由于形成层活动的结果, 因而低倍镜下“生长轮”不易观察。

2.1.2 导管 海桑属 6 种红树植物在横切面上管孔甚多(48.9~90.1 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$), 但沿着轴心方向, 导管频率有增大的趋势。导管的管孔直径较窄(71.4~79.6 μm), 但沿着轴心方向, 导管的管径有减小的趋势。导管管壁较厚(6.2~8.4 μm), 导管分子长度中等(294.0~389.2 μm)。

导管在横切面上由单管孔和复管孔构成。单孔率在 16.7%~43.7% 之间。因而, 海桑属 6 种红树植物以复管孔为主, 复管孔的类型有径列复管孔、弦列复管孔、倾斜复管孔、丛聚复管孔。主要由 2~4 个管孔紧密连接呈短辐射状径向排列的复管孔, 其余类型复管孔也可见, 偶见管孔团。多数单管孔或复管孔的一侧或两侧与射线侧接, 此时射线常微弯过管孔侧面。

单管孔与复管孔常混合并存。单独排列的单管孔呈圆形或多角形, 而复管孔的形状接近于圆形, 在连接处呈扁平状或卵圆形、扁圆形、稍显多角形。

离析的导管分子多呈圆柱形, 导管分子底壁接近水平, 或略为倾斜(倾角小于 30°), 具单穿孔, 有尾或无尾, 有些有尾导管的尾部非常短且尖锐, 有些则长且尖锐, 少数为截形。

管间纹孔为互列的具缘纹孔, 在弦切面上可见, 有时在径切面上, 导管管壁的边缘也可见管间纹孔。互列的具缘纹孔紧密连接, 具缘纹孔形状在弦切面上表面观呈多角形, 具有椭圆形或圆形纹孔口。纹孔口直径 4~9 μm 。

导管与射线间的纹孔的大小和形状变化较大, 在径切面上易见, 有的较小, 纹孔口形状为圆形, 直径约 3~6 μm , 较大的纹孔有些沿径向延长, 呈横列, 有些斜向引长, 有梯状排列的倾向, 有些沿轴向延长, 成栅栏状排列。它们的长度约为 15~25 μm 。

海桑属 6 种红树植物都具有附物纹孔, 但不同的附物纹孔附物的多少以及附物的位置存在差别。有些附物纹孔附物少, 有些纹孔只在纹孔外口有稀疏状突起, 有些纹孔无附物。有些附物纹孔附物多, 布满了整个纹孔室边缘, 但并不覆盖于纹孔膜上。有些附物纹孔附物象丝状物悬浮在纹孔外口, 有些附物纹孔附物较多, 但没有布满整个纹孔室边缘。

在海桑属 6 种红树植物中, 海南海桑、杯萼海桑从横切面上可见到导管内含有被染成深色的一些物质, 可能是射线薄壁细胞的单宁物质向导管内渗透而形成的。无瓣海桑和海桑具有类似侵填体似的物质。

2.1.3 木纤维 海桑属 6 种红树植物的木纤维为韧型木纤维, 它们都具分隔。海桑属 6 种红树植物的韧型纤维壁上具有单纹孔, 纹孔的数量非常稀少且直径非常小, 在径切面的管壁上易见, 弦切面上不易见到。纹孔形状呈圆形或裂缝状, 一般 1~2 列, 排列稀疏。纤维长度较短(589.5~702.4 μm), 纤维壁的厚度为 3.9~6.4 μm , 本研究发现不仅在导管的次生壁上具有明显的条状次生加厚, 而且在韧型纤维壁上也具有明显的条状次生加厚。

2.1.4 木薄壁组织 木薄壁细胞稀少, 如果木薄壁细胞存在, 呈星散状排列, 束长约 2~4 个细胞。木薄壁细胞之间的纹孔为单纹孔对。

2.1.5 木射线 海桑属6种红树植物的射线类型为同形II型。横切面上射线的宽度远小于导管弦向管径的宽度。从弦切面上观察,射线的分布较密(17.2~24.6条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$),高度较低(0.29~0.53mm),多数单列,少数二列。单列射线的细胞形状,其尖端细胞为圆锥形,中间细胞为方形或长方形。二列射线的细胞形状与单列射线类似,但中间细胞略显不规则。径切面上射线斑块明显,成块状分布。弦切面和径切面上射线薄壁细胞的单纹孔清晰可见。6种海桑属红树植物的射线薄壁细胞内都可见到晶体,结晶体丰富,结晶体存在于射线薄壁细胞中,木薄壁细胞未见。含晶细胞既不膨大成巨型异细胞,也不分室。晶体较大,基本上占满了整个细胞。木射线细胞内所含晶体一般为斜方形晶体,在木材射线薄壁细胞内广泛分布,越靠近髓部的射线薄壁细胞越易见到,一个射线薄壁细胞含一个晶体,有时,在近髓部位置,相邻射线薄壁细胞都含有晶体,使晶体成串状排列,束长达几十个细胞。在近髓部位置也能见到棱形、长方体、多面体等其它类型的晶体。

表1 海桑属6种红树植物次生木质部形态特征

种名	侵填体或胶状物	螺纹加厚	轴向薄壁组织	射线类型	晶体及其分布
海桑 <i>S. caseolaris</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞
杯萼海桑 <i>S. alba</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞
海南海桑 <i>S. hainanensis</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞
卵叶海桑 <i>S. ovata</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞
拟海桑 <i>S. caseolaroides</i>	+	+	稀少	同型 III	位于射线薄壁细胞

2.2 海桑属6种红树植物次生木质部组成分子的数量特征的种间比较

根据 Chattayway 的分类标准^[3],导管分布频率大于40个 $^{\circ}\text{mm}^{-2}$ 为很多;导管直径在50~100 μm 为窄;导管分子长度300 μm 为短,300~800 μm 为中等大小;纤维长度小于1mm为很短;射线分布频率4~7条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$ 为较多,大于10条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$ 为很多;射线高度小于0.5mm为很低。

通过比较结果表明(见表2):海桑属6种红树植物的导管分布频率的平均值都大于40个 $^{\circ}\text{mm}^{-2}$,它们的平均值在48.9~90.1个 $^{\circ}\text{mm}^{-2}$,最大是卵叶海桑,它们平均值为90.1个 $^{\circ}\text{mm}^{-2}$,最小为拟海桑,它们的平均值为48.9个 $^{\circ}\text{mm}^{-2}$,因而,海桑属6种红树植物的导管数目都很多。海桑属6种红树植物的导管分子长度为短或中等大小,杯萼海桑的导管分子长度为294.0 μm ,为短;其余5种导管分子的平均长度为315.0~389.2 μm ,最大是卵叶海桑,为389.2 μm ,它们的导管分子长度为中等大小。海桑属6种红树植物的导管直径为小,它们的平均值在71.4~79.6 μm 之间,最大是无瓣海桑,平均值为79.6 μm ,最小是卵叶海桑,平均值为71.4 μm 。海桑属6种红树植物的纤维长度的平均值为595.2~702.4 μm ,均小于1mm,为很短,其中,最大是拟海桑,平均值为702.4 μm ,最小为海南海桑,平均值为595.5 μm 。海桑属6种红树植物的射线分布频率的平均值为17.2~24.6条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$,都大于10条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$,因而,它们的射线分布频率为很多,其中,射线分布频率杯萼海桑最大,平均值达24.6条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$,卵叶海桑最小,平均值达17.2条 $^{\circ}\text{mm}^{-1}$ 。卵叶海桑的射线高度的平均值为0.53mm,它们的射线高度为低,其余4种为极低。

表2 海桑属6种红树植物导管、纤维及射线的数量特征

种名	导管频率 / no $^{\circ}\text{mm}^{-2}$	单孔率 /%	导管直径 / μm	导管分子 长度/ μm	纤维长度 / μm	射线密度 / no $^{\circ}\text{mm}^{-1}$	射线高度 / mm
海桑 <i>S. caseolaris</i>	66.7±44.5	37.2±10.8	77.4±21.8	329.4±88.3	589.5±203.5	22.5±3.3	0.30±0.13
杯萼海桑 <i>S. alba</i>	79.0±22.3	29.0±12.0	74.5±14.0	294.0±84.3	672.0±96.6	24.6±3.8	0.38±0.10
海南海桑 <i>S. hainanensis</i>	64.6±25.1	23.7±9.6	72.8±15.4	379.4±84.0	595.0±127.4	19.6±2.6	0.44±0.20
卵叶海桑 <i>S. ovata</i>	90.1±40.7	16.7±8.8	71.4±16.8	389.2±99.8	599.2±138.6	17.2±2.9	0.53±0.18
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	66.2±55.1	22.9±7.6	79.6±16.9	315.0±71.0	655.0±101.6	20.7±3.8	0.29±0.10
拟海桑 <i>S. caseolaroides</i>	48.9±24.7	43.7±1.9	79.4±10.8	366.4±100.1	702.4±102.3	23.0±4.0	0.32±0.13

* 数据为均值±标准差($\bar{X}\pm\text{SE}$)

2.3 海桑属 6 种红树植物的木材应用

海桑属 6 种红树植物的导管管壁厚度 (V) 和纤维管壁厚度 (W) 见表 3。多数植物的纤维管壁厚度介于 $2.0 \sim 6.0 \mu\text{m}$ 之间, 从表 3 可以看出: 6 种海桑属红树植物的纤维壁在中等厚度到很厚之间。6 种海桑属红树植物的导管壁厚度在 $6.2 \sim 8.4 \mu\text{m}$ 之间, 因而, 它们的导管壁是很厚的。据 Tamolany 等^[4] 认为: 纤维壁厚度 (W) 与纤维腔宽度 (L) 的比值可做为造纸的依据。用公式表示为 $2W/L$, 海桑属 6 种红树植物的纤维特性计算结果见表 3。Tamolany 等认为: $2W/L \leq 1$ 时, 为造纸较好的原料; $2W/L > 1$ 时, 不太适合于造纸。从表 3 可知, 海桑、无瓣海桑, 卵叶海桑的木材有可能用于造纸, 其余 3 种海桑属红树植物可能均不太适合造纸。

表 3 海桑属 6 种红树植物的导管和纤维壁厚及其 $2W/L$ 值

	海桑	杯萼海桑	海南海桑	卵叶海桑	无瓣海桑	拟海桑
V	6.2 ± 2.0	8.2 ± 1.5	7.6 ± 1.1	8.4 ± 1.2	6.4 ± 1.2	7.8 ± 1.5
W	4.2 ± 1.4	5 ± 1.5	6.4 ± 1.4	3.9 ± 1.0	4.2 ± 1.1	4.6 ± 2.3
L	18.6	5.4	6.8	15.02	21.1	6.2
$2W/L$	0.45	1.851	1.882	0.519	0.398	1.483

* 表中数值为均值 \pm 标准差 ($\bar{X} \pm \text{SD}$) 或均值 \bar{X}

3 讨论

1) 红树林是热带、亚热带海岸特有的植被类型。组成红树林的木本植物称红树植物。红树植物通常生长在滨海潮间带, 土壤盐渍化, 因而尽管生活在水中, 却产生了“生理干旱”, 同时, 红树植物还受到风浪和潮汐的冲击。因而红树植物的木材结构主要是具有显著的抗旱性以及对抗风浪、潮汐有较强的抵抗能力。

2) 本文所观察的海桑属 6 种红树植物都具有复孔率高、单孔率低的特点。这与我国西北地区的沙生植物的导管特征极为相似^[5~8]。Bass 等人^[9] (1983) 提出: 如复孔率高, 当部分导管被气泡堵塞时, 其周围的导管仍可为水分运输提供旁道。复孔率高、单孔率低这一特征可能与水分运输有着密切的关系, 即是沙生植物长期抗旱的结果, 也是红树植物长期适应“生理干旱”的结果。

3) 海桑属 6 种红树植物导管的管孔小, 单位面积内导管分布频率高。这与前人研究红树植物的导管特征的结果相一致^[10]。红树植物形成小型化导管的环境因子可能是盐度。Pokrovoskya 发现, 盐度抑制了盐地植物的细胞分裂。Sruogonov (1962) 阐述了盐地抑制了盐生植物的分化作用, 使盐地植物的生长发育缓慢。但盐渍地含盐量高, 渗透势大, 植物吸水需要更多的负压, 而导管小型化能提高植物的负压, 增强植物的吸水能力。海桑属 6 种红树植物导管直径都比较小, 能有效地保证水分运输的安全性, 导管小型化虽然将使运输效率降低, 但海桑属 6 种红树植物均为散孔材, 由于散孔材导管分布均匀, 数量多, 分布面积大, 因而能大大地缓解这一矛盾。

4) 有的学者认为^[12]: 附物纹孔可增加细胞壁的面积, 其结果是增加了水分在导管壁上的附着力, 使导管中水柱的抗张力增加, 形成栓塞的危险降低。马瑞君等人^[8] 通过研究沙生环境 6 种拐枣属植物认为: 附物纹孔可能是由遗传因子决定的, 在分类上更有价值。我们观察的 6 种海桑属红树植物都具有附物纹孔。同时, 同属于海桑科 (*Sonneratiaceae*) 的八宝树属 (*Duabanga*) 植物八宝树 (*Duabanga grandiflora* (Roxb.) Walp., 即 *D. Sonneratioides* Ham.), 散生于滇南 1500m 以下的湿润山谷山腹, 也具有附物纹孔^[13]。附物纹孔的存在是否具生理或生态的适应意义至目前还没有确凿的证据, 有待进一步研究。

5) Carlquist 等^[14~15] 认为导管壁上的螺纹加厚, 可使细胞表面积增加, 提高管壁对水分的粘着力, 增加管内水分的内聚力, 减少管内产生气泡的危险, 可更有效地输导水分。然而, Bass 等^[9] 持不同的意见: 具螺纹加厚的导管在中东干旱的地区极少发生, 而在气候温和的地中海区域及温带地区的植物中则很常见。我们研究的 6 种海桑属红树植物都具有螺纹加厚, 我们的实验仅局限于热带地区海岸潮间带, 因而无法对两位学者截然相反的观点作出确证。但从主观上, 我们倾向于支持 Carlquist 的观点。我们认为: 红

树植物生长于含盐质的底质需要解决两个问题:一个是所谓的“生理干旱”所引起的水分胁迫,另一个是盐分的生理毒害作用。红树植物必须具有高的渗透压保证根系能从周期性水淹的盐渍土中吸收水分,同时为防止盐类的毒害作用,必须迅速把盐类由茎运输到叶积聚起来或排出体外,因此,红树植物茎的次生木质部具有很高的渗透压,有资料表明海桑达 32.0 大气压,白骨壤可高达 62.0 大气压^[16],这与它们的结构有着密切的联系,除了导管小型化外,也许导管的次生加厚也具有适应意义,正是有效地完成水份吸收和运输这项生理功能结构上的保证之一。同时,Carlquist^[14~15]还认为:螺纹加厚还可以增加导管壁的机械力量,这对于生长在不良条件下的植物具有适应意义。我们观察的海桑属 6 种红树植物不仅导管壁上具次生加厚,纤维壁上也具次生加厚,导管壁和纤维壁也都比较厚,且纤维聚集成束,木薄壁组织缺乏或稀少成星散状排列。这些特征都是海桑属红树植物对潮汐和风浪冲击的适应。

综上所述,海桑属红树植物的次生木质部具有导管直径小,导管分布频率高,复孔率高,导管壁和纤维壁厚且具次生加厚,木薄壁组织缺乏或稀少等与环境相适应的特征。

参考文献:

- [1] 李正理. 植物制片技术[M]. 北京:北京大学出版社,1996.
- [2] Tomlinson P. B. The Botany of Mangroves[M]. London: Cambridge University Press, 1989.
- [3] Chattaway, M. M. Proposed standards for numerical values used in describing woods[J]. Tropical woods, 1932, (29): 20—28.
- [4] Tamolany F. N. Fiber dimensions of Philippine broadleaved and coniferous woods[J]. palms and bamboos. II: Tappi, 1958, 41 (10): 614—621.
- [5] 张新英,曹宛虹. 生长在不同生境下的沙棘次生木质部解剖学的研究[J]. 植物学报, 1990, 32(12): 900—915.
- [6] 曹宛虹,张新英. 锦鸡儿属 6 种沙生植物次生木质部解剖[J]. 植物学报, 1991, 33(3): 181—187.
- [7] 张新英,曹宛虹. 豆科 7 种沙生植物次生木质部的生态解剖[J]. 植物学报, 1993, 35(12): 920—935.
- [8] 马瑞君,吴树明,王凤春. 6 种沙拐枣属植物茎次生木质部的解剖及其对沙生环境的适应[J]. 植物学报, 1994, 36(增刊): 55—60.
- [9] Bass, P., E. Weaker and A. Fahn. Some ecological trends in vessel characters[J]. IAWA Bull. n. s. 1983, (4): 141—159.
- [10] Janssonius H. H. The vessel in the wood of Javan mangrove trees[J]. Blumea 1950, (6): 407—461.
- [11] Zimmermann, M. H. Xylem Structure and Absent of Sap[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 2—20.
- [12] Zweepfenning, R. C. V. J. A hypothesis on the function of vested pits[J]. IAWA Bull. n. s. 1978, (1): 13—15.
- [13] 唐耀,云南热带材及亚热带材[M],北京:科学出版社,1973,212—213.
- [14] Carlquist S. Hoekman D. A. Ecological Strategies of Xylem Evolution[M]. Berkeley: Univ. California Press, 1975. 57.
- [15] Carlquist S. Ecological factors in wood evolution: A cladistic approach[J]. American Journal. Botany, 1977, (64): 887—896.
- [16] Lin, P. Mangrove Vegetation[M]. Beijing: China Ocean Press, 1988. 22—23.

2001 年《福建畜牧兽医》杂志征订启事

《福建畜牧兽医》杂志是由福建省农科院畜牧兽医研究所、福建省畜牧兽医学会、福建省农业厅畜牧局、福建农业大学动物科学学院联合主办,全国公开发行的综合性畜牧兽医优秀科技期刊、全国畜牧兽医专业核心期刊(ISSN 1003—4331 CN 35—1103/S)。本刊为读者提供畜牧兽医最新信息动态、科技成果、诊疗经验、致富知识。内容丰富多彩,选材新颖实用,设有调查研究、专论综述、临床资料、生产经验、中兽医、肉品检验、科普园地、无规定动物疫病区建设、商业广告等栏目,具有很强的专业性、先进性和实用性,深受畜牧兽医技术人员、业务主管部门、院校师生及专业养殖户、养殖场、饲料加工厂、饲料、兽药经营部员工的欢迎。本刊为双月刊,逢双月出版,福州市邮政局发行,邮发代号 34—81,16 开本,64 页。每期定价 3.50 元,全年 6 期每份共 21.00 元。未赶上邮局订阅的同志,可直接汇款到本刊编辑部订阅。本刊编辑部地址:福州市鼓屏路 153 号《福建畜牧兽医》杂志编辑部。邮编:350003

《福建畜牧兽医》编辑部(电话:0591—7856764)