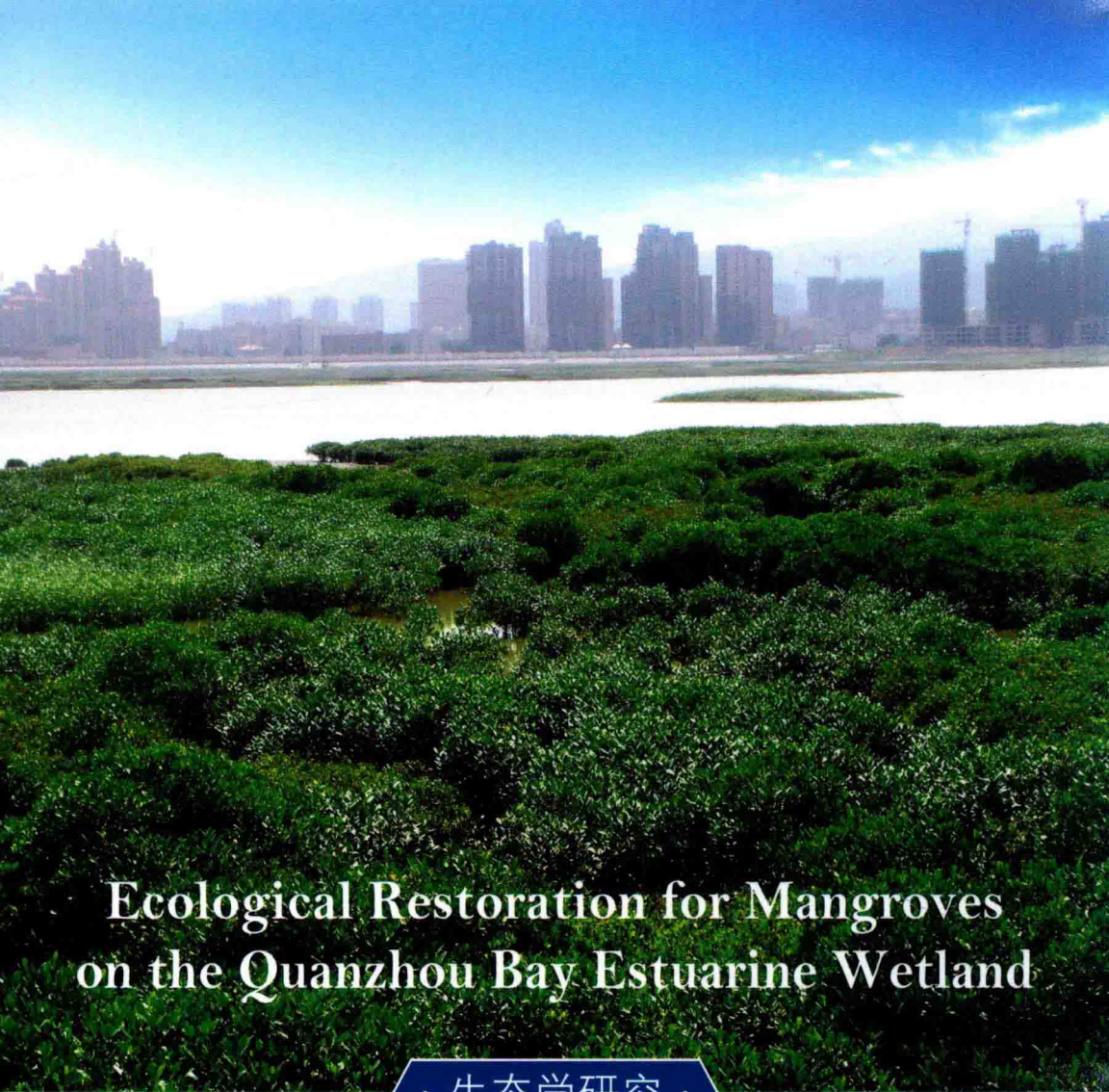




Ecological Restoration for Mangroves
on the Quanzhou Bay Estuarine Wetland

· 生态学研究 ·

泉州湾河口湿地
红树林生态恢复

吴沿友 周贵尧 于 睿 林竑斌 刘荣成 等 著



科学出版社

生态学研究

Ecological Restoration for Mangroves
on the Quanzhou Bay Estuarine Wetland

泉州湾河口湿地红树林 生态恢复

吴沿友 周贵尧 于 睿 等 著
林竑斌 刘荣成

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以泉州湾河口湿地为研究对象,系统地研究湿地红树林生态恢复造林技术。通过综述多项研究成果,系统论述了河口湿地生态恢复造林的重要意义。通过分析泉州湾河口湿地立地特征、生态环境的时空变异、生物环境的空间分布,阐明了泉州湾河口湿地环境的异质性,为泉州湾河口湿地各种微环境寻找对应的植物。从泉州湾河口湿地主要优势植物的生理、动态生长发育、植物-土壤系统3方面,开展了红树植物对环境的适应性研究,辨识了泉州湾河口湿地植物的适应环境;依据泉州湾河口湿地的微环境土壤的理化和生物学特性分异性和各种植物的生长和生理信息,进行湿地植物物种的配置及动态管理;提出泉州湾河口湿地几种优势树种的造林技术,讨论了对泉州湾河口湿地造林过程中的自然灾害的防范。此外,本文还系统介绍了多项生物学指标及土壤理化指标的测定方法。

本书可作为大中专院校和科研单位从事湿地生态学、恢复生态学、环境科学、生物学研究的研究人员和广大林业工作者的参考书,也可作为高年级本科生了解土壤生态学、生态教育、造林修复技术等领域发展动态的课外资料。

图书在版编目(CIP)数据

泉州湾河口湿地红树林生态恢复 / 吴沿友等著. —北京: 科学出版社, 2015.10

ISBN 978-7-03-045778-3

I. ①泉… II. ①吴… III. ①河口-沼泽化地-生态恢复-研究-泉州市
IV. ①P942.573.78

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第225225号

责任编辑: 矫天扬/责任校对: 陈玉凤

责任印制: 徐晓晨/整体设计: 铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年10月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2015年10月第一次印刷 印张: 15

字数: 300 000

定价: 98.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《生态学研究》丛书专家委员会

主 任

李文华

专家委员会成员

(按拼音排序)

包维楷	陈利顶	陈亚宁	程积民	戈 峰
梁士楚	林光辉	刘世荣	吕永龙	吕宪国
闵庆文	欧阳志云	彭少麟	孙 松	王友绍
吴文良	解 焱	薛达元	于贵瑞	张金屯
张润志				

丛 书 序

生态学是当代发展最快的学科之一，其研究理论不断深入、研究领域不断扩大、研究技术手段不断更新，在推动学科研究进程的同时也在改善人类生产生活和保护环境等方面发挥着越来越重要的作用。生态学在其发展历程中，日益体现出系统性、综合性、多层次性和定量化的特点，形成了以多学科交叉为基础，以系统整合和分析并重、微观与宏观相结合的研究体系，为揭露包括人类在内的生物与生物、生物与环境之间的相互关系提供了广阔空间和必要条件。

目前，生态系统的可持续发展、生态系统管理、全球生态变化、生物多样性和生物入侵等领域的研究成为生态学研究的热点和前沿。在生态系统的理论和技术中，受损生态系统的恢复、重建和补偿机制已成为生态系统可持续发展的重要研究内容；在全球生态变化日益明显的现状下，其驱动因素和作用方式的研究备受关注；生物多样性的研究则更加重视生物多样性的功能，重视遗传、物种和生境多样性格局的自然变化和对人为干扰的反应；在生物入侵对生态系统的影响方面，注重稀有和濒危物种的保护、恢复、发展和全球变化对生物多样性影响的机制和过程。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020年）》将生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建、海洋生态与环境保护、全球环境变化监测与对策、农林生物质综合开发利用等列为生态学的重点发展方向。而生态文明、绿色生态、生态经济等成为我国当前生态学发展的重要主题。党的十八大报告把生态文明建设放在了突出的地位。如何发展环境友好型产业，降低能耗和物耗，保护和修复生态环境；如何发展循环经济和低碳技术，使经济社会发展与自然相协调，将成为未来很长时间内生态学研究的重要课题。

当前，生态学进入历史上最好的发展时期。2011年，生态学提升为一级学科，其在国家科研战略和资源的布局中正在发生重大改变。在生态学领域

中涌现出越来越多的重要科研成果。为了及时总结这些成果，科学出版社决定陆续出版一批学术质量高、创新性强的学术著作，以更好地为广大生态学领域的从业者服务，为我国的生态建设服务，《生态学研究》丛书应运而生。丛书成立了专家委员会，以协助出版社对丛书的质量进行咨询和把关。担任委员会成员的同行都是各自研究领域的领军专家或知名学者。专家委员会与出版社共同遴选出出版物，主导丛书发展方向，以保证出版物的学术质量和出版质量。

我荣幸地受邀担任丛书专家委员会主任，将和委员会的同事们共同努力，与出版社紧密合作，并广泛征求生态学界朋友们的意见，争取把丛书办好。希望国内同行向丛书踊跃投稿或提出建议，共同推动生态学研究的蓬勃发展！



丛书专家委员会主任
2014年春

前 言

湿地与森林、海洋并称为全球三大生态系统，在保持水源、净化水质、蓄洪防旱、调节气候和维护生物多样性等方面具有重要的生态功能，被誉为“地球之肾”。红树林是生长在热带、亚热带海湾、河口和海岸受周期性海水浸淹的潮间带的一种稀有木本胎生植物，是连接陆地生态系统和海洋生态系统的重要“生态屏障”。作为湿地的优势物种，红树林在湿地生态系统中起着举足轻重的作用。近年来，受沿海区域工业化和城镇化进程快速发展、过度捕捞、围垦开发，以及气候变化等因素影响，沿海湿地红树林生态系统不断退化，红树林面积急剧减少。此外，全球变暖、海平面上升、海水倒灌等环境问题正在导致海岸湿地生态系统的多样性丧失，严重制约社会、经济及沿岸生态系统的健康发展。因此，开展河口湿地修复刻不容缓。

湿地生态修复是恢复湿地生态功能和增加湿地生物多样性的的重要组成部分。目前的常规湿地修复造林，追求集中连片，未考虑到不同树种对立地水文、潮汐、盐分等环境适应性的差异，致使在恢复造林过程中往往存在成活率低、生长缓慢、病虫害多、多样性匮乏等问题。为了解决这个问题，我们必须研究湿地植物对环境的适应性，通过分析和评估不同植物的环境适应性，为不同树种选择适生环境；同时，通过分析湿地环境的异质性，为不同环境配置适生植物。本书以泉州湾河口湿地红树林生态修复造林为例，提出了一套基于湿地植物与环境相互适应与选择的生态修复造林技术。其研究成果不仅能指导今后的泉州湾河口湿地的生态修复，也为泉州湾河口湿地自然保护区的建设提供决策支持，甚至还可类似地区的生态修复造林技术的研究提供借鉴。

本书共4章。第一章，泉州湾河口湿地生态恢复意义。介绍了红树林的基本特性，以及国内外红树林生态修复造林技术的现状。第二章，泉州湾河口湿地的环境异质性。对泉州湾河口湿地土壤生态环境和生物环境因子的空

间变化进行研究,阐明泉州湾河口湿地整体环境的空间异质特性。第三章,泉州湾河口湿地优势植物的环境适应性及其适应环境辨识。从泉州湾河口湿地主要优势植物的生理、动态生长发育、植物-土壤系统三方面,研究了红树植物对环境的适应及其适应环境的辨识,探讨了泉州湾河口湿地植物与环境的相互辨识及选择规律。第四章,泉州湾河口湿地红树林生态恢复造林技术。依据红树树种选择与布局原则,结合泉州湾河口湿地桐花树、秋茄和白骨壤3种优势树种的生态造林实际,提出泉州湾河口湿地整体生态修复造林方法,以及对常见自然灾害的具体防范措施。

本书总结了作者及其科研团队多年来对泉州湾河口湿地红树林生态恢复造林技术的研究成果,得到了国家科技支撑计划专题“闽东北与江浙沿海消浪湿地植物多样性林带构建技术与示范”(2009BADB2B04-03)、江苏省高校优势学科资助项目(苏政办【2014】37号)、福建省科技攻关重点项目“泉州湾河口湿地保护和修复技术研究”(2007Y0040)、泉州市重大专项“泉州湾河口湿地红树林生物多样性保育及示范”(2008ZD2-4),以及“环境地球化学国家重点实验室”项目等的资助。正是有了这些项目(专题)的资助,才有了本书的出版,在此,我们表示衷心的感谢。

本书是由吴沿友教授领导的课题组集体撰写完成的。在本研究中,吴沿友教授在学术思想的提升、项目的组织实施、研究方案的设计、技术路线的形成,以及学术成果的提炼中起着决定性的作用。各章撰写分工:第一章,吴沿友、于睿、周贵尧;第二章,周贵尧、吴沿友、刘荣成;第三章,吴沿友、周贵尧、刘荣成;第四章,于睿、吴沿友、周贵尧、林竑斌。

我们衷心感谢国家林业局、福建省林业厅、福建省科技厅、江苏大学、中国科学院地球化学研究所、惠安县林业局等众多单位对我们工作的支持!感谢科学出版社矫天扬老师为本专著的编辑出版付出的辛勤劳动!感谢课题组诸位老师和同学提供的部分数据和资料!

恢复湿地生态功能、维护湿地生物多样性、促进湿地生态系统可持续发展是一项长期、复杂的过程,其内容涉及物理学、化学及林学等众多学科,生态修复造林方法也是多种多样。本书仅是冰山一角,只能起到抛砖引玉的作用。出版本书,也是希望引起众多科学家对红树林湿地生态修复造林技术的关注和兴趣。希望今后有更多的学者和专家从宏观和微观多角度多层次开

展红树林湿地生态修复造林技术研究，推动河口湿地的生态环境建设。

由于著者学术水平有限，时间仓促，不足之处在所难免，恳请读者不吝赐教！

著 者

2015年8月20日

丛书序

前言

第一章 泉州湾河口湿地生态恢复意义	001
摘要	001
Abstract	002
第一节 红树林概述	003
一、红树林简介	003
二、红树林生态恢复造林的意义	004
第二节 泉州湾河口湿地概述	012
第三节 泉州湾河口湿地生态恢复造林意义	014
一、泉州湾河口湿地造林的生态意义	014
二、生态恢复造林的经济意义	015
三、生态恢复造林的旅游和休闲价值	019
四、生态恢复造林的药用价值	020
五、生态恢复造林在增强碳汇和去污能力方面的意义	020
参考文献	021

第二章 泉州湾河口湿地的环境异质性	027
摘要	027
Abstract	028
第一节 湿地环境及其异质性	029
第二节 Arcgis 地质统计空间分析方法	037
第三节 泉州湾河口湿地生态环境的异质性	040
一、土壤 pH 异质性	040
二、土壤盐度异质性	044
三、营养元素异质性	047
四、重金属异质性	061
第四节 泉州湾红树林生物环境的异质性	079
一、水解酶的异质性	081
二、氧化酶的异质性	087
三、微生物环境的异质性	092
参考文献	098
第三章 泉州湾河口湿地优势植物的环境适应性及其适应环境辨识	111
摘要	111
Abstract	113
第一节 辨识方法	114
第二节 植物生理对环境的适应及适应环境辨识	116
一、植物光合特性对环境的适应及适应环境辨识	117
二、植物泌盐特性对环境的适应及适应环境辨识	121
三、叶绿素荧光特性对环境的适应及适应环境辨识	127
第三节 植物动态生长发育对环境的适应及适应环境辨识	132
一、Logistic 曲线	132
二、不同红树植物株高动态生长变化	133
三、不同红树植物生物量动态生长变化	136

第四节 植物-土壤系统对环境的适应及适应环境辨识	140
一、植物-土壤系统对土壤淤积的适应及适应环境辨识	140
二、植物-土壤系统对盐分和碱度的适应及适应环境辨识	145
三、植物影响下的土壤营养物质对湿地环境的适应及适应环境 辨识	147
四、植物影响下的土壤酶对湿地环境的适应及适应环境辨识	150
第五节 与植物匹配的河口湿地环境的辨识	152
参考文献	163
 第四章 泉州湾河口湿地红树林生态恢复造林技术	169
摘要	169
Abstract	170
第一节 优势红树林造林布局规划与优势树种造林技术	171
一、树种选择与布局原则	172
二、不同树种造林技术	174
第二节 泉州湾河口湿地红树林生态修复造林	178
一、区域划分与优势植物筛选	180
二、植物的环境适应性	181
三、与植物匹配的适生环境	183
四、与湿地环境匹配的适生植物	183
五、泉州湾河口湿地生态修复造林技术方案	183
六、泉州湾河口湿地红树林造林技术要点	187
七、红树林造林质量评价	189
第三节 红树林造林过程中灾害的防范	190
一、台风灾害的防范	190
二、极端温度灾害的防范	193
三、极端干旱的防范	195
四、海水浸淹程度不均的防范	195

五、动物危害的防范 195

参考文献 198

附录 植物—土壤系统理化分析和生化测定方法 202

 一、植物光合特性和叶绿素荧光特性分析 202

 二、植物动态生长的测定 205

 三、土壤淤积测定 206

 四、土壤理化指标的测定 207

 五、土壤中生化指标的测定 216

参考文献 218

第一章 泉州湾河口湿地生态恢复意义

摘 要

湿地是水陆相互作用形成的特殊自然综合体，湿地作为水陆过渡带，有着巨大的环境调节功能和生态效益，在维持生物多样性、防洪抗旱、调节气候、降解污染物、美化环境、提供生产生活资料方面，具有其他系统不可替代的作用，是人类最重要的自然资源与生存环境之一，被誉为“地球之肾”。红树林是生长在热带、亚热带海湾、河口和海岸受周期性海水浸淹的潮间带的一种稀有木本胎生植物，是连接陆地生态系统和海洋生态系统的重要“生态屏障”。作为湿地的优势物种，红树林在湿地生态系统中起着举足轻重的作用。

自 20 世纪中期以来，随着沿海快速的工业化、城镇化进程及频繁的人类活动，湿地红树林生态系统不断退化，红树林面积不断锐减，直接或间接危害到海洋生物的安全和人类健康。此外，全球变暖、海平面上升、海水倒灌等环境问题正在导致海岸和河口等湿地生态系统的多样性丧失，严重制约社会、经济及沿岸生态系统的健康发展。因此，开展河口湿地红树林生态造林修复工作显得刻不容缓。

本章简要介绍红树林的基本特性、泉州湾河口湿地的基本概况，以及在河口湿地生态修复方面，国内外科研现状及面临的问题。估算了泉州湾河口湿地生态修复在生态、经济、旅游和休闲，以及药用方面的价值，阐述了泉州湾河口湿地的生态修复对去污及增强碳汇的意义。

Chapter 1 The significance of ecological restoration on Quanzhou Bay estuarine wetlands

Abstract

Wetland was the special natural complex formed by the interaction of terrene and marine. It has significant environmental regulatory function and ecological benefits as the transition zone between terrene and marine. Moreover, it has many benefits, such as biodiversity maintenance, flood control and drought resistance, climate regulation, pollutants degradation, environmental beautification, and production and living materials supply, which benefits were irreplaceable by other system. It was one of the most important natural resources and living environment for human being, and honored as “Kidney of the earth” . Mangroves, which grown in tropics, subtropical gulf, estuaries and coast regions inundated by periodic seawater, are scare viviparous woody plants, and the important ecological barrier connecting terrestrial ecosystems and marine ecosystems. The mangrove plants, as the dominant species in the wetland, play an important role in wetland ecosystem.

With the rapid development of industrialization and urbanization, and the frequent disturbance by human activities in coastal regions, wetland mangrove ecosystem suffered a continuous degradation and its distribution area constantly declined, direct or indirect harm to the marine safety and human health since the middle of the 20th century. Additionally, the environmental problems, such as global warm, sea levels rise and seawater intrusion, play a serious role in leading to the loss of biodiversity, which seriously restricted the healthy development of social, economic, and coastal ecosystems. Therefore, conducting the ecological restoration afforestation of mangroves in estuarine wetlands was urgent.

The chapter briefly introduces the basic characteristics of the mangroves, the basic situation of the Quanzhou Bay estuarine wetland, as well as present research situation and the facing problems at home and abroad in terms of estuarine wetland ecological restoration. Evaluation of ecology, economy, tourism, leisure,

and medicine in the Quanzhou Bay estuarine wetland ecological restoration had made. Finally, we also clarified the significance in the decontamination and carbon sequestration during the process of ecological restoration afforestation on the Quanzhou Bay estuarine wetland.

第一节 红树林概述

一、红树林简介

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带的特殊植被群落,处于海陆交界的敏感带,自然和人为的干扰均易改变其边界和功能(Twilley et al., 1999; Saenger, 2002)。由于具有较高初级生产力,红树林维系着海岸湿地生态系统中遗传上极不相同的动植物区系,并成为很多重要经济动物栖息和繁育的场所,同时还是多种废水有效而廉价的天然处理厂(Robertson and Duke, 1987; Wong et al., 1995; 卢昌义等, 1995; Ye et al., 2001; Ye and Tam, 2002)。目前,全世界红树林面积约为 1810.77 万 hm^2 ,其中东南亚国家为 751.73 万 hm^2 ,占世界红树林总面积的 41.5% (Mark et al., 1997)。尽管红树林面积仅占全球陆地森林面积的 0.6%,但它在热带、亚热带海岸生态系统中发挥着极其重要的作用(Kunstadter et al., 1986)。红树林具有防汛、防浪、防风暴、护堤的功能,是一个无法替代的绿色屏障,红树林还可加速海滩淤积,具有造陆作用;此外,在维护大气碳氧平衡、净化大气和水体环境、绿化、美化、科普教育等方面具有其独特的社会和经济价值。因此,红树林湿地生态系统是保护生物多样性、维持生态平衡,实施沿海地区可持续发展战略的一个重要组成部分(廖宝文, 2003)。

全球红树林大致分布于南北回归线之间,可达 32°N 和 44°S ,以马来半岛最为繁茂,其群落包括 30m 或更高的森林,也包括不足 1m 的丛林。在我国,红树林主要分布于海南、广东、广西、福建、香港、澳门及台湾沿海,人工引种向北最远可延伸至浙江的乐清湾(林鹏, 2001; 黄镇国和张伟强, 2002; 吴沿友和刘荣成, 2011)。目前世界上的红树植物有 24 科 30 属 86 种

(含变种)(缪绅裕, 1993)。我国的红树植物迄今为止共发现有 42 种(含变种), 其中真红树 12 科 16 属 27 种和 1 个变种, 半红树 11 科 13 属 14 种; 另约有 27 种红树伴生植物(陈桂葵和陈桂珠, 1998; 林鹏, 2001), 主要树种有桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、秋茄(*Kandelia candel*)、白骨壤(*Avicennia marina*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)、木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)、海桑(*Sonneratia caseolaris*)、海莲(*Bruguiera sexangula*)、角果木(*Ceriops tagal*)、海漆(*Excoecaria agallocha*)、木果楝(*Xylocarpus granatum*)、榄李(*Lumnitzera racemosa*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)等。我国红树林的群系大致分为海莲-木榄群系、正红树-角果木群系、红海榄群系、秋茄-桐花树群系、桐花树群系、白骨壤-桐花树群系、海桑群系和水椰群系 8 个类型(林鹏, 2001; 吴沿友和刘荣成, 2011), 主要分布在海南、雷州半岛、广西钦州、广东、广西、福建等区域。

近年来, 由于人口的快速增长、城市的扩张, 以及不当的经济开发活动等, 全球红树林面积呈现持续萎缩的趋势, 覆盖红树林的海岸长度从 1980 年的 198 000km 下降为 1990 年的 157 630km, 现今仅余 146 530km (FAO, 1994)。过去几十年, 菲律宾、越南、泰国、马来西亚的红树林减少了 7445km²; 美国佛罗里达的红树林从 2600km² 减至 2000km²; 波多黎各红树林面积从 243km² 减少为 64km² (彭逸生等, 2002; Lewis, 2005)。1956 年我国红树林面积为 40 000 ~ 42 000hm²; 由于 20 世纪 70 年代围海造田和 80 年代初围垦养殖, 至 1986 年锐减为 21 283hm²; 80 年代末又遭围垦造陆破坏, 至 90 年代初仅余 15 122hm² (范航清, 2000; 郑德璋和李玫, 2003)。在我国海岸线最长、红树林分布面积最大的广东, 1956 年、1986 年和 20 世纪 90 年代初的红树林面积分别为 21 273hm²、3526hm² 和 3813hm², 最高减少了将近 85% (彭逸生等, 2002; 郑德璋和李玫, 2003)。我国东南沿海尚有 58 848.2hm² 潮间滩涂适宜红树林繁衍与生长, 还有 18 841hm² 的红树林多为较低矮的次生林, 因此, 实施大规模恢复造林, 同时进行潮间滩涂造林是快速恢复我国红树林资源, 以及促进海岸可持续发展的最重要途径(范航清和梁士楚, 1995)。

二、红树林生态恢复造林的意义

恢复生态学(restoration ecology)一词由两位英国学者 Aber 和 Jordan 于