

红树林湿地恢复研究进展

彭逸生, 周炎武, 陈桂珠*

(中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

摘要:红树林是生长在热带、亚热带隐蔽潮间带的独特植物群落, 在过去几十年内因人口压力 and 经济发展而遭到严重破坏, 质量下降, 面积萎缩。近年来, 尽管世界各地采取了一系列措施进行红树林的恢复, 然而由于缺乏造林技术资料、造林成活率低、经营管理粗放, 加上人为干扰和自然灾害的影响, 红树林面积增长缓慢; 造林成活率低依然是制约红树林湿地恢复的主要因素。总结了近年来国内外红树林湿地恢复四个方面的研究成果, 即(1)宜林地选择, 包括温度、底质、水文的环境条件研究; (2)树种选择与引种, 包括乡土树种的选用和外来树种的引种状况; (3)栽培技术的应用, 包括造林栽培技术与育苗技术, 造林成本的比较; (4)植后管护及监测, 包括幼林巡护、病虫害防治、生态监测, 结合野外调查的结果, 综述了红树林恢复的一些基本原理与应用实例。根据我国红树林湿地恢复的现状, 提出今后红树林恢复研究的重点为: 开展“退塘还林”工程, 监测红树林湿地生态系统生物多样性的恢复, 深入探讨红树林的化感作用, 营造红树林混交林, 实现红树林的生态恢复。

关键词:红树林; 恢复; 进展; 建议

文章编号: 1000-0933(2008)02-0786-12 中图分类号: Q16, Q178, Q948, S718.5, S728.6; X171.4 文献标识码: A

The restoration of mangrove wetland: a review

PENG Yi-Sheng, ZHOU Yan-Wu, CHEN Gui-Zhu*

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

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0786 ~ 0797.

Abstract: Mangroves are the unique intertidal plant formations growing in sheltered tropical and subtropical coastal areas. Due to increasing population and economic development, they had been severely damaged in the last several decades, facing degradation and loss. In recent years, many measures were undertaken to rehabilitate mangroves in different countries. However, followed by anthropologic disturbance and natural disasters, the lacking of technical support for afforestation, lower survival rate of afforestation, and careless management led to slow enhancement of mangrove area. Then lower survival rate was the primary threshold to mangrove restoration. The recent advances of mangrove restoration within four processes were reviewed, namely: (1) site-species matching, which includes temperature, substrates and hydrological factors of afforestation sites; (2) selection and introduction of mangrove species, that includes status of native species selection and exotic ones introduction; (3) application of silviculture techniques, including planting, seedling and sapling nursing techniques, and afforestation cost's comparison; and (4) post-cultivated management and monitoring, including the

基金项目: 联合国环境规划署/全球环境基金资助项目(GF/2730-02-4340); 国家“863”计划资助项目(2003AA627030)

收稿日期: 2006-12-10; 修订日期: 2007-06-03

作者简介: 彭逸生(1979~), 男, 广州人, 博士生, 主要从事红树林湿地恢复与环境生态效应研究. E-mail: Sonneratia@hotmail.com

* 通讯作者 Corresponding Author. E-mail: chenguizhu@yeah.net

致谢: 感谢 Griffith 大学的 Joe SY Lee 教授对英文摘要的润色! We would like to express our sincere gratitude to Joe SY Lee, the associate professor of Griffith University who helped proofread the English abstract

Foundation item: The project was financially supported by the UNEP/GEF South China Sea Project (No. GF/2730-02-4340) and “863” Project of Chinese Ministry of Science and Technology (No. 2003AA627030)

Received date: 2006-12-10; **Accepted date:** 2007-06-03

Biography: PENG Yi-Sheng, Ph. D. candidate, mainly engaged in restoration and ecological effect of mangrove. E-mail: Sonneratia@hotmail.com

saplings' watching, diseases and pests prevention and resistance, and ecological monitoring. Coupled with the field surveys' results, some basic principles and applied cases were generalized. Finally, based on the current status of mangrove restoration in China, there is a discussion on the future emphasis of mangrove restoration researches, which is (1) undertaking mangrove rehabilitation in the abandoned aquaculture ponds; (2) monitoring on the restoration of biodiversity in the mangrove ecosystem; (3) researching on allelopathy in mangrove ecosystem more elaborately; (4) afforesting mixed stands with different mangrove species; and at last but not the least (5) implementing ecological restoration of mangrove wetlands.

Key Words: mangrove; restoration; advances; suggestion

红树林是具有重要生态意义的海岸生境,是生长在热带、亚热带海岸潮间带的特殊植被^[1]。因为人口压力及经济发展的原因,全球红树林呈现持续萎缩的趋势,覆盖红树林的海岸长度从1980年的198000 km下降为1990年的157630 km,现今仅余146530 km^[2]。过去几十年菲律宾、越南、泰国、马来西亚的红树林减少了7445 km²;美国佛罗里达的红树林从2600 km²减至2000 km²;波多黎各红树林面积从243 km²减少为64 km²^[3]。历史上在华南地区曾有大面积红树林分布在海岸地区,然而过去几十年,该地区红树林的面积急剧减少。1956年我国红树林面积约为40000~42000 hm²;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21283 hm²;80年代末又遭围垦造陆破坏,至90年代初仅余15122 hm²^[4,5]。在我国海岸线最长、红树林分布面积最大的广东省,1956年、1986年和90年代初的红树林面积分别为21273、3526和3813 hm²^[4],最高减少了将近85%。当前威胁红树林的主要因素为:(1)人口增长产生的压力,这是其它威胁产生的根源;(2)发展水产养殖,建设养殖塘;(3)木材和薪材需求进行采伐;(4)因城市与农业发展进行围垦造陆;(5)生活污水及工业废水排放造成的水污染^[6,7]。

近年来在全球范围内,人们逐渐意识到红树林湿地的重要性。在Costanza等人对全球16种生态系统服务价值进行的评估中,红树林位列第4^[8],足见其生态价值的重要性。自20世纪70年代后期以来世界各地采取了一系列措施减缓和抑止红树林退化丧失的趋势,在美洲^[9~11]、大洋洲^[12]、亚洲^[13]等地区进行了红树林的恢复;我国的红树林在2001年亦恢复至22024.9 hm²。近年来有学者提出红树林的生态恢复(ecological restoration)^[3],有别于以往为了经济目的(如木材生产)和防护功能(如防止海岸侵蚀、促淤造陆)而进行的单树种造林^[14]。然而,在大范围开展红树林湿地恢复工作的背后,依然存在不少问题,如缺乏造林技术资料、造林成活率低、经营管理粗放等^[15],加上人为破坏和自然灾害的影响,导致红树林面积增长缓慢。如印度的West Bengal地区在1989至1995年种植的9050 hm²人工红树林中只有1.52%成活^[16],在菲律宾1984~1992年、1990~1995年的两次大规模人工造林的成活率均不足20%^[17,18];我国福建省同安县1961年人工造红树林824 hm²,5a后成活率只有31.2%;浙江省的温州地区1958~1966年人工引种红树林533 hm²,成活300 hm²,但由于人为破坏和自然灾害的原因,最终存活不足1.6%^[19]。由此可见,关于红树林湿地恢复失败的教训是深刻的,急待生态和林业工作者进行总结。

在我国,尽管近年来已有较多的造林技术研究和造林实践总结,但具有实践指导意义的《红树林建设技术规程》仍在征求意见中^[20];与此同时,造林成活率低依然是制约红树林湿地恢复的主要因素。本文以宜林地选择、树种选择与引种、栽培技术的应用、植后管护及监测四个方面为思路,总结了红树林恢复的一些基本原理与应用实例,结合我国红树林恢复的现状提出建议,旨在为我国红树林的有效恢复,提高造林成活率提供科学参考。

2 红树林宜林地的选择

在进行红树林湿地恢复之前,必须首先对造林地的气候、底质、水文等环境条件有所了解。自对红树林的天然分布开展研究以来,关于其生长影响因子就有很多的总结。总体上,红树林生长必需具有一定温度范围、沉积物粒径较小、隐蔽的海岸线、潮水可以到达、具有一定潮差、有洋流影响和具有一定宽度的潮间带^[21~23]。

这些根据红树林自然分布所归纳的指标,现仍被广泛用于选择红树林宜林地参考^[24]。

温度是调节生物生长繁殖最重要的环境因子,也是控制红树林天然分布的决定因素。大部分天然红树林分布于最冷月平均温度高于 20 °C 的区域,只有全球红树林分布的两个纬度极限——百慕大岛(32°20' N)和澳大利亚南端(38°54.8' S)则符合最冷月均温度 16 °C 的规律^[25]。然而通过人工驯化,某些红树植物的种植范围可超越天然分布的界限。在我国,最耐寒的秋茄(*Kandelia candel*) 自然生长北界为福鼎市(27°20' N),1957 年该种被成功引种至乐清湾(28°25' N)。在福鼎与乐清,最冷的 1 月平均气温与水温分别为 9.8 °C、10.9 °C 及 9.3 °C、10.6 °C^[24]。目前在华南沿海推广的无瓣海桑(*Sonneratia apetala*),原产孟加拉国 Sundarban(21°31' N,1 月均温 13.8 °C),经过 20 余年的驯化现已在汕头市(23°21' N,1 月均温 13.5 °C)大面积造林成功,并在龙海市(24°24' N,1 月均温 13.4 °C)引种成功^[26]。由此可见,人工引种驯化可以增强红树植物对温度的适应能力,有助于适度扩大红树林的种植范围。

底质是控制红树林天然分布的另一个重要因子。尽管红树林可以生长在砂质、泥炭、基岩和珊瑚礁海岸,但红树林的大范围分布仍与淤泥底质密不可分。在新西兰,红树林高度与沉积物中粒径 >0.02 mm 的颗粒百分含量有关,含量越高红树林的高度则较高^[27]。我国学者亦总结出红树植物对沉积物的不同要求:红树(*Rhizophora apiculata*)、海桑(*S. caseolaris*)、拟海桑(*S. paracaseolaris*)、卵叶海桑(*S. ovata*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄生长于泥质滩地;白骨壤(*Avicennia marina*)、杯萼海桑(*S. alba*)、角果木(*Ceriops tagal*)、榄李(*Lumnitzera racemosa*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)可在沙质土上生长;海莲(*Bruguiera sexangula*)、海漆(*Excoecaria agallocha*)、银叶树(*Heritiera littoralis*)生于高潮滩坚实的泥质或泥沙质土;桐花树(*Aegiceras corniculatum*)对土壤的适应能力则较强^[28]。1993 年在淇澳岛大澳湾,约 26.7 hm² 茂密的天然秋茄林被清除后,于 2000、2001 年人工种植无瓣海桑 2 次均未获成功。笔者现场调查的结果发现造林地的砂质海滩与原生红树林的淤泥滩底质条件相差很大,种植的幼树因细沙质地疏松而裸露根系后被冲倒,底质条件不适是该处造林失败的主要原因。需要注意的是:红树植物群落的成功构建将减弱波浪动能和潮流^[29~31],改变沉积速率和沉积物组成^[32],同时改变土壤理化性质^[33],可能导致造林后底质组成发生较大变化。

水文条件对位于陆地与海洋交接地带的红树林湿地亦较为重要。红树林适宜生长在受良好屏蔽的港湾、河口、泻湖、海岸沙坝或岛屿的背风侧、珊瑚礁坪后缘、与优势风向平行的岸线等,而不能分布于受波浪作用较强的开阔岸段。强波浪妨碍底质的泥沙沉积,并且阻碍红树植物幼苗扎根和生长。在该方面以极端天气现象造成的强波浪和风暴潮危害最大,热带气旋和飓风产生的波浪对红树林可以产生负面影响甚至毁灭性的打击。在处于热带风暴路径上、持续风速 >200 km·h⁻¹ 的区域,红树林的种类组成以及林分结构均会被风暴严重改变^[34]。1992 年飓风 Andrew 袭击佛罗里达,摧毁了该州南部的红树林,并严重伤害幼苗幼树,导致红树植物在飓风过后几个月内持续死亡^[35,36],通过影响不同树种的死亡率而改变群落组成和种群更新格局^[37,38]。因此,在红树林造林前,除了需要了解造林地的常规水文条件,还必须注意极端天气现象的影响。

潮汐对红树林的影响主要表现为盐度和淹浸周期方面。天然红树林可生长在水体盐度为 0~90 的生境中^[39],该方面的研究以探讨红树林沿河上溯的范围为代表^[1,24,33]。盐度对红树植物的生长发育具有重要意义。在实验条件下,秋茄、无瓣海桑、木榄、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、白骨壤、桐花树的适生盐度范围分别为 15、0~25、<10、20、25、25^[40~43]。龙海市的石美距离河口 14.8 km,1982 年 1 月 12 日平均海水盐度 2.16,散生着桐花树^[33]。在 20 世纪 50 年代,距河口 150 多 km 的广州市区珠江河段尚有老鼠簕生长^[44]。上述二例表明:河口地区红树林的生长并不决定于与海洋的距离,关键是潮汐带来的水体盐度的影响。红树林在海岸的分布常呈与海岸平行的块状或带状,除超潮带和潮下带外,红树林分布于平均海面与大潮平均高潮位之间的滩面,这是红树林总体受潮淹控制的表现^[24]。虽然从大多数情况来看,红树林与潮汐水位的确切关系尚未明确,但可以肯定红树林恢复造林时海平面以上的分潮点高潮位是严格的宜林临界线^[45],过长时间的淹浸或滩地积水将会干扰某些红树植物的正常生长及生理活动^[46~48]。Ellison 认为红树林植被的恢复相对于内陆淡水湿地的恢复并非特别困难,但更重要的是恢复红树林内潮汐周期的水文条件^[49]。假如水文条件发生改变,

即使在完全得到保护的情况下,红树林亦会逐渐衰退消亡。哥伦比亚 Ciénaga Grande de Santa Marta 保护区 357.7 km² 的红树林因修建大堤和道路导致水文条件发生变化而死亡^[50];加纳 Volta 河三角洲因上游修建大坝减少来水使红树林淹没减少而衰退^[51]。因此潮汐规律性的定期淹没对红树林的生存至关重要。

洋流、潮间带宽度对红树林分布的影响,实际上是温度(包括气温、水温)、波浪能以及底质的影响,前面已有论述。造林地的气候、底质、水文条件是影响造林成败的关键因素;通过收集以上因子的相关信息,选择适当的宜林地是红树林湿地恢复的重要基础环节。

3 红树林造林树种的选择与引种

为保证成功地恢复红树林湿地,在确定宜林地的同时就需要选择适当的造林树种。当前国外用于红树林恢复的大多为乡土树种,如澳大利亚为白骨壤、桐花树,孟加拉国为无瓣海桑、药用白骨壤(*A. officinalis*)、小叶银叶树(*Heritiera fomes*),哥伦比亚为大红树(*R. mangle*),马来西亚为红茄苳(*R. mucronata*)、红树,菲律宾为红树、红茄苳、红海榄、角果木、水椰(*Nypa fruticans*),美国为大红树、光叶白骨壤(*A. germinans*)、拉关木(*Laguncularia racemosa*)、直立柱果木(*Conocarpus erectus*),越南为红茄苳、红树、红海榄、秋茄、白色白骨壤(*Avicennia alba*)、十雄角果木(*C. decandra*)、海桑、水椰^[52]。国外引种外来红树植物的例子很少,仅夏威夷分别于 1902 和 1922 年引入了大红树和海莲,目前在瓦胡(Oahu)岛北岸形成了成熟稳定的红树林^[53];以及尼日利亚从非洲大陆东岸引入水椰,该种已经归化,并与乡土树种共存^[54,55],并被建议引入邻近的加纳 Volta 河口^[51]。

我国关于红树引种选种的研究较多。最早系统地进行红树林引种选种的是温州地区,该处并无天然红树林,于 1957 年引种秋茄获得成功^[33]。在停顿了 20 余年后,我国红树植物引种工作于 1985 年重新开始,当年无瓣海桑被中国林业科学研究院热带林业研究所(以下简称热林所)从孟加拉国引回东寨港试种,3 年后开花结果并继续向北引种^[26]。1987~1988 年,木榄、海莲、尖瓣海莲(*B. sexangula* var. *rhynchopetala*)、红海榄被厦门大学从东寨港引至福建九龙江口,其中前 3 种已开花结果,可正常繁殖第二代^[56]。进入 20 世纪 90 年代我国红树林的引种、选种工作进入了新阶段。1994~1996 年,热林所在深圳和廉江引种无瓣海桑、海桑、海莲、红树,经过几个冬季后前 3 种实现正常开花结实^[57]。内伶仃-福田自然保护区于 1997 年在深圳湾进行引种试验,引种琼山、廉江、龙海的秋茄与当地种源比较,结果表明本地种源较为适合当地推广种植^[58]。同期热林所将木榄从海南三亚等 6 地引种至深圳湾,与本地种源进行比较,结论认为海南琼山种源适于在深圳湾推广种植^[59]。1997 年,热林所把澳洲白骨壤(*A. marina* var. *australiasica*)、小花木榄(*B. parviflora*)和水椰引入深圳湾进行试验,认为澳洲白骨壤的苗期抗寒性和生长适应性较好,较有发展前景^[60]。1998 和 1999 年,热林所分别把小花木榄、红茄苳、湄公河木果楝(*Xylocarpus mekongensis*)、槽叶木榄(*B. exaristata*)、十雄角果木、阿吉木(*Aegialitis annulata*)、澳洲白骨壤,以及拉关木、光叶白骨壤、大红树、直立柱果木引种至东寨港,经过 6a 和 4.5a 的栽培试验,认为拉关木和澳洲白骨壤较耐寒、抗逆性较强,可继续北移栽培^[61]。

当前在我国关于红树林造林树种选择方面的意见大致分为两个方面:一方面主张选用乡土树种,另一方面主张选用外来树种;而讨论的焦点问题是关于无瓣海桑的引种及推广造林。自 1985 年引入我国以来,无瓣海桑经过 20 余年的驯化,基本适应了华南地区的气候,目前已在华南沿海 10 个地区试种成功,正处于推广阶段。然而有学者提出“在无瓣海桑生态效应尚未明确之前,大面积种植该种是否会造成生物入侵”的疑问。近年来,我国的研究人员就该问题进行了一系列探讨:对引入深圳湾的海桑和无瓣海桑的生态评价认为海桑和无瓣海桑在深圳湾造成生态入侵的可能性不大^[62]。因为无瓣海桑虽有一定的扩散能力,但其种子传播定居能力不算很强,只有在极端低温 >5℃、盐度 <15、淤泥深厚的条件下才能正常生长,一旦某一因子低于下限,其生长将明显受抑^[63];在天然红树林周边,无瓣海桑最终可能被乡土红树植物取代^[64,65]。相反地,有学者认为引入深圳湾的无瓣海桑已逸为野生。由于其适应力强、生长迅速,有可能影响本地红树植物的生长并导致其灭绝^[66]。有研究表明无瓣海桑对乡土红树植物存在化感作用,抑制后者的萌发和生长^[67]。目前建议在红树林保护区内引进无瓣海桑需要慎重考虑,但在保护区外一些立地条件恶劣的滩地可用该种作为先锋树

种,然后通过自然演替或人工种植乡土树种加速演替进程^[63]。尽管如此,一个物种造成生物入侵的年限可长达数年甚至数十年,如尼罗河鲈(*Lates niloticus*)于1954年从Albert湖、Turkana湖引入维多利亚湖,在40余年后才引发生物入侵问题,导致湖中200多种特有鱼类灭绝^[68]。有鉴于此,选择无瓣海桑用于红树林人工造林时仍需谨慎,在其生态学效应尚未明确前不宜大面积推广;同时在选择造林树种时,应结合宜林地的状况优先考虑乡土树种,坚决禁止外来树种引入红树林保护区的核心区。

4 红树林栽培技术的应用

在选择宜林地和造林树种后,就可以开展种植红树林的活动了。在该过程中,栽培技术的应用是直接决定造林成活率的主导因素。种植红树林的方法分为4类:(1)胚轴插植法,(2)人工育苗法,(3)直接移植法,(4)无性繁殖法。

胚轴插植法是从野外直接采集繁殖体种植。本方法成本低、操作易,但受繁殖体成熟的时间限制,通常每年只有1~2次。胚轴插植适于在有遮蔽或有成林掩护的岸段,通常把胚轴长度的1/3~1/2直接插入淤泥^[69]。为防止胚轴插植后被海浪冲走,或在底质坚硬、风浪大的恶劣生境中种植,可在定植后用竹条或塑料管搀扶固定;对隐胎生、繁殖体短小的红树植物,可用种子保护罩保护^[70,71]。胚轴插植的株行距将决定成林后的林分质量和防风抗浪效应,红树植物种植的株行距在国外为0.4~1.5 m^[1],而国内则为:秋茄0.5 m×1 m、1 m×1 m或0.2 m×0.4 m,木榄、红海榄0.4 m×0.4 m、1 m×2 m,桐花树0.2 m×0.4 m,无瓣海桑2 m×1 m^[44,59,72]。本方法操作简便,造林成活率亦较高,是目前红树林造林的主导方法。

人工育苗法大多在种植前使用容器育苗。在培育过程中,以往较为注重适当的盐度、和高温高湿的条件,而有研究表明事宜的光照强度也是红树植物幼苗生长良好的必要条件:在促进白骨壤幼苗产生较大的叶面积上,约400 μmol·m⁻²·s⁻¹的光强比直接日照更为有效^[73]。育苗使用的培养基质可用人工调配的培养土,亦可用天然滩涂的淤泥或细沙,但需要根据不同树种选择不同的培养基质^[74,75,76]。待苗木培养一定的时间后,便可连带容器出圃用于造林种植。但需要注意苗木出圃规格的控制,不同红树植物有不同的高度适宜范围,太低会因苗木太小过于娇嫩,太高则因根系过长在出圃时易受损伤,两者均会降低造林的成活率。人工育苗法虽增加了成本,但可以为红树林恢复工程提供质量更好、抗性更强的苗木,在一定程度上提高造林成活率,目前正逐步成为另一种主流的造林方法。

直接移植法是从红树林中挖取天然苗来造林。由于天然苗的根系裸露,在挖苗和植苗时容易受伤,导致成活率较低。因此,在没有成熟繁殖体的季节、种苗短缺或补植时才需要使用该法。移植天然苗虽可使用容器移植保护根系^[1],但苗木移植的成活率仍会受苗木年龄和规格的影响。在澳大利亚Brisbane,白骨壤和桐花树天然苗移植的成活率随苗木的高度增加而下降:<30 cm的幼苗种植后3个月内成活率超过80%;而>50 cm的幼苗种植后1个月的成活率<50%^[1]。国内对秋茄天然幼苗移植的研究表明:移植1至多年生秋茄小苗或幼树,半年成活率<37%^[72]。该方法虽然较简便,但其种源来源限制较大,而且造林成活率较低,并不值得推广。

红树植物无性繁殖技术用于育苗在国外研究较多,而我国尚未进行该方面的研究。发展组织培养,培育优良品系乡土红树植物的无性系种苗,有利于营造生长迅速、林相整齐的林分,特别适于营造以防护功能为主的红树林。国外已对水椰、小叶银叶树^[77]、木榄、秋茄、红海榄^[78]、海漆、老鼠簕、白骨壤^[79]进行了相关的研究,但遗憾的是尚未能实现红树植物无性系种苗的批量化生产,仍有待日后深究。除组织培养,红树植物无性繁殖的方法还有扦插、萌生枝造林。有报道使用一定浓度的吡啶乙酸、吡啶丁酸、萘乙酸处理桐花树、药用白骨壤、十雄角果木、海漆、小叶银叶树、秋茄、红茄苳、无瓣海桑进行扦插获得了成功^[80,81]。在缺少繁殖体的季节需要造林,同时避免采用成活率低的直接移植法,扦插育苗是较为理想的替代途径。关于萌生枝造林的实例不多,在哥伦比亚,由于洪水导致林地理化性质发生变化幼苗难以成活,需要使用砍伐匍匐侧枝促进生根的方法促进拉关木萌生恢复^[82]。但该方法只适于极个别立地条件特殊的地点,对于我国的红树林造林并无参考意义。

红树林湿地恢复是一项基础性的生态建设工程,需要投入大量资金,这就要求进行红树林造林时必须考虑成本支出。在我国广西,使用胚轴插植、人工育苗和直接移植法进行造林的成本分别为 0.20、0.96 元·株⁻¹和 0.72 元·株⁻¹[69],由此可推算在不包括土地利用费用、株行距选用 1 m×1 m 的前提下,以上 3 种方法在广西造林的成本分别为 2040.20、9792.96 元·hm⁻²和 7344.72 元·hm⁻²,显然这一数字在经济更为发达的厦门、汕头、珠江口区域会更高。而在美国,不包括滩地施工的造林成本则可高达 225~125000 USD·hm⁻²[3]。

在我国现有的经济和技术水平条件下,综合可操作性、成本和造林成活率,胚轴插植法的成本最低,辅以适当的技术即可提高幼苗成活率,是今后一段时间内的主流造林方法;人工育苗法的成本虽高,但造林成活率高、成效快,在经济条件允许或逆境造林时可以推广;直接移植法成本较高,而且成活率低,不宜使用;无性繁殖法在我国虽未有相关的尝试,但为今后我国红树林的种苗生产留下了广阔的空间。

5 红树林的植后管护及监测

在种植红树林幼苗后,需要进行看护、补植和病虫害防治。在红树林未成林地内的主要人为威胁包括漂浮物、放牧和水产捕捞,因此需要派驻人员巡逻监督,必要时围蔽造林地,防止人畜或漂浮物进入,一旦幼林遭到人为破坏、自然灾害而受损死亡,则需要使用规格较大的种苗补植。但人工巡护在保护区范围内进行尚可,对于并非保护区内的大面积人造幼林,提高苗木抗性,增加其生长速度和成活率显得更重要。墨西哥 Laguana de Balandra 地区在种植亮叶白骨壤时,应用了 2~5 株幼苗为一组的丛植技术,从而在减少人工维护的情况下使幼苗在 2a 内维持 74% 的成活率[74]。该方法模拟了红树植物自然条件下种群集群分布与竞争机制,在红树植物种苗来源充裕的情况下,提高了幼树的成活率、抗逆性,减少植后管护成本。在我国一些种源来源充足的地区(如天然红树林周边地区)进行造林时可借鉴该法。

红树林幼林是不完善、脆弱的生态系统,除了对逆境环境、人为干扰抗性较差外,亦易遭受病虫害危害。危害人工红树林的生物因素主要包括:真菌病害、藤壶、昆虫和蟹类。其中立枯病、灰霉病、炭疽病较易侵害海桑属植物,而红树科(Rhizophoraceae)植物、白骨壤、桐花树、海漆等苗期较少遭受真菌病害[76,83~87]。目前发现的真菌病害均有相应的化学药剂处理,及早发现可以将其控制。藤壶主要危害植株的地上部分,增加其重量以及受潮水冲刷的面积,并堵塞叶片、茎干的气孔影响正常生理活动[84,88]。虽然目前已有不少针对藤壶危害红树林幼机理的研究,但尚未有理想的办法对其进行防治[89],泰国则选择在水体盐度较低的雨季造林,减少其危害。红树林害虫以鳞翅目(Lepidoptera)昆虫的幼虫为主,它们以植物叶片、果实为食[50,90,91],亦会在树干上钻洞[92,93],不仅直接对幼苗造成机械性损伤,同时扰乱其矿质代谢[94],最终导致死亡。我国南部沿海的深圳、北海等地已经相继发生以螟蛾科(Pyralidae)昆虫为主的白骨壤虫害[95,96],危害甚大。虫害的防治方法可以有化学控制、生物防治以及物理清除,各地需因地制宜选择适当的杀虫方式。蟹类是红树林湿地最具有代表性的底栖动物类群,最高可占大型底栖动物生物量的 80% [97],消耗凋落叶片总量的 44% [98],扮演着分解者和洞穴挖掘者的重要角色[99]。然而它们的部分种类取食红树植物繁殖体和幼苗,严重影响红树林的造林与更新。例如在澳大利亚北部的红树林内,主要活动于中潮滩的方蟹科(Grapsidae)蟹类对白骨壤果实的取食率高达 93%~99%,限制了原本可在中潮滩生长的白骨壤在该区域的扩散[100]。在肯尼亚,尽管方蟹科的 *Neosarmatium meinerti* 没有特别偏好食用的红树植物,但由于密度高达 10 只·m⁻²,因此在开阔、无成年树的样地仍会为红树林幼苗带来威胁[101]。对于蟹类破坏红树植物幼苗的问题,国外的报道较少,尽管国内已经进行了一些化学农药防治的研究[83],但距离高效、环保的要求尚有一定差距,有待继续深入探讨。

6 结论与展望

总体上,影响红树林湿地恢复造林成活率的主要因素包括宜林地选择、树种的选引、栽培技术、植后管护监测,这四个要素贯穿于整个红树林恢复过程,相互依存。为了提高红树林造林成活率,获得较高的生态、经济和社会效益,必须在规划造林之始,首先根据资料确定造林地点历史上红树林分布的情况,得到确认后再按气候、底质、水文条件选择宜林地;然后根据乡土树种优先、为主的原则选择合适的造林树种;根据当地的经济和技术条件,选择适用的造林技术;最后详细计划植后管护监测,保证造林成活率和湿地生物多样性的恢复。

展望未来,由于历史上红树林开发利用的地段均为经济好、人口多的地区,可供恢复利用的土地似乎已经不多。然而值得一提的是:20世纪90年代末在东南亚,废弃虾塘逐渐成为红树林恢复的场所^[102]。尽管养殖塘内的水文、底质条件均已发生较大变化,为红树林的恢复带来一定挑战^[103];在国内的尝试结果显示该种植模式可以提高水产品产量与质量,同时净化周围水体水质^[104,105]。“退塘还林”模式为红树林宜林地的选择提供了新的思路。红树林湿地是一个复杂多样的生态系统,生活在其中的生物类群纷繁复杂;在红树林恢复过程中,各个生物类群会有不同的动态过程^[106~108]。目前我国对红树林恢复过程生物多样性的恢复研究较少,仅涉及红树植物物种多样性^[107]、种群竞争^[64,65]、生物量^[109,110]、能量^[111]、污染物积累^[112]。对红树林湿地生态系统内各种生物类群的恢复、相互之间动态变化的研究依然任重道远。有学者认为今后有必要加强红树林化感作用的研究^[113]。目前关于红树植物化感作用的研究为室内的静态模拟试验^[67,114],与户外潮汐冲刷的环境差异很大。红树植物之间的化感作用是否显著?化感作用的物质是什么?其释放的途径如何?这都是今后需要深入探讨的问题。过去红树林湿地恢复多为营造人工纯林,实践证明:营造红树林混交林可增加幼树的成活率、树高、基径、分枝数目和冠幅^[81]。今后我国可以进行营造红树林混交林的尝试,提高造林质量,恢复多层次、多类型、立体防护效能的红树林。红树林湿地生态恢复是一项长期、复杂的任务,使红树林的评价指标从数量化逐渐提升为质量化,营造健康的红树林湿地生态系统将是今后红树林湿地恢复工作的新重点。

References:

- [1] Saenger P. Mangrove ecology, silviculture and conservation. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 1—10, 101—146, 243—249.
- [2] FAO (Food and Agricultural Organization). New global mangrove estimate. <http://www.fao.org/forestry/foris/webview/forestry2/index.jsp%3Fgeold=0%26langid>, 2003.
- [3] Lewis R R. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 2005, 24: 403—418.
- [4] Zheng D Z, Li M, Zheng S F, *et al.* Headway of study on mangrove recovery and development in China. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2003, 19(1): 10—14.
- [5] Fan H Q. Mangrove as a coastal environmental guarder. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2000. 148.
- [6] Ong J E. The ecology of mangrove conservation and management. In: Wong Y S, Tam N F Y eds. *Asia-Pacific Symposium on Mangrove Ecosystems*, 1995. 343—351.
- [7] Chen G Z, Lan Z H, Deng P Y. National report of China on wetlands. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2005. 78—81.
- [8] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253—260.
- [9] Brockmeyer Jr R E, Rey J R, Virmstein R W, *et al.* Rehabilitation of impounded estuarine wetlands by hydrologic reconnection to the Indian River Lagoon, Florida (USA). *Wetland Ecology and Management*, 1997, 4(2): 93—109.
- [10] Milano G R. Restoration of coastal wetlands in southeastern Florida. *Wetland Journal*, 1999, 11(2): 15—24, 29.
- [11] Lewis R R. Ecologically based goal setting in mangrove forest and tidal marsh restoration in Florida. *Ecological Engineering*, 2000, 15(3-4): 191—198.
- [12] Saenger P. Mangrove restoration in Australia: a case study of Brisbane International Airport. In: Field C D ed. *Restoration of Mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Society for Mangrove Ecosystems, 1996. 36—51.
- [13] Saenger P, Siddiqi N A. Land from the sea: the mangrove afforestation program of Bangladesh. *Ocean and Coastal Management*, 1993, 20: 23—29.
- [14] Ong J E. Mangroves and aquaculture in Malaysia. *Ambio*, 1982, 11: 252—257.
- [15] Liao B W, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* Current status and advance of mangrove afforestation in the coastal area of Southern China. *Science and Technology of Protection Forests*, 1996, 29: 30—34.
- [16] Sanyal P. Rehabilitation of degraded mangrove forests of the Sunderbans of India. In: Program of the International Workshop on Rehabilitation of Degraded Coastal Systems, Phuket Marine Biological Center. Thailand: Phuket, 1998. 25.
- [17] de Leon T O D, White A T. Mangrove rehabilitation in the Philippines. In: Streever W ed. *An International Perspective on Wetland Rehabilitation*. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1999. 37—42.
- [18] Ablaza-Baluyut E. The Philippines fisheries sector program. In: Coastal and Marine Environmental Management. Proceedings of a workshop. Bangkok: Asian Development Bank, 1995. 156—177.

- [19] Lin P, Fu Q. Environmental Ecology and Economic Utilization of Mangroves in China. Beijing: Berlin Heidelberg CHEP & Springer Verlag, 2000. 29—39.
- [20] Department of Planting and Afforestation, State Forestry Administration, China. The workshop on the rules of mangrove afforestation technology in China was convened in Xiamen City. <http://www.forestry.gov.cn/subpage/content.asp?>
- [21] Walsh G E. Mangroves: a review. In: Reimhold R J, Queen W H eds. Ecology of halophytes. New York: Academic Press, 1974. 51—174.
- [22] Chapman V J. Mangrove biogeography. In: Walsh G E, Snedaker S C, Teas H J eds. Proceedings of the international symposium on biology and management of mangroves. Vol. 1. Gainesville: University of Florida, 1975. 3—22.
- [23] Chapman V J. Introduction. In: Chapman V J ed. Ecosystem of the world I. wet coastal ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science Publication Company, 1977. 1—29.
- [24] Zhang Q M, Sui S Z, Zhang Y C, *et al.* Marine environmental indexes related to mangrove growth. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1427—1437.
- [25] Hogarth P J. The Biology of mangroves. New York: Oxford University Press, 1999. 1—228.
- [26] Chen Y J, Liao B W, Peng Y Q, *et al.* Researches on the northern introduction of mangrove species *Sonneratia apetala* Buch.-Ham. Guangdong Forestry Science and Technology, 2003, 19(2): 9—12.
- [27] de Lange W P, de Lange P J. An appraisal of factors controlling the latitudinal distribution of mangrove (*Avicennia marina* var. *resinifera*) in New Zealand. Journal of Coastal Research, 1994, 10(3): 539—548.
- [28] Zheng D Z, Liao B W, Zheng S F. Researches on mangrove afforestation technology and protection effects. In: Zheng D Z, Liao B W, Zheng S F eds. Researches on the main species of mangrove afforestation and management technology. Beijing: Chinese Science Press, 1999. 6—28.
- [29] Mazda Y, Magi M, Kogo M, *et al.* Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. Mangroves and Salt Marshes, 1997, 1: 127—135.
- [30] Brinkman R M, Massel S R, Ridd P V, *et al.* Surface wave attenuation in mangrove forests. In: Proceedings of the combined Australian coastal engineering and ports conference. Christchurch, 1997. 941—946.
- [31] Mazda Y, Wolanski E, King B, *et al.* Drag force due to vegetation in mangrove swamps. Mangroves and Salt Marshes, 1997, 1: 193—199.
- [32] Furukawa K, Wolanski E. Sedimentation in mangrove forests. Mangroves and Salt Marshes, 1996, 1: 3—10
- [33] Lin P. Mangrove ecosystem in China. Beijing: Chinese Science Press, 1997. 11—53.
- [34] Roth L C. Implications of periodic hurricane disturbance for the sustainable management of Caribbean mangroves. In: Kjerfve B, Lacerda L D, Diop D H S eds. Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa. Paris: UNESCO, 1997. 18—34.
- [35] Smith T J, Robblee M B, Wanless H R, *et al.* Mangroves, hurricanes, and lightning strikes. Biological Science, 1994, 44: 256—262.
- [36] Davis R A. Geologic impact of Hurricane Andrew on Everglades coast of southwest Florida. Environmental Geology, 1995, 25: 143—148.
- [37] Baldwin A H, Platt W J, Gathen K L, *et al.* Hurricane damage and regeneration in fringe mangrove forests of southeast of Florida, USA. Journal of Coastal Research, 1995, 21: 169—183.
- [38] McCoy E D, Mushinsky H R, Johnson R, *et al.* Mangrove damage caused by Hurricane Andrew on the southwestern coast of Florida. Bulletin of Marine Science, 1996, 59: 1—8.
- [39] Augustinus P G E F. Geomorphology and sedimentology of mangroves. In: Perillo G M E ed. Geomorphology and sedimentology of estuaries. Development in sedimentology 53. Elsevier Science BV, Amsterdam, 1995. 333—357.
- [40] Burchett M D, Field C D, Pulkownik A. Salinity, growth and root respiration in grey mangrove *Avicennia marina*. Plant Physiology, 1984, 60: 113—118.
- [41] Ball M C. Salinity tolerance in the mangroves, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* I. Water use in relation to growth, carbon partitioning and salt balance. Australia Journal of Plant Physiology, 1988, 15: 447—464.
- [42] Mo Z C, Fan H Q, He B Y. Effects of seawater salinity on hypocotyl growth in two mangrove species. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(2): 235—239.
- [43] Ye Y, Lu C Y, Hu H Y. Comparisons of tolerances to salt stress among three salt-secreting mangrove species. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11): 2444—2450.
- [44] How F C ed. Flora of Canton. Beijing: Chinese Science Press, 1956. 620.
- [45] Zhang Q M, Yu H B, Chen X S, *et al.* The relationship between mangrove zone on tidal flats and tidal levels. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3): 258—265.
- [46] Chen W P, Zheng S F, Li R C, *et al.* Study on Constructing Mangrove Plantations in a large scale in Panyu, Guangdong Province. Forest Research, 2001, 14(3): 307—314.
- [47] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S, *et al.* Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*)

- to waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, 2003, 49: 209—221.
- [48] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S, *et al.* Does sea level rise influence propagule establishment, early growth and physiology of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 306: 197—215.
- [49] Ellison A M. Mangrove restoration: do we know enough? *Restoration Ecology*, 2000, 8(3): 219—229.
- [50] Elster C. Reasons for reforestation success and failure with three mangrove species in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 1997, 131: 201—214.
- [51] Rubin J A, Gordon C, Amatekpor J K. Causes and consequences of mangrove deforestation in the Volta Estuary, Ghana; some recommendations for ecosystem rehabilitation. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37(8-12): 441—449.
- [52] Field C D. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37(8—12): 383—392.
- [53] Krauss K W, Allen J A. Influences of salinity and shade on seedling photosynthesis and growth of two mangrove species, *Rhizophora mangle* and *Bruguiera sexangula*, introduced to Hawaii. *Aquatic Botany*, 2003, 77: 311—324.
- [54] Tomlinson P B. The botany of mangroves. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [55] Ukpong I E. Vegetation and its relation to soil nutrient and salinity in the Calabar mangrove swamp, Nigeria. *Mangroves and Salt Marshes*, 1997, 1: 211—218.
- [56] Wang W Q, Zhao M L, Deng C Y, *et al.* Species and its distribution of mangroves in Fujian coastal area. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2000, 19(4): 534—540.
- [57] Li Y, Zheng D Z, Liao B W, *et al.* Preliminary report on introduction of several superior mangroves. *Forest Research*, 1998, 11(6): 652—655.
- [58] Zan Q J, Wang Y J, Liao B W, *et al.* The physiological-ecology of *Kandelia candel* seedlings introduced to Shenzhen Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1662—1669.
- [59] Liao B W, Chen Y J, Zheng S F, *et al.* Early screening trials of provenance on *Bruguiera gymnorrhiza* in Shenzhen Bay of China. *Forest Research*, 2002, 15(6): 660—665.
- [60] Liao B W, Zheng S F, Chen Y J, *et al.* Introduction and domestication of several superior mangroves in Shenzhen Bay. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2): 178—182.
- [61] Liao B W, Zheng S F, Chen Y J, *et al.* Preliminary report on introduction of several alien mangrove plants in Dongzhai Harbour of Hainan Province. *Journal of Central South Forestry University*, 2006, 26(3): 63—68.
- [62] Zan Q J, Wang B S, Wang Y J, *et al.* Ecological assessment on the introduced *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala* at the mangrove forest of Shenzhen Bay, China. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(5): 544—551.
- [63] Liao B W, Zheng S F, Chen Y J, *et al.* Biological characteristics and ecological adaptability for non-indigenous mangrove species *Sonneratia apetala*. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 10—15.
- [64] Liao B W, Li M, Zheng S F, *et al.* Study on intraspecific and interspecific competition in exotic species *Sonneratia apetala*. *Forest Research*, 2003, 16(4): 418—422.
- [65] Liao B W, Li M, Zheng S F, *et al.* Niches of several mangrove species in Dongzhai Harbor of Hainan Island. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 403—407.
- [66] Ng S C, Corlett R. The bad biodiversity: alien plant species in Hong Kong. *Chinese Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 109—118.
- [67] Li M, Liao B W, Zheng S F, *et al.* Allelopathic effects of *Sonneratia apetala* aqueous extraction growth performance of some indigenous mangroves. *Forest Research*, 2004, 17(5): 641—645.
- [68] Molles, Jr M C. *Ecology: concepts and application*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2005. 432—434.
- [69] Mo Z C, Fan H Q. Comparison of afforestation methods of mangrove. *Guangxi Forestry Science*, 2001, 30(2): 73—75, 81.
- [70] Riley Jr R W, Kent C P S. Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. *Mangroves and Salt Marshes*, 1999, 3: 207—213.
- [71] Lu C Y, Ye Y. *Wetland ecology and engineering: mangrove as an example*. Xiamen: Xiamen University Press, 2006. 226—229.
- [72] Liao B W, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* A Study on the afforestation techniques of *Kandelia candel* mangrove. *Forest Research*, 1996, 9(6): 586—592.
- [73] Youssef T. Approaches in mangrove planting: some options for Darwin mangroves. In: Hanley J R, Caswell G, Megirian D, *et al.* eds. *Proceedings of the Sixth International Marine Biological Workshop-The marine flora and fauna of Darwin Harbour, Northern Territory, Australia*. Darwin: Northern Territory Museum of Arts and Science, 1997. 321—333.
- [74] Toledo G, Rojas A, Bashan Y. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 2001, 444: 101—109.
- [75] Liao B W, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* The studies on seedling nursing techniques of *Sonneratia caseolaris* and its seedling growth rhythm.

- Forest Research, 1997, 10(3): 296—302.
- [76] Zhong C R, Li H S, Huang Z Q, *et al.* The nursing technology of *Sonneratia hainanensis*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsenim*, 2003, 42(s): 224—226.
- [77] Maity S. Biotechnology in conservation of mangroves — a case study. *Proceeding natural symposium on conservation and management of living resources*. Bangalore, 1995. 1—10.
- [78] Baba K, Onizuka R I. Callus induction of five mangrove tree species. In: Kjerfve B, Lacerda L D, Diop S eds. *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. Paris: UNESCO, 1997. 339—347.
- [79] Rao C S, Anand A, Rangan L, *et al.* Protocol for *in vitro* propagation of *Excoecaria agallocha* L., a medicinally important mangrove species. *Plant Cell Reports*, 1998, 17: 861—865.
- [80] Basak U C, Das A B, Das P. Metabolic changes during rooting in stem cuttings of five mangrove species. *Plant Growth Regulation*, 1995, 17: 141—148.
- [81] Das P, Basak U C, Das A B. Restoration of the mangrove vegetation in the Mahanadi delta, Orissa, India. *Mangroves and Salt Marshes*, 1997, 1: 155—161.
- [82] Elster C, Perdomo L. Rooting and vegetative propagation in *Laguncularia racemosa*. *Aquatic Botany*, 1999, 63: 83—89.
- [83] Li Y, Zheng D Z, Liao B W, *et al.* Preliminary investigation on the major harmful organisms in mangrove. *Forest Pest and Disease*, 1997, (4): 12—14.
- [84] Xiang P, Yang Z W, Lin P. Barnacle damage and its control in young mangrove plantations; A research review. *Journal of Chinese Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1526—1529.
- [85] Zhong C R. The seedling raising techniques of *Sonneratia alba*. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2004, 31(3): 116—118.
- [86] Zhong C R. The seedling raising and afforestation techniques of *Sonneratia ovata*. *Journal of Guangxi Forestry Science*, 2004, 33(2): 96—98.
- [87] Wier A M, Terry A T, Edward J K. Disease of red mangrove (*Rhizophora mangle*) in southwest Puerto Rico caused by *Cytospora rhizophorae*. *Biotropica*, 2000, 32(2): 299—306.
- [88] Satumanatpan S, Keough M J. Effect of barnacles on the survival and growth of temperate mangrove seedlings. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 181, 189—199.
- [89] Li Y, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* Barnacles harm to artificial mangroves and their chemical control. *Forest Research*, 1988, 11(4): 370—376.
- [90] Duke N C. Sustained high levels of foliar herbivory of the mangrove *Rhizophora stylosa* by a moth larva *Doratifera stenosa* (Limacodidae) in northeastern Australia. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10: 403—419.
- [91] Faraco L F D, Lana P da C. Leaf-consumption levels in subtropical mangroves of Paranaguá Bay (SE Brazil). *Wetlands Ecology and Management*, 2004, 12: 115—122.
- [92] Whitten A J, Damanik S J. Mass defoliation of mangroves in Sumatra, Indonesia. *Biotropica*, 1986, 18:176.
- [93] Sousa W P, Quek S P, Mitchell B J. Regeneration of *Rhizophora mangle* in a Caribbean mangrove forest: interacting effects of canopy disturbance and a stem-boring beetle. *Oecologia*, 2003, 137: 436—445.
- [94] Saur E, Imbert D, Etienne J, *et al.* Insect herbivory on mangrove leaves in Guadeloupe: effects on biomass and mineral content. *Hydrobiologia*, 1999, 413: 89—93.
- [95] Jia F L, Chen H D, Wang Y J, *et al.* The pest insects and analysis of its outbreaks' cause in Futian mangrove, Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2001, 40(3): 88—91.
- [96] Fan H Q, Qiu G L. Insect pests of *Avicennia marina* mangrove along the coast of Beibu Gulf in China and the research strategies. *Guihaia*, 2004, 24(6): 558—562.
- [97] Golly F B, Odum H T, Wilson R. A Synoptic study of the structure and metabolism of a red mangrove forest in southern Puerto Rico in May. *Ecology*, 1962, 43: 9—18.
- [98] Emmerson W D, McGwynne L E. Feeding and assimilation of mangrove leaves by the crab *Sesarma meinerti* de Man in relation to leaf-litter production in Mgazana, a warm-temperate southern African mangrove swamp. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, 157: 41—53.
- [99] Lee S Y. Ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: a review. *Marine and Fresh Water Research*, 1998, 49: 335—343.
- [100] Smith I I I T J. Effects of seed predators and light level on the distribution of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in tropical, tidal forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1987, 25: 43—51.

- [101] Dahdouh-Guebas F, Verneir M, Tack J F, *et al.* Food preferences of *Neosarmatium meinerti* de Man (Decapoda: Sesarminae) and its possible effect on the regeneration of mangroves. *Hydrobiologia*, 1997, 347: 83–89.
- [102] Stevenson N J. Disused shrimp ponds: options for redevelopment of mangroves. *Coastal Management*, 1997, 25: 425–435.
- [103] Yap H T. The case for restoration of tropical coastal ecosystems. *Ocean and Coastal Management*, 2000, 43: 841–851.
- [104] Peng Y G, Chen G Z, She Z M, *et al.* Mangrove and planting-aquaculture ecological coupling system. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(6): 150–154.
- [105] Huang F L, Chen G Z, Xia B C, *et al.* 2005. Study on aquatics and ecosystem in estuary intertidal area. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(1): 16–20.
- [106] Bosire J O, Dahdouh-Guebas F, Kairo J G, *et al.* Spatial variations in macrobenthic fauna recolonisation in a tropical mangrove bay. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 1059–1074.
- [107] Chen Y J, Liao B W, Zheng S F, *et al.* Dynamics and species diversities of artificial *Sonneratia apetala*, *Sonneratia caseolaris* and *Kandelia candel* communities. *Journal of Chinese Applied Ecology*, 2004, 15(6): 924–928.
- [108] Chen G C, Ye Y, Lu C Y, *et al.* Distribution of *Littoralia melanostoma* Gray (Littorinidae) and *Nerita lineata* Gmelin (Neritidae) in rehabilitated mangroves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1721–1725.
- [109] Han W D, Gao X M, Edwin T. Study on *Sonneratia apetala* productivity in restored forests in Leizhou Peninsula, China. *Journal of Forestry Research*, 2001, 12(4): 229–234.
- [110] Peng Y G, Chen G Z, Wu P F, *et al.* Net primary productivity of several mangrove species under controlled habitat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1383–1388.
- [111] Zan Q J, Wang B S, Wang Y J. Energy situation of *Sonneratia apetala*-*S. caseolaris* forest in Futian of Shenzhen. *Journal of Chinese Applied Ecology*, 2003, 14(2): 170–174.
- [112] Wang B S, Zan Q J, Zhang W Y, *et al.* Accumulation and cycle of heavy metals in *Sonneratia apetala* and *S. caseolaris* mangrove community at Futian of Shenzhen, China. *Marine Science Bulletin*, 2003, 5(1): 59–68.
- [113] Ye Y, Weng J, Lu C Y. Mangrove biodiversity restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1243–1250.
- [114] Mo Z C, Fan H Q. Allelopathy of *Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*. *Guangxi Sciences*, 2001, 8(1): 61–62.

参考文献:

- [4] 郑德璋, 李玫, 郑松发, 等. 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.
- [5] 范航清. 红树林, 海岸环保卫士. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000. 148.
- [7] 陈桂珠, 竺竹虹, 邓培雁. 中国湿地专题报告. 广州: 中山大学出版社, 2005. 78–81.
- [15] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 等. 我国华南沿海红树林造林现状及其展望. *防护林科技*, 1996, 29: 30–34.
- [20] 国家林业局植树造林司. 全国红树林建设技术规程研讨会在厦门召开. http://www.forestry.gov.cn/subpage/content.asp?lm_Tname=lyyw_2005d&lmdm=1020&f_lmname=2005年下半年新闻时空&id=5993, 2005.
- [24] 张乔民, 隋淑珍, 张叶春, 等. 红树林宜林海洋环境指标研究. *生态学报*, 2001, 21(9): 1427–1437.
- [26] 陈玉军, 廖宝文, 彭耀强, 等. 红树植物无瓣海桑北移引种的研究. *广东林业科技*, 2003, 19(2): 9–12.
- [28] 郑德璋, 廖宝文, 郑松发. 红树林造林技术与防护效应. 见: 郑德璋, 廖宝文, 郑松发编. 红树林主要树种造林与管理技术研究. 北京: 科学出版社, 1999. 6–28.
- [33] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997. 11–53.
- [42] 莫竹承, 范航清, 何斌源. 海水盐度对两种红树植物胚轴萌发的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 235–239.
- [43] 叶勇, 卢昌义, 胡宏友. 三种泌盐红树植物对盐胁迫的耐受性比较. *生态学报*, 2004, 24(11): 2444–2450.
- [44] 侯宽昭主编. 广州植物志. 北京: 科学出版社, 1956. 620.
- [45] 张乔民, 于红兵, 陈欣树, 等. 红树林生长带与潮汐水位关系的研究. *生态学报*, 1997, 17(3): 258–265.
- [46] 陈文沛, 郑松发, 黎锐成, 等. 番禺地区引种植红树林的研究. *林业科学研究*, 2001, 14(3): 307–314.
- [56] 王文卿, 赵萌莉, 邓传远, 等. 福建沿岸地区红树林的种类与分布. *台湾海峡*, 2000, 19(4): 534–540.
- [57] 李云, 郑德璋, 廖宝文, 等. 几种红树植物引种试验初报. *林业科学研究*, 1998, 11(6): 652–655.
- [58] 曾启杰, 王勇军, 廖宝文, 等. 秋茄种源引种深圳湾后幼苗生理生态研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1662–1669.
- [59] 廖宝文, 陈玉军, 郑松发, 等. 深圳湾红树植物木榄种源筛选早期试验. *林业科学研究*, 2002, 15(6): 660–665.
- [60] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 几种红树植物在深圳湾的引种驯化试验. *林业科学*, 2004, 40(2): 178–182.
- [61] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 海南东寨港几种国外红树植物引种初报. *中南林学院学报*, 2006, 26(3): 63–68.
- [63] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 外来红树植物无瓣海桑生物学特性与生态环境适应性分析. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 10–15.

- [64] 廖宝文, 李玫, 郑松发, 等. 外来种无瓣海桑种内、种间竞争关系研究. 林业科学研究, 2003, 16(4): 418~422.
- [65] 廖宝文, 李玫, 郑松发, 等. 海南岛东寨港几种红树植物种间生态位研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 403~407.
- [66] 吴世捷, 高力行. 不受欢迎的生物多样性: 香港的外来植物物种. 生物多样性, 2002, 10(1): 109~118.
- [67] 李玫, 廖宝文, 郑松发, 等. 无瓣海桑对乡土红树植物的化感作用. 林业科学研究, 2004, 17(5): 641~645.
- [69] 莫竹承, 范航清. 红树林造林方法的比较. 广西林业科学, 2001, 30(2): 73~75, 81.
- [71] 卢昌义, 叶勇. 湿地生态与工程: 以红树林湿地为例. 厦门: 厦门大学出版社, 2006. 226~229.
- [72] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 等. 红树植物秋茄造林技术的研究. 林业科学研究, 1996, 9(6): 586~592.
- [75] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 等. 海桑育苗技术及其幼苗生长规律的研究. 林业科学研究, 1997, 10(3): 296~302.
- [76] 钟才荣, 李海生, 黄仲琪, 等. 海南海桑的育苗造林技术. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(增刊): 224~226.
- [83] 李云, 郑德璋, 郑松发, 等. 红树林主要有害生物调查初报. 森林病虫通讯, 1997, (4): 12~14.
- [84] 向平, 杨志伟, 林鹏. 人工红树林幼林藤壶危害及防治研究进展. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1526~1529.
- [85] 钟才荣. 杯萼海桑的育苗技术. 福建林业科技, 2004, 31(3): 116~118.
- [86] 钟才荣. 卵叶海桑的育苗和造林技术. 广西林业科学, 2004, 33(2): 96~98.
- [89] 李云, 郑德璋, 郑松发, 等. 人工红树林藤壶危害及防治的研究. 林业科学研究, 1988, 11(4): 370~376.
- [95] 贾凤龙, 陈海东, 王勇军, 等. 深圳福田红树林害虫及其发生原因. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(3): 88~91.
- [96] 范航清, 邱广龙. 中国北部湾白骨壤红树林的虫害与研究对策. 广西植物, 2004, 24(6): 558~562.
- [104] 彭友贵, 陈桂珠, 余忠明, 等. 红树林滩涂海水种植-养殖生态耦合系统初步研究. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(6): 150~154.
- [105] 黄凤莲, 陈桂珠, 夏北成, 等. 滩涂海水养殖生态模式研究. 海洋环境科学, 2005, 24(1): 16~20.
- [108] 陈光程, 叶勇, 卢昌义, 等. 人工红树林中黑口滨螺和黑线蜒螺分布的差异性. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1721~1725.
- [107] 陈玉军, 廖宝文, 郑松发, 等. 无瓣海桑、海桑、秋茄红树人工林群落动态及物种多样性研究. 应用生态学报, 2004, 15(6): 924~928.
- [110] 彭友贵, 陈桂珠, 武鹏飞, 等. 人工生境条件下几种红树植物的净初级生产力比较研究. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1383~1388.
- [111] 管启杰, 王伯荪, 王勇军. 深圳福田无瓣海桑-海桑林能量的研究. 应用生态学报, 2003, 14(2): 170~174.
- [113] 叶勇, 翁劲, 卢昌义. 红树林生物多样性恢复. 生态学报, 2006, 26(4): 1243~1250.
- [114] 莫竹承, 范航清. 木榄和秋茄的种间化感作用研究. 广西科学, 2001, 8(1): 61~62.