

红树林主要树种造林 与经营技术研究

STUDIES ON THE TECHNIQUES OF AFFORESTATION
AND MANAGEMENT OF MAIN MANGROVE SPECIES

郑德璋 廖宝文 郑松发等编



科学出版社

红树林主要树种造林 与经营技术研究

STUDIES ON THE TECHNIQUES OF AFFORESTATION
AND MANAGEMENT OF MAIN MANGROVE SPECIES

郑德璋 廖宝文 郑松发等编

科学出版社

1999

内 容 简 介

本书是我国第一部关于红树林造林与经营方面的学术著作,全书收集了“八五”国家科技攻关课题“沿海防护林体系建设工程技术研究”中的“红树林主要树种造林与经营技术研究”专题的部分研究报告,内容包括红树林造林与经营技术研究概论、红树林造林配套技术、次生红树林改造经营技术、优良速生红树林树种引种技术、红树林有害生物的防治技术、红树林护岸功能与评价等。内容既包含造林、经营、引种、病虫害防治等方面的技术又包含有关的机理研究,为红树林造林和次生林改造提供了必要技术及理论依据,并对红树林防风和小气候功效、消浪、缓流、促淤等护岸效益的量化评估提供参考依据。全书内容丰富,是一项含有创新性和突破性的研究成果。

本书可供从事林业、农业、生态工程、海洋科学、环境科学、生物科学等方面的科技人员、管理干部以及有关高等院校师生、沿海红树林管理部门工作人员阅读参考。

红树林主要树种造林与经营技术研究 STUDIES ON THE TECHNIQUES OF AFFORESTATION AND MANAGEMENT OF MAIN MANGROVE SPECIES

郑德璋 廖宝文 郑松发等编

责任编辑 钟如松

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

(邮政编码 100717)

番禺市官桥彩色印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999 年 3 月第 1 版 开本 787×1092 1/16

1999 年 3 月第 1 次印刷 印张:23 1/4

印数:001—1000 字数:580000

ISBN7-03-007461-0/S·273

定价:80 元

**《红树林主要树种造林与经营技术研究》
编辑委员会**

主 编： 郑德璋

副主编： (按姓氏笔画为序)

王勇军 李 云 张乔民 郑松发 廖宝文

编 委： (按姓氏笔画为序)

卜庆珠 王勇军 王淑元 刘治平 陈正桃 陈光禄
陈相如 陈焕雄 李 云 邱坚锐 吴中亨 张乔民
郑松发 郑德璋 郑馨仁 胥启杰 黄仲琪 蔡俊欣
廖宝文

前 言

红树林生长于热带和南亚热带沿海辽阔的滩涂上,它依赖于海洋潮汐生境来实现其定居、生长、发育、繁殖、传播的生命周期,因而,它的造林、次生林改造经营、优良树种引种驯化、病虫害种类、森林的防护生态功能均不同于陆地森林,上述内容的研究将是林业科学中的一个分支学科的范围——湿地造林与经营学。本书的编写出版并不意味该分支学科已建立,但书中的内容诸如红树林造林、次生红树林改造经营、优良红树树种引种驯化、红树林护岸生态效益测定与评价等已是湿地造林与经营学不可缺少的内容。

红树林造林与经营研究在我国林业研究史上是一个后进和薄弱环节。20世纪50年代老一辈科学家才开始红树林的植物分类学、生态学和群落学方面的研究,报道了我国红树植物的种类和它们所隶属的科、属,阐述了红树林的生境、生态特征及其群落类型与地理分布。80年代中期以后,红树林研究逐步深入到生态系统的组成结构、物质能量循环等多个方面。当时,我国红树林已趋于毁灭的资源濒危局面,而有关红树林造林及次生林改造经营方面的研究仅有生产单位的经验总结及教学单位的调查报告,仅有少数学者从红树林发展动态的角度开展研究工作,为红树林资源恢复和经营管理提供科学依据。

为了恢复和发展我国的红树林资源,国家在“八五”科技攻关计划中列入了“红树林主要树种造林与经营技术研究”专题。这项研究任务由中国林业科学研究院热带林业研究所郑德璋研究员组织的红树林研究专题组承担。其主要内容有:①红树林主要树种引种驯化;②红树林主要树种造林配套技术;③次生红树林经营管理;④红树林护岸生态效益测定与评价。参加协同攻关研究的单位包括主持单位及中国科学院南海海洋研究所、中国林业科学研究院热带林业试验站、海南省东寨港国家级红树林自然保护区、广东省深圳福田内伶仃岛红树林鸟类保护区管理处、广东省湛江市林业局、湛江市林业科学研究所、湛江市省级红树林保护区等8个单位。参加研究工作的人员共38人,其中高级职称7名、中级职称15名。参加人员的技术专长包括了生态、林业、气象、海岸地质、动力地貌、潮汐水文、应用同位素、病理、动物、自然保护、计算机等专业。经多学科科技人员的5年努力研究,圆满地完成了攻关研究任务,各项攻关研究内容都取得了许多突破性进展和创新性研究成果。由林业部科技司主持的国家“八五”攻关专题验收委员会对林业攻关专题进行验收时,专家们认真地审查了红树林的研究成果并指出:该专题为红树林造林和次生林改造提供了必要技术,并对红树林防风消浪、护岸效益的量化评估提供了参考依据,这对于热带、南亚热带沿海滩涂防护林体系建设工程具有指导作用,在其适用地域具较广阔的应用前

景。本书为红树林“八五”科技攻关研究成果的荟萃,共收集研究报告 49 篇,这些报告的绝大部分都是科技人员深入基点进行定位和半定位研究取得第一手科学数据整理写成,少量综述性论文也为本书的系统性和完整性所必需。

我国天然红树林经长期反复破坏,占现存面积 80% 以上的红树林已变为低质量和低功能的次生林。通过疏伐和间伐灌木林,引进适生乔木树种,清除灌丛重建乔木林群落和在低潮带裸滩引进先锋树种促进群落组建等调控试验,提出调控次生红树林演替恢复乔木林的最佳措施及其机理。显然,本项研究内容是“八五”科技攻关专题中“次生红树林改造经营技术”研究的深入,即在原试验基础上作机理性探讨研究,因此,在进行次生红树林改造技术研究的试验林中增加观测指标,取得数据资料,进一步分析探讨改造次生红树林的人为调控因子。本书的“次生红树林改造经营技术”一章中提供次生红树林改造技术的同时探讨人为调控红树林植被恢复的机理,提供次生红树林改造的理论依据。

本项研究是在林业部科技司关怀与指导下,各协作单位和试验基点的鼎力支持以及参加攻关研究人员艰苦钻研而完成的,在此向关心和支持本项研究的所有人员致以衷心的感谢。

本书中有部分论文已公开发表过,为了保持该项成果的系统性和完整性,集中反映国家“八五”科技攻关专题“红树林主要树种造林和经营技术研究”的研究成果,我们收集了合作组成员撰写的论文汇编成本书。

由于本人科技水平有限,本书难免存在缺点和错误之处,恳切希望有关专家和读者批评指正。本成果研究期间,广东省林业厅、海南省林业局、湛江市林业局以及本项研究参加单位的各级领导和群众给本项研究工作大力支持,广东湛江红树林保护区、海南东寨港红树林保护区、深圳红树林保护区的工作人员积极协助本研究的实施和野外调查工作,在此一并致以诚挚的谢意!

郑德璋

一九九九年三月

目 录

前言	郑德璋 (1)
第 1 篇 总 论	
红树林造林经营技术及护岸效益	郑德璋 廖宝文 郑松发 李 云 张乔民 (6)
第 2 篇 调研与综述	
中国红树林研究的回顾和展望	郑德璋 (30)
沿海防护林体系中的红树林研究设想	郑德璋 郑松发 廖宝文 李 云 (36)
红树林湿地的利用及其保护与造林	郑德璋 郑松发 廖宝文 李 云 宋湘豫 (43)
赴孟加拉国红树林技术考察报告	王淑元 郑德璋 陈相如 王 智 (51)
第 3 篇 红树林造林配套技术	
中国红树林湿地造林现状及其展望	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 (58)
红树林生长带与潮汐水位关系的研究	张乔民 于红兵 陈欣树 郑德璋 (64)
红树植物秋茄胚轴主要性状及其贮藏方法的研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 (74)
红树植物秋茄造林技术的研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 陈相如 陈正桃 (82)
红树植物海桑种子发芽条件的研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 (90)
海桑育苗技术及其幼苗生长规律的研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 郑馨仁 黄仲琪 (97)
不同类型海桑 - 秋茄人工林地上生物量及营养元素的积累与分布	廖宝文 郑德璋 李 云 郑松发 郑馨仁 黄仲琪 (105)
红树植物桐花树育苗造林技术的研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 王勇军 陈相如 (113)
白骨壤物候变化规律及育苗造林技术的初步研究	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 陈正桃 (121)
红树植物木榄造林技术	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 (127)
红树植物海莲造林技术	廖宝文 郑德璋 郑松发 李 云 (130)
红树植物红海榄造林技术	郑德璋 廖宝文 郑松发 李 云 (133)
广东省潮间带污染与红树林造林	郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 (136)
第 4 篇 次生红树林改造经营技术	
红树植物半人工小群落的生态学研究 I . 直接引进的乔木种群对原灌木群落及其种群的扰动效应	郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 陈焕雄 陈光禄 (145)
红树植物半人工小群落的生态学研究 II . 不疏伐的灌木环境对乔木种群的适宜度及群落改造决策	郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 郑馨仁 王恭礼 (155)
3 种红树林乔木树种在桐花树 + 角果木灌木群落中定居和竞争的研究	郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 陈焕雄 (162)
白骨壤次生灌丛群落改造技术研究	郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 陈正桃 林广旋 (171)

红树林植被恢复的人为调控·····	郑德璋 郑松发 廖宝文 郑馨仁 陈光禄	(181)
第5篇 优良红树种类引种技术		
红树林引种驯化现状和展望·····	李 云 郑德璋 廖宝文 郑松发 陈焕雄	(191)
无瓣海桑引种育苗试验·····	李 云 郑德璋 廖宝文 郑松发 陈相如	(196)
盐度与温度对红树植物无瓣海桑种子发芽的影响·····	李 云 郑德璋 廖宝文 郑松发 宋湘豫	(201)
红树植物无瓣海桑引种的初步研究·····	李 云 郑德璋 陈焕雄 廖宝文 郑松发 陈相如	(208)
几种红树植物引种驯化初报·····	李 云 郑德璋 廖宝文 郑松发 王勇军 陈正桃	(215)
红树树种适宜温度条件的研究·····	郑德璋 李 云 廖宝文 郑松发 郑馨仁 陈 香	(221)
第6篇 红树林有害生物及其防治技术		
红树林海桑苗期主要病害及其防治·····	李 云 郑德璋 郑松发 廖宝文 宋湘豫 陈二英	(230)
红树林几种有害生物的调查初报·····	李 云 郑德璋 廖宝文 郑松发 王勇军 陈正桃 郑馨仁	(234)
人工红树林藤壶为害及其防治的研究·····	李 云 郑德璋 郑松发 廖宝文 宋湘豫	(238)
第7篇 红树林的护岸功能及其评价		
红树林防浪护岸机理与效益评价·····	张乔民	(248)
红树林海岸潮汐动力学初步研究·····	张乔民 于红兵 陈欣树 温孝胜	(257)
海南东寨港红树林港湾潮汐动力研究·····	倪海祥 张乔民 赵焕庭	(264)
红树林防浪效益定量计算初步分析·····	张乔民	(273)
红树林潮滩沉积速率测量与研究·····	张乔民 温孝胜 宋朝景 刘 韶	(279)
东寨港红树林防风效应的研究·····	邱坚锐 林明献	(286)
红树林小气候效应的研究·····	邱坚锐 林明献	(290)
第8篇 红树林造林技术推广应用及其他		
湛江红树林主要树种造林推广示范经验总结·····	蔡俊欣 叶亲柏	(298)
秋茄和木榄的海上育苗研究·····	刘治平	(302)
深圳福田红树林栽培引种研究·····	刘治平	(306)
红树林保护与营造经验总结·····	林广旋 陈正桃	(311)
东寨港红树林造林、引种及次生林改造经验总结·····	郑馨仁	(314)
广东省红树林湿地植被调查·····	郑德璋 廖宝文 林书宁 陈 苏 林 术	(319)
广东省红树林湿地保护的重要性·····	郑德璋 廖宝文 郑松发 李 云 林书宁 杨永激 陈 苏	(328)
深圳福田红树林冬季鸟类调查·····	王勇军 刘治平 陈相如	(335)
深圳福田红树林湿地水鸟的周年动态·····	王勇军 林 鹏 宋晓军	(347)
深圳福田红树林陆鸟变迁及其保护研究·····	王勇军 曾启杰	(356)

第 1 篇 总论

红树林具有显著的防风、消浪、促淤护岸、净化海水、促进海洋水产生物繁盛等功能,是独特的滨海旅游胜地,受到社会各界的重视。但中国红树林资源已处于濒危状态,1998 年资源调查统计,全国红树林面积不足 1.9 万公顷,并且 80% 为次生灌丛,亟待恢复发展,而红树林及其经营技术资料奇缺,影响中国红树林恢复发展。

1998 年国家批准了沿海防护林体系工程建设项目。为了满足沿海防护林体系工程建设的迫切需要,国家设立“红树林主要树种造林和经营技术研究”科技攻关专题,其研究内容分解为:树种造林配套技术、次生林改造技术、优良树种抗寒北移技术、防护效益测定与评价等 4 个方面,每一方面再分解为若干专项研究,选择合适的技术方案进行试验设计和实施。经过试验实践,实现了攻关专题的预期目标。

本篇总结了这一研究专题的研究内容与方法、取得的结果及其分析,最后提出研究结论并对这些结论进行简要讨论。总论的内容概括了本书中的 49 篇研究论文的主要论据,特别是有创新意义和重要作用的论据,以这些论据来说明本研究专题所达到的预期目标。

在本专题所取得的研究成果之中,比较有创新意义的首数下列几点:

(1) 发现海桑种子为需光种子,用适宜光照催芽,可提高种子发芽率 68% 以上,缩短发芽时间 20~30d;

(2) 提出红树类短命种子和胚轴贮藏的有效技术,使海桑类种子和秋茄胚轴贮藏 1a 后发芽率分别保持在 80% 和 55% 以上;

(3) 发现海桑和无瓣海桑种子萌发和幼苗生长的苗床浸淹海水盐度达 10 以上时,必须及时浇淋淡水,种子才能发芽生长;

(4) 阐明次生红树林改造技术的机理,深入揭示改造落内部各树种的生态学特性,提出组建乔灌两层混交林的退化次生红树林改造的关键技术;

(5) 成功地把嗜热窄布速生树种海桑和无瓣海桑从我国热带区域的海南省引种至南亚热带的广东省深圳湾,使其区域分布北移了 3 个纬度,迅速地提高了当地红树林的生产力和防护功能;

(6) 系统地提出了红树林消浪、缓流、促淤、防风等量化指标和消波系数查算图;

(7) 提出红树林树种分布的二维空间模式,天然红树林仅分布于平均海平面以上滩地,为沿海宜林滩地的造林规划提供了理论依据和使用技术。

红树林造林经营技术及护岸效益

郑德璋 廖宝文 郑松发 李 云

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

张乔民

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘 要 筛选出 8 个乔灌树种作为我国沿海滩涂裸滩造林和次生红树林改造的主要培育树种, 已经掌握了这些树种所需的生境条件及其分布、演替规律; 确定了海南省东寨港、广东与广西交界的英罗港、广东省深圳湾等地种实成熟的最佳采收期; 海桑类种子贮藏于含水量为 30%~35%、温度为 10~15℃ 的椰衣糠中或把种子干燥至含水率 20%~35% 后放入广口瓶密封贮藏于暗处, 1 年后发芽率仍在 80% 以上, 秋茄胚轴被控制含水率 55.2%~58.3% 置于 5~8℃ 中 1 年, 发芽率 55.6%; 首次发现并证实海桑种子为需光种子, 种子萌发需有活性光敏素参与, 用体积分数比为 10^{-3} 的外源赤霉素溶液浸种 24h 或用 500~600lux 光照 24~36h, 可提高种子发芽势 68.3% 和 83.4%, 缩短发芽时间 20~30d; 用灰色系统理论揭示出影响海桑属幼苗生长的主导因子为海水盐度和降雨量, 海桑和无瓣海桑种子发芽的适宜海水盐度低于 10, 育苗时淋浇淡水可改善发芽及幼苗生长条件; 桐花树隐胎生胚轴催芽点播比不催芽的成苗率提高 80.8%; 提出以验潮站的潮高基准面为起点的潮汐基面高程为划分宜林滩涂高程, 使造林地规划有了量化标准; 天然红树林仅生长分布至平均海面线附近, 选择适宜基面高程 (可换算为与平均海面的相对高程) 海滩造林是成败的关键, 在平均海面线处造林保存率为 62.2%, 在低于平均海面线 48~53cm 处造林保存率为 3.2%; 速生的海桑类造林株行距以 3m×3m 和 3m×4m、一般树种以 0.5m×1m 和 1m×1m 为适宜; 营造乔灌两层结构的混交林可提高林分生产力, 海桑-秋茄林和海桑-桐花树林地上部分平均净产量比海桑纯林提高 51% 和 203%, 海桑-秋茄林地上部分 N, P, K 元素净累积量分别高于海桑纯林的 214.6%, 95%, 98.6%, 高于秋茄纯林的 174.3%, 52.7%, 34.5%; 成功地把树体高大且速生的无瓣海桑、海桑、海莲等从海南东寨港引种至广东深圳; 次生红树林改造经营技术研究取得良好效果, 不间伐而直接引进乔木树种的胚轴经多目标最优局势选择分析, 红海榄优于其他树种, 引进扰动效应小的乔木树种有利于组建乔灌两层结构混交林, 采用带状和块状间伐后引进乔木树种胚轴改造退化红树林灌丛, 其较优技术是小块状间伐后引进红海榄胚轴; 红树林防浪效益显著, 以水槽试验消波公式绘制消波系数查算图, 查得当波长为 21.7m 的浪穿过覆盖度 0.4、林带宽 50, 100, 150m 时波高衰减为原高的 28%, 15%, 10%, 当潮水并未全部淹没红树林时树干消波实测值略小于查算值, 完全淹没红树林后实测值比查算值小约 40%; 高 3m、覆盖度 0.8~0.9 的红树林内潮水流速仅为潮沟的 1/7~1/13, 高 0.6~1.2m、覆盖度 0.6 的红树林内潮水流速为潮沟的 1/2~1/5, 为裸滩流速的 1/3~1/4; 采用标志桩法测得海南省东寨港发育较好的红海榄林淤泥升高平均速度为 4.1mm/a, 用 ^{210}Pb 同位素定年法测得广东、广西交界的英罗港发育较差的桐花树+白骨壤灌木林中 145a 淤泥升高 90cm, 平均淤升率为 6.2mm/a; 在强热带风暴影响下紧密结构的红树林带背风面林高 5 倍和 15 倍处风速降低 56% 和 30%, 红树林内小气候特点是夏季白天黑夜林内气温均比空旷地高 (温度高 0.3~1.7℃), 夜间林冠气温比空旷地低 (温度低 0.4~0.8℃), 冬季林内气温比空旷地低 (温度低 1.4℃), 红树林通过消浪、缓流、促淤、降低风速等作用达到了保护海岸的目的。

STUDIES ON AFFORESTATION TECHNIQUES, MANAGEMENT AND PROTECTING EFFECT OF MANGROVES IN CHINA

Zheng Dezhang Liao Baowen Zheng Songfa Li Yun

(The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520)

Zhang Qiaomin

(South China Sea Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

Abstract Through investigations and researches, 8 mangrove tree and shrub species are screened and employed in mangrove afforestation and secondary mangrove community improvement along the mangrove distributing coastal areas of China. (1) Researches on habitat, occurrence and succession laws of these mangroves are conducted and their optimum hypocotyl collecting time in different zones is determined through regular phenology investigation. Stored in coconut copra scrap with 30% ~ 35% water content, temperature 10 ~ 15°C or stored and sealed in glass bottles under dark condition with the water content of seeds being 20% ~ 35% for over 1 year, the germination percentage of *Sonneratia seeds* is still over 80%. It is favourable for hypocotyl storage under the condition of the moisture content of hypocotyls of mangrove *Kandelia candel* being 55.2% ~ 58.3% and temperature 5 ~ 8°C because a germination rate of 55.6% still remained after one-year storage. It is proved by experiment that *S. caseolaris* seeds belong to light-needed ones, and phytochrome is necessary for their germination, the seed germination energy can increase 68.3% and 83.4% respectively and germination period of time shrink 20 ~ 30 days when the seeds, before sowed, are illuminated with 500 ~ 600lux lighting for 24 ~ 36 hours under moist condition or immersed in 10^{-3} gibberellin liquid for 24 hours. It has been revealed by using grey relation analysis method that the seawater salinity and rainfall are the essential environment factors affecting the seedling growth. The seawater salinity suitable to seed germination of *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala* is below 10. The seeds of *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* to be treated with accelerating germination before sowed can increase their seedling percentage 80.8 higher than the control. The mudflat height above tide datum plane where young trees can grow must be first selected carefully, because the growth of seedlings and young trees is greatly affected by the tide drowned depth inversely. The mudflat height suitable to planting for each area is different due to different tide characters and the height should be above 1.3m in Shenzhen bay. Natural mangrove community occurs generally on and above the mean sea level, sparsely occurs below the mean sea level. The planting spaces of fast-growing trees like *Sonneratia* genus are 3m × 3m or 3m × 4m, other trees 0.5m × 1m and 1m × 1m. Mixed plantation with tree and shrub stratum has higher productivity than pure plantation. For example, the mean net biomass above ground of mixed plantation *S. caseolaris* - *K. candel* and *S. caseolaris* - *A. corniculatum* increases 51% and 203% respectively than that of pure *S. caseolaris* plantation. (2) Superior and fast-growing tree species such as *S. apetala*, *S. caseolaris* and *Bruguiera sexangula* were successfully introduced into Shenzhen bay, Guangdong Province from abroad and Hainan Island of China. (3) Researches on secondary mangrove community improvement and management have made pleasing headway and success. Analysed by theory and method of grey strategic decision, the results showed: that the best arbor species for rehabilitating the secondary *Aegiceras corniculatum* + *Ceriops tagal* shrub communities is *Rhizophora stylosa* which was introduced directly into above-mentioned secondary mangrove shrub communities; that introducing arbor species with less disturbing effect into secondary shrub communities is beneficial

to forming mixed forest with arbor and shrub two strata structure; and that introducing mangrove *Rhizophora stylosa* propagules into the shrub community thinned in square way is better than thinned in belt way for improving degraded mangrove shrub communities. (4) Mangroves have prominent effects on wave preventing. After a wave with wave length 21.7m passing through a mangrove forest with 0.4 in its coverage 0.4, its width being 50m, 100m, 150m in its width respectively, the wave height reduce to 28%, 15% and 10% that of the original one. The stagnant effects of mangroves on tidal water are important characteristics of tidal hydrodynamics of mangrove coasts and mangroves make the ebb and tidal flow very slow and make the slack water long. The speed of tidal current in mangrove swamps is quite slow, only a few > 10cm/s, usually 1/7 ~ 1/13 compared that in mangrove creek or 1/3 ~ 1/4 compared that in bare tidal flat. One of the coastal protection functions of the mangroves is their ability of trapping silt and accelerating sedimentation of mangrove tidal flats. Based on stakes method, in the dense forest of *Rhizophora stylosa* the siltation is a mean rate of 4.1mm/a, and based on ^{210}Pb dating, the results showed that mean sedimentation rate of the 0 ~ 90cm in mud depth was 6.2mm/a and sedimentation duration was 145a (1847 ~ 1992) in the shrubs of *A. corniculatum* + *A. marina*. When strong tropical typhoon occurs and passes through dense mangrove forests to the leeward place with distances from the forest leeward equal to 5 times and 15 times of the mean height of the forest, the wind rate reduces 56% and 30% respectively. In the summer the air temperature within mangrove forest is 0.3 ~ 1.7°C higher than that of the clearance, but at night the air temperature of crown canopy is 0.4 ~ 0.8°C lower than that of the clearance. During the winter the air temperature within forest is 1.4°C lower than that at clearance. So mangrove forest effectively protects coast seashore by attenuating waves, stagnating currents, trapping silts, promoting sedimentation and against strong wind.

1 引言

海岸带是陆地向海洋过渡的地带。由于地处陆地性气候向海洋性气候过渡的界面,气候因子极其多变,自然灾害频繁,热带风暴及随暴风而来的海啸、巨浪、暴雨时有发生,而海雾、盐风、飞沙、海岸浸蚀、水土流失更是屡见不鲜。建国以来,沿海地区政府和人民为了抗御自然灾害和保护生命财产安全,经过近 40 年的努力,在许多岸段建设了防护林带。为了进一步提高沿海防护林的抗灾能力,1988 年国务院批准沿海防护林体系建设工程项目开始实施。

红树林生长于陆地与海洋交界的潮间滩涂带,它的防风、消浪、减潮速、促淤积、保护海堤安全的抗灾功能早已众所周知。如 1959 年,12 级台风袭击福建省厦门市,滨海堤岸毁坏严重,而寮东村外边有 8m 高的红树林带保护,围堤则丝毫无损^[1]。1986 年台风袭击广东省遂溪县时,波浪冲垮海堤 128m,而有 40 ~ 100m 红树林带保护的海堤则完好无缺。据此,把红树林列为沿海防护林体系的一个类型,作为防护林最前缘的一道屏障建设而加以研究确是十分必要,且具有重要科学意义。

我国红树林屡遭破坏,目前资源已经趋于枯竭。1956 年全国自然资源清查时统计有红树林 4 万 hm^2 , 1980 ~ 1986 年全国海岸带和海涂资源综合调查统计,全国仅有红树林 18841.7 hm^2 ,而且现存面积的 80% 以上为高 1 ~ 2m 的次生灌丛^[2],如何解决资源危困问题已是摆在人们面前的严峻现实。

我国学者研究红树林始于建国以后。50 年代老一辈科学家开始研究红树林植物分类、红树林群落学和生态学。80 年代中期以后红树林研究迅速发展,许多学者从事红树林生态系统的组成结构、物质能量循环、红树植物器官与花粉形态解剖、土壤成分测定与类型划分、红树林污染生态学等多方面的研究,发表了上百篇研究报告和论文,但极少涉及资源恢复与发展的技术问题。为了解决红树林资源危困问题,政府在“八五”国家科技攻关研究计划中列入了“红树林主要树种造林和经营技术研究”专题。显然,要恢复和发展红树林资源,就必须造林和对现存林分进行合理经营管理,也即需要一套实用而行之有效的造林与经营技术及其科学理论依据。但我国缺乏有关的科学技术著作,必须采取协同攻关的形式,迅速取得有关科学试验的数据资料,为沿海潮间带滩涂湿地营造防护林体系工程建设提供配套技术资料 and 试验示范基点,这也就是设立本专题研究的出发点。

红树林的护岸功能虽为众所周知,但人们仅从有红树林和没有红树林的海岸风潮灾害对比而获得正反经验,对其功能缺少充分的量化资料来证明。而红树林生长于潮间带,其生长发育与潮汐淹没有密切关系,对此尚缺乏清楚的认识,这对红树防护林体系的建设与资源恢复发展是不利的,据此,在攻关研究中设立了“护岸效益与评价”专项研究内容,以便对红树林护岸效益作出量化评价。

本项研究成果的参加研制单位共有 8 个,即中国林业科学研究院热带林业研究所、中国科学院南海海洋研究所、海南省东寨港国家级红树林自然保护区、广东省深圳福田内伶仃岛红树林鸟类保护区管理处、湛江市林业局、湛江市林业科学研究所、湛江市省级红树林保护区、中国林业科学研究院尖峰岭热带林业试验站。参加研究工作的科技人员有 38 人,尚有许多辅助研究工作人员未计入内。

2 专题研究基础

本专题计划运转前和运转中开展了多方面的基础性研究工作。1987~1990 年进行了“海南岛清澜港红树林发展动态研究”,红树林发展动态规律是解决红树林造林和次生林改造等生产问题的生态学理论基础。“八五”期间对该项目发表的论文和所获得资料加以整理和撰写,出版了一本 20 万字的《海南岛清澜港红树林发展动态研究》专著。以上研究为“八五”科技攻关的红树植物造林树种适生环境条件调研与分析打下了坚实基础。

在“八五”期间开展红树林造林和经营技术攻关研究的同时,还承担了国家自然科学基金项目“红树林植被恢复的人为调控研究”和国际合作亚太地区 FAO 林业项目“红树林改造与经营研究”。这两个项目主要研究和探讨退化次生红树林的改造与重建高质量红树林的机理和途径。所得资料与成果也纳入“八五”攻关研究专题。为了使研究方法与国际红树林研究接轨,翻译出版世界知名红树林研究专家组编写的《红树林生态系统研究方法》,该书 25 万字,内容包含与红树林生态系统有关的海岸地形地貌、气候因素、植物孢粉化石、植物群落、植物分类、盐渍土壤、海岸动物、藻类、植物生理、凋落物产量及营养循环等方面的研究方法。上述研究作为“八五”攻关专题研究所取得的突破性进展打下了良好的基础。参加本项研究的协作单位在专题计划运转前,也进行了大量红树林造林、次生林改造、优良红树种类引种的生产性试种工作。东寨港红树林保护区在 80 年代中期已经营造了数千亩的红树林,成功地从国外引种无瓣海桑和从邻近地区引种本港没有天然分布

的正红树、红榄李、海桑属 5 个树种,并在退化的桐花树-角果木次生灌丛中直接插植胚轴,成功地引进了正红树、红海榄、木榄、海莲等 4 个乔木树种,初步达到了改造单层灌木林为乔灌两层结构林分的目的。湛江林业局也在雷州半岛各泥滩岸段营造了上千亩红树林,造林树种是秋茄、红海榄、白骨壤和木榄,不少岸段尚保存小片状的人工红树林。深圳市福田区红树林保护区于 1990 年营造数公里长的秋茄树林带,也积累了一定的红树林造林与育苗经验。因此,本项研究所取得的成绩虽然是“八五”期间的研究进展,但也包含有本专题组成员从 80 年代以来的生产及研究所取得的尚未鉴定的成果。

3 研究内容与方法

3.1 研究内容及预期指标

根据本专题研究的出发点,提出下列主要研究内容和预期指标。

3.1.1 红树林主要树种驯化引种研究

从天然红树林中选定优良种类作为驯化引种对象,调查测定其适生生境。预期指标是筛选出 5 个以上红树林主要乔灌木造林树种,把海南省 1~2 个优良乔木树种引种至广东省沿海潮间带。

3.1.2 红树林主要树种造林技术研究

进行造林地选择和各造林树种的采种、种实处理、育苗、造林等项试验,目标是提出造林配套技术,包括树种配置及乔灌木种类配搭模式,并建立试验示范林 3 处共 20hm²。

3.1.3 次生红树林经营管理技术研究

对残次灌木林进行适宜强度和适合方式的间伐及引进适生乔木树种以组成乔灌结构的林分,提高生产力及防护功能,预期指标是提出次生红树林改造的经营管理技术,建立改造示范林 13hm²。

3.1.4 红树林护岸生态效益测定及评价

定位和半定位观测红树林的防浪及减潮速效应、泥沙沉积特征、防风及小气候功效。预期指标是提出红树林护岸效益的量化指标,并对其护岸生态功能作出正确评估。

3.2 研究方法与思路

3.2.1 试验基点的选择

根据我国红树林自然分布规律和攻关研究的示范推广目的,选设了 3 个有代表性的试验示范基点和 1 个试验推广示范点。

(1) 海南省东寨港试验示范基点。该基点位于我国红树林分布区的南段,处于热带气候的北缘,红树林资源丰富,天然分布的红树植物 19 种,隶属于 12 科,近年来引种了正红树、木果楝、瓶花木、红榄李及海桑属几种乔木,几乎拥有我国全部红树植物种类,是我国热带红树林的代表类型。东寨港自然保护区管理处具有一定科技力量,过去进行了少量造林和改造试验,需要按攻关试验设计扩大试验,取得的成果可以在海南省等热带海滩示范推广。

(2) 广东省湛江市英罗港高桥试验基点。该基点位于我国红树林分布区西北段的广东、广西交界处,环境条件和红树林组成结构反映了雷州半岛西海岸至广西沿海的红树林及其环境状况,研究成果可在雷州半岛和广西沿海滩涂推广应用。

(3) 广东省深圳市福田区试验基点。该基点位于我国红树林分布区的东北段,属于南

亚热带气候红树林类型,红树林组成结构比上述两基点简单,天然分布的红树植物仅有 8 种,但可以代表珠江口至福建省南部的红树林植被状况。福建省兴化湾莆田以北的海滩仅有一种红树植物(秋茄树),试验基点也有该树种,因此,研究成果可向我国红树林分布区东北段海岸带推广应用。

此外,为了探讨研究成果的推广应用,在广东省雷州市附城沿海设立一个试验推广示范点,把攻关研究筛选出来的主要树种,按较佳的造林密度扩大栽植,以进一步了解研究成果推广应用的可行性和补充攻关研究试验资料。

3.2.2 红树林主要树种驯化引种研究方法

(1)以优良乔木和速生树种为引种驯化对象,对引种驯化树种进行筛选并调查其生境条件。

(2)抗寒性测试和寒害调查。

(3)防寒育苗及北移栽培适应性观测。

3.2.3 红树林主要树种造林技术研究方法

(1)主要造林树种物候节律观测(定人、定株、定枝,每隔 10 天观测 1 次),掌握造林树种发芽、展叶、开花、结实等各种物候节律。

(2)采种(观测 3 个基点各树种适宜采种期)、种实处理(进行种子与胚轴贮藏的介质及条件研究)、育苗(隐胎生胚轴直接点播和催芽点播、种子发芽力、育苗地选择及苗床准备、营养土配制、苗期管理)等对比试验。

(3)造林试验方法。据树种自然生长习性进行造林地规划,采用 4 种密度 3 种潮浸深度 4 次重复裂区试验设计和乔灌配搭混交 3 种处理 3 次重复完全随机区组试验设计。

3.2.4 次生红树林改造经营技术研究方法

(1)在桐花树、角果木退化灌丛中直接引进海莲、木榄、红海榄、正红树胚轴。在引进树种高于原灌丛后,每 1 树种试区中等距离设置 16 个小样方,调查记录下木层盖度、各龄级株数、高度、地径、代表性样地生物量,计算种群特征值,用灰关联分析和多重检验,研究引进树种种群对原灌丛各种群的扰动效应。

(2)引进树种的定居与竞争。采用裂区设计方案,对桐花树、角果木退化灌丛进行不同方式和不同强度间伐后引进 3 个乔木树种胚轴,主区为不同树种 A_1 (木榄)、 A_2 (海莲)、 A_3 (红海榄);一级副区为不同间伐方式 B_1 (宽 2m 带状)、 B_2 (6m×8m 块状);二级副区为不同间伐强度 C_1 (伐去覆盖度的 20%)、 C_2 (伐去覆盖度的 40%)、 C_3 (伐去覆盖度的 60%);设立 3 次重复。调查记录引进幼树保存率、生长量,进行裂区试验统计分析和高生长频率分布的偏态比分析。

(3)引进乔木种群并分析其生境适宜度。对直接引进乔木种群保存率、高度与地径生长量、地上部分总生物量等多指标与带状(或块状)间伐后引进乔木种群的相应量值,进行综合指数计算来比较衡量。

(4)白骨壤灌丛改造技术。对各种技术措施的效果进行统计分析,乔木和灌木的联结和乔木种群的灰色动态预测及灰色决策,找出改造该类灌木的最佳方法。

3.2.5 红树林有害生物防治研究方法

(1)在天然红树林内调查采集标本,鉴定和观察有害生物种类、分布、为害程度、蔓延趋势等,较严重的有害生物设专项调查。

(2)在人工林着重调查观测苗期病害、幼林虫害、藤壶为害状况,以普遍踏查和定位观

测相结合,进行药物防治试验,观测防治效果,并开展室内病菌培养分离与再接种试验。

3.2.6 红树林护岸效益测定方法

(1)红树林潮滩沉积速率测量采用标志桩法(在红树林滩地和裸滩埋设标志桩做定期观测)和²¹⁰Pb同位素定年法(在红树林地取1m深土样分段做同位素定年测定)。

(2)潮汐动力(潮水流速)测量采用在裸滩、红树林外缘潮沟、林内数米至30m纵深分段设站,用SLC9-2型直读海流计定时同步观测。

(3)防波浪效益测量采用测波杆在裸滩、林外缘、林内分段设点定时同步观测波浪参数(波高、波周期),按波高衰减系数公式计算防波效益。

(4)防风效应测定采用轻便风速表和自记电接风速计分别在红树林带背风面林高1倍、5倍、15倍处和空旷地设点,于离地面1.5m高处观测热带风暴及常风的风速,进行对比分析。

(5)红树林小气候数据测量采用通风干湿表、自记两用温湿度计、最高与最低温度表、海水温度表分别在空旷地、林边缘、林内地面,离地面高50cm、150cm、林冠(750cm)等处设观测点,于冬、夏两季进行观测和对比分析。

3.2.7 推广应用研究方法

由生产单位总结红树林造林与引种试验的推广应用经验。

4 结果与分析

经过5年科技攻关协同研究,各项研究内容都取得了许多突破性技术进展和创新性科研成果,共写成研究报告49篇,经汇集萃取,主要结果归纳如下:

4.1 红树植物造林树种适生环境条件

4.1.1 树种适应缺氧生境条件的能力

红树植物的器官形态变异反映了它们对于不同潮汐浸淹深度潮间带缺氧生境的适应能力,具笋状呼吸根和拱形支柱根的树种适应能力较强,具膝状呼吸根的树种适应能力较弱。调查笋状呼吸根的杯萼海桑、海桑,拱形支柱根的正红树,膝状呼吸根的木榄、海莲等5个树种与呼吸及空气运输贮存有关的树干皮孔密度、呼吸根的条数、皮层厚度、皮孔数、重量、体积及通气管道体积(溢流法)等7项指标,以灰色聚类分析法统计计算,结果表明杯萼海桑、海桑、正红树为适应缺氧潮间带生境能力强的树种,木榄、海莲为适应缺氧潮间带生境较弱的树种。上述树种适应浸淹能力灰色聚类判别值与经常性潮汐浸淹高度如表1。浸水高度越高,淹浸时间越长,生境越缺氧。

表1 浸淹适应能力灰色聚类判别值与浸水高度

树 种	杯萼海桑	海 桑	正红树	木 榄	海 莲
适应判别值	0.655	0.504	0.496	0.283	0.263
浸水高度(m)	1.07	1.02	1.03	0.37	0.28

4.1.2 适应海水盐度、潮浸深度差异与树种分布二维空间模式

因各树种适应海水盐度、潮汐浸淹深度、土壤理化性状等能力的差异而形成了顺流水

方向为纵向与横截流向为横向的二维空间分布模式：红树林各个树种在不同立地类型区（河流区、内湾区、前缘湾口区）内的不同海滩高程带呈水平带状分布景观是红树林树种分布特征，即某一树种在一个区的某一海滩高度带占优势，这类似于陆地树种随纬度与海拔高度变化的情况，而潮间带高程仅相差 1~3m，红树植物随高程变化更敏感。清澜港河流区从低潮滩至高潮滩的树种分布序列为：(a) 海桑 - 桐花树；(b) 正红树；(c) 木榄；(d) 海莲 - 老鼠簕 + 卤蕨；(e) 银叶树。内湾区从低潮滩至高潮滩的树种分布序列为：(a) 杯萼海桑；(b) 角果木；(c) 榄李 + 瓶花木。前缘湾口区从低潮滩至高潮滩的树种分布序列为：(a) 白骨壤；(b) 杯萼海桑。上述树种分布状态构成了从前缘湾口区经内湾区至河流区与从低潮滩经中潮滩至高潮滩的不同树种水平二维空间分布模式，这对于适地适树的造林地规划有参考意义。

4.1.3 滩地淤升与树种演替

在淤升迅速的岸段，分布于各潮间带的树种演替较快。演替序列是：适应潮汐浸淹能力强的树种在平均海面附近组建群落，适应浸淹能力弱的树种在高潮滩组建群落，随潮间带淤积升高，适应能力强者优先不断向外缘占领裸滩，适应能力弱者则不断浸入适应能力强者的迹地。由于成龄树木忍耐环境变化能力较强，生长于平均海面附近的树种常残留于中高潮滩组成混交林群落，而在平均海面附近中不能见到高潮滩的树种，在人工营造红树林时必须考虑树种演替的这一特殊规律，注意树种适宜的海滩高程，适应平均海面附近的树种可在中高潮滩造林成活，但不能天然更新，且生长不如在平均海面附近。与此类似，生长于海水盐度较高的前缘湾口区的树种能生长于盐度较低的内湾区及河流区，但不能相反分布；这可能与红树植物的起源与演化有关，有关红树植物是陆生植物逐渐适应沼泽生境的观点已为许多学者接受并通过盆栽试验和陆上育苗而加于证实。

4.1.4 适应凹凸海滩的树种分布格局。

凹凸不平的海滩（包括潮沟发达地段）是红树植物混交林分布区。由于凹凸不平的滩地内，滩面微地形存在高程差异，凸起部分生长较高潮滩的树种，而凹下部分（包括潮沟）生长较低滩的树种，滩地上便形成了不同树种混生的混交林。采用样地法、游程法、中心点四分法、点到点距离法、样地 K 值分析等研究海莲混交林的种群分布格局，结果表明：海漆和正红树种群为集群分布，木榄种群为随机分布，海莲和木果楝种群为集群分布和随机分布的过渡类型，这对营造混交林有参考价值。

4.1.5 适应土壤理化性状的树种分布模式

各种红树植物适应土壤理化性状差异较大。正红树、海桑、拟海桑、卵叶海桑、木榄等一般生长于淤泥深厚的滩地，白骨壤、杯萼海桑、角果木、榄李、卤蕨、老鼠簕等在沙质土上也能生长，海莲、海漆、银叶树能生长在表土坚实的泥质土或泥沙质土高潮滩上，秋茄树和海桑属各种能生长在稀烂深厚的淤泥质海滩，桐花树适应土壤的能力强，分布很广。白骨壤、桐花树、杯萼海桑、银叶树对土壤养分需求不高，木榄、海莲、海漆等分布区的土壤营养元素含量较高，肥沃的海滩应栽植这些树种，其他树种对土壤肥力需求中等。造林时应根据土壤的物理性状和肥力综合考虑，才能获得较高的造林成活保存率。

4.1.6 干扰破坏下的演变状况

天然红树林需要加强管护，单层灌丛需改造。由于地处热带北缘及红树林遭受反复破坏，保护较好的林分高 12~14m，垂直结构分 3 层：中乔木层（高 8m 以上）、小乔木层（高 3~7m）、灌木层（高 0.3~2m）及庞大的地面根系。绝大部分红树林已变成单层次生灌丛（占