

# 海岛与海岸带 生态系统恢复与生态系统管理

任海 李萍 彭少麟 等 编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 海岛与海岸带 生态系统恢复与生态系统管理

任海 李萍 彭少麟等 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是中国科学院华南植物研究所与广东省海洋资源研究发展中心合作的研究成果。全书基于多年的研究和积累,阐述了海岛和海岸带生态系统的恢复与管理问题,主要包括海岛和海岸带生态系统概论、生态恢复与恢复生态学、生态系统健康与生态系统的管理、海岛生态系统的恢复、海岛生态系统的管理与生态旅游、海岛和海岸带的次生林及其植被恢复作用、海岛与海岸带的复合农林业、潮间带红树林生态系统的恢复与管理、海岸河流及海域的营养化污染以及海岛和海岸带的生物入侵等问题。本书可供海洋学、生态学、自然资源及环境保护等领域的有关教学、科技和管理人员参考,并可为政府有关部门制定海洋和环境保护政策提供科学依据。

### 图书在版编目(CIP)数据

海岛与海岸带生态系统恢复与生态系统管理/任海等编著. —北京:  
科学出版社, 2004. 1

ISBN 7-03-012049-3

I. 海… II. 任… III. ①岛—生态系统—恢复②海岸带—生态系统—恢复③岛—生态系统—系统管理④海岸带—生态系统—系统管理  
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 078391 号

策划编辑:韩学哲/文案编辑:李久进/责任校对:刘小梅  
排版制作:科学出版社编务公司/责任印制:刘士平  
封面设计:王 浩

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年1月第一版 开本:787×1092 1/16  
2004年1月第一次印刷 印张:11 1/4  
印数:1-1 000 字数:255 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

# 前 言

自 20 世纪 40 年代以来,由于科学技术的进步,人类生产、生活和探险的足迹遍及全球。人类为了生存,将大部分的自然生态系统改造为城镇和农田,原有的生态系统结构及功能退化,有的甚至已失去了生产力。现在全球人口仍在持续增长,对自然资源的需求也在增加,环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺、气候变化、生物多样性丧失等生态问题增加了对生态系统的胁迫,人类面临着合理恢复、保护和开发自然资源的挑战。在此背景下,20 世纪 80~90 年代恢复生态学、生态系统健康、生态系统管理和可持续发展等应运而生,并很快成为国际前沿和研究热点。在生态系统健康评估的基础上,通过对退化的生态系统进行恢复重建,对健康的生态系统进行合理的管理,最终实现生态系统的可持续发展,并发展和检验有关生态学理论,为解决人类面临的生态问题提供机遇,这在学科理论和实践上均具有重要意义。

海岛和海岸带是人口压力较大和经济活动十分活跃的区域,由于历史上的开发利用和保护方法不够科学,导致原生生态系统严重破坏,形成了大面积的退化生态系统,生态系统健康受到严重损害,生态系统管理方法落后,这些问题阻碍了海岛和海岸带区域的社会、经济和生态环境的可持续发展。在当前的海洋经济开发活动中,虽然有些地方进行了植树造林等生态恢复行动,但造林树种单一,林分结构简单,生态效益不高,起不到应有的作用,亟需对海岛和海岸带生态系统进行生态恢复和生态系统管理实践的科学指导。

本书基于笔者及所在单位多年的研究和积累,探讨了海岛和海岸带生态系统的恢复与管理问题,主要包括海岛和海岸带生态系统概论、生态恢复与恢复生态学、生态系统健康与生态系统管理、海岛生态系统的恢复、海岛生态系统的管理与生态旅游、海岛和海岸带的次生林及其植被恢复作用、海岛与海岸带的复合农林业、潮间带红树林生态系统的恢复与管理、海岸河流及海域的营养污染以及海岛和海岸带的生物入侵等。

本项研究和本书的出版,得到了国家自然科学基金(30200035)、中国科学院生命科学与技术青年科学家创新小组、中国科学院和财政部特别支持项目(STZ-01-36)、广东省科技厅攻关项目(红树林课题)和自然科学基金项目(021627, 003031)部分资助。感谢美国 Arizona State University 和荷兰 Wageningen University & Research Center 在笔者进修和学习期间提供的良好条件,使笔者得以了解国际上这方面的研究进展。周厚诚、向言词、柳江、李勤奋、陆宏芳、申卫军、李跃林、张倩媚、李志安、杨柳春等参与了部分章节的写作。周国逸、邢福武、黄忠良、闫俊华、朱纯、余作岳、敖惠修、蚁伟民、王伯荪、陈树培、龚文璇、曹洪麟、徐于秋、李高飞、丘向宇、张必雄等专家和同志曾提供帮助,本书还参考了他们的研究工作,在此表示衷心的感谢!由于编著者水平所限,文中疏漏错误肯定存在,殷切期望各位同行专家不吝指正!

编著者

2003 年 2 月于广州

# 目 录

## 前言

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 海岛概论 .....	1
1.2 海岸带概论 .....	2
1.3 生态系统概论 .....	4
<b>2 生态恢复与恢复生态学</b> .....	6
2.1 恢复生态学的定义 .....	6
2.2 恢复生态学研究简史 .....	7
2.3 生态系统退化的原因 .....	9
2.4 恢复生态学的理论 .....	9
2.5 生态恢复的方法问题 .....	10
2.6 生态恢复的程序 .....	11
2.7 恢复生态学的发展趋势 .....	11
<b>3 生态系统健康与生态系统管理</b> .....	12
3.1 生态系统健康 .....	12
3.2 生态系统管理 .....	22
<b>4 海岛生态系统的恢复</b> .....	32
4.1 海岛恢复概论 .....	32
4.2 海岛的干扰 .....	33
4.3 海岛恢复的限制性因子 .....	33
4.4 海岛恢复的利益与过程 .....	34
4.5 海岛恢复中的注意事项 .....	35
4.6 实例——广东南澳岛的植被恢复 .....	35
<b>5 海岛的生态系统管理与生态旅游</b> .....	45
5.1 海岛优势资源与限制因素 .....	45
5.2 海岛生态系统管理的产业选择 .....	46
5.3 海岛的生态旅游 .....	47
5.4 实例——南澳岛的生态旅游 .....	52
<b>6 海岛和海岸带的次生林及其植被恢复作用</b> .....	67
6.1 海岛和海岸带植被恢复误区 .....	67
6.2 天然植被的恢复技术 .....	68
6.3 生物多样性与生态系统功能 .....	68
6.4 海岛路基边坡和采石场的植被恢复 .....	72

6.5	广东省海岛植被特点及恢复方向	79
6.6	实例——南澳岛次生林的群落结构分析	87
6.7	实例——热带沿海侵蚀台地季雨林的恢复	95
<b>7</b>	<b>海岛与海岸带的复合农林业</b>	<b>97</b>
7.1	农业对环境的影响	97
7.2	利用农业新技术减少对环境的影响	101
7.3	开展复合农林业	102
7.4	实例——潮阳沙荒地的综合利用	105
7.5	实例——欧洲湿草地的保护与恢复	110
<b>8</b>	<b>潮间带红树林生态系统的恢复与管理</b>	<b>114</b>
8.1	广东海岸红树林生态系统的管理和恢复	114
8.2	实例——深圳湾红树林生态系统	119
8.3	红树林生态系统的管理与恢复	121
<b>9</b>	<b>海岸河流及海域的营养污染</b>	<b>128</b>
9.1	营养污染造成的生态破坏	128
9.2	营养物及其富营养化机制	131
9.3	海岸河流、海湾以及大洋的营养污染的控制	136
9.4	实例——珠江三角洲海洋环境及可持续发展	137
<b>10</b>	<b>海岛和海岸带的生物入侵</b>	<b>142</b>
10.1	广东海岛和海岸带外来入侵种的现状	142
10.2	外来入侵种的入侵途径	150
10.3	广东外来入侵种的生态经济和社会效应	154
10.4	外来种的风险评价与控制	158
10.5	外来入侵种的应对策略	162
	<b>参考文献</b>	<b>164</b>

# 1 绪 论

中国海岸和海洋的生态系统管理起步较晚,这主要与沿岸地区幅员辽阔,过分强调开发利用有关。近几十年来,由于沿海水质污染,鱼类资源锐减,红树林等湿地丧失,生物多样性减少,台风等自然灾害频繁等问题严重地影响了区域的可持续发展,因此,政府曾试图通过可持续利用的管理办法来解决这些矛盾,但这些矛盾仍然是目前海岸综合管理(ICM)的障碍。考虑到沿岸的自然资源是当地居民文化的有机组成部分,为人们提供了食物、衣物及其他物资,因此在实践中,对海岸带资源进行合理的生态恢复与生态系统管理显得相当重要和迫切。在理论上,海岛和海岸带生态系统为研究个体生物与种群对环境的适应,以及生态因子控制群落组成提供了极好的条件,因而有一大批生态学理论是以此为研究对象产生的。有关海岛和海岸带的早期研究主要集中在沿物理环境梯度而形成的生命梯度系统以及海岸生态系统对其生产力和动态的控制过程,这些过程包括初级生产、捕食、竞争、干扰的影响、次级生产、碎屑的形成、分解、微生物的角色等。近期由于恢复生态学、生态系统健康与生态系统管理等学科的发展,注重对海岛和海岸带生态系统的综合管理与恢复成为重要的研究方向。本书将集中在海岛和海岸带生态系统的生态恢复与生态系统管理方面予以论述。

## 1.1 海岛概论

海岛是对海洋中露出水面、大小不等的陆地的统称。平时人们常把岛和屿连起来,用以泛指各种大小不同的海洋中的陆地。从含义上说,屿是比岛更小的海洋陆块,岛和屿没有具体的划分界限。我国台湾省用屿来命名小海岛,如兰屿就是台湾周围的小岛,它的面积比山东的刘公岛和广西的涠洲岛等的面积大得多。此外,人们还常用礁、滩等词语,露出水面的称岛礁,隐伏在水下的称暗礁。海岛根据成因可分为大陆岛、冲积岛、火山岛、珊瑚礁岛等。

大陆岛实际上是原来大陆的一部分,多分布在离大陆不远的海洋上。大陆岛的形成主要是陆地局部下沉或海洋水面普遍上升,下沉的陆地,其低的地方被海水淹没,高的地方仍露出水面;露出水面的那部分陆地,则成为海岛。我国的舟山群岛、台湾岛、海南岛以及沿海的一些小岛都属于大陆岛。还有些大陆岛,如新西兰、马达加斯加岛等是地质历史上大陆在漂移过程中被甩下的小陆地。大陆岛有大岛,也有小岛,但世界上大岛都是大陆岛。在地貌上,大陆岛保持着与大陆相同或相似的特征。在我国的辽东半岛和山东半岛的丘陵海岸,地势不算很高,所以附近的海岛,海拔也不很高,面积也都在 $30\text{km}^2$ 以下,而在山峰纵横的我国东南沿海,海岛不仅多,而且海岛的海拔、面积也较大,我国面积大于 $100\text{km}^2$ 的大岛大都分布在这里。在方圆广阔的大岛上,有平原、丘陵和山地,远望山峦起伏,近看悬崖陡壁,山峰直刺青天。

冲积岛是陆地的河流夹带泥沙搬运到海里,沉积下来形成的海上陆地。冲积岛的成

因不尽相同：长江口的沙岛是由于涨落潮流不一，形成缓流区，泥沙不断沉积而形成的；珠江口沙岛有的是由河心滩发育而成，有的是由于河流中岩岛阻挡产生河汊，在河汊流速较慢的一侧泥沙沉积而成沙洲，再发育成沙岛，有的是由河口沙嘴发育而成；还有一种是由波浪侵蚀砂泥海岸，从海岸分离出小块陆地，也成了沙岛，这种沙岛较为少见。冲积岛由泥沙组成，结构松散，因而很不稳定，往往会因周围水流条件的变更，岛的面积会涨大或缩小，形态也会变化。河口地区的冲积岛，每逢遇到强潮倒灌或洪水倾泄，强烈的冲蚀会使岛四周形态发生改变。一般情况下，在冲积岛与河流和潮流平行的两边，总是一边经受侵蚀，一边逐渐淤积，久而久之，便形成长条形岛屿。有的冲积岛会被冲蚀消失；有的岛屿则会不断发育成长，最后与大陆连成一体。冲积岛地貌形态简单，地势平坦，海拔仅有数米，有些有绿阴覆盖，有些则是满目黄沙。在土壤化较好的冲积岛上，可种植护岛固沙的林木、绿草和庄稼。

火山岛是由海底火山喷发物堆积而成的。海洋底部的地形，比陆地上要复杂得多，有广阔的平原、巨大的高山、深邃的海沟，还有那几乎贯穿全球大洋底的洋中脊山脉和大裂谷，以及密集的火火山锥与海山。火山岛按其属性分为两种，一种是大洋火山岛，它与大陆地质构造没有联系；另一种是大陆架或大陆坡海域的火山岛，它与大陆地质构造有联系，但又与大陆岛不尽相同，属大陆岛与大洋岛之间的过渡类型。我国的火山岛较少，总数不过百十个，主要分布在台湾岛周围，它们都是由第四纪火山喷发而成，形成这些火山岛的火山现在都已停止喷发。火山喷发的熔岩一面堆积增高，一面四溢滚淌，使火山岛形成中间呈圆锥形的地形，被称为火山锥，它的顶部为大小、深浅、形状不同的火山口。许多火山喷发的地方都形成崎岖不平的丘陵。我国的火山岛主要是玄武岩和安山岩火山喷发形成的。玄武岩岩浆黏度较稀，喷出地表后，四溢流淌，由此形成的火山岛的坡度较缓，面积较大，高度较低，其表面是起伏不大的玄武岩台地，如澎湖列岛。安山岩属中性岩，岩浆黏度较稠，喷出地表后，流动较慢，并随温度降低很快凝固，碎裂的岩块从火山口向四周滚落，形成地势高峻、坡度较陡的火山岛，如绿岛和兰屿。如果火山喷发量大、次数多、时间长，自然火山岛的高度和面积也就增大了。火山岛形成后，经过漫长的风化剥蚀，岛上岩石破碎并逐步土壤化，因而火山岛上可生长多种动植物，但因成岛时间、面积大小、物质组成和自然条件的差别，火山岛的自然条件也不尽相同。澎湖列岛上土地瘠薄，常年狂风怒号，植被稀少，岛上景色单调，绿岛上地势高峻，气候宜人，树木花草布满山野，景象多姿多彩。

此外，海岛还有珊瑚礁岛，它是分布在海洋中水深较浅地方的碳酸钙堆积物，是由海洋中能分泌石灰石的多种动植物在生长过程中形成的，我国南海诸岛多有分布。

## 1.2 海岸带概论

海岸是海岸线上边很狭窄的那一带陆地。海岸线分为岛屿岸线和大陆岸线两种，但海岸线不是一条线。海水昼夜不停地反复地涨落，海平面与陆地交接线也在不停地升降改变。一般地图上的海岸线是现代平均高潮线，航海用图上的海岸线是理论最低低潮线，比实际上的最低低潮线还略微要低一些，这样规定，完全是为了航海安全上的需要。



地貌学上的海岸是指现在海陆之间正在相互作用着和过去曾经相互作用过的地方。海岸带则是指现代海陆之间正在相互作用的地带，也就是每天受潮汐涨落和海水影响的潮间带(海涂)及其两侧一定范围的陆地和浅海的海陆过渡地带。狭义的海岸带是指潮水涨退潮所控制的区域，这个区域内的植物和动物随潮水经历显著的日变化。广义的海岸带是指海岸线附近的宽阔区域，通常可达距海边 10km 的范围。海岸带的生态系统由波浪的量和强度、基质的类型(岩石、砂、泥或它们的组合)以及潮汐的振幅等三个相关的因子而决定。海岸带有三个主要的环境梯度：一是从海到陆地的垂直梯度；二是暴露在波浪行动中的水平梯度；三是从固体岩石到砾石和卵石，到粗砂和细砂，再到淤泥这样的颗粒大小梯度。

江河流挟带的陆源物质是海岸沉积物的主要成分。它与海浪冲击海蚀作用造成的沉积物相比，是 99:1。江河泥沙在河口区形成三角洲海岸，三角洲堆积海岸向海伸展很快。长江三角洲近 2000 年向海伸展过程中，造陆 7 500km<sup>2</sup>。现代黄河三角洲每年向海推进 33m，珠江三角洲每年向海伸展 70~130m。河流入海泥沙引起海岸线位置及轮廓发生变化。

由坚硬岩石组成的海岸称为基岩海岸，它是海岸的主要类型之一。我国的基岩海岸多由花岗岩、玄武岩、石英岩、石灰岩等各种不同岩石组成，其轮廓分明，线条强劲，气势磅礴，不仅具有阳刚之美，而且具有变幻无穷的神韵。基岩海岸常有突出的海岬，在海岬之间，形成深入陆地的海湾。岬湾相间，绵延不绝，海岸线十分曲折。

潮滩上下堆积大量碎石块的海岸称为卵石海岸。卵石的大小不一，比鹅卵大的，与鸡蛋相似的，比鹌鹑蛋还小的都有。卵石的圆度也不相同，浑圆状、椭圆状、长椭圆状都有，其中以椭圆状的居多。它们色彩纷呈，红、黄、灰、黑、白、黑白相间、红黄辉映的应有尽有，美不胜收。卵石海岸在我国分布较广，多在背靠山地的海区。

砂质海岸主要分布在山地、丘陵沿岸的海湾。山地、丘陵腹地发源的河流携带大量的粗砂、细砂入海，除在河口沉积形成拦门沙外，随海流扩散的漂沙在海湾里沉积成砂质海岸。许多著名的海滨度假胜地如北戴河、海南亚龙湾等就是砂质海岸。砂质海岸是最受人喜爱、最有开发利用价值，与人们的生活关系最为密切的海洋资源。

淤泥质海岸主要由细颗粒的淤泥组成，其平均粒径只有 0.01~0.001mm。淤泥质海岸与河流有密切的关系，河流是淤泥质海岸的生命源。有河流存在，淤泥质海岸则兴旺发展；失去了河流，淤泥质海岸则萎缩后退。我国的淤泥质海岸坦荡无垠，其坡降在 0.5%左右。高低潮线之间的滩涂宽度一般为 3~5km，宽的可超过 10km。淤泥质海岸靠近大潮高潮线的滩地称为高潮滩，那里是整个滩涂地势最高，离海最远的地方。一般高潮时，海水涨不到这一地带，只有在发生大潮或风暴潮时，潮水才能将其淹没。这里裸露的滩面受强烈的蒸发作用的影响，表层脱水干缩，形成许多不规则的裂纹，这些裂纹与龟壳上的图案很相似，因而被称为龟裂纹。滩面脱离海水的时间越久，龟裂现象则越明显，龟裂带的宽度可达数百米，而发生大潮时，海水到达高潮滩，龟裂纹消失，滩面又恢复潮湿平整的面貌。潮汐是塑造淤泥质海岸的主要动力。

除上述海岸外，海岸边因其生长着红树林而称为红树林海岸，生长着芦苇或大米草、盐蒿等植物的称为芦苇及盐生水草海岸，在浅水形成的近岸珊瑚礁构成了风光绚丽的珊瑚礁海岸，在遥远的南极和北极则是由晶莹、洁白、纯净的冰雪组成的连绵不绝的

冰雪海岸。

随着科学技术和社会经济的发展,人类驾驭、改造和利用自然的能力也不断加强。人工海岸,即改变原有自然状态完全由人工建设的海岸规模越来越大。我国早期较大规模的人工海岸建设与盐业有关,在几个大型盐场,修起了拦海大坝,盐场海堤成为雄伟的人工海岸。大规模的海水养殖业也使海岸的面貌发生巨变,为了养虾养鱼,必须首先在潮滩上建起海堤和闸门。海港码头也是典型的人工海岸,海港工程包括防波堤、港池、泊位、码头、货场、仓库、道路等,这就形成港口海岸,原来的天然海岸则不复存在了。围海造地在我国也有悠久的历史,围垦海涂大坝的建成,则标志着新的海岸线的诞生。为工业用地和城建用地而围海也要先修建拦海大坝,形成人工海岸。

### 1.3 生态系统概论

从1935年英国生态学家 Tansley 提出“生态系统”一词以来,许多科学家试图从各种角度来定义和使用这个概念。把生态系统这个概念应用于土地利用与自然资源管理始终是专家们讨论的主题,而制定符合生态系统的政策以维持或恢复生态系统的整体性、健康或可持续性则是政策制定者和执行者的事(Montgomery et al. 1995)。生态系统管理中所使用的生态系统概念有如下四个主要特征:①生态系统在时空中的变化是连续的;②生态系统由于某种原因可能出现明显的不平衡,生态后果可能与这种行为的原因密切相关,也可能与之相去甚远;③系统可能有几种级别的稳定,系统受到人为或其他原因的干扰,可能转入一个新的系统并可在一种或多种水平上稳定;④系统不同部分间存在一种组织关系,但并非每个要素都与其他所有要素相连。此外,尽管对最重要部分的了解是必需的,我们没必要知道所有的联系(Holling 1978)。

Dickey 等(1978)将生态系统定义为客体、理论或理念(与普通功能或信仰相联系),包含生物体及其关系的一个有组织的整体。按照 Agee 等(1988)的观点,生态系统就是依照研究兴趣选定的任何一个地方,且有明确的边界;通过边界的任何东西视为输入或输出;生态系统存在边界,但生态系统是随着时空而变的,因此边界是任意划定的;生态系统的组成要素可能有不同的限制。例如,动物区管理可以影响邻近土地的利用或社会价值,或者为其所影响;将一个地方用作观光、教育或休闲,可能会受到当地社会的影响。政治对生态系统的限制往往不包括解决所有管理问题所必须的所有要素(经济的或人力资源的)。

Odum(1998)在处理生态系统管理问题时将环境的输入、输出与生态系统一起界定、研究、管理。因此,有人认为“生态系统”一词是概念性的而不是一个物理实体,它具有以下六个方面的属性。

(1) 结构属性。生态系统由生物和非生物两部分组成。大多数正常运转的生态系统,一定是由动物、植物和微生物组成的合理整体。陆地生态系统至少包括绿色植物、基质和大气,常由复杂的生物群落、土壤、大气、能源(通常是太阳)以及水源等成分组成。

(2) 功能属性。即物理环境与生物群落之间的能量和物质的定量交换。因为生物与非生物体都由能量和物质构成,并且由于确定有机物质是否死亡往往很困难,因此用物理-化学整体观来看待生态系统具有相当的优越性。在这一整体内,各个组分之间不断进

行着物质和能量的交换,这些组分有的具有生物活性,有的则没有。这种看待生态系统的方式并未贬低传统生命遗传观的重要性,相反,它是对遗传观的补充。

(3) 复杂属性。生态系统的复杂性源于生态系统固有的高层次的生物整合水平。生态系统内部的现象和条件是由多种因素决定的,因此在对系统的结构与功能机制有了充分了解之前是很难预测这些现象和条件的。

(4) 相互作用和相互依存的属性。各种生物和非生物组分之间的相互联系十分密切,其中任何一组分的改变都会引起几乎所有其他组分发生相应变化。这种相互作用和相互依赖关系的广泛性和完整性曾使早期生态学家萌发了这样一个设想,即将生态系统概念上的物理范例(如 1hm<sup>2</sup> 的森林、一片农田、一个小池塘)想像为一种超生物体。这一观点已被否定,因为尽管个体与生态系统之间具有某些相似之处,但它们之间的差别实在太大,以致超生物体概念难以付之应用。

(5) 空间维向无定界属性。个体生物量是三维实体,它具有确定的物理形态。种群和群落也是空间定界的实体,尽管其大小时常难于确定。例如,一群鸟、某一水域的鱼类都是易识别的种群,但由于其空间不断发生周期性变化,因此种群的空间边界较难确定。同样,在识别北部地区的寒温带云杉林中某一云杉种群或开放海域的生物群落时,要求在一定程度上明确其空间边界。不过,尽管有这些问题,“种群”和“群落”这两个术语的着重点显然是落在易于确定的物质实体上的。一片皆伐地或一片水洼谷地的生物群落,可以很容易地观测到并描述其空间边界。但另一方面,生态系统这个术语则是着重于组织的结构和复杂性、系统内部的相互作用、相互依存以及功能特性方面,而不是系统的地理边界问题。

(6) 时变属性。生态系统不是静止不变的,除了不断进行物质和能量交换外,生态系统的整体结构和功能也随时间而改变。

根据上述对海岛、海岸带和生态系统的论述可知,海岛和海岸带是生态系统,它们具有生态系统的一切属性,它们作为生态系统的成员,还具有其他生态系统所不具有的一些特征。

## 2 生态恢复与恢复生态学

自 20 世纪 40 年代以来, 由于科学技术的进步, 人类生产、生活和探险的足迹遍及全球。全球人口已达 57 亿, 而且每年仍以 9 000 多万的速度在递增。人类为了生存, 将居住地附近的大部分自然生态系统改造为城镇和农田, 原有的生态系统结构及功能退化, 有的甚至已失去了生产力。据估计, 全球约有 50 亿  $\text{hm}^2$  的土地退化, 全球约有 43% 的陆地植被生态系统的服务功能受到了影响。随着人口的持续增长, 对自然资源的需求也在增加。环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺、气候变化、生物多样性丧失等增加了对自然生态系统的胁迫。人类面临着合理恢复、保护和开发自然资源的挑战, 20 世纪 80 年代, 恢复生态学(restoration ecology) 应运而生。恢复生态学从理论与实践两方面研究生态系统退化、恢复、开发和保护机理, 因而为解决人类生态问题和实现可持续发展提供了机遇(Aber et al. 1985, Cairns 1995, Daily 1995, 陈灵芝等 1995, Dobson et al. 1997, 任海等 1998)。

### 2.1 恢复生态学的定义

由于恢复生态学兼具理论性和实践性, 从不同的角度看会有不同的理解, 因此关于恢复生态学的定义有很多, 其中具代表性的有两大类: 一类是 Jordan(1995)和 Cairns(1995)等先后提出的定义, 其中心思想是“使一个生态系统回复到较接近其受干扰前的状态即为生态恢复”。这些定义强调受损的生态系统要恢复到理想的状态, 但由于缺乏对生态系统历史的了解、恢复时间太长、生态系统中关键种的消失、费用太高等现实条件的限制, 这种理想状态不可能达到。另一类定义由 Bradshaw(1987)、Diamond(1987)、Harper(1987)和余作岳等(1996)等提出。国际恢复生态学会提出的最终定义认为生态恢复是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学, 生态整合性包括生物多样性、生态过程和结构、区域及历史情况、可持续的社会实践等广泛的范围。余作岳等(1996)提出恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、生态学过程与机理的科学。

由于生态恢复包括人类的需求观、生态学方法的应用、恢复目标和评估成功的标准、以及生态恢复的各种限制等基本成分, 因此与生态恢复相关的概念还有: 重建(rehabilitation, 即去除干扰并使生态系统回复原有的利用方式)、改良(reclamation, 即改进立地的条件以便使原有的生物生存, 一般指原有景观彻底破坏后的恢复)、改进(enhancement, 即对原有的受损系统进行改良, 以提高某方面的结构与功能)、修补(remedy, 即修复部分受损的结构)、更新(renewal, 指生态系统发育及更新)、再植(revegetation, 即恢复生态系统的部分结构和功能, 或恢复当地先前土地利用方式)。这些相关的概念可看作广义的恢复概念。

## 2.2 恢复生态学研究简史

恢复生态学研究起源于 100 年前的山地、草原、森林和野生生物等自然资源管理研究,其中 20 世纪初的水土保持、森林砍伐后再植的理论与方法在恢复生态学中沿用至今 (Jordan et al. 1987),例如 Phipps 于 1883 出版了森林再造的专著,其中有些理论至今可用 (Keddy 1999)。早在 20 世纪 30 年代就有干旱胁迫下农业生态系统恢复的实践。最早开展恢复生态学实验的是 Leopold,他与助手一起于 1935 年在威斯康星大学植物园恢复了一个 24hm<sup>2</sup> 的草场,随后他发现了火在维持及管理草场中的重要性。他还认为生态恢复只是恢复中的第一步,一个生态系统保持整体性、稳定性和生物群体的良性发展时就是好的。1941 年他进一步提出土地健康 (land health) 的概念 (Jordan et al. 1987, Rapport 1998)。Clements 于 1935 年发表了“实验生态学为公共服务”的论文,阐述生态学可用于包括土地恢复在内的广泛领域。20 世纪 50~60 年代,欧洲、北美和中国都注意到了各自的环境问题,开展了一些工程与生物措施相结合的矿山、水体和水土流失等环境恢复和治理工程,并取得了一些成效。从 70 年代开始,欧美一些发达国家开始水体恢复研究 (Cairns 1995, 陈灵芝等 1995),在此期间,虽有部分国家开始定位观测和研究,但没有生态恢复的机理研究。Farnworth 在 1973 年提出了热带雨林恢复研究中的 9 个具体方向。1975 年在美国召开了“受损生态系统的恢复”国际研讨会,会议探讨了受损生态系统恢复的一些机理和方法,并号召科学家们注意搜集受损生态系统科学数据和资料,开展技术措施研究,建立国家间的研究计划。1980 年 Cairns 主编了《受损生态系统的恢复过程》一书,8 位科学家从不同角度探讨了受损生态系统恢复过程中重要生态学理论和应用问题。同年,Brandshaw 和 Chdwick 出版了 *Restoration of Land, the Ecology and Reclamation of Derelict and Degraded Land*。1983 年在美国召开了“干扰与生态系统”的国际研讨会,探讨了干扰对生态系统各个层次的影响。1984 年在美国威斯康星大学召开了恢复生态学研讨会,300 多位生态学家提交了 14 篇论文,强调了恢复生态学中理论与实践的统一性,并提出恢复生态学在保护与开发中起重要的桥梁作用。美国在 1985 年成立了“恢复地球”组织,该组织先后开展了森林、草地、海岸带、矿地、流域、湿地等生态系统的恢复实践并出版了一系列生态恢复实例专著 (Beger 1990)。同年 Aber 和 Jordan 提出了恢复生态学的术语,他们还出版了 *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research* 的论文集。1985 年,国际恢复生态学会成立。1989 年在意大利锡耶纳举行的第 5 届欧洲生态学会把恢复生态学列为主要议题之一。1991 年在澳大利亚举行了“热带退化林地的恢复国际研讨会”。1993 年在香港举行了“华南退化坡地恢复与利用”国际研讨会,系统探讨了中国华南地区退化坡地的形成及恢复问题 (Parham 1993)。1996 年,在瑞士召开了第一届世界恢复生态学大会,大会强调恢复生态学在生态学中的地位,恢复技术与生态学的联结,恢复过程中经济与社会内容的重要性,随后国际恢复生态学会每年召开一次国际研讨会。1997 年 *Science* 刊载了 7 篇关于恢复生态学的论文。现在各国均有大量的恢复生态学论文出现,但主要的恢复生态学期刊有 *Restoration and Management Notes*、*Restoration Ecology*、*Restoration and Reclamation Review* 和 *Land Degradation & Development*。 *Ecology Abstracts* 等国际文摘也开辟专栏

转载恢复生态学方面的成果。另有一些生态学期刊和环境期刊出版恢复生态学专辑,此外还有大量的因特网网址进行恢复生态学方面的交流。

当前在恢复生态学理论和实践方面走在前列的是欧洲和北美,在实践中走在前列的还有新西兰、澳大利亚和中国。其中欧洲偏重矿地恢复,北美偏重水体和林地恢复,而新西兰和澳大利亚以草原为主(Gaynor 1990, Cairns 1992, Mansfield et al. 1997),中国则因人口偏多强调农业综合利用(陈灵芝等 1995;任海等 1998)。从20世纪70年代至今,国外比较成功的恢复样板有:热带的土地退化现状及恢复技术(CAB970601598, CAB940607234。CAB是指Centre for Agriculture and Biosciences International,其后的数字是顺序号),昆士兰东北部退化土地的恢复(CAB960607654),坦桑尼亚的毁林地恢复(CAB960607447),退化的石灰岩矿地的造林(CAB960600967),湿热带自然林恢复(CAB960600935),东玻利维亚、巴西、东南亚、赞比亚等国的土地恢复(CAB数据库中有近百条记录),干旱和半干旱地退化生态系统的恢复与重建(至1999年,CAB数据库中有50余条记录)。这些恢复试验的对象涉及了草原、河流、湖泊、废弃矿地、森林和农田,在这些恢复过程中主要研究内容有干扰和受损生态系统,受损生态系统的恢复与重建,湿热带森林生态系统的稳定性,废弃矿地和垃圾场的恢复,河流和湖泊的水生植物群落的重建等。在此基础上,已有一些恢复生态学的理论成果出现。

我国最早的恢复生态学研究是中国科学院华南植物研究所余作岳等人于1959年在广东的热带沿海侵蚀台地上开展的退化生态系统的植被恢复技术与机理研究,经过近40年的系统研究,提出了“在一定的人工启动下,热带极度退化的森林可恢复;退化生态系统的恢复可分三步走;恢复过程中植物多样性导致动物和微生物多样性,植物多样性是生态系统稳定性的基础”等观点。他们还先后创建了我国恢复生态学的两个基地——小良热带森林生态系统定位研究站和鹤山丘陵综合试验站等。从此以后,先后有多个单位开展了退化生态系统恢复研究,其中包括:南京大学仲崇信自1963年起就从英国、丹麦引进大米草在沿海滩涂种植以控制海岸侵蚀,至1980年推广达3万 $\text{hm}^2$ 余。又如中国科学院兰州沙漠研究所开展的沙漠治理与植被固沙研究,中国科学院西北水土保持研究所开展的黄土高原水土流失区的治理与综合利用示范研究,中国科学院水生生物研究所开展的湖泊生态系统恢复研究,中国科学院西北高原生物研究所开展的高原退化草甸的恢复与重建研究,中国科学院成都生物研究所开展的岷江上游植被恢复研究,中国科学院南京土壤研究所开展的红壤恢复与综合利用试验,广西科学院和中山大学开展的红树林恢复重建试验等。1983年中国科学院内蒙古草原站开展了不同恢复措施下退化羊草草原恢复演替研究。1990年东北林业大学开展了黑龙江省森林生态系统恢复与重建研究,同期中国林业科学研究院开展了海南岛热带林地的植被恢复与可持续发展研究。另有中国环境科学院、中山大学、中国矿业大学等单位开展的大量废弃矿地和垃圾场的恢复对策研究。20世纪90年代中期,先后出版了《热带亚热带退化生态系统的植被恢复生态学研究》和《中国退化生态系统研究》等专著,提出了适合中国国情的恢复生态学研究理论和方法体系。从总体上看,我国的恢复生态学研究包括恢复生态学的理论与方法框架,热带和亚热带森林的恢复,三北、长江防护林建设和天然林保护,水土流失生态工程治理,农牧交错带、风蚀水蚀交错区、干旱荒漠区、丘陵山地、干热河谷、石灰岩山地、湿地和水体的恢复重建等(陈灵芝等 1995,余作岳等 1996,

任海等 1998)。

## 2.3 生态系统退化的原因

退化生态系统是指生态系统在自然或人为干扰下形成的偏离自然状态的系统,与自然系统相比,一般是指退化的生态系统种类组成、群落或系统结构改变,生物多样性减少,生物生产力降低、土壤和微环境恶化,生物间相互关系改变(Chapman 1992, Daily 1995, 陈灵芝等 1995)。当然,对不同的生态系统类型,其退化的表现是不一样的。例如,湖泊由于富营养化会退化,外来种入侵、在人为干扰下本地非优势种取代历史上的优势种等引起生态系统的退化等。往往在这种情况下会改变生态系统的生物多样性,但生物生产力不一定下降,有的反而会上升(Berger 1990)。

退化生态系统形成的直接原因是人类活动,部分来自自然灾害,有时两者叠加发生作用。生态系统退化的过程由干扰的强度、持续时间和规模所决定。Daily(1995)对造成生态系统退化的人类活动进行了排序:过度开发(含直接破坏和环境污染等)占35%,毁林占30%,农业活动占27%,过度收获薪材占7%,生物工业占1%。自然干扰中外来种入侵(包括因人为引种后泛滥成灾的入侵)、火灾及水灾是最重要的因素。Daily(1995)进一步指出,基于以下四个原因人类进行生态恢复是非常必要的和重要的:需要增加作物产量满足人类需求;人类活动已对地球的大气循环和能量流动产生了严重的影响;生物多样性依赖于人类保护和恢复生境;土地退化限制了国民经济的发展。

Brown等(1994)也指出,生态系统的退化过程或程度取决于生态系统的结构或过程受干扰的程度,例如人类对植物获取资源过程的干扰(如过度灌溉影响植物的水分循环、超量施肥影响植物的物质循环)比对生产者或消费者的直接干扰(如砍伐或猎取)产生的负效应要大。一般地,在生态系统组成成分尚未完全破坏前排除干扰,生态系统的退化会停止并开始恢复(例如少量砍伐后森林的恢复),但在生态系统的功能过程被破坏后排除干扰,生态系统的退化很难停止,而且有可能会加剧(如烧山后的林地恢复)。

## 2.4 恢复生态学的理论

目前,自我设计与人为设计理论(self-design versus design theory)是惟一从恢复生态学中产生的理论(Van der Valk 1999)。自我设计理论认为,只要有足够的时间,随着时间的进程,退化生态系统将根据环境条件合理地组织自己并会最终改变其组分。而人为设计理论认为,通过工程方法和植物重建可直接恢复退化生态系统,但恢复的类型可能是多样的。这一理论把物种的生活史作为植被恢复的重要因子,并认为通过调整物种生活史的方法即可加快植被的恢复。这两种理论不同点在于:自我设计理论把恢复放在生态系统层次考虑,未考虑到缺乏种子库的情况,其恢复的只能是环境决定的群落;而人为设计理论把恢复放在个体或种群层次上考虑,恢复的可能是多种结果(Middleton 1999, Van der Valk 1999)。

恢复生态学应用了许多学科的理论,但最主要的还是生态学理论。这些理论主要有:限制性因子原理(寻找生态系统恢复的关键因子)、热力学定律(确定生态系统能量

流动特征)、种群密度制约及分布格局原理(确定物种的空间配置)、生态适应性理论(尽量采用乡土种进行生态恢复)、生态位原理(合理安排生态系统中物种及其位置)、演替理论(缩短恢复时间,极端退化的生态系统恢复时,演替理论不适用,但具指导作用)、植物入侵理论、生物多样性原理(引进物种时强调生物多样性,生物多样性可能导致恢复的生态系统稳定)、缀块-廊道-基底理论(从景观层次考虑生境破碎化和整体土地利用方式)等(Johnstone 1986, Forman 1995, Middleton 1999, 余作岳等 1996)。恢复生态学的理论基础可分为四个层次,即种群生物学、群落生态学、生态系统生态学和景观生态学基础。

种群生物学基础包括:起源种群的个体数量和基因变异对种群定居、发育、生长和进化潜力的影响;种群成功恢复中适应性和生活史特征的作用;景观元素的空间格局对多种群动态和种群过程的影响;在一个经常快速、持续时间范围内,基因漂移、基因流和选择对种群持续生存的影响;种间作用对种群、动态和群落发育的影响。

群落生态学基础包括:恢复的终点是结构与功能的和谐恢复;恢复的群落中可容纳多少特征与原群落不同;生物多样性理论与恢复;生境与生态系统功能恢复的过程;演替和干扰理论与恢复过程。

生态系统生态学基础主要是功能方面的,包括:物质循环和能量流动原理;输入的压力效果;食物网的构建;系统组分间的反馈;营养传输的效率;初级生产力和分解速率;非生物环境的形成等。

景观生态学基础包括:空间异质性理论;从景观角度选择合适的位点及恢复目标;斑块恢复的空间框架理论;信息系统与模型的建立。

## 2.5 生态恢复的方法问题

不同类型(如森林、草地、农田、湿地、湖泊、河流、海洋)、不同程度的退化生态系统,其恢复方法亦不同,从生态系统的组成成分角度看,主要包括非生物和生物系统的恢复。无机环境的恢复技术包括水体恢复技术(如控制污染、去除富营养化、换水、积水、排涝和灌溉技术)、土壤恢复技术(如耕作制度和方式的改变、施肥、土壤改良、表土稳定、控制水土侵蚀、换土及分解污染物等)、空气恢复技术(如烟尘吸附、生物和化学吸附等)。生物系统的恢复技术包括植被(物种的引入、品种改良、植物快速繁殖、植物的搭配、植物的种植、林分改造等)、消费者(捕食者的引进、病虫害的控制)和分解者(微生物的引种及控制)的重建技术和生态规划技术(RS、GIS、GPS)的应用(Mitsch et al. 1989, Parham 1993, 章家恩等 1999)。

在生态恢复实践中,同一项目可能会应用上述多种技术。例如,余作岳等在极度退化的土地上恢复热带季雨林过程中,采用生物与工程措施相结合的方法,通过重建先锋群落、配置多层次多物种乡土树的阔叶林和重建复合农林业生态系统等三个步骤取得了成功。总之,生态恢复中最重要的还是综合考虑实际情况,充分利用各种技术,通过研究与实践,尽快地恢复生态系统的结构,进而恢复其功能,实现生态、经济、社会和美学效益的统一(余作岳等 1996)。



## 2.6 生态恢复的程序

在生态恢复实践中确定一些重要程序可以更好地指导生态恢复和生态系统管理。目前认为恢复中的重要程序包括：确定恢复对象的时空范围；评价样点并鉴定导致生态系统退化的原因及过程(尤其是关键因子)；找出控制和减缓退化的方法；根据生态、社会、经济和文化条件决定恢复与重建的生态系统的结构、功能目标；制定易于测量的成功标准；发展在大尺度情况下完成有关目标的实践技术并推广；恢复实践；与土地规划、管理策略部门交流有关理论和方法；监测恢复中的关键变量与过程，并根据出现的新情况做出适当的调整(Mitsch et al. 1989, Kauffman 1995)。

以往，恢复生态学中占主导的思想是通过排除干扰、加速生物组分的变化和启动演替过程，使退化的生态系统恢复到某种理想的状态。在这一过程中，首先是建立生产者系统(主要指植被)，由生产者固定能量，并通过能量驱动水分循环，水分带动营养物质循环。在生产者系统建立的同时或稍后，再建立消费者、分解者系统和微生物。余作岳等(1996)通过近40年的恢复试验发现，在热带季雨林恢复过程中植物多样性导致了动物和微生物的多样性，而多样性可能导致群落的稳定性。Hobbs等(1993)指出，退化生态系统恢复的可能发展方向包括：退化前状态、持续退化、保持原状、恢复到一定状态后退化、恢复到介于退化与人们可接受状态间的替代的状态、或恢复到理想状态。然而，也有人指出退化生态系统并不总是沿着一个方向恢复，也可能是在几个方向间进行转换并达到复合稳定状态(metastablestates)。

## 2.7 恢复生态学的发展趋势

恢复生态学的兴起只是10余年的事，还存在不少问题有待解决，这些问题主要是：①生态系统恢复的不可确定性，虽然已提出了许多生态系统恢复的标准，但对于生态系统服务功能的恢复程度尚不知晓；②生态系统恢复要求综合考虑生态、经济和社会因素，但对时间、空间上异质性的生态系统而言实在太难，尤其是有持续干扰时，很难恢复到理想状态；③由于生态系统的复杂性，生态系统退化程度和干扰因子很难简单概括到一些易测定的具体指标，尤其是如何控制干扰，很难具可操作性；④生态系统恢复与自然演替是一个动态的过程，有时很难区分两者；⑤生态系统恢复的时间到底要持续多长，目前的科学研究尚不能准确回答这个问题，有待于开展可重复的和长期的试验和观测；⑥生态系统恢复的机理尚不清楚，尤其是重新引进当地消失的物种、外来种在恢复中的角色还难以正确判断；⑦退化生态系统恢复与重建技术尚不成熟，目前恢复生态学中所用的方法均来自相关学科，尚需形成独具特色的方法体系；⑧恢复生态学的发展需要科学工作者、政府、民众的充分合作，通过互相交流信息、方法和经验，从而可加快恢复全球已退化的生态系统。