

DOI: 10.5846/stxb201408031548

李皓宇, 彭逸生, 刘嘉健, 王树功, 陈桂珠. 粤东沿海红树林物种组成与群落特征. 生态学报, 2016, 36(1): - .

Li H Y, Peng Y S, Liu J J, Wang S G, Chen G Z. Current state of mangrove floristic composition and characteristics of communities on the eastern coast of Guangdong Province. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(1): - .

粤东沿海红树林物种组成与群落特征

李皓宇¹, 彭逸生^{1,2,*}, 刘嘉健¹, 王树功³, 陈桂珠¹

1 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275

2 中山大学湿地研究中心/广东省环境污染与控制重点实验室, 广州 510275

3 中山大学地球科学与地质工程学院, 广州 510275

摘要: 南海地区是全球红树林分布的中心区域之一。粤东沿海位于南海地区的北界, 红树林物种组成和群落结构具有边缘性。利用卫星影像解译辅助技术, 对筛选的 23 处红树林群落进行样地调查, 记录了真红树植物 12 种, 半红树植物 6 种, 伴生植物 7 种。各群落平均高度为 1.50—8.60 m, 林相以灌丛、小乔木林为主。红树林群落 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.533—1.239, 均匀度指数为 0.662—0.957, 天然林和人工林之间数值差异不显著。等级聚类分析将粤东沿海的红树林划分为演替早期人工林、演替早期天然林、演替中期天然林和演替后期天然林 4 个类别, 各群落立地条件差异较大, 沉积物总有机碳、盐度、总氮含量与群落分布状况的相关性较高。与 1985 年的报道相比, 尽管该地区记录的红树林植物种类从 20 种增加至 24 种, 但个别伴生植物消失以及半红树植物种群萎缩说明该地区红树林面临较大的环境压力。在物种多样性和均匀度均方面, 粤东沿海红树林群落低于成熟红树林。过去数十年的围垦导致天然红树植物种群萎缩、生境破碎化是主要因素。基于该地区红树林群落的现状, 未来人工林和残次天然林的优化改造是红树林恢复重建的重点, 红树林恢复和保育的重点区域包括深圳湾的福田、范和港的蟹洲和韩江口的六合围。

关键词: 粤东; 红树林; 种群; 群落; 立地; 保育与恢复

Current state of mangrove floristic composition and characteristics of communities on the eastern coast of Guangdong Province

LI Haoyu¹, PENG Yisheng^{1,2,*}, LIU Jiajian¹, WANG Shugong³, CHEN Guizhu¹

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 Research Centre of Wetland Science / Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

3 School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: The South China Sea is one of the mangrove hotspots in the world. The eastern coast of Guangdong Province is located at the northernmost boundary of the South China Sea and is characterized by the marginal mangrove floristic composition and communities. Using satellite imagery interpretation, 23 sites were chosen and surveyed. A total of 12 species of true mangrove, six species of semi-mangrove, and seven species of associated plants were recorded in the surveyed sites. The main forms of mangrove communities were shrubs and dwarf trees with the average height of 1.50 to 8.60 m. The Shannon-Wiener index ranged from 0.533 to 1.239, while the evenness index varied from 0.662 to 0.957. There was no significant correlation in these indices between natural forests and plantations. The mangrove communities were classified

基金项目: 国家自然科学基金 (40901278, 41371109); 联合国环境规划署/全球环境基金 (GF/3017-07-03); 广东省科技计划项目 (2010B030800003); 广东省林业科技创新专项资金项目 (2013KJCX011-05)

收稿日期: 2014-08-03; **修订日期:** 2015-06-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sonneratia@126.com

into four types: pioneer plantation, pioneer natural forest, medium natural forest, and climax natural forest. The environmental factors between forest stands differed significantly, and total organic carbon, salinity, and total nitrogen in sediments were highly correlated with community distribution. Although plant species abundance increased from 20 to 24 species compared to the data obtained in 1985, reduction in some associated plants and retreated semi-mangrove populations indicated that the mangrove in eastern Guangdong were facing tremendous environmental pressure. Species diversity and evenness in the mangrove in eastern Guangdong were lower than those of mature mangroves. Reclamation in the past several decades contributed to natural mangrove decrease and habitat fragmentation. Given the current state of mangrove vegetation, improvement in plantations and residual secondary natural forests is the focus of mangrove restoration in key areas, including Futian in Shenzhen Bay, Xiezhou in Fanhe Harbour, and Liuhewei in Hanjiang Estuary.

Key Words: east coast of Guangdong Province, mangrove, population, community, forest stand, conservation and restoration

红树林是生长在热带、亚热带地区的潮间带河口、海湾、海岸的木本植物群落,对潮间带滩涂环境具有高度适应性,其形态结构和生理生态特性十分独特,具有防风消浪、保护堤岸、促淤造陆、净化环境等多种功能^[1]。全球现有红树林 16 科 24 属 84 种(包括 12 个变种),中国有真红树植物 11 科 24 种^[2]。由于人口增长和经济社会发展,全球红树林在过去数十年间呈现逐渐萎缩的趋势。南海地区作为全球红树林分布的热点地区之一,其面积在 20 世纪 80 年代占全球的 29.2%;而在过去 20 年间该地区 1/3 的红树林已消失^[3]。

粤东沿海是广东省惠州、汕尾、揭阳、汕头和潮州 5 市的海岸区域统称,也是南海地区红树林分布的北界,其物种组成和群落结构具有热带边缘的特性。然而,在过去三十年的时间里,粤东沿海红树林的面积和种数上均有所下降。在 1985 年,该地区红树林植物种类为 13 科 20 属 20 种^[4],分布范围较广,且具有红海榄(*Rhizophora stylosa*)、银叶树(*Heritiera littoralis*)等较为少见的种群。随着经济社会的高速发展,大量天然红树林被破坏,到 20 世纪末仅余一些次生林^[4]。进入 90 年代后期,国家把红树林纳入沿海防护林体系建设工程计划,该地区红树林造林开始进入发展阶段,红树林面积有所增加^[5]。

尽管粤东沿海红树林造林工作取得了一定成绩,但仍然存在树种单一、成活率低、结构简单等问题。目前关于粤东沿海红树林现状缺乏系统、及时的报道,是近三十年来未见关于该地区完整的红树林区系、群落和生境的研究。本文对粤东沿海的红树林现状进行了调查研究,总结该地区红树林目前的区系、群落和生境条件方面的特征,为未来的粤东地区红树林造林工作提供较为全面的信息,为识别南海北缘红树林保育和管理的重点区域提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究地点

粤东沿海泛指广东省东部沿海地区,本研究区域东起闽粤交界的饶平县柘林湾(23.62° N, 117.07° E),西至珠江口深圳市深圳湾(22.44° N, 113.89° E),调查样地均分布于此两端点之间的海岸线上。除饶平、澄海和南澳部分地区外,绝大部分地区皆位于北回归线以南,属于亚热带范围,年平均气温 22℃ 左右,年均降水量 1300—1600mm。该海区潮汐属不规则半日潮,平均潮差 1.03m^[6]。

1.2 研究方法

2012 年 1—2 月,利用 Google Earth Pro(6.1.0.5001)软件对粤东沿海岸线进行目视解译,选取连片面积大于 0.5 ha 的红树林作为研究样地,共计 24 个。2012 年 7 月—2013 年 11 月在所选样地内设置 10m×10m 样方 3 个,记录样方内植物种类、数量、植株高度和胸径;并采集 20 cm 深度的表层沉积物和孔隙水样品。采集样品带回实验室后进行孔隙水盐度测定,以及沉积物盐度、有机质、全氮、全磷的测定^[7]。使用 ArcGIS 10.0 软件绘制样地分布图,立地因子的单因子方差分析(One-way ANOVA)使用 SPSS19.0 软件进行,样地群落的聚类分

析 (Cluster Analysis, CA) 和除趋势典范对应分析 (Detrended Canonical Correspondence Analysis, DCCA) 使用 Pc-ord 5.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 粤东地区红树林区系现状

粤东地区现有真红树植物 8 科 12 种, 半红树植物 5 科 6 种, 伴生植物 7 种。真红树与半红树植物共有 18 种, 占广东红树林植物区系 27 种的 66.7%^[8] (表 1)。在 24 个红树林分布点中, 分布点大于 15 个的真红树植物为秋茄 (*Kandelia obovata*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、海漆 (*Exoecaria agallocha*), 嗜热类群如木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、红海榄和榄李 (*Lumnitzera racemosa*) 分布点在 10 个以下且种群数量和面积均较少。人工引种红树植物方面, 无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 由于人工造林而频繁种植使用, 其分布范围较广且数量较多, 海桑 (*S. caseolaris*) 因抗寒性较弱, 经过 2008 年的寒害和 2010 年的寒潮影响, 死亡数量较多, 导致其目前分布范围有限。拉关木 (*Laguncularia racemosa*) 自 2000 年^[9] 引入汕头市, 至今已在粤东韩江口周边有多个人工群落分布, 并且表现出一定强度的抗寒性。半红树植物以黄槿 (*Hibiscus tiliaceus*)、阔苞菊 (*Pluchea indica*) 和许树 (*Clerodendrum inerme*) 为主体, 其分布地点均在 10 个以上, 其他种类皆呈零星分布。总体上, 半红树植物在粤东海岸红树林植被中不占优势, 仅少量点缀于红树林向陆缘。

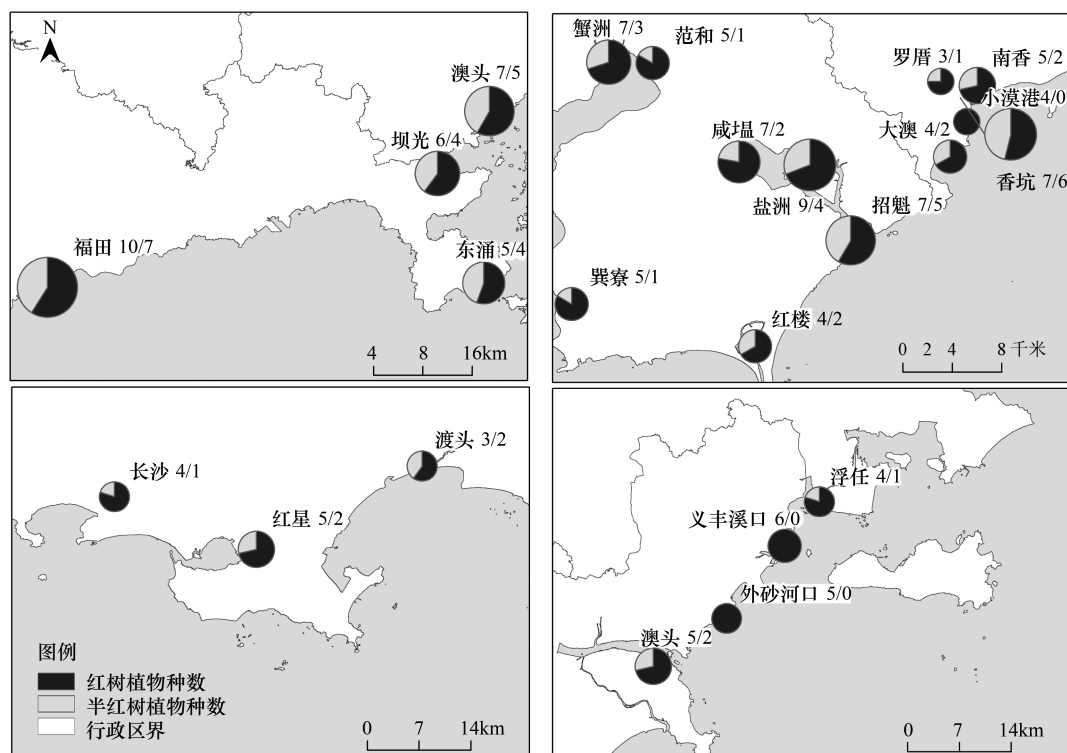


图 1 粤东沿海各样地调查点植物物种数

Fig.1 The floral species abundance of sampling sites in eastern Guangdong

分布点地名旁数据格式为“真红树植物种数/半红树植物种数”, 圆圈直径表示植物物种丰富度大小

2.2 粤东红树林群落结构及分类

2.2.1 粤东红树林群落整体特征

粤东地区现存的红树林群落外貌较为单调, 大多为灌木状, 少数为郁闭度较高的小乔木至乔木状林。该区域大部分红树林分布于海堤或道路外围, 滩涂宽度狭窄, 其向海前沿扩展的趋势受到限制。各样地的群落结构存在差异: 在平均树高和平均胸径方面, 福田 (SZ01)、澳头 (HS01)、外砂河口 (ST02)、义丰溪口 (ST03)

表 1 粤东地区红树林树种分布¹⁾
Table 1 The distribution of species and the frequencies of mangroves on the seashore of east Guangdong

种类 Species	福田 SZ01	东涌 SZ02	坝光 SZ03	澳头 HS01	蟹洲 HS02	范和 HS03	巽寮 HS04	红楼 HS05	盐洲 HS06	招魁 HS07	咸埕 HS08	罗厝 HS09	香坑 HS10	南香 HS11	大澳 HS12	小漠 港 HS13	长沙 HS14	渡头 HS15	红星 HS16	澳头 ST01	外砂 河口 ST02	义丰 溪口 ST03	浮任 溪 ST04	莲阳 溪 ST05
真红树 true mangroves	卤蕨 <i>Acrostichum aureum</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	△	●	△	△	△	●	●	●	●	△	●	●	●	●	●	△	●	●	△	△	△	△	△
	海桑 <i>Sonneratia caseolaris</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
半红树 semi-mangroves	秋茄 <i>Kandelia obovata</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	拉关木 <i>Laguncularia racemosa</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
伴生植物 mangrove associates	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	老鼠簕 <i>Acanthus ilicifolius</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	水黄皮 <i>Pongamia pinnata</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	黄槿 <i>Hibiscus tiliaceus</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	杨叶肖槿 <i>Thespesia populnea</i>	△	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
伴生植物 mangrove associates	银叶树 <i>Heritiera littoralis</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	海芒果 <i>Cerbera manghas</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	阔苞菊 <i>Pluchea indica</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	许树 <i>Clerodendrum inerme</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
伴生植物 mangrove associates	海马齿 <i>Sesuvium portulacastrum</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	露兜树 <i>Pandanus tectorius</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	鱼藤 <i>Derris trifoliata</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	苦槛蓝 <i>Myoporum bontioides</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	血桐 <i>Macaranga tanarius</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

●为天然种群, △为人工种群

的红树林较其他样地更高大,生长情况更好,都远远超过了其他样地。其中深圳福田样地生长时间长、管护情况好,较长的树龄使群落植株较为高大。澳头(HS01)、外砂河口(ST02)和义丰溪口(ST03)则为人工种植的群落,高大、速生的无瓣海桑、拉关木等占据了较大优势。粤东地区红树林群落整体多样性指数为 0.533—1.239,均匀度指数为 0.662—0.957,天然林和人工林之间的多样性指数和均匀度指数差异均不显著 ($t_s = 0.889, 0.225 < t_{0.05[13]}$) (表 2)。

表 2 粤东地区主要红树林群落特征

Table 2 The community characteristics of mangroves in eastern Guangdong

样地 Sampling sites	平均树高/m Average height	平均胸径/cm DBH	物种丰富度 <i>D</i> Abundance	多样性指数 <i>H</i> Diversity index	均匀度指数 <i>J</i> Evenness index
福田 (SZ01)	6.70±1.00	34.2±12.4	5	1.239	0.767
东涌 (SZ02)	缺失	缺失	3	1.051	0.957
坝光 (SZ03)	3.10±0.60	18.0±4.60	2	0.675	0.957
澳头 (HS01)	8.60±3.30	32.3±16.4	3	0.959	0.692
蟹洲天然林 (HS02a)	2.25±0.90	16.5±6.76	4	0.897	0.557
蟹洲无瓣海桑林 (HS02b)	2.85±1.36	18.6±9.70	3	1.046	0.755
红楼 (HS05)	1.60±0.50	13.2±2.60	1	1.051	0.653
盐洲天然林 (HS06a)	3.45±0.854	20.2±8.33	4	1.098	0.792
盐洲无瓣海桑林 (HS06b)	5.50±0.00	36.8±7.88	1	0.000	0.000
香坑 (HS10)	3.50±1.70	16.8±6.80	4	1.224	0.683
小漠港 (HS13)	1.50±1.20	7.60±1.20	4	0.997	0.719
渡头 (HS15)	2.10±0.90	18.9±6.00	2	0.967	0.880
澳头 (ST01)	2.30±0.50	22.4±10.5	2	0.533	0.769
外砂河口 (ST02)	6.70±0.90	53.2±17.0	3	0.977	0.889
义丰溪口 (ST03)	5.40±1.50	33.3±11.1	3	1.122	0.809
浮任 (ST04)	3.40±1.00	21.2±3.80	3	0.728	0.662
莲阳溪 (ST05)	4.64±2.23	22.8±6.39	2	0.601	0.868

2.2.2 粤东红树林群落的聚类统计分析

选取林分质量好,连片面积在 1ha 以上的样地进行聚类分析。等级聚类分析的结果显示,各样地可划分为 4 个类别(图 2)。(1) 演替早期人工林:盐洲无瓣海桑林(HS06b)、外砂河口(ST02)、义丰溪口(ST03)、浮任(ST04)划为该类别。盐洲无瓣海桑林为纯林,种植时间在 6 a 以下;外砂河口、义丰溪口和浮任虽为人工混交林,但无瓣海桑在群落中占绝对优势;此外,红楼(HS05)的榄李纯林亦被归入该族群,其种类单一的特点与演替早期的人工林相似。(2) 演替早期天然林:东涌(SZ02)、小漠港(HS13)、渡头(HS15)为演替早期的天然林,群落位于河口或开放外海区域,生境盐度高,沉积物沙粒含量较高,群落内以耐盐的先锋树种白骨壤占绝对优势。(3) 演替中期天然林:盐洲天然林

(HS06a)、福田(SZ01)、汕头澳头(ST01)和惠州澳头(HS01)划为该类别。盐洲天然林中木榄、红海榄种群占有,但混生部分桐花树和白骨壤;福田群落中有小部分海漆、木榄,但秋茄仍占优势,尚未达到演替顶级;汕头澳头样地桐花树基本取代了分布在滩地前沿的白骨壤,且其桐花树长势良好;惠州澳头群落中尽管存在无瓣

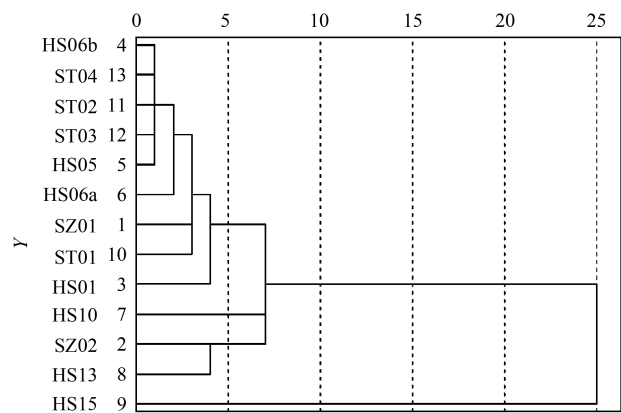


图 2 粤东红树林各样地聚类分析结果

Fig.2 The results of Cluster Analysis of mangrove communities

样地编号参见表 2

海桑,但该处是经过人为改造的天然林,群落中秋茄平均树高达 9.5 m。上述群落正处于先锋树种消退、演替中期或后期树种占优的阶段。(4) 演替后期天然林:香坑(HS10)样地是粤东沿海目前记录唯一的演替后期阶段群落。其群落中白骨壤业已消失,桐花树和秋茄仅有零星个体,海漆、木榄在群落中占绝对优势,其周边还发现杨叶肖槿、银叶树等半红树的天然种群,是典型的演替晚期天然林。

2.3 粤东地区红树林群落的立地条件

粤东沿海 13 个红树林群落之间的立地因子差异状况较大(表 3)。沉积物电位方面,红楼、盐洲天然林样地与外砂河口和东涌样地间互相差异显著,天然林所处生境为地势较高的陆缘滩面,通气性好;外砂河口与东涌的红树林群落位于河口最外缘,水渍程度加大导致沉积物还原性较强。外砂河口和澳头的土壤盐度与其他样地差异均显著,外砂河口样地位于河口与外海过渡边界,澳头红树林外有人为蓄留的养殖用高盐度海水,因此造成沉积物盐分较高。红楼村样地沉积物 pH 值显著高于其他地点,除地势较高的原因以外,亦与该群落密度低、植被发育时间短,导致沉积物中厌氧环境较弱有关;盐洲天然林的沉积物有机质和总氮含量在所有样地中最高,这与其生境为废弃盐池,长时间水流不畅在一定程度上增强了养分的积累作用。

表 3 粤东地区红树林群落立地因子

Table 3 The environmental parameters of mangrove communities on the east coast of Guangdong Province

样地 Sites	孔隙水盐度 Salinity of pore water	沉积物 电位/m v Eh of sediment	沉积物盐度 Salinity of sediment	沉积物 pH pH value of sediment	沉积物有 机质/(g/kg) TOC of sediment	沉积物 总氮/(g/kg) TN of sediment	沉积物 总磷/(g/kg) TP of sediment
澳头 (HS01)	5.46±1.33 a	-69.2±59.6 abc	0.37±0.01 a	6.757±0.140 bcd	45.08±13.42 abc	2.092±0.704 bc	1.175±0.350 e
红楼 (HS05)	—	45.5±84.5 bc	0.72±0.15 ab	8.536±0.070 e	20.53±3.34 a	1.043±0.218 ab	0.160±0.045 a
盐洲天然林 (HS06a)	15.60±3.24 c	92.7±100.4 c	1.29±0.16 abc	6.357±0.490 bcd	79.82±9.00 c	3.150±0.457 c	0.810±0.201 cde
盐洲无瓣海桑林 (HS06b)	—	-44.5±34.7 abc	0.44±0.08 a	6.488±0.544 bcd	46.95±15.56 abc	1.776±0.504 ab	0.426±0.023 abc
香坑 (HS10)	3.86±0.20 a	-141.0±24.8 abc	0.56±0.10 a	5.954±0.124 bc	30.41±4.29 ab	1.172±0.171 ab	0.431±0.057 abc
小漠港 (HS13)	8.87±0.84 b	-6.4±55.2 abc	1.51±0.34 abc	7.969±0.236 de	14.88±3.26 a	0.542±0.115 a	0.246±0.054 ab
渡头 (HS15)	31.00±0.96 d	-38.9±56.0 abc	1.08±0.36 abc	6.363±0.100 bde	40.58±4.55 ab	2.096±0.150 bc	0.776±0.026 bcde
澳头 (ST01)	16.50±0.24 c	-192.0±10.4 ab	5.63±1.65 d	7.400±0.300 cde	32.86±13.43 ab	1.464±0.609 ab	0.498±0.055 abcd
外砂河口 (ST02)	9.23±0.16 b	-236.0±7.8 a	4.73±1.12 d	6.460±0.120 bcd	66.85±7.08 bc	2.454±0.141 bc	1.008±0.017 de
义丰溪口 (ST03)	2.25±0.28 a	-50.0±85.3 abc	1.54±0.19 abc	6.637±0.344 bcd	48.34±11.01 abc	2.094±0.488 bc	0.505±0.266 abcd
浮任 (ST04)	4.06±0.40 a	-196.0±22.0 ab	2.72±0.28 c	5.627±0.642 b	41.62±9.74 ab	1.709±0.421 ab	0.555±0.126 abcd
福田 (SZ01)	—	-229.6±52.6 abc	2.60±0.53 bc	5.640±0.844 b	54.91±11.53 ab	1.614±0.331 ab	0.871±0.251 a
东涌 (SZ02)	—	-89.9±128.6 a	1.74±0.68 abc	3.980±0.457 a	33.06±16.47 abc	1.078±0.525 ab	0.208±0.087 cde

2.4 红树林群落与生境因子的 DCCA 分析

以红树林生长影响较为显著的生境因子:沉积物 pH 值、盐度、总有机碳、总氮和总磷含量,与红树林群落数据结合进行 DCCA 分析,得到结果如图 3 所示。排序图中箭头所处象限表示不同因子与排序轴之间的正负相关性,箭头与排序轴的夹角为生境因子与排序轴的相关性的大小,箭头连线的长度表示群落分布与该因子相关性的大小^[10]。第一排序轴解释了样地数据差异的 21.5%,样地群落和生境因子的相关系数为 0.871,第二排序轴进一步解释了样地差异的 17.5%,样地群落与生境因子的相关系数为 0.779,第一与第二排序轴共同解释了样地差异的 39.0%。

第一排序轴与总有机碳 (-0.964) 和沉积物盐度 (0.694) 都有较好的相关性,沿第一轴从左至右沉积物总有机碳逐渐降低,沉积物盐度逐渐升高;第二排序轴与总有机碳 (-1.135) 和总氮 (-1.379) 有较好的相关性,沿第二轴自下而上总有机碳和总氮均逐渐降低。大部分样地都集中于第一第二象限,反映了粤东地区红树林生境的营养化程度较低,这与其红树林年龄短,沉积物淤积程度较低有关。

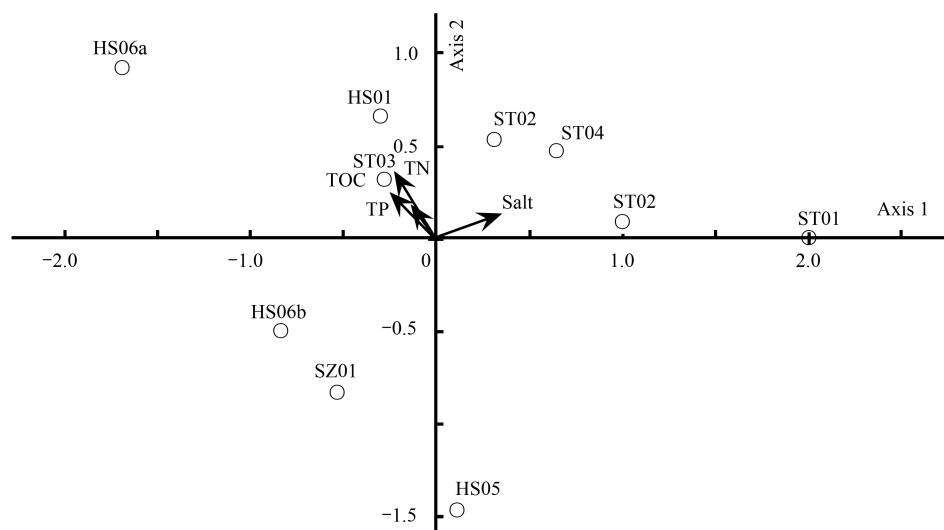


图3 粤东红树林群落的 DCCA 分析排序图

Fig.3 DCCA ordination graph of mangroves communities in eastern Guangdong

样地编号参见表2

3 讨论与结论

3.1 粤东红树林物种数量变化状况

粤东的红树林在1985年由陈树培^[4]进行的调查中组成种类有13科20属20种,具有单属单种的特点。经过30多年的变化,粤东地区现有红树林植物25种,与1985年相比,红树林周边的钝叶豆腐木(*Premna obtusifolia*)、海南草海桐(*Scaevola hainanensis*)两个伴生物种已无分布记录,新增了无瓣海桑、海桑、拉关木三种真红树植物。在此期间,1994—1996年,深圳湾的福田从外地引种了无瓣海桑、海桑、澳洲白骨壤(*Avicennia marina* var. *australasica*)^[11],并从海南、广西、湛江等地引种了木榄^[12],并于2000年前后引种至汕头沿海。真红树植物数量逐渐增加,说明本地区红树林保护工作取得了一定成果,红树林种群正在缓慢恢复。与此同时,沿海地区经济发展和城镇建设导致半红树植物的主要生境不断萎缩,表现为种类减少、种群规模下降。

粤东地区分布的真红树植物中秋茄、桐花树和海漆分布最广,它们属于适应力较强的类群。红海榄、榄李和银叶树仅在惠州——海丰交界处的考洲洋、小漠港沿线有分布。该区域的红树林拥有木榄、榄李等群落演替后期物种,且天然半红树植物物种丰富度亦较高,说明考洲洋——小漠港一线沿海红树林自然演替过程较完整,生境的原始度较高。同时,本研究在上述区域录得的红海榄、榄李、银叶树均为欧亚大陆分布最北的种群^[13-14],而同纬度海岸如美国佛罗里达^[15]和波斯湾地区^[16]却并无分布,说明了该区域红树植物种群的稀有性和特别性。成功从海南引入粤东沿海的海桑,目前仅存在于汕头韩江三角洲地区^[8],其种群规模一度较大,但受2008年我国南方特大寒害的影响,种群存留数量很少。粤东沿海的无瓣海桑从湛江引种^[17],繁殖能力强,目前分布在粤东的所有地级市海岸,个别区域还发现具有一定规模的逸生种群。无瓣海桑的引入对当地红树林恢复具有良好的效果,但以长期、大面积、单一的人工林模式种植无瓣海桑将有可能对天然红树林的结构和群落组成带来不利影响^[18],降低无瓣海桑种群在人工林中的重要值将成为今后一段时间粤东沿海红树林恢复的任务之一。拉关木最早于2000年^[9]引种至粤东地区的汕头,此后陆续在汕头外砂河口,莲阳溪,义丰溪口和浮任等地的红树林造林工程中种植使用。该种在粤东地区以外的珠江口、水东湾电白、福建、浙江等区域^[19]均有引种造林,已经成为红树林造林的重要速生树种之一,并且具有一定的抗寒性。

粤东沿海介于粤西与福建沿海之间,在真红树植物的种类数量上,以雷州半岛为代表的粤西沿海记录了

真红树植物 13 种^[20], 该地区的角果木 (*Ceriops tagal*)、尖叶卤蕨 (*Acrostichum speciosum*) 和小花老鼠簕 (*Acanthus ebracteatus*) 等嗜热类群是粤东地区没有分布的; 与此同时本区域的木榄、红海榄等嗜热广布种群高度明显不如雷州半岛的种群。较之纬度更高的福建省, 粤东沿海则缺少厦门老鼠簕 (*Acanthus ilicifolius* var. *xiamenensis*) 的分布记录, 尽管该种老鼠簕之间的分类学关系目前仍有待商榷^[21-22], 但拥有后者没有分布的榄李、红海榄、银叶树等嗜热广布种。粤东沿海的红树植物种类是该区域位于粤西——福建沿海中间过渡地带的反映。

3.2 粤东红树林群落特征

粤东天然红树林整体的多样性指数 (H)、均匀度指数 (J) 和平均高度分别为 1.029、0.807、3.70 m。国内外其他红树林保护条件较好的地方, 如福建九江口红树林多样性指数、均匀度指数、平均高度分别为 2.552—3.181, 0.799—0.928, 0.86—2.23m^[23]; 海南东寨港、三亚河、青梅港在 2009 年时的多样性指数分别为 1.726、1.663、1.638^[24]; 马来西亚的 Matang 地区红树林中成熟发育的树林多样性指数为 1.566—1.623, 均匀度指数为 0.653—0.705^[25]。粤东红树林与福建九江口、海南三地、Matang 的成熟红树林相比, 多样性指数和均匀度指数均较低。

粤东沿海区域红树植物种类较为丰富, 且部分群落保留了较为完整的演替序列, 但总体上群落结构仍然不够完整, 演替先锋类群白骨壤、桐花树纯林, 以及无瓣海桑人工纯林的分布点占 38.1%, 半红树和伴生植物种群规模较小, 一些群落演替中、后期的物种如榄李、红海榄、木榄等无法形成优势种群, 这与该区域过去数十年沿海围垦开发导致天然红树植物种群萎缩、生境破碎化有很大关系。

3.3 粤东地区红树林保护和恢复建议

与 1985 年的研究记录相比, 经过约 30 年的保育和造林恢复, 粤东地区红树林区记录植物由 20 种增加为 25 种, 说明该地区的保护和造林工作对红树林种群恢复具有一定的积极作用。但新增记录的 7 种红树林植物中有 3 种为人工造林引种的外来物种, 且钝叶豆腐木、海南草海桐等伴生种群的消失则说明了陆地开发和建设正逐渐蚕食红树林生境。在新一轮海岸带开发和城市建设的社会环境中, 倘若该地区的红树林造林速度和选用树种的策略仍维持现状, 有可能出现红树林“面积增长、种群多样性下降”的不利局面; 若伴随海平面上升、极端天气事件增加、温度变化、大气 CO₂ 浓度变化、周边生境连锁反应等问题^[26], 该区域的红树林甚至会持续减少。

在今后的红树林保护与恢复工作中, 需实现红树林恢复“从数量到质量”上的转变, 注意构建群落的物种多样性, 可以尽量选用乡土树种来造林, 采取并多树种、复层种植的造林模式, 可以较快地实现红树林群落物种多样性的恢复, 这一理论在日本中部关东平原的矮林的物种多样性恢复中已被证明是有效的^[27]。人工多物种造林或残次、低矮纯林的改造, 是粤东地区未来红树林恢复重建的重点工作方向之一。粤东沿海目前保留了红海榄、榄李、银叶树等我国大陆分布北缘的红树、半红树植物种群, 鉴于其分布地点目前生境条件差且面临被开发利用的威胁, 建议实施种群迁地保育、在造林时尽量搭配上述物种, 是该地区红树林恢复重建的另一个重点方向。

立地条件是红树林造林或改造成效的重要影响因素, 气候、底质和水文等均对红树林生长有较大影响。研究表明红树林的高度与沉积物中粒径 >0.02 mm 的颗粒百分含量有关, 含量越高红树林树高越大^[28]; 另一方面, 尽管大多数红树植物对生境水体的盐度具有很高的适应性, 但总体上中、低盐度生境是红树林最适生的条件^[29-30]。因此, 优先筛选沿海低盐河口、港湾, 如深圳湾的福田、范和港的蟹洲、韩江口的六合围等地是未来若干年粤东地区恢复和保育红树林的重点区域。

致谢: 野外调查工作中得到中山大学 11 级环科系刘高源、林晓梦同学的协助, 在此一并致谢。

参考文献 (References):

- [1] 何克军, 林寿明, 林中大. 广东红树林资源调查及其分析. 广东林业科技, 2006, 22(2): 89-93.

- [2] 王伯荪, 梁士楚, 张炜银, 咎启杰. 世界红树植物区系. 植物学报, 2003, 45(6): 644-665.
- [3] UNEP. Mangroves in the South China Sea. UNEP/GEF/SCS Technical Publication No. 1. UNEP, Thailand, 2004: 1-5.
- [4] 陈树培, 梁志贤, 邓义. 粤东的红树林. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(1): 59-63.
- [5] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 李云. 我国华南沿海红树林造林现状及其展望. 防护林科技, 1996, 25(4): 30-34.
- [6] 唐永鏊, 余显芳, 古秋森, 徐君亮, 徐国旋, 徐镜良, 陈汀文. 粤东海滨的景观类型初步研究. 中山大学学报: 自然科学版, 1960, (2): 55-73.
- [7] 中国土壤学会农业化学委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983.
- [8] 郑德璋, 李玫, 郑松发, 廖宝文, 陈玉军. 中国红树林恢复和发展研究进展. 广东林业科技, 2003, 19(1): 10-14.
- [9] 陈远合, 肖泽鑫, 彭剑华, 蔡庆芸. 粤东海桑、无瓣海桑、拉关木冻害调查报告. 防护林科技, 2010, 7(4): 16-18.
- [10] Ter Braak C J F. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods. Ecoscience, 1994, 1(2): 127-140.
- [11] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 郑德璋, 咎启杰. 几种红树林植物在深圳湾的引种驯化实验. 林业科学, 2004, 40(2): 178-182.
- [12] 廖宝文, 陈玉军, 郑松发, 郑德璋, 咎启杰, 王勇军. 深圳湾红树植物木榄种源筛选早期实验. 林业科学研究, 2002, 15(6): 660-665.
- [13] Tsutomu E, Moeko U, Daisuke N, Rempei S, Akio H. Distribution and stem growth patterns of mangrove species along the Nakara River in Iriomote Island, Southwestern Japan. Journal of Forest Research, 2009, 14(1): 51-54.
- [14] Rempei S, Akio H. Seasonal changes in canopy photosynthesis and foliage respiration in a *Rhizophora stylosa* stand at the northern limit of its natural distribution. Wetlands Ecology and Management, 2008, 16(4): 313-321.
- [15] Leroy R, Tony P, Steven D H. Mapping invasive plant distribution in the Florida everglades using the digital aerial sketch mapping technique. Invasive Plant Science and Management, 2014, 7(2): 360-374.
- [16] Mohammad A Z, Fatemeh R, Soraya M, Bateni F, Mohajeri L. An overview of Iranian mangrove ecosystems, northern part of the Persian Gulf and Omen Sea. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 240-244.
- [17] 黄陵, 唐潮安. 粤东沿海引种无瓣海桑试验. 生态科学, 2003, 22(1): 45-49.
- [18] Ren H, Lu H F, Shen W J, Huang C, Guo Q F, Li Z A, Jian S G. *Sonneratia apetala* Buch. Ham in the mangrove ecosystems of China: An invasive species or restoration species?. Ecological Engineering, 2009, 35(8): 1243-1248.
- [19] 钟才荣, 李诗川, 杨宇晨, 张影, 林作武. 红树植物拉关木的引种效果调查研究. 福建林业科技, 2011, 38(3): 96-99.
- [20] 梁士楚, 刘镜法, 梁铭忠. 北仑河口国家级自然保护区红树植物群落研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22(2): 70-77.
- [21] 邓云飞, 夏念和, 陈恒彬. 中国爵床科老鼠簕属一新组合. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(6): 530-531.
- [22] 侯学良, 吕静. 红树植物厦门老鼠簕(爵床科)的订正. 广西植物, 2008, 28(3): 292-294.
- [23] 李蓉, 叶勇, 陈光程, 翁劲. 九龙江口桐花树红树林恢复对大型底栖动物的影响. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(1): 109-114.
- [24] 王丽荣, 李贞, 蒲杨婕, 廖文波, 张乔民, 余克服, 赵焕庭. 海南东寨港、三亚河和青梅港红树林群落健康评价. 热带海洋学报, 2011, 30(2): 81-86.
- [25] Sasekumar A, Chong V C. Faunal diversity in Malaysian mangroves. Global Ecology and Biogeography Letters, 1998, 7(1): 57-60.
- [26] Gilman EL, Ellison J, Duke NC, Field C. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. Aquatic Botany, 2008, 89(2): 237-250.
- [27] Iida S, Nakashizuka T. Forest fragmentation and its effect on species diversity in sub-urban coppice forests in Japan. Forestry Ecology and Management, 1995, 73(1/3): 197-210.
- [28] 彭逸生, 周炎武, 陈桂珠. 红树林湿地恢复研究进展. 生态学报, 2008, 28(2): 786-797.
- [29] Parida AK, Das A B, Mitra B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. Trees, 2004, 18(2): 167-174.
- [30] 廖岩, 陈桂珠. 盐度对红树植物影响研究. 湿地科学, 2007, 5(3): 266-273.