

红树林生物多样性恢复

叶勇, 翁劲, 卢昌义, 陈光程

(近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 厦门 361005)

摘要:从红树植物及与之密切相关的底栖动物的多样性恢复出发, 分析了我国当前红树林恢复存在的主要问题, 并提出了对此需要着重进行的基础研究思路。在红树植物多样性恢复方面, 胎生种类的繁殖体在母树上就已萌发, 成熟繁殖体可直接用于海滩造林, 大多数种类已用于红树林恢复; 而非胎生红树植物繁殖体的萌发脱离母树, 成熟繁殖体难以直接在海滩造林, 其育苗具有一定难度, 因此较少用于红树林恢复, 可以通过非胎生红树植物的种子休眠、生理生态和化感作用等方面的研究, 极大地增加红树植物生态恢复的种类。在动物多样性恢复方面, 底栖动物生物多样性恢复还是“非定向”的, 可通过在具类似底质、盐度和潮位的河口海岸地段不同恢复时间的人工红树林, 研究红树林植被不同恢复措施(主要是种植密度和种类选择)对底栖动物生物多样性的影响, 使得红树林的生态恢复在改造生态系统其它生物组份上不会呈现盲目性和不可预测性。

关键词:红树植物; 底栖动物; 生态恢复

文章编号:1000-0933(2006)04-1243-08 **中图分类号:**X171.4, X176 **文献标识码:**A

Mangrove biodiversity restoration

YE Yong, WENG Jing, LU Chang-Yi, CHEN Guang-Cheng (State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1243 ~ 1250.

Abstract: Recently, developments in coastal areas severely destroyed mangrove forests and resulted in biodiversity decrease in coastal wetlands. Therefore, great importance was attached to mangrove restoration to protect biodiversity in coastal wetlands. Biodiversity restoration should become an important goal of mangrove replanting. In this paper, in terms of biodiversity restoration of mangrove flora and benthic fauna, main problems in mangrove restoration in China were analyzed and some basic research strategies were brought forward.

For mangrove plant diversity restoration, most viviparous species were used in mangrove restoration because their propagules germinate before they leave mother trees and they can be directly used in afforestation in coastal beaches. However, few non-viviparous species were used in mangrove restoration because their mature propagules germinate after they leave mother trees and it is difficult in direct plantation in coastal beaches. In China, although non-viviparous species make up 60 percent of the total mangrove plant species, mangrove restoration was focused on viviparous species. To improve mangrove plant diversity, some researches should be enhanced as follows. Firstly, germination traits of non-viviparous mangrove species should be studied. Only after types, processes and ecological conditions of seed dormancy are correctly realized, high successfulness can be insured in nursery of non-viviparous species and enough seedlings can be provided for mangrove restoration. Secondly, eco-physiological researches should be also enhanced to provide important basis on mangrove biodiversity restoration. Thirdly, more researches on allelopathy between mangrove species should be carried out to give theoretic basis on better mangrove restoration performance.

Mangrove restoration was settled only on vegetation restoration and much attention was paid to nursery techniques and area selection for afforestation. However, restoration of ecosystem functions was not considered as a goal in mangrove restoration,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40476040);福建省自然科学基金资助项目(D0410006)

收稿日期:2005-01-20; **修订日期:**2005-09-04

作者简介:叶勇(1969~),男,江西万载人,博士,教授,主要从事红树林生态学研究. E-mail: yeyong5564@tom.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40476040) and Fujian Natural Science Foundation (No. D0410006)

Received date: 2005-01-20; **Accepted date:** 2005-09-04

Biography: YE Yong, Ph. D., Professor, mainly engaged in mangrove ecology. E-mail: yeyong5564@tom.com

especially the function of mangrove vegetation to maintain other subsystems such as benthic fauna. In terms of faunal diversity, it is still "non-directional" for mangrove restoration. Therefore, it is necessary to study the effects of vegetation restoration methods on benthic faunal diversity, in order not to make other subsystems' reconstruction blind and uncertain after vegetation restoration. Effects of mangrove plant species on benthic faunal diversity restoration should be thoroughly studied. Through field controlled trials and laboratory simulated experiments, differences in benthic animal species and quantities under mangroves with different dominant species should be studied to explore the differences in feeding preferences of main benthic animals to mangrove leaves including food selectivity and animal-plant nutritive relation, from which the relationships between remediation of benthic faunal subsystems and mangrove planting species can be realized. Differences in benthic animal species and quantities under mangroves with different planting densities should be also studied to obtain the relationships between remediation of benthic faunal subsystems and mangrove planting density. Meanwhile, through analyses of sediment, mangrove biomass and litter falls, reconstruction of mangrove vegetation to sediments should be studied to explore the relationships between ecological remediation of benthic faunal subsystems and changes in sedimental physical-chemical characteristics during mangrove restoration processes.

Key words: mangrove species; benthic fauna; ecological restoration

红树林是热带亚热带隐蔽海岸潮间带的木本植物群落,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^[1]。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^[2],并成为很多重要经济动物栖息和繁育的场所^[3],还是多种废水有效而廉价的天然处理厂^[4~6]。近年来,由于沿海地区的开发造成对红树林的严重破坏,导致海岸湿地生物多样性减少,因此恢复红树林以保护海岸湿地生物多样性的工作受到广泛重视^[7]。

我国红树林的植被恢复工作,从 20 世纪 50 年代极少数农民的自发行动,发展到近年来东南沿海当地政府、科研单位和绿色组织的有组织行为,在福建、广东、海南、广西和香港等地普遍进行。如在我国红树林自然分布最北省份福建省的九龙江河口区,当地农民为保护堤岸免受潮水冲刷,早在 20 世纪 60 年代就开展了红树林的人工种植;80 年代后尤其是近几年来,由于沿海城市的进一步开发(如修建码头、围垦养殖等),九龙江口的天然红树林面积锐减,政府普遍认识到红树林的重要性,红树林的恢复工作包括异地补偿性再植等也在同步进行,自 20 世纪 90 年代以来,以政府直接投资或企业补偿性投资的方式,九龙江口的红树林恢复工作几乎每年都在进行。

红树林生物多样性恢复应是红树林恢复的重要目标之一,但在我国的红树林恢复研究和实践中,却较少考虑这一目标。本文从红树植物及与之密切相关的底栖动物的多样性恢复出发,分析了我国当前红树林恢复存在的主要问题,并提出了对此需要着重进行的基础研究思路,旨在为我国红树林恢复工作提高生物多样性,更好地达到生态恢复的目的。

1 红树植物多样性恢复

1.1 现状和问题

国外用于红树林生态恢复的种类基本上集中在胎生(包括显胎生和隐胎生)物种^[7,8]。我国非胎生红树植物种类占 60%(表 1),虽然近年来进行了大量的红树林造林工作,恢复面积达 4595 hm²,但红树林生态恢复工作仍比较集中在胎生种类,10 种胎生种类中有 7 种用于造林,而 15 种非胎生物种则只有 2 种的造林有过报道(表 2),这必然使得再植工作难以达到生态恢复的基本要求(具有较高的红树植物多样性)^[7]。

野外观察发现,天然红树林中很多非胎生植株虽然每年结果的数量比胎生种类多,但林下幼苗非常稀少(即便是其成熟的纯林中也是如此),因而,这些物种的天然更新非常困难(某些物种如红榄李(*Lumnitzera littorea*)还被列入濒危植物红皮书,为国家二类保护植物)。在受损红树林中的自然恢复过程非常慢,必须进行人为有目的的生态恢复。由于普遍认为这些物种育苗困难,最近几年国外对一些物种进行了无性繁殖(如切根繁殖)的研究并取得了成功^[15~17],但无性繁殖必将导致遗传多样性的减少,也不能达到较好的生态恢复效果。所以,从根本上解决非胎生红树植物的育苗问题是摆在红树林恢复工作者面前的一个重要任务。

另外,无论是在国内还是在国外,红树林再植多是采取单种(或少数几种)种植的做法,而对混合种植则缺乏研究,这将导致被恢复红树林景观的单一性以及降低红树林抗病虫害的能力,最终可能导致生态系统的衰退。

1.2 提高红树植物多样性的研究对策

首先,应加强非胎生红树植物萌发特性的研究。长期以来认为陆地植物才有种子休眠。红树植物由于生长在环境十分恶劣尤其是受频繁潮水冲刷的海陆交界带,具有很快的萌发速度,种子甚至在母树上就已萌发成幼苗(胎生种类),而种子休眠作用必将延长萌发时间,种子在萌发前就被潮水冲走或被动物啃食,因此普遍认为红树植物不具有种子休眠的特征^[18]。胎生红树植物种子在母树萌发,无疑不具有种子休眠的特性。但非胎生红树植物成熟种子掉落并不能即时萌发,有的甚至需要很长一段时间后才能萌发,因此可能具有种子休眠的特性。最近国外一篇研究报道也推测新采集的榄李(*Lumnitzera racemosa*)种子在实验条件下不能萌发的原因是其种子可能具有休眠的特征^[19]。本文作者在对4种非胎生红树植物的育苗的研究中,初步观察到非胎生红树植物如榄李等的种子休眠特性^[20],但其休眠的最佳生态条件还有待于深入研究才能获悉。只有在正确了解了种子休眠的类型、过程以及完成休眠所需的生态条件之后,才能确保非胎生红树植物育苗具有较高成功率,为其生态恢复提供足够的苗种。红树植物种子休眠的研究还可为打破“红树植物没有种子休眠特征”的传统观念提供科学依据,对拯救濒危红树植物也具有重要意义。

表 1 我国红树植物繁殖方式

Table 1 Reproduction methods of mangroves species in China		
繁殖方式 Reproduction method	序号 Number	物种 Species
显胎生 True-vivipary	1	柱果木榄 <i>Bruguiera cylindrica</i>
	2	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>
	3	海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>
	4	尖瓣海莲 <i>Bruguiera sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>
	5	角果木 <i>Ceriops tagal</i>
	6	秋茄 <i>Kandelia candel</i>
	7	正红树 <i>Rhizophora apiculata</i>
	8	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>
隐胎生 Crypto-vivipary	9	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>
	10	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>
非胎生 Non-vivipary	11	小花老鼠簕 <i>Acanthus ebracteatus</i>
	12	老鼠簕 <i>Acanthus ilicifolius</i>
	13	厦门老鼠簕 <i>Acanthus xiamenensis</i>
	14	红榄李 <i>Lumnitzera littorea</i>
	15	榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>
	16	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>
	17	木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i>
	18	水椰 <i>Nypa fruticans</i>
	19	瓶花木 <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>
	20	杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i>
	21	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i> (从 孟加拉国引进)
	22	海桑 <i>Sonneratia caseolares</i>
	23	海南海桑 <i>Sonneratia hainanensis</i>
	24	卵叶海桑 <i>Sonneratia ovata</i>
	25	银叶树 <i>Heritiera littoralis</i>

表 2 我国红树林恢复面积和种类

Table 2 Planted species and area of restored mangroves in China				
地区 Region	时间 Time	面积 Area (hm ²)	树种 Species	资料来源 Data source
福建 Fujian	1995 ~ 2000	593	秋茄 <i>Kandelia candel</i> ; 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> ; 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> ; 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	本文 This paper
广西 Guangxi	1982 ~ 2001	2121	秋茄 <i>Kandelia candel</i> ; 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> ; 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> ; 红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i> ; 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	[9, 10]
广东 Guangdong	1985 ~ 2001	1640	秋茄 <i>Kandelia candel</i> ; 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ; 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> ; 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i> ; 无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i> ; 红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	[9, 11 ~ 13]
海南 Hainan	1981 ~ 1990	173	秋茄 <i>Kandelia candel</i> ; 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ; 海莲 <i>Bruguiera sexangula</i> ; 正红树 <i>Rhizophora apiculata</i> ; 红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i> ; 木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i>	[9]
浙江 Zhejiang	~ 2001	38	秋茄 <i>Kandelia candel</i>	[14]
香港 Hong Kong	1980 ~ 2000	30	秋茄 <i>Kandelia candel</i> ; 木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ; 白骨壤 <i>Avicennia marina</i> ; 桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	本文 This paper

其次,应加强非胎生红树植物生理生态学的研究。国内外有关红树植物生理生态学的研究也多集中在—

些胎生红树植物。虽然对非胎生红树植物的生境条件有一些初步认识^[18, 21],但都是从野外观察其自然分布所得的推测,其生理生态学尤其是盐度、淹水和土壤结构等红树林生态恢复所参考的重要环境因素的研究未见报道。红树林正面临海平面上升导致淹水状况变化的严峻挑战^[22, 23],很多非胎生红树植物如榄李、海漆和银叶树等自然分布于较高的潮位,不同生境(如盐度和土壤结构)条件下其对不同淹水状况的响应是预测被恢复红树林长时间尺度下群落动态的重要依据。因此,在研究非胎生红树植物种子休眠的基础上进而研究其对主要生境条件的生理生态反应也有重要意义,是红树林生物多样性恢复的重要参考依据之一。

另外,须加强红树植物化感作用的研究。由于红树植物大多具有较广的耐盐程度以及较广的对淹水耐受程度,因此单是从宜林地的非生物环境条件来看,大多数红树植物具有混合种植的可能性。但混合种植还必须考虑的一个重要因素是植物的种间相互作用如化感作用,而对于红树植物化感作用,在国外是研究空白,在国内仅有过一篇极其初步的报道^[24],且是对于秋茄(*Kandelia candel*)和木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)这两种明显可以混生的种类的研究。因此,进一步扩大和加深红树植物化感作用的研究,是实现红树林生态恢复最佳效果的理论基础,也为认识红树林这个处于特殊生境的植物群落的种群生态学和化学生态学特点做出贡献。

2 红树林底栖动物多样性恢复

2.1 现状和问题

红树林植被对生境复杂性以及红树林生态系统相关动物的多样性和分布有重要作用^[25, 26],红树林的破坏则导致底栖动物多样性减少^[27]。就生物量和种类而言,红树林内占优势的大型底栖动物为甲壳类和软体动物,其在红树林生态系统中至少具有如下的重要性^[28-30]:(1)为林区更高营养级消费者包括鸟类和经济鱼类提供主要的食料;(2)对作为红树林食物网基础的红树林碎屑的物质循环和能量流动具有显著的作用;(3)大型底栖动物在林下的造穴运动,改善了土壤的通气条件,促进有机物的矿化作用,对红树林的生长也是有利的;(4)对红树植物繁殖体、叶片和木材的啃食作用还对红树林的植被结构有修饰作用。总之,底栖动物尤其是大型底栖动物对红树林生态系统的生态功能有重要意义^[25, 31]。因此大型底栖动物的多样性和丰度可反映红树林生态系统的地位和功能,对天然和人工的红树林的生境变化均具有潜在的生物/生态指示作用。

红树林恢复通常只是简单地红树植物幼苗的种植,对种植位点及种植措施缺乏生态系统水平上演替的评估和预测。无论在国内还是国外,红树林恢复研究均停留在植被恢复的水平上,仅注重育苗技术和宜林地的选择^[7, 21],即植被覆盖成唯一目标,而未将生态系统功能(尤其是红树林维系生态系统中其它子系统如底栖动物的功能)恢复作为一个目标,未见有关红树林植被恢复对其它生物包括底栖动物亚系统的生态修复的报道,因此尚不能称之为“生态恢复”,这无法做到对红树林生态系统功能达到定向恢复的目的。

当然,所有红树林植被的恢复均必将导致海岸湿地底栖动物亚系统的变化。但在红树林恢复的过程中,不同的植被恢复措施将导致底栖动物亚系统生态修复的过程和机制如何?对这一问题的正确认识,在红树林生态系统的功能恢复上具有重要的意义。在红树林种植后,生态系统的功能恢复方向将不以人们的意志为转移,而是沿着相应的种植措施而进行定向的恢复,因此,从生态系统功能恢复的意义上看,在红树林人工恢复的初期,选择适当的红树林种植措施具有极其重要的意义。Lewis 指出,红树林恢复应包括“稳定的植被覆盖”和“功能恢复或生态系统恢复”两个目标^[32]。目前红树林恢复对功能恢复或生态系统恢复这一目标却未能把握,他认为造成这种情况的原因是功能恢复或生态系统恢复是长期性的,不可能对任一恢复地进行长期跟踪监测。

我国学者对红树林底栖动物作了大量调查^[33-35],范航清等还研究了海岸红树林地沙丘移动对广西红树林大型底栖动物的影响^[36],但未见关于大型底栖动物选择性啃食红树植物叶片的试验研究,红树林恢复措施和种植后土壤性质及凋落物动态与底栖动物亚系统生态修复的关系也无报道。在香港米埔红树林的调查表明,两个相距很近的秋茄林和白骨壤(*Avicennia marina*)林内相手蟹的种类和数量有很大差异^[37]。这可能是由于不同的蟹对不同红树植物凋落腐解叶在啃食上有不同的“选择性”,但是这仅是个推测,还需要直接的试验证据。

2.2 研究对策

红树植物无疑是红树林生态系统的主要部分,不同的红树林种植措施可能导致被恢复后的生态系统中其它子系统的差异。因此,有必要通过不同种植措施下红树林底栖动物多样性差异的比较研究,得出提高底栖动物多样性的植被恢复方法。

首先,必须深入进行种植种类对红树林底栖动物多样性恢复影响的研究。红树林的一个极其重要的作用就是为底栖动物提供栖息繁育场所^[3],并直接或间接为其提供食物,而不同动物对不同红树植物残体尤其是落叶啃食作用可能不同,即具有“选择性”,因此红树林种植种类的不同可能导致底栖动物亚系统生态修复过程和结果的差异。红树植物材料如落叶的主要消费者是大型底栖动物蟹类^[38-41]和螺类^[42]。最近国外的研究表明,某些蟹类和螺类对红树植物叶片的取食具有很强的选择性。两种相手蟹(*Sesarma eumolpe* 和 *Sesarma onychophorum*)对 4 种红树植物即药用白骨壤(*Avicennia officinalis*)、木榄、小花木榄(*Bruguiera parviflora*)和正红树(*Rhizophora apiculata*)新鲜叶和落叶的啃食试验表明,蟹类对红树植物落叶的利用在植物种类和叶片状态(新鲜叶或老叶)上均有差异^[43],其原因是不同红树植物不同状态的叶片在营养水平(如 C/N 比)和单宁含量上有差异。方蟹科种类 *Aratus pisonni* 对 3 种红树植物即大红树(*Rhizophora mangle*)、亮叶白骨壤(*Avicennia germinans*)和假红树(*Laguncularia racemosa*)叶片啃食的偏爱程度也不同^[44]。螺类通过嗅觉感受到残缺叶片所散发的气味而摄食红树植物^[45],不同种类和状态的叶片因散发的气味的差异而被螺类选择性摄食。因此,通过野外和室内模拟试验,研究红树林湿地大型底栖动物主要种类对不同红树植物叶片的选择性啃食作用,在红树林恢复措施的重要方面即红树植物的种类选择上,对预测红树林植被恢复地底栖动物多样性动态具有指导意义。

还应进行种植密度对红树林恢复过程中底栖动物多样性变化的影响。Nobbs 对澳大利亚天然红树林的研究表明,红树林植被的存在与否对蟹类的种类与分布有很大影响,主要是由于荫蔽条件的差异而导致^[46]。Vannini 等的研究也表明,天然红树林内光照水平对相手蟹的分布有重要影响^[47]。泰国白海榄雌(*Avicennia alba*)红树林主要大型底栖动物拟沼螺科种类(*Ovassimineia brevicula*)的栖息密度与红树植物幼苗密度呈极显著正相关关系^[48]。种植密度不同,植被的荫蔽状况及林内光强也有差异,因此在红树林生态系统功能恢复的研究和工程设计中,种植密度也应成为主要考虑的方面之一。

另外,红树林植被恢复过程将导致的底质土壤性质以及凋落物量的动态变化,并从而成为红树林底栖动物多样性动态变化的重要原因之一。国内外极少见有关红树林生态恢复对土壤理化性质动态影响的报道^[49],但由于红树植物的介入,必然导致这些方面的变化。而土壤理化性质如有机质含量和氧化还原条件等又是影响底栖动物分布和栖息密度的重要因素^[50]。红树林底质富含低 C/N 比的有机碎屑,可被林内主要底栖动物方蟹科和沙蟹科种类^[51, 52]直接取食。Lee 的模拟试验证明,秋茄红树林凋落物量的变化会影响大型底栖动物的多样性和分布^[53]。因此,红树林种植后土壤性质和凋落物量的变化及其与底栖动物亚系统生态修复的关系也应成为红树林生态恢复研究的一个重要方面,从而使得红树林的生态恢复在改造生态系统其它生物组份及底质特性上不会呈现盲目性和不可预测性,也可在生态系统水平上发展恢复生态学理论,为建立红树林生态恢复的数学模型提供科学依据。

3 结论与建议

在以下方面进行红树林恢复生态学的研究对提高海岸湿地生物多样性具有必要性和紧迫性:(1)非胎生红树植物种子休眠研究,并重点了解休眠类型及休眠过程和休眠后种子萌发的生态条件,这将在理论上突破红树植物没有种子休眠的传统观念,在生产实践上,为红树林生态恢复提供更多的苗种,增加红树林再植种类;(2)非胎生红树植物生理生态学研究,这在理论上可完善红树植物生理生态,在生产实践上可为红树林生态恢复提供指导;(3)红树植物化感作用研究,在植物种群生态学理论上,可弥补红树植物种间相互作用研究的不足,在生产实践上,可提高被恢复红树林的生物多样性并增强其观赏性;(4)大型底栖动物尤其是相关蟹类和螺类对不同红树植物叶片啃食差异的研究,在理论上可从生态系统层次探索红树林恢复生态学特点,在

生产实践上为红树林生态恢复定向改造生态系统中重要经济动物的目的提供理论依据。

应特别指出的是,对红树林植被恢复地底栖动物多样性动态的研究,由于不可能对任一恢复地进行长期跟踪监测,因此采用空间代时间的研究方法是必须的,如在福建九龙江河口区,由于在具类似底质背景、水质(包括盐度等)、地形的相邻地段,于不同年份进行了红树林植被的恢复,这为研究红树林生态系统功能恢复提供了便利条件。在红树植物种类上,应用于植被恢复的种类主要是秋茄、白骨壤、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)和木榄,由于盐度和地形等的一致性,这几种红树植物在九龙江河口区的红树林植被恢复地段均能较好地得以恢复,而且存在着不同的种植密度形成的再植林地,这为红树林植被恢复措施如植物种类的选择以及种植密度等对海岸湿地底栖动物多样性影响的研究提供了便利条件。

另外,加强红树林生境的恢复与保护,也是红树林多样性恢复的关键问题。红树林自然分布于中高潮带,常成为围垦的对象,导致红树林的退化。由于较高潮位的滩面多被改作他用,红树林的异地补偿性恢复往往在较低潮位的滩面进行,需要实施必要的填土工程,才能确保红树林生物多样性的恢复。对于原地恢复工作,由于红树林生境的改变,如红树林被围垦,导致长期淹水或长期干旱,必须采取生境恢复措施,使得恢复地水文条件适合红树林生物多样性恢复。

References:

- [1] Twilley R R, Rivera-Monroy V H, Chen R, *et al.* Adapting an ecological mangrove model to simulate Trajectories in restoration ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 37: 404 ~ 419.
- [2] Lu C Y, Lin P, Ye Y, *et al.* Review on impact of global climate change on mangrove ecosystems and research countermeasure. *Advance in Earth Science*, 1995, 10: 341 ~ 347.
- [3] Robertson A I, Duke N C. Mangroves as nursery sites: a comparison of the abundance of fish and crustaceans in the mangroves and other nearshore habitats in tropical Australia. *Marine Biology*, 1987, 96: 193 ~ 205.
- [4] Wong Y S, Lan C Y, Chen G Z, *et al.* Effect of wastewater discharge on nutrient contamination of mangrove soils and plants. *Hydrobiologia*, 1995, 295: 243 ~ 254.
- [5] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S. Livestock wastewater treatment by a mangrove pot-cultivation system and the effect of salinity on the nutrient removal efficiency. *Marine Pollution Bulletin*, 2001, 42: 513 ~ 521.
- [6] Ye Y, Tam N F Y. Growth and physiological responses of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* to livestock wastewater. *Hydrobiologia*, 2002, 479: 75 ~ 81.
- [7] Field C D. Rehabilitation of Mangrove Ecosystems: An Overview. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37: 383 ~ 392.
- [8] Elster C. Reasons for reforestation success and failure with three mangrove species in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 2000, 131: 201 ~ 214.
- [9] Liao B W, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* Present situation and forecasting of mangrove afforestation along South China coastlines. *Protection Forest Science and Technology*, 1996, 4: 30 ~ 34.
- [10] Liu L Z, Mo Z C. Present situation and strategies of mangrove protection and management. *Forest Resource Management*, 2001, 5: 38 ~ 41.
- [11] Liu Z P. A study on the methods and technique of mangroves ecological afforestation. *Ecologic Science*, 1995, 14: 100 ~ 104.
- [12] Chen Y J, Chen W P, Zheng S F, *et al.* Researches on the mangrove plantation in Panyu, Guangdong. *Ecologic Science*, 2001, 20: 25 ~ 31.
- [13] Chen Y S, Gan X H, Wu Z H, *et al.* Present situation and development of coastal mangroves in Guangdong. *Protection Forest Science and Technology*, 2001, 1: 32 ~ 35.
- [14] Li J Q, Xu H F, Li K E, *et al.* Introduction, afforestation and development prospects of *Kandelia candel* mangroves along coastlines in Wenzhou. *East China Forest Management*, 2001, 15(3): 24 ~ 25.
- [15] Rao C S, Eganathan P, Anand A, *et al.* Protocol for in vitro propagation of *Excoecaria agallocha* L., a medicinally important mangrove species. *Plant Cell Report*, 1998, 17: 861 ~ 865.
- [16] Basak U C, Das A B, Das P. Rooting response in stem cuttings from five species of mangrove trees: effect of auxins and enzyme activities. *Marine Biology*, 2000, 136: 185 ~ 189.
- [17] Elster C, Perdomo L. Rooting and vegetative propagation in *Laguncularia racemosa*. *Aquatic Botany*, 1999, 63: 83 ~ 93.
- [18] Tomlinson P B. *The Botany of Mangroves*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [19] Clarke P J, Kerrigan R A, Westphal C J. Dispersal potential and early growth in 14 tropical mangroves: Do early life history traits correlate with patterns of adult distribution? *Journal of Ecology*, 2001, 89: 648 ~ 659.

- [20] Ye Y, Lu C Y, Wong Y S, TAM N F Y. Diaspore Traits and Inter-tidal Zonation of Non-viviparous Mangrove Species. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46 (8): 960 ~ 968.
- [21] 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.
- [22] Ellison A M, Farnsworth E J. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia*, 1997, 112: 435 ~ 446.
- [23] Ye Y, Lu C Y, Tan F Y. Studies on differences in growth and physiological responses to waterlogging between *Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1654 ~ 1661.
- [24] Mo Z C, Fan H Q. Allelopathy of *Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*. *Guangxi Sciences*, 2001, 8(1): 61 ~ 62.
- [25] Lee S Y. The ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: implications for conservation. *Marine and Freshwater Research*, 1998, 49: 335 ~ 343.
- [26] Roach A C, Lim R P. Variation in the population dynamics of the intertidal pulmonate gastropod *Salinator solida* Martens (Gastropoda: Amphibolidae) at Towra Point, NSW, Australia. *Wetlands Ecology and Management*, 2000, 8: 53 ~ 69.
- [27] Fondo E N, Martens E E. Effects of mangrove deforestation on macrofaunal densities, Gazi Bay, Kenya. *Mangroves and Salt Marshes*, 1998, 2: 75 ~ 83.
- [28] Smith T J. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology*, 1987, 68: 266 ~ 273.
- [29] Smith T J, Boto K G, Frusher S D, *et al.* Keystone species and mangrove forest dynamics: the influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 33: 19 ~ 32.
- [30] Nielsen O I, Kristensen E, Marcintosh D J. Impact of fiddler crabs (*Uca* spp.) on rates and pathways of benthic mineralization in deposited mangrove shrimp pond waste. *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2003, 289: 59 ~ 81.
- [31] Lee S Y. Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Australian Journal of Ecology*, 1999, 24: 355 ~ 366.
- [32] Lewis R R. Ecologically based goal setting in mangrove forest and tidal marsh restoration. *Ecological Engineering*, 2000, 15: 191 ~ 198.
- [33] Lai T H, He B Y. Studies on the macrobenthos species diversity for Guangxi Mangrove Areas. *Guangxi Sciences*, 1998, 5(3): 166 ~ 172.
- [34] Zou F S, Song X J, Chen W, *et al.* The diversity of benthic macrofauna on mudflat in Dongzhaigang Mangrove Reserve, Hainan. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 175 ~ 180.
- [35] Huang B, Zhang B, Lu J J, *et al.* Studies on macrobenthic ecology and beach aquaculture holding capacity in Dongzhai Bay mangrove areas I. Number and density of macrobenthos in surface lay of mangrove region. *Marine Sciences*, 2002, 26(3): 65 ~ 67.
- [36] Fan H Q, He B Y, Wei S Q. Influences of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos *in Situ*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 722 ~ 727.
- [37] Lee C Y, Kwok P W. The importance of mangrove species association to the population biology of sesarmine crabs *Parasesarma affinis* and *Perisesarma bidens*. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10: 215 ~ 226.
- [38] Robertson A I, Daniel P A. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. *Oecologia*, 1989, 78: 191 ~ 198.
- [39] Micheli F. Feeding ecology of mangrove crabs in North Australia: mangrove litter consumption by *Sesarma messa* and *Sesarma smühii*. *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 1993, 171: 165 ~ 186.
- [40] Steinke T D, Rajh A, Holland A J. The feeding behaviour of the red mangrove crab *Sesarma meinerti* de man, 1887 (Crustacea: Decapoda: Grapsidae) and its effect on the degradation of mangrove leaf litter. *South African Journal of Marine Science*, 1993, 13: 151 ~ 160.
- [41] Schories D, Barletta-Bergan A, Barletta M, *et al.* The keystone role of leaf-removing crabs in mangrove forests of North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 2003, 11: 343 ~ 355.
- [42] Slim F J, Hemminga M A, Ochieng C, *et al.* Leaf litter removal by the snails *Terebralia palustris* (Linnaeus) and Sesarmid crabs in an East African mangrove forest (Gazi Bay, Kenya). *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 1997, 215: 35 ~ 48.
- [43] Ashton E C. Mangrove sesarmid crab feeding experiments in *Peninsular malaysia*. *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2002, 273: 97 ~ 119.
- [44] Erickson A A, Saltis M, Bell S S, *et al.* Herbivore feeding preferences as measured by leaf damage and stomatal ingestion: a mangrove example. *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2003, 289: 123 ~ 138.
- [45] Fratini S, Cannicci S, Vannini M. Feeding clusters and olfaction in the mangrove snail *Terebralia palustris* (Linnaeus) (Potamididae: Gastropoda). *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2001, 261: 173 ~ 183.
- [46] Nobbs M. Effects of vegetation differ among three species of fiddler crabs (*Uca* spp.). *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2003, 284: 41 ~ 50.
- [47] Vannini M, Cannicci S, Ruwa K. Effect of light intensity on vertical migrations of the tree crab, *Sesarma leotosoma* Hilgendorf (Decapoda, Grapsidae).

Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology, 1995, 185: 181 ~ 189.

- [48] Suzuki T, Nishihira M, Paphavasit N. Size structure and distribution of *Ovassiminea brevicula* (Gastropoda) in a Thai mangrove swamp. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10: 265 ~ 271.
- [49] Cao Z M, Ye Y, Lu C Y, *et al.* Preliminary studies on effects of restored mangroves on coastal soils. *Ecologic Science*, 2004, 23: 110 ~ 113
- [50] Wang B S, Liao B W, Wang Y J, *et al.* Mangrove Forest Ecosystem and Its Sustainable Development in Shenzhen Bay. Beijing: Science Press, 2002.
- [51] Meziane T, Tsuchiya M. Organic matter in a subtropical mangrove-estuary subjected to wastewater discharge: origin and utilisation by two macrozoobenthic species. *Journal of Sea Research*, 2002, 47: 1 ~ 11.
- [52] Skov M W, Hartnoll R G. Paradoxical selective feeding on low-nutrient diet: why do mangrove crabs eat leaves? *Oecologia*, 2002, 131: 1 ~ 7.
- [53] Lee S Y. The effect of mangrove leaf litter enrichment on macrobenthic colonization of defaunated sandy substrates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49: 703 ~ 712.

参考文献:

- [2] 卢昌义, 林鹏, 叶勇, 等. 全球气候变化对红树林生态系统的影响与研究对策. *地球科学进展*, 1995, 10: 341 ~ 347.
- [9] 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, 4: 30 ~ 34.
- [10] 刘伦忠, 莫竹承. 钦州市红树林保护与管理现状及对策. *林业资源管理*, 2001, 5: 38 ~ 41
- [11] 刘治平. 深圳福田红树林生态造林方法技术研究. *生态科学*, 1995, 14: 100 ~ 104.
- [12] 陈玉军, 陈文沛, 郑松发, 等. 广东番禺红树林造林研究. *生态科学*, 2001, 20: 25 ~ 31.
- [13] 陈远生, 甘先华, 吴中亨, 等. 广东省沿海红树林现状和发展. *防护林科技*, 2001, 1: 32 ~ 35.
- [14] 李建清, 徐何方, 李克恩, 等. 温州沿海海涂秋茄红树林引种造林及开发前景. *华东森林经理*, 2001, 15(3): 24 ~ 25.
- [21] 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.
- [23] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 木榄和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1654 ~ 1661.
- [24] 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.
- [33] 赖廷和, 何斌源. 广西红树林区大型底栖动物种类多样性研究. *广西科学*, 1998, 5(3): 166 ~ 172.
- [34] 邹发生, 宋晓军, 陈伟, 等. 海南东寨港红树林滩涂大型底栖动物多样性的初步研究. *生物多样性*, 1999, 7(3): 175 ~ 180.
- [35] 黄勃, 张本, 陆健健, 等. 东寨港红树林区大型底栖动物生态与滩涂养殖容量的研究 I. 潮间带表层底栖动物数量的初步研究. *海洋科学*, 2002, 26(3): 65 ~ 67.
- [36] 范航清, 何斌源, 韦受庆. 海岸红树林地沙丘移动对林内大型底栖动物的影响. *生态学报*, 2000, 20(5): 722 ~ 727.
- [49] 曹知勉, 叶勇, 卢昌义, 等. 红树林恢复对海岸湿地土壤影响的初步研究. *生态科学*, 2004, 23: 110 ~ 113.
- [50] 王伯荪, 廖宝文, 王勇军, 等. 深圳湾红树林生态系统及其持续发展. 北京: 科学出版社, 2002.