

福建红树林植物丛枝菌根侵染研究

蔡邦平¹, 董怡然¹, 侯全², 黄耀坚²

(1.厦门市园林植物园, 福建 厦门 361003; 2.厦门大学 生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 2010年5月和12月,对福建沿海3个红树林生长区(洛阳江、九龙江口、漳江口)的红树林植物丛枝菌根(AM)侵染状况进行研究。结果表明:(1)红树林生长区中6种植物根内均发现AMF侵染结构,其中桐花树、秋茄、鱼藤和芦苇的丛枝为Arum(疆南星)型;(2)6种植物的丛枝菌根侵染率差异较大,老鼠簕的侵染率最高,鱼藤最低;(3)桐花树和秋茄的丛枝菌根侵染率呈显著差异,而其在不同生长区之间无差异;(4)桐花树和秋茄的丛枝菌根侵染率在不同时间呈显著差异,而钝草的丛枝菌根侵染率在不同时间的差异不显著。

关键词: 红树林植物; 丛枝菌根; 侵染率

Doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2012.01.001

中图分类号: Q948.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-7791(2012)01-0001-06

Studies on Arbuscular Mycorrhiza infection to Mangrove Plants in Fujian

CAI Bang-ping¹, DONG Yi-ran¹, HOU Quan², HUANG Yao-jian²

(1.Xiamen Botanical Garden, Xiamen 361003, Fujian China; 2.School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian China)

Abstract: To study the symbiosis between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and mangrove plant species, 102 root and soil samples from 6 plant species were collected in three main mangroves growth zone in Fujian, in May and December of 2010. The main results showed that: (1)AMF infection structures were mostly found in the form of curled and expanded intracellular hyphae, vesicles, which were commonly associated with all the mangrove species we investigated. 'Arum-type' arbuscules were found in *Parmentiera cerifera*, *Kandelia obovata*, *Derris trifoliata* and *Phragmites australis*; (2)AM infection rate was different in mangrove plant species, with *Acanthus ilicifolius* the highest and *Derris trifoliata* the lowest; (3) There were significant differences of AM infection rate existing between *Parmentiera cerifera* and *Kandelia obovata*, but no difference among three sampling sites; (4) There were also significant differences of AM infection rate in different period in *Parmentiera cerifera* and *Kandelia obovata*, but no significant difference in *Stenotaphrum helferi* in different period.

Key words: mangrove plant; arbuscular mycorrhiza; infection rate

菌根是由真菌与植物根系建立的一种互惠共生体。丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizae)是自然界中分布最广泛的内生菌根^[1],它对生态系统的演替过程、物种多样性和生产力及被破坏的生态系统恢复与重建等都有十分重要的作用^[2-3]。红树林为自然分布于热带和亚热带海岸潮间带滩涂上的木本植物群落,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^[4]。研究表明,丛枝菌根真菌也是红树林生态群落中的一员,对红树林植物丛枝菌根真菌研究可以丰富红树林生态学的研究内容^[5]。

国内外学者对红树林植物菌根做过相关的研究。Sengupta等^[6-8]报道了印度红树林植物的菌根真菌研究结果;胡弘道^[9]研究了台湾淡水河口秋茄的菌根真菌种类,确定内生菌根真菌10种;王桂文等^[5]对钦州湾红树林丛枝菌根进行初步研究;Wang等^[10]报道了深圳福田和珠海红树林丛枝菌根真菌的研

收稿日期: 2011-10-10

基金项目: 厦门市科技项目(3502Z 20072010、3502Z 20102004)和厦门市园林植物园园长基金(BG201101)资助

作者简介: 蔡邦平(1969-),男,副研究员,博士,从事园林植物育种栽培及菌根研究。E-mail: cbangping@163.com

究。福建有 3 752 km 海岸线，是中国红树林自然分布的北限^[11]，但尚未见红树林菌根真菌的研究报道。本文研究了福建 3 个具代表性地区的红树林植物及其伴生植物在不同季节根系受丛枝菌根侵染的状况，有助于探明红树林在极端自然分布地区的植物种类与丛枝菌根真菌共生的变化规律，为红树林植物营养物质吸收利用和生理生态研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地为分布于福建东部沿海的 3 个红树林区：泉州洛阳江红树林区、漳州九龙江口红树林区和云霄漳江口红树林区。洛阳江红树林区（24°47′~25°01′N, 118°38′~118°42′E）位于泉州市惠安县西南部，是泉州湾河口湿地自然保护区的重要组成部分，年均温度 20.4 °C，年均降水量 1 095 mm，现红树林面积达 483.6 hm²。九龙江口红树林区（24°20′~24°32′N, 117°54′~118°03′E）地处漳州龙海东部，九龙江入海口的滩涂潮间带，年均温度 21 °C，年均降水量 1 365 mm，总面积 200 hm²，是国家第一批重点保护湿地。漳江口红树林区（23°53′~23°56′N, 117°24′~117°30′E）位于漳州云霄县东厦镇漳江入海口，年均温度 21.2 °C，年均降水量 1 714 mm，总面积 2 360 hm²，为福建省重要湿地生态系统类型的国家级自然保护区。

1.2 样品采集与处理

2010 年 5 月从九龙江口红树林生长区的 4 种植物根际周围采集根系样品，同年 12 月则分别从九龙江口、洛阳江、漳江口红树林 3 个试验地中，共采集 6 种常见植物的根系样品（表 1）。采样时，在植物根际周围 0~20 cm 深土壤中采集，选择粗度小于 2 mm 的根系。采集到的根系，装入无菌塑料袋并作详细采集记录（采集人、采样时间、地点、样本号等），带回实验室。

表 1 6 种植物根系采集地点与时间

采样地点	样本数	采样时间	植物种类
九龙江口红树林	17	2010/05	桐花树 <i>Parmentiera cerifera</i>
			秋茄 <i>Kandelia obovata</i>
			钝草 <i>Stenotaphrum helferi</i>
			芦苇 <i>Phragmites australi</i>
洛阳江红树林	30	2010/12	老鼠簕 <i>Acanthus ilicifolius</i>
九龙江口红树林	25	2010/12	桐花树、秋茄、芦苇
			桐花树、秋茄、钝草
漳江口红树林	30	2010/12	鱼藤 <i>Derris trifoliata</i>
			桐花树、秋茄、芦苇

1.3 丛枝菌根侵染率测定

丛枝菌根侵染观测采用染色镜检法，即将根段剪成 0.5~1 cm 长的小段，放入试管，于 10% KOH 溶液中 90 °C 下脱色 20~60 min，在 2% 盐酸溶液中浸泡 5 min，去掉酸溶液后加入 0.01% 的酸性品红乳酸甘油染色液（乳酸 875 ml，甘油 63 ml，蒸馏水 63 ml，酸性品红 0.1 g），再放回 90 °C 水浴锅内 20~60 min，或室温下过夜，加入乳酸分色后镜检。观测其中 AM 真菌结构，并用网格交叉法计算根系菌根侵染率^[13-14]。计算每个样品 50 个根段的侵染率，取其平均值作为该样品 AM 侵染指标。

$$\text{侵染率}(\%) = (\text{具丛枝菌根结构的根段长度} / \text{观测根段长度}) \times 100\%$$

1.4 数据统计分析

应用统计分析软件 SPSS16.0 进行方差分析（ANOVA）和相关分析。

2 结果与分析

2.1 丛枝菌根真菌结构

在 6 种植物的丛枝菌根侵染结构中，主要发现的是丛枝菌根真菌（AMF）的泡囊、胞间菌丝和胞内菌丝，其中胞内菌丝多以弯曲、膨大的形式出现。在 6 种植物中，除了钝草和老鼠簕未观测到丛枝结构外，鱼藤、桐花树、秋茄和芦苇的丛枝结构类型均为疆南星型（Arum~type）（图版：3, 5~6, 8~9, 12），即菌丝在宿主皮层细胞间延伸生长，形成大量胞间菌丝，并侧向分支进入细胞内发育成丛枝结构。除鱼藤未观测到清晰的菌丝结构外，其余 5 种植物菌丝多数为无隔菌丝，直径为 3~10 μm（图

版: 2, 7, 10)。在老鼠簕中, 常见的 AMF 结构为泡囊, 胞内菌丝弯曲、膨大。泡囊有圆形、椭圆形、长椭圆形及不规则形(图版: 1~2), 直径为 20~110 μm。在老鼠簕和芦苇的极个别根系中观测到根外孢子(图版: 11), 一般为圆形或近圆形, 直径为 60~100 μm。

2.2 不同植物种类丛枝菌根侵染差异

在采集到的 6 种植物中, 桐花树、秋茄为红树林优势植物, 均进行 4 次样品采集, 而芦苇进行 3 次采样、钝草 2 次采样、老鼠簕和鱼藤仅采样 1 次(表 2)。

该 6 种植物均受到丛枝菌根侵染, 根内发现有 AMF 结构, 而从枝菌根侵染率在植物种间的差异较大, 老鼠簕侵染率最高, 达 37.75±35.31%; 鱼藤侵染率最低, 为 4.23±3.66%(表 2)。

表 2 红树林生长区植物根系采集时间与丛枝菌根侵染率

植物种类	侵染率(%) (均值±标准差)	取样次数	取样时间
桐花树	6.99±18.70	4	2010/05, 2010/12
秋茄	26.33±25.55	4	2010/05, 2010/12
芦苇	30.79±35.50	3	2010/05, 2010/12
钝草	7.54±9.41	2	2010/05, 2010/12
老鼠簕	37.75±35.31	1	2010/12
鱼藤	4.23±3.66	1	2010/12

2.3 不同地点红树林植物根系丛枝菌根侵染差异

对 2010 年 12 月采集的 3 个红树林区优势植物桐花树、秋茄的根系丛枝菌根侵染测定, 结果表明: 桐花树的根系丛枝菌根侵染率为 0.43%~14.87%, 其中漳江口红树林桐花树侵染率最低, 为 0.43±0.84%; 洛阳红树林的桐花树侵染率最高, 为 14.87±28.12%。秋茄的根系丛枝菌根侵染率为 26.63%~35.27%, 其中洛阳红树林的秋茄侵染率最低, 为 26.63±19.63%; 九龙江口红树林的秋茄侵染率最高, 为 35.27±27.90%(图 1)。秋茄根系的丛枝菌根侵染率明显高于桐花树根系。

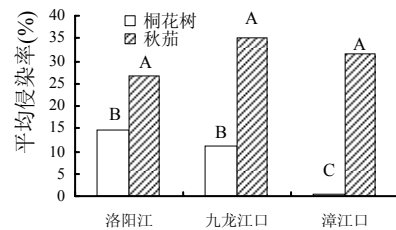


图 1 不同生长区红树林植物根系丛枝菌根侵染率

注: 柱上方不同大写字母表示差异极显著。

方差分析表明, 丛枝菌根的侵染率在植物种类间呈极显著差异 ($p=0.003$), 即桐花树和秋茄的丛枝菌根侵染率差异极显著; 而在不同地点(洛阳江、九龙江口、漳江口)之间的侵染率无显著差异 ($p=0.866$)。

2.4 不同时间的丛枝菌根侵染率差异

研究九龙江口红树林生长区 3 种植物根系在不同时间(2010 年 5 月和 12 月)的丛枝菌根侵染差异, 结果(表 3)表明, 钝草在 2 个不同月份的丛枝菌根侵染率变化不大; 而桐花树和秋茄在 5 月的侵染率均明显低于 12 月(表 3)。方差分析也表明, 桐花树和秋茄的 AM 侵染率在不同时间呈显著差异, 而钝草的 AM 侵染率在不同时间无显著差异(表 3)。

在研究的 3 种植物中, 桐花树和秋茄都是木本植物, 而钝草为草本植物。由于在 2 个不同时间采样, 桐花树和秋茄的采集样本株高具有明显差异, 5 月采集的样本株高较高; 而钝草采集的样本株高 5 月低于 12 月(表 3)。相关分析表明, 植物的株高与其受丛枝菌根的侵染率无相关关系 ($P=-0.034$, 2-tailed), 即采集植物的株高不影响其丛枝菌根侵染率。

表 3 九龙江口红树林生长区 3 种植物在不同时间的根系丛枝菌根侵染率比较

时间	桐花树		秋茄		钝草	
	株高(m)	侵染率(%) (均值±标准差)	株高(m)	侵染率(%) (均值±标准差)	株高(m)	侵染率(%) (均值±标准差)
2010 年 05 月	1.25±0.74	1.33±1.37a	2.00±1.69	11.6±14.62a	0.20±0.08	7.33±10.37
2010 年 12 月	0.68±0.41	11.32±13.44b	0.78±0.31	35.2±27.90b	0.40±0.10	7.75±7.75

注: 不同字母表示差异达显著水平($p=0.05$)。

2.5 不同潮水线对丛枝菌根侵染率的影响

通过在 2010 年 12 月对 3 个红树林区的 6 种植物在各潮水线的分布情况进行方差分析 (表 4), 结果表明, 丛枝菌根侵染率在植物种类和潮水线间无明显差异, 但在植物种类和潮水线的交互作用下呈显著差异。说明植物种类和潮水线的交互作用对植物的丛枝菌根侵染率产生影响。

表4 红树林生长区植物AM侵染率与不同潮水线的方差分析

误差来源	平方和	自由度	均方差	F值	显著度
植物种类	4174.251	5	834.850	1.768	0.137
潮水线	10685.551	18	593.642	1.257	0.256
植物种类*潮水线	10308.539	11	937.140	1.985	0.050
误差	23604.314	50	472.086		
总和	87981.132	85			

注: $R^2 = 0.615$ (校正 $R^2 = 0.354$)。

3 结论与讨论

AMF 是好氧微生物, 所调查的红树林生长区植物基本生长于淤泥中, 而淤泥黏土遇水膨胀阻碍空气流通^[14], 导致厌氧环境, 使得 AMF 生存困难。尽管如此, 在成年红树中有良好的通气组织^[15], 可以向根部提供氧气, 这一结构使得 AMF 得以生存并侵染^[16-17]。

侵染红树林生长区植物的AMF结构, 在所调查的植物中均有发现, 主要包括泡囊、胞间菌丝和胞内菌丝。观察到的丛枝结构(桐花树、秋茄、鱼藤和芦苇)均为Arum(疆南星)型, 鱼藤的观察结果与Sengupta等^[6]报道的结果相同; Wang等^[10]报道的红树植物只描述P型丛枝菌根出现的几率更高, 但未说明具体植物的丛枝菌根类型。在我们的研究中, 菌丝在AMF结构中占主导地位, Sengupta等^[6]和Wang等^[10]也有类似报道。

所调查的 6 种植物均有发现 AM 结构, 说明 AMF 依赖性植物在此地生存条件竞争方面占优势。菌根侵染率在植物种间的差异较大, 表明 AMF 与不同宿主植物形成共生体的能力存在明显差异, 也在一定程度上反映了红树林植物种类的菌根亲和特性。

红树林植物的丛枝菌根侵染率在采样的 3 个地点(洛阳江、九龙江口、漳江口)无明显差异(图 1)。由于红树植物为热带或亚热带海岸树种, 对低温度较敏感, 宏观分布的纬度界限主要受温度控制, 主要分布在北纬 25°至南纬 25°之间^[18]。福建是我国目前红树林自然分布最北的省份, 调查的 3 个试验地的纬度相差 1°以内, 年均温度和最冷月温度差异不大, 气候差异不大, 红树植物的群落、优势种和常见种均无显著区别, 也导致与红树植物共生的丛枝菌根侵染差异不大。

丛枝菌根侵染率在红树林植物种类间呈极显著差异, 且秋茄的侵染率明显高于桐花树(表 2、图 1)。相关研究表明, 秋茄为最耐寒的广布种, 我国凡是有红树林分布的地方均有秋茄, 福建为秋茄的世界分布中心之一^[18], 秋茄亦为福建红树林地区的优势种; 据刘荣成^[19]研究, 在洛阳江红树林的桐花树与秋茄混交林中, 其自然竞争结果, 混交比例将向秋茄倾斜。本文研究表明, 秋茄与丛枝菌根的亲和力大于桐花树与丛枝菌根的亲和力, 秋茄与土壤营养、共生真菌的相互关系处于有利的地位, 是秋茄相对于桐花树在竞争中处于优势的内在机理。

对九龙江红树林植物在不同时间的丛枝菌根侵染率的比较研究发现, 桐花树和秋茄的 AM 侵染率在不同月份呈显著差异(表 3)。桐花树的花期为 12 月至翌年 1~2 月, 果实成熟期 8~12 月; 秋茄的花、果期亦与桐花树相近。植物在其花果期对磷元素的需求较大, 而 AM 真菌对植物最主要的贡献在于显著提高植物对磷的吸收^[1,20-23], 这导致桐花树和秋茄的 AM 侵染率在 12 月明显高于 5 月。

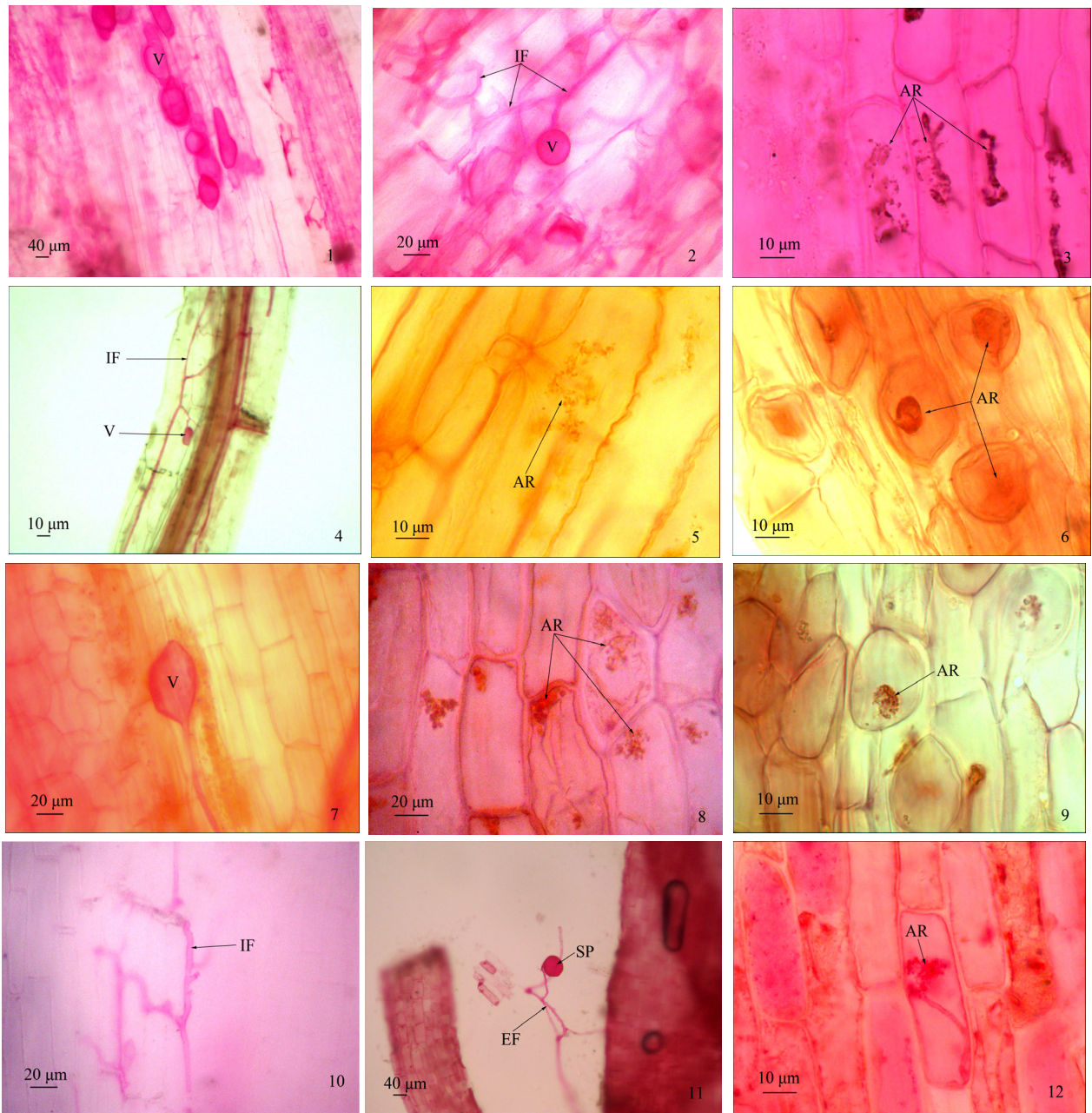
植物种类和植株生长状况是影响AMF在红树林植物中侵染差异的重要因素, 海水的影响也是一个不可忽视的因素。海水强度、潮汐和浸淹形成的环境梯度控制了红树林在潮滩上的总体分布和群落结构^[18], 也影响潮滩中的AMF种类和数量。本文研究表明, 在植物种类和潮水位的交互作用下, AM侵

染率呈显著性差异(表4)。

本文研究的结果表明,红树林植物的丛枝菌根侵染率受到植物种类、植物生长状况、潮水线等因素影响,并且具有季节变化规律。同时,由于丛枝菌根影响着红树林植物的营养吸收,从而对红树林群落组成、种群竞争、生态演替都产生显著的影响,因而丰富了红树林的生态学研究内容。

参考文献:

- [1] 刘润进,等. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-447.
- [2] Peter D S, *et al.* Efficacy of native vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after severe soil disturbance[J]. *New Phytologist*, 1988,110: 347-354.
- [3] Hartnett D C, *et al.* Mycorrhiza influence plant community structure and diversity in tall grass prairie[J]. *Ecology*, 1999,80: 1187-1195.
- [4] 林鹏,等. 中国红树林环境生态及经济利用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [5] 王桂文,等. 钦州湾红树林丛枝菌根初步研究[J]. *广西植物*, 2003,23(5): 445-449.
- [6] Sengupta A, *et al.* Arbuscular mycorrhizal relations of mangrove plant community at the Ganges river estuary in India[J]. *Mycorrhiza*, 2002,12: 169-174.
- [7] Kothamasi D, *et al.* Arbuscular mycorrhizae and phosphate solubilising bacteria of the rhizosphere of the mangrove ecosystem of Great Nicobar island, India[J]. *Biol Fertil Soils*, 2006,42: 358-361.
- [8] Kumar T, *et al.* Status of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the Sundarbans of India in relation to tidal inundation and chemical properties of soil[J]. *Wetlands Ecol Manage*, 2008,16: 471-483.
- [9] 胡弘道. 红树林生态与菌根相关性之研究(一)土壤性质、菌根菌种类与菌根形态[C]. 国立台湾大学森林系研究报告, 1988: 1-21.
- [10] Wang Y T, *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi in two mangroves in South China[J]. *Plant Soil*, 2010,331: 181-191.
- [11] 刘维刚,等. 福建红树林区海藻的分布及季节变化[J]. *海洋学报*, 2001,23(3): 78-86.
- [12] Berch S M, *et al.* Vesicular-arbuscular mycorrhizae of southern Ontario ferns and fern-allies[J]. *Mycologia*, 1982,74: 769-776.
- [13] McGonigle T P, *et al.* A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *New Phytologist*, 1990,11: 495-501.
- [14] Brady N C. The nature and property of soils, 10th edn[M]. Macmillan Publishing Co., New York NY, 1990: 1-621.
- [15] Allaway W G, *et al.* Gas space and oxygen exchange in roots of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. var. *australasica* (Walp.) Moldenke ex NC Duke, the grey mangrove[J]. *Wetlands Ecol Manag.*, 2001,9: 211-218.
- [16] Cooke J C, *et al.* Some observations on the vertical distribution of vesicular arbuscular mycorrhizae in roots of salt marsh grasses growing in saturated soils[J]. *Mycologia*, 1993,85: 547-550.
- [17] Brown A M, *et al.* Spatial and temporal dynamics of mycorrhizas in *Jaumea carnosa*, a tidal salt marsh halophyte[J]. *Ecol.*, 1996,84: 703-715.
- [18] 王文卿. 中国红树林[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-185.
- [19] 刘荣成. 中国惠安洛阳江红树林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 1-195.
- [20] Malloch D W, *et al.* Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbiosis in vascular plants(a review)[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 1980,77: 2113-2118.
- [21] Allen M F. The ecology of mycorrhizae[J]. New York: Cambridge University Press, 1991: 1-118.
- [22] 李晓林,等. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001: 1-358.
- [23] 蔡邦平,等. 中国梅丛枝菌根侵染的调查研究[J]. *园艺学报*, 2008,35(4): 599-602.



图版 红树林生长区不同植物根系的 AM 侵染结构

注：1~2.老鼠筋；3.鱼藤；4~6.桐花树；7~9.秋茄；10.钝草；11~12.芦苇。

V—泡囊，AR—丛枝，IF—胞间菌丝，EF—根外菌丝，SP—孢子。