

# 中国红树植物的营养器官结构与生态适应的研究(II)

黄桂玲                      黄庆昌  
(生物学系)                  (仲恺农业技术学院)

## 摘 要

中国10科13属16种红树植物根的生态解剖结果表明:红树植物根的形态结构有趋同适应以及气生根表现出相似于茎的结构等现象。阐述了特殊的环境条件对根的形态和结构有直接的影响。

**关键词** 红树植物, 根, 解剖, 趋同适应

红树林是热带海岸特有的植物群落,经济价值较大<sup>(1~4)</sup>。本文试图通过对红树植物根的形态结构研究,阐明红树林与环境的关系,以期对林业生产和环境保护等提供必要的参考。

## 1 材料和方法

观察所用的16种红树植物及其根的类型如下:

序号	科名	种名	根的类型			
			地下根	呼吸根	支柱根	板根
1	爵床科	小花老鼠簕 <i>Acanthus ebracteatus</i> Vahl.	▲		▲ <sup>(2,8)</sup>	
2	爵床科	老鼠簕 <i>A. ilicifolius</i> L.	▲		▲ <sup>(2,5)</sup>	
3	使君子科	榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.	▲	▲(膝状) <sup>(5)</sup>		
4	大戟科	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i> L.	▲	■		▲ <sup>(3)</sup>
5	楝科	木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i> Koeng	▲	▲(板状蛇形) <sup>(3,5)</sup>		
6	紫金牛科	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> (L.)Blanco	▲		▲ <sup>(1)</sup>	
7	红树科	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.)Savigny	▲	▲(膝状) <sup>(2,3,5,8)</sup>	▲	▲ <sup>(5)</sup>
8	红树科	海莲 <i>B. sexangula</i> (Lour.) Poir.	▲	▲(膝状) <sup>(5,8)</sup>	▲	▲ <sup>(3)</sup>
9	红树科	秋茄树 <i>Kandelia candel</i> (L.) Druce	▲	▲(膝状)	▲ <sup>(2,3)</sup>	▲ <sup>(2-4)</sup>

本文1988年12月2日收到

10	红树科 角果木	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C. B. Rob.	▲ ▲(膝状) <sup>[5]</sup> ▲ <sup>[2,3,5]</sup> ▲ <sup>[1]</sup>
11	红树科 红树	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	▲ ▲ <sup>[15,7,8]</sup>
12	红树科 红海榄	<i>R. stylosa</i> Griff	▲ ▲ <sup>[1,3,4,5,7,8]</sup>
13	茜草科 瓶花木	<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> Gaertn. f.	▲
14	海桑科 海南海桑	<i>Sonneratia hainanensis</i> Ko, E. Y. Chen & W. Y. Chen	▲ ▲ <sup>[1-6]</sup>
15	梧桐科 银叶树	<i>Heritiera littoralis</i> Dryand	▲ ▲(膝状) ▲ <sup>[5,6]</sup>
16	马鞭草科 海榄雌	<i>Avicennia marina</i> (Forsk.) Vierb.	▲ ▲ <sup>[1-8]</sup>

● 包括笋状呼吸根、膝状根、板状蛇形呼吸根

▲ 本实验已切片观察;

■ 指生长于海滩内缘的海漆, 暴露于地面的庞大根系(图版 I—4)

上述植物, 先后采集于广东省的雷州半岛、宝安盐灶、深圳福田、海南省文昌县清澜港、琼山县东寨港等地的红树林自然保护区和琼海县。每种植物, 分别选取成熟的地上及地下根, 以 FAA 固定液固定, 石蜡切片法切片, 切片厚 10~15 微米, 用番红、固绿染色, 光学树脂封固, 光学显微镜下观察并拍照。

## 2 观察结果

### 2.1 16种红树植物根的主要解剖特征

观察了 16 种红树植物各种类型根的显微结构, 发现它们存在着不少共同的特征。

(1) 红树科的木榄、秋茄树、红树、红海榄和非红树科的老鼠簕、桐花树、海榄雌, 在木栓出现之前, 皮层外方常发育为 1 至多层的外皮。

(2) 木栓层的细胞, 细胞壁通常较薄。不少植物如海漆、桐花树、秋茄树、角果木、红树、红海榄、海南海桑和海榄雌等根的木栓层, 由扁平的木栓细胞层与径向延长的木栓细胞层相间, 呈现生长层(图版 I—3, II—2), 其中海南海桑和海榄雌的笋状呼吸根<sup>[3,4]</sup>(指状呼吸根<sup>[1]</sup>、出水通气根<sup>[6,7]</sup>), 在木栓层中, 还间隔着薄壁细胞(图版 II—2)。部分植物如海漆、桐花树、秋茄树、木榄、海莲、红树、海南海桑和海榄雌等的栓内层通过切向分裂, 形成了多层的栓内层。其中木榄、海莲、秋茄树(地下根)的栓内层及海南海桑的木栓层中, 还分化出石细胞(图版 I—4)。更有趣的是木果楝根的木栓细胞的细胞壁, 呈马蹄型增厚(外切向壁不增厚), 其中偶尔夹杂着非木栓细胞。

(3) 红树植物的气生根, 皮孔大而多, 皮层的通气组织发达。木榄属的支柱根及膝状根的地下部分, 皮层占比例大, 排列整齐的、径向长圆形的薄壁细胞, 通常呈径向地分离, 沿着维管柱出现放射向的通气道(图版 II—3)。桐花树、秋茄、红树的支柱根, 红海榄支柱根先端的侧根, 海南海桑和海榄雌的笋状呼吸根等, 皮层常由分枝的薄壁细胞组成海绵状的通气组织(图版 I—1,3; II—2)。老鼠簕支柱根的皮肤, 则由略呈分

枝的薄壁细胞连成腔隙发达的通气系统。

(4) 红树植物的支柱根机械组织发达,有纤维和石细胞环绕维管柱(老鼠簕属、桐花花树、红树属)或有韧皮纤维束(木榄属、秋茄树)。

海榄雌的呼吸根,桐花树、木榄属的支柱根以及红海榄支柱根先端的侧根,它们的皮层薄壁细胞在相毗邻的细胞壁上往往向内生长Y形(海榄雌、桐花树和红海榄)或径向环带状(木榄属)的木质化的增厚脊。这种具增厚脊的特化的薄壁细胞,被称为机械细胞(mechanical cell)<sup>[5]</sup>(图版I—1),是红树植物气生根的特征之一。文献提到老鼠簕支柱根上部的皮层细胞有板状增厚(plate-like thickening)<sup>[5]</sup>。本实验只见其皮层薄壁细胞偶有网纹的纤维素加厚。红海榄根的皮肤,也有同样现象。

(5) 大多数红树植物的根,导管的直径大,数量不多,常含侵填体。如老鼠簕属,榄李、海漆、木果楝、木榄属、秋茄树、角果木、红树属和海榄雌等。其中以海漆、海南海桑(地下根)的导管数量最少(图版I—2)。桐花树、瓶花木及海南海桑(出水呼吸根)的导管数量最多。

(6) 所观察的红树植物中,只有老鼠簕属、秋茄树、海莲、红海榄和海榄雌的根具凯氏带增厚的内皮层。桐花树、木榄和红树,有1层显著的内皮层,但未见凯氏带增厚。

(7) 不少红树植物的根有异常次生结构。如海榄雌的地下根具有内函韧皮部(图版I—1)。秋茄、木榄属和银叶树的膝状呼吸根(图版III—1,2)的异常结构,是由于木质部局部的向上增生而形成。至于银叶树的板根(图版III—1)、木果楝的蛇形板状呼吸根和秋茄等膝状根相似,是通过水平根变成垂直压缩<sup>[5]</sup>的异常次生构造的。

## 2.2 红树植物根的结构与生态适应

红树植物根的共同结构特征,是它们长期适应环境的结果。

(1) 红树植物根的周皮,由于木栓形成层活动的差异产生了径向延长的与扁平的木栓细胞相间,或木栓细胞层与非栓质化的拟木栓细胞层交替排列,或在周皮的局部位置,尤其是皮孔下方,产生由多层栓内层发育的次生皮层(图版I—4, II—1)。木栓组成的多种变化,起到了促进这些部分分离的作用<sup>[6]</sup>。所以,这些植物地上根的树皮以及大的皮孔周围,常呈薄片状剥离,这对通气作用是有利的。因为连续的片层剥落,通过暴露的薄壁细胞可发生气体交换<sup>[5]</sup>。此外,木栓层中的胞间隙,也可使气体交换不通过皮孔来进行<sup>[5]</sup>。

(2) 海南海桑和海榄雌,都有由放射向的地下侧根产生的笋状呼吸根(出水通气根 pneuma-thodium)。呼吸根的皮肤由分枝薄壁细胞组成,疏松的通气系统,对迅速扩大面积和增加通气作用都是有利的。

木榄属的呼吸根,是由地下水平侧根间歇地突出土壤的,常见有2种类型:一种膝状(弯曲)根,是由表面侧根的顶端伸出土壤后,再弯向土中而成。这种根上下粗细均匀,木栓层薄,皮孔小,其结构与支柱根同。另一种(包括秋茄树)由伸出土壤的侧根,通过在拱形部位的异常次生生长,形成膝状根,膝状根再向下长出不定根,或象银叶树的膝状根,由水平根局部的侧面升起而产生<sup>[6]</sup>。这种膝状根粗壮,木栓层厚,皮孔非常而且多。通过对膝状根从基部到顶端连续切片的观察,可见形成层不仅分布在膝状根的

侧面,也扩展至整个顶端;隆起的膝状部分,是位于顶端的形成层进行分裂活动,根的木质部局部向上增生所产生<sup>[7]</sup>的异常次生结构。所以,在膝状根基部作横切面,可见偏心的生长轮(图1),随着木质部不断的向上增厚,逐渐呈现垂直取向的生长轮,所以,在膝状根的上部,生长轮竟出现在纵切面上。膝状根木材的比例大,以羽型纤维为主,有少量直径不大的导管。膝状根是以它发达的皮孔与地下根的通气组织共同履行气体交换和呼吸作用的。然而, J. R. Etherington 认为:作为气生根,根的通气作用是受周期性的涨潮的影响,而它的皮孔被每一次涨潮复盖,沉水之后,根的氧气浓度下降,当退潮之后,又再次上升。

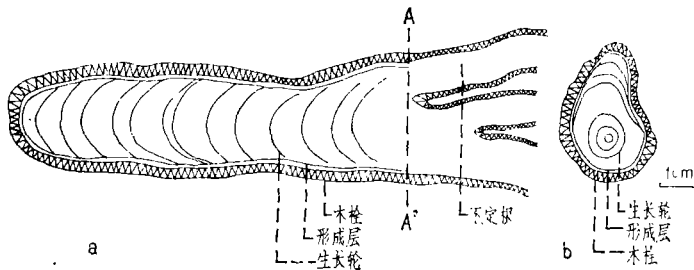


图1 海莲膝状根的纵切面a和横切面b(通过A-A'的切面)

Fig.1 The vertical section and cross section of the root of *Bruguiera sexangula*

(3) 红树植物的板根,见于海漆、木果楝、木榄属、秋茄树、角果木和银叶树等。板根是由离地面或恰在地面的粗大侧根发展而成。在茎与沿土表走的侧根之间构成一个护角,它们是由侧根上侧极端弯曲的次生长所形成<sup>[8]</sup>。通过观察,发现秋茄树板根的形成与上述不同。它的形成与茎基部不定根的发生有关。当茎基部的不定根由内向外成行列地发生时,茎相应位置的木质部薄壁细胞增生,夹杂着斜向的导管分子向外突出,该部位的形成层和韧皮部也随之往外突出,茎表面则形成板状突起。扩展的板状茎基遂与其下方的不定根愈合。所以秋茄树的板根实为茎基的异常次生结构与不定根的愈合体。板根以它较大的表面积分布着众多的大型皮孔,为整个根系提供气体交换和必要的联系。

观察了海漆、木果楝、桐花树和角果木等沿着土壤表面水平走向的侧根,由于形成层环不均等的分裂活动,它们的木质部都有明显的偏心生长,其中角果木已形成典型的扁化根。垂直压缩的扁化根,使根从地面上升高,以适应根的呼吸作用的需要。

(4) 从树干基部长出的拱形下弯的支柱根,与笋状呼吸根一样(但两者的方向是相反的),都是一部分在缺氧的淤泥中生长,另一部分则生活在受海风和潮汐侵袭的地面上。由于所处的环境不同,其地上部分与扎入土壤部分的根的结构就有差异。

老鼠簕的气生支柱根和海榄雌笋状呼吸根的气生部分,表面绿色;红海榄和海莲幼嫩的气生支柱根,表面褐绿色,是因为皮层外方的薄壁细胞含有叶绿体。海南海桑呼吸根片状剥落的木栓亦呈现绿色,是由于栓内层富含叶绿体所致<sup>[9]</sup>。而这些根扎入土壤部分,是不带绿色的。从上可见,红树植物的气生根,为了适应气生环境,逐渐出现了类似于茎的结构。甚至在海南海桑呼吸根的基部,还可看到清晰的年轮。这些特征,使得气生根在执行呼吸作用的同时,也具有茎的同化和支持作用。而同一气生根,生长于土

壤的部分,由于生活在周期性淹水和缺氧的环境,也趋向于水生根的构造,如通气组织特别发达,机械组织减弱,木材部分减少等。同时,在笋状呼吸根的气生部分,与皮层相比,有非常高比例的木材,而在地下部分,减缩的木材,可能归于更潮湿的习性的影响或由于土壤提供了最适当的支持<sup>[5]</sup>。

### 3 讨 论

(1)与其它器官相比,红树植物的根,长期生长在受周期性海水浸渍、缺氧的淤泥中,为适应环境,根的形态和结构的变化最大。各种气生根及其特有的结构特征,为解决根的呼吸作用创造了有利的条件,从而使地下根获得足够的氧气,以进行正常的生理功能。

(2)红树植物形态上有各种相似的气生根;解剖上有各种细胞的木栓层,栓内层多层;皮层由分枝的薄壁细胞组成,机械组织发达,有的还有机械细胞;导管的直径大,数量少等特征,表明了亲缘关系疏远的红树植物,由于适应相同的环境,而呈现相似的形态和结构的趋同适应。

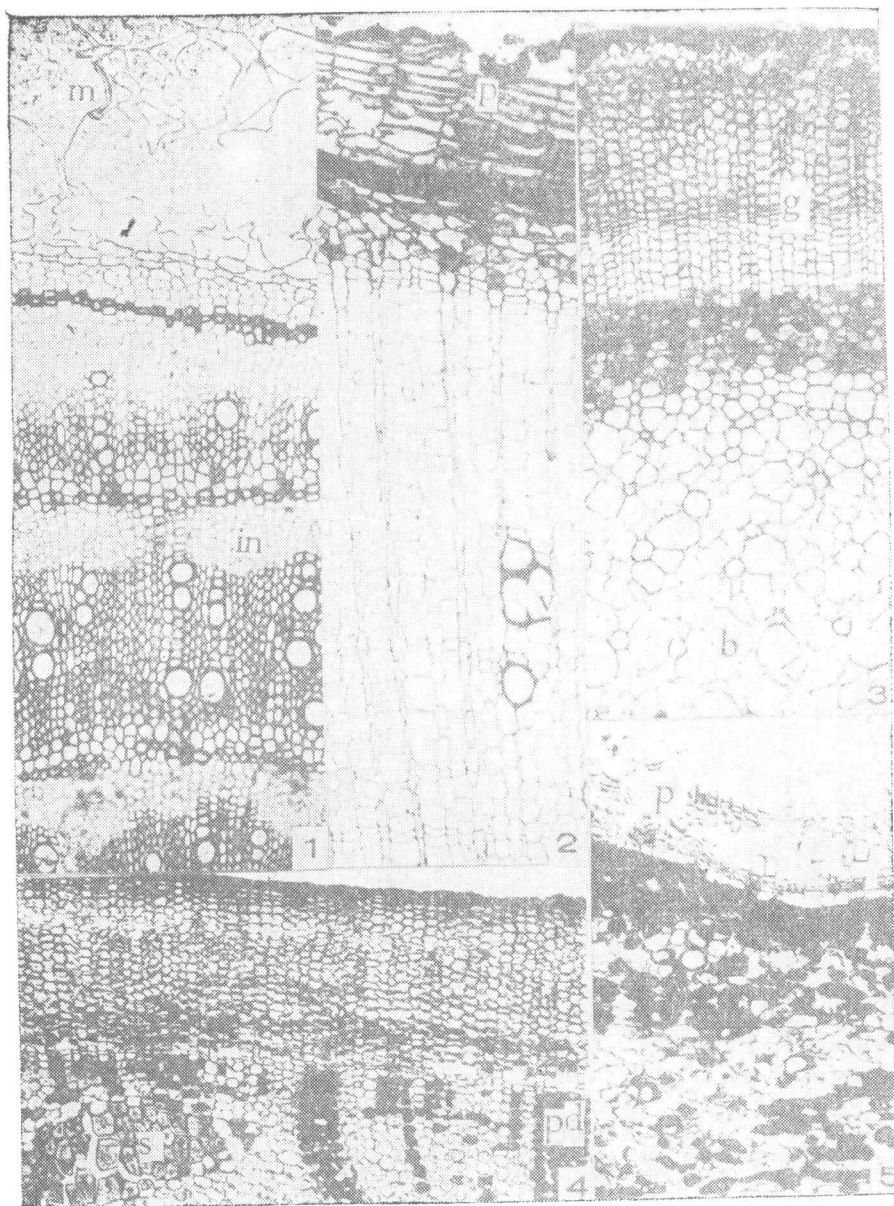
(3)异常次生构造是红树植物对特殊生态环境的适应。除海榄雌的地下根为内韧皮部外,其余的如木果楝、秋茄树、角果木、木榄、海莲和银叶树等的气生根的异常结构,都是由于木质部向上增生的结果,这是趋同适应的又一表现。

(4)实验还阐述了红树植物的根,在气生的环境中生长,可出现和茎相似的结构,即具有表面呈绿色,具皮孔,木栓层厚,皮层占比例小,维管柱占比例大,机械组织发达等茎的解剖特征。与 Lebedenko 等人所指出的根有可逆性存在<sup>[6]</sup>的观点是一致的。

(5)作为根的特征之一,具凯氏带增厚的内皮层,仅见于老鼠簕属、秋茄树、海莲和海榄雌。文献认为:在水生盐地植物中,发现内皮层整个径向壁都被凯氏带覆盖<sup>[9]</sup>。本实验除偶见海莲的内皮层有较通常宽的凯氏带增厚外,其余植物,未发现这一现象。

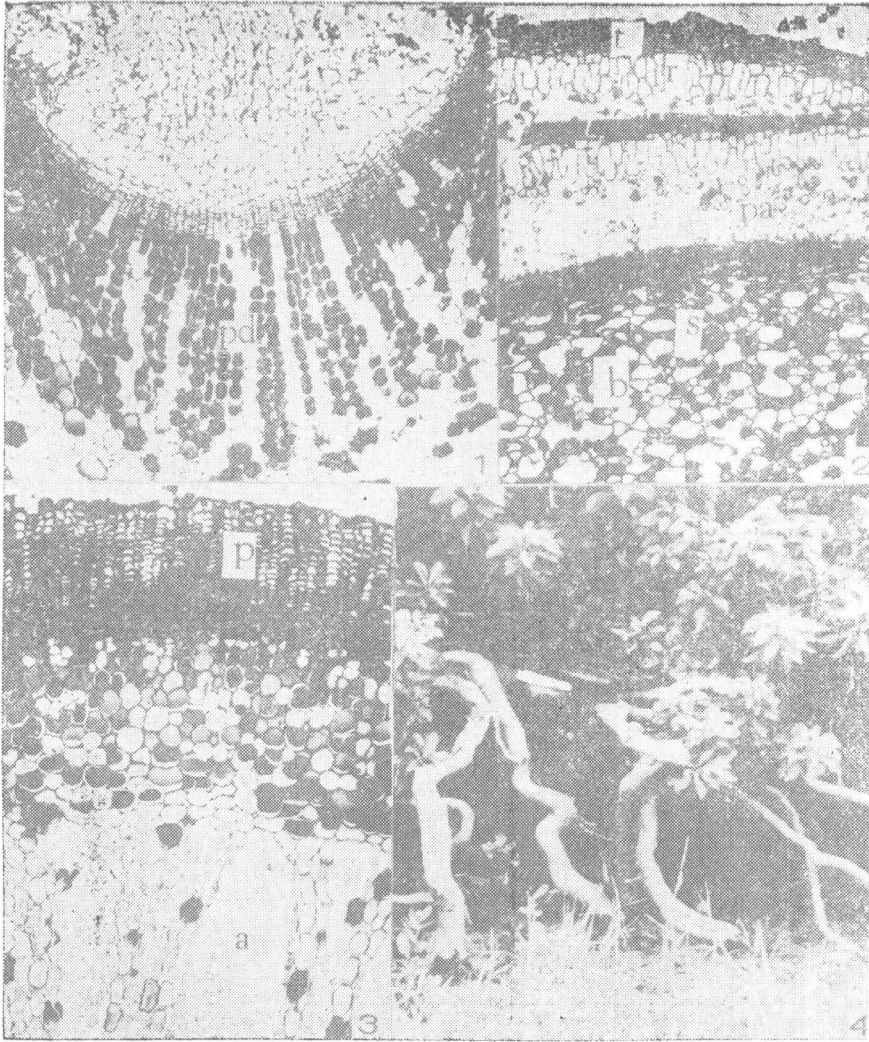
### 参 考 文 献

- [1] 广东植物研究所编,广东植被,科学出版社,1976
- [2] 何景,生物学通报,1957,8,1~5
- [3] 林鹏,生态学报,1(1981),3,283~289
- [4] 高蕴璋,热带地理,5(1985),1,1~8
- [5] V J Chapman, *Mangrove Vegetation*, J. Cramer, 1976, 301~338
- [6] Metcalfe C R et al., *Anatomy of the Dicotyledons*, Clarendon Press, Oxford, 1950, P. 242~254, 350~358 601~611, 660~664
- [7] J R Etherington, *Environment and Plant Ecology*, John Wiley & Sons, Ltd., 1976, 216~217
- [8] P W 理查斯著(张宏达等译),热带雨林,科学出版社,1976,66~84,334~349
- [9] A 波杰科夫——梅柏 J 盖尔主编(赵可夫译),盐渍环境中的植物,科学出版社,1980, P. 167



图版 I Plate I

1. 海榄雌 *Avicennia marina* 地下根横切，内函韧皮部in，皮层的机械细胞m，93×
2. 海南海桑 *Sonneratia hainanensis* 地下根横切，木栓P，导管V，93×
3. 桐花树 *Aegiceras corniculatum* 根横切，木栓的生长层g，皮层中的分枝薄壁细胞 b，93×
4. 秋茄树 *Kandelia candel* 地下根横切，栓内层pd多层，其中的石细胞S，93×
5. 木果楝 *Xylocarpus granatum* 地下根横切，马蹄型增厚的木栓细胞p，93×



图版 II Plate I

1. 红树 *Rhizophora apiculata* 横切, 皮孔下多层的栓内层Pd. 93 ×
2. 海南海桑 *Sonneratia hainanensis* 出水根横切, 木栓层的扁平细胞t, 径向延长的细胞r, 薄壁细胞Pa, 皮层中的分枝薄壁细胞B, 石细胞S. 68 ×
3. 海莲 *Bruguiera sexangula* 根横切, 皮层的通气道a. 68 ×
4. 海漆 *Excoecaria agallocha* 根上升至地面



图版Ⅲ Plate III

- 1. 銀叶树 *Heritiera littoralis* 的板根bu和膝状根K
- 2. 木榄 *Bruguiera gymnorrhiza* 的膝状根K

## Studies on the Structure of Plant Organs and Ecological Adaptation of Mangrove in China(Ⅱ)

Huang Guiling\* Huang Qingchang

### Abstract

The paper deals with ecological anatomy of the roots of 16 species mangrove in China. The results have shown that there is convergent adaptation of mangrove roots, and the structure of aerial root resembles that of the stem. The studies exhibited that the peculiar conditions of the environment effect directly on the morphology and structure of the roots.

**Keywords** mangrove plant, root, anatomy, convergent adaptation

● Department of Biology