

# 海岛生态修复与 环境保护

毋瑾超 主 编

仲崇峻 程 杰 谭勇华 于 森 副主编

 海洋出版社

HAI DAO SHENG TAI  
XIUFU YU HUANJING BAOHU

# 海岛生态 修复与环境保护

毋瑾超 主 编

仲崇峻 程 杰 谭勇华 于 淼 副主编

海洋出版社

2013年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

海岛生态修复与环境保护 / 毋瑾超主编. —北京:  
海洋出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-5027-8455-3

I. ①海… II. ①毋… III. ①岛 - 生态恢复②岛 - 环  
境保护 IV. ①X21

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第283676号

说明: 本书中所列照片, 除专门指明出处外, 其余均为本团队成员拍摄。

责任编辑: 苏 勤

责任印制: 赵麟苏

**海洋出版社** 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编: 100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店经销

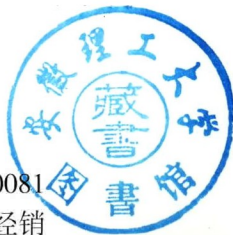
2013年8月第1版 2013年8月北京第1次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 24.5

字数: 700千字 定价: 138.00元

发行部: 010-62132549 邮购部: 010-68038093 总编室: 010-62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换





# 序言

## PREFACE

海岛是捍卫国家海洋权益、保障国防安全的战略前沿；是保护海洋环境、维护生态平衡的重要平台；是壮大海洋经济、拓展发展空间的重要依托；是进行海洋科学试验和研究的重要区域。其具有非常重要的政治意义、军事价值、社会价值、经济价值、生态价值和科研价值。

海岛由于地理隔离、恶劣自然环境的作用和土壤的贫瘠以及淡水资源的缺乏等影响，生态环境系统稳定性差、抗干扰能力弱、环境承载力有限，其生态系统十分脆弱，一旦受自然灾害影响和人类无序、无度开发的破坏，其生态环境系统就很难恢复。目前我国部分无居民海岛开发秩序较为混乱，过度或不合理的开发利用对海岛造成较大破坏；大多数有居民海岛基础设施薄弱，环境保护能力差，人居条件相当恶劣；加大对海岛生态修复和环境保护的研究与实践已迫在眉睫。

从总体上看，我国的海岛生态修复工作刚刚起步，这一领域的成果、专著非常匮乏；同时，由于海岛生态修复与环境保护工作涉及面广，学科种类繁多，技术含量高，实施难度大；目前迫切需要一些理论联系实际，有一定专业深度和广度的著述作为参考。在近年主持、参加的数十个国家和地方的海岛生态修复及环境保护的项目实施中，我们多方考证，仔细研究，认真实践，在此领域积累了一些知识、经验和研究成果，之所以不惧学识浅陋而将其公开出版，以为抛砖引玉之举，并期望得到各方同仁的不吝指教。

全书共分四篇十三章。第一篇含第一章至第三章，内容主要为海岛生态修复和环境保护的基本概念、基础理论及国内外研究现状；第二篇含第四章至第七章，内容主要为海岛生态修复技术和手段，包括生态修复技术路线、海岛边坡修复、海岛受污染环境修复、淡水资源保护与开发利用等内容；第三篇含第八章至第十二章，内容主要为海岛环境保护常用技术，包括污水处理、固废减量化处理、环境污染物的分析检测和风险评估、可再生能源利用、海洋公园建设等内容；第四篇含第十三章，主要介绍了本项目团队近年成功实施的桥梁山岛生态修复实践工作。附件含《中华人民共和国海岛保护法》和《全国海岛保护规划》，供读者借鉴、参考。

各章节的主要编纂者分工如下：

第一章：毋瑾超； 第二章：仲崇峻，毋瑾超； 第三章：程杰，仲崇峻；



第四章：谭勇华； 第五章：于森； 第六章：程杰；  
第七章：毋瑾超； 第八章：程杰； 第九章：毋瑾超；  
第十章：毋瑾超； 第十一章：谭勇华； 第十二章：于森；  
第十三章：毋瑾超，仲崇峻；  
全书由毋瑾超策划并统稿，程杰校对。

作为国家海岛保护与管理专项项目成果之一，本书在编著过程中，得到了国家海洋局海岛管理司领导的大力指导和帮助：吕彩霞司长多次对本团队的海岛生态修复工作给予指导，且在百忙之中审阅书稿，并提出修改意见；王忠、李文君副司长多次关心海岛生态修复工作并亲临海岛生态修复现场指导；此外，赵培剑、胡朝晖处长和相关处室工作人员也对有关工作给予多方帮助和支持，在此谨致谢忱！

本书在编著过程中得到了国家海洋局第一海洋研究所、国家海洋局第三海洋研究所、国家海洋技术中心、国家海洋信息中心等兄弟单位同仁的热心指导和帮助；有关生态修复项目在完成过程中，还得到了地方相关管理部门和协作单位专家的大力帮助，这些情况在相关章节后均进行了描述并致谢。初稿完成后，国家海岛开发与管理研究中心王小波研究员、夏小明研究员和生态中心曾江宁研究员对全书进行了专家咨询，他们为本书提出了详细的修改意见和建议，在此一并表示衷心感谢！

最后，感谢国家海洋局第二海洋研究所、浙江省海洋与渔业局的领导和相关处室领导及各海岛同仁在近年来对本团队海岛生态修复和环境保护工作以及本书编著的大力帮助和指导。

编写组在两年半的编著过程中投入了大量精力，多方求证并三易其稿；但由于水平所限，书中错误和不足之处仍难免，敬请广大读者批评指正！

《海岛生态修复与环境保护》编写组  
2013年3月6日于国家海洋局第二海洋研究所  
中国 杭州







# 目录

# CONTENTS

## 第一篇 海岛生态修复理论/1

<b>第一章 海岛及海岛生态系统 .....</b>	<b>2</b>
1.1 海岛及海岛分类 .....	2
1.2 海岛的意义和价值 .....	4
1.3 生态系统 .....	6
1.4 海岛生态系统 .....	12
1.5 海岛生态系统与耗散结构 .....	35
<b>第二章 海岛生态修复理论概述 .....</b>	<b>42</b>
2.1 生态修复学的基础概念 .....	42
2.2 海岛生态修复理论概述 .....	43
2.3 海岛生态环境系统破坏的现状 .....	47
2.4 海岛生态系统修复和保护的意义 .....	54
<b>第三章 国外海岛生态修复管理和技术实践 .....</b>	<b>59</b>
3.1 国外海岛生态系统管理 .....	59
3.2 国外海岛相关法律制度 .....	65
3.3 国外海岛生态系统修复技术与实践 .....	66
3.4 国外海岛生态修复案例 .....	73

## 第二篇 海岛生态修复技术/85

<b>第四章 海岛生态系统修复工作技术路线 .....</b>	<b>86</b>
4.1 资料收集 .....	87
4.2 外业调查 .....	89
4.3 方案编制 .....	94
4.4 组织实施 .....	95
4.5 监督管理 .....	95
4.6 项目验收 .....	96
4.7 范例说明 .....	97

<b>第五章</b>	<b>海岛边坡修复技术</b> ·····	<b>101</b>
5.1	边坡分类及修复设计原则·····	101
5.2	削坡处理·····	104
5.3	喷混植生边坡修复技术·····	104
5.4	生态袋护坡·····	112
5.5	边坡修复辅助工程·····	113
<b>第六章</b>	<b>海岛受污染环境生物修复技术</b> ·····	<b>121</b>
6.1	受污染环境生物修复技术的分类·····	121
6.2	重金属污染环境的生物修复·····	121
6.3	水体富营养化的生物修复·····	126
6.4	有机污染环境的生物修复·····	130
<b>第七章</b>	<b>海岛淡水资源保护与开发利用</b> ·····	<b>140</b>
7.1	海岛淡水资源现状·····	140
7.2	海岛淡水资源保护思路·····	143
7.3	海岛淡水资源的开发利用·····	144
7.4	可再生能源与海水淡化集成技术·····	154
7.5	海岛海水淡化案例·····	159

### 第三篇 海岛环境保护技术/167

<b>第八章</b>	<b>海岛环境污染物的分析检测及风险评价</b> ·····	<b>168</b>
8.1	海岛环境污染现状及主要污染源·····	168
8.2	分析样品的采集、贮存·····	170
8.3	样品制备·····	172
8.4	环境污染物的分析检测·····	173
8.5	污染物的风险评价·····	186
<b>第九章</b>	<b>海岛污水处理技术及污水污泥综合利用</b> ·····	<b>194</b>
9.1	海岛污水处理技术介绍·····	194
9.2	美国缅因州维纳哈芬岛屿社区污水处理案例·····	201
9.3	加拿大安纳西斯岛污水处理案例·····	203
9.4	污水污泥的处理技术·····	207





# 目录

# CONTENTS

9.5 海岛污水污泥综合利用 .....	217
<b>第十章 海岛固体废弃物减量化处理及循环利用技术 .....</b>	<b>225</b>
10.1 固体废弃物处理手段 .....	225
10.2 有机固废减量化处理技术原理及特点 .....	226
10.3 生化环保泡沫封堵微生物分解厕所 .....	230
10.4 有机固废减量化处理机 .....	239
10.5 有机固废处理残渣作为肥料的循环利用研究 .....	241
10.6 减量化处理所使用菌种安全性研究 .....	248
<b>第十一章 海岛可再生能源利用 .....</b>	<b>274</b>
11.1 我国海岛可再生能源概述 .....	274
11.2 海岛可再生能源利用技术 .....	277
11.3 海岛可再生能源利用小结 .....	292
<b>第十二章 海洋特别保护区建设——海洋公园 .....</b>	<b>295</b>
12.1 海洋公园的概念和建设意义 .....	295
12.2 国内外海洋公园的发展概况 .....	299
12.3 海洋公园设计的考虑因素 .....	304
12.4 海洋公园的建设管理 .....	305

## 第四篇 海岛生态修复实践/315

<b>第十三章 浙江省桥梁山岛生态修复实践 .....</b>	<b>316</b>
13.1 桥梁山岛生态修复项目基本概况 .....	316
13.2 喷混植生修复技术在桥梁山岛上的应用 .....	319
13.3 桥梁山岛生态修复项目的辅助工程 .....	319
13.4 海岛生态修复技术研究 .....	321
13.5 桥梁山岛生态修复项目成果及图集 .....	327

## 附件/359

<b>附件一 《中华人民共和国海岛保护法》 .....</b>	<b>361</b>
<b>附件二 《全国海岛保护规划》 .....</b>	<b>368</b>

# 第一篇 海岛生态修复理论





# 第一章 海岛及海岛生态系统

我国是海洋大国，海岛众多。据《全国海岛保护规划》（2012年）资料显示，我国拥有面积为 $500\text{ m}^2$ 以上的海岛7300多个，全部海岛有上万个；它们分布在南北跨越38个纬度、东西跨越17个经度的广阔海域中；在我国所有的海岛中，最大的是“宝岛”台湾岛，最南边的是海南省的曾母暗沙，最东边的是钓鱼岛东边的赤尾屿，最北边的是辽宁省的小石山礁，最西边的是广西壮族自治区的独墩。

我国海岛广布温带、亚热带和热带海域，生物种类繁多，不同区域海岛的岛体、岸线、沙滩、植被、淡水和周边海域的各种生物群落和非生物环境共同形成了各具特色、相对独立的海岛生态系统，一些海岛还具有红树林、珊瑚礁等特殊生境；海岛及其周边海域自然资源丰富，有港口、渔业、旅游、油气、生物、海水、海洋能等优势资源和潜在资源。

中国海岛陆域总面积达 $8 \times 10^4\text{ km}^2$ ，海岛岸线总长 $1.4 \times 10^4\text{ km}$ 。按海区分布统计：渤海区内海岛数量占总数的4%，黄海区占5%，东海区占66%，南海区占25%。按离岸距离统计，距大陆岸线10 km之内的海岛数量占总数的70%，距大陆岸线10~100 km的占27%，距大陆岸线100 km之外的占3%。

## 1.1 海岛及海岛分类

海岛是指四面环海水并在高潮时高于水面的自然形成的陆地区域，包括有居民海岛和无居民海岛。有居民海岛是指属于居民户籍管理的住址登记地的海岛，无居民海岛是指不属于居民户籍管理的住址登记地的海岛；与通常所说的有人岛和无人岛不能等同起来。

### 1.1.1 按成因分类

海岛按成因可分为大陆岛、海洋岛和冲积岛3类。

#### (1) 大陆岛

大陆岛是大陆地块延伸到海底并露出海面而形成的岛屿。它原是大陆的一部分，后因地壳沉降或海面上升与大陆分离，所以其地质构造、岩性和地貌等方面与邻近大陆基本相似，有山脉、平原、高原、谷地、沙漠、沼泽等地貌形态。如我国台湾岛西部为平原，中部和东部有阿里山脉、中央山脉和台东山脉之间为谷地。

大陆岛按成因又可进一步分为构造岛、冰碛岛和冲蚀岛3种。

构造岛是因大地构造作用而形成的岛屿。通常由断层或地壳下沉、海水侵入使沿岸地区一部分陆地与大陆分离而成岛，如中国的台湾岛、海南岛，欧洲的大不列颠岛，北美的纽芬



兰岛等。

冰碛岛是由冰碛物堆积而成的岛屿。原为大陆冰川下游冰碛物堆积区，后因间冰期（两个冰期之间相对温暖的时期）气候变暖，冰川融化，海面上升，冰碛区同大陆分离成岛，如美国东北部沿岸和波罗的海沿岸的一些岛屿。

冲蚀岛是由海蚀作用与大陆分离而成的岛屿，其面积一般较小，存在的时间也较短，组成岛屿的岩性与构造均与相邻的大陆相同。

我国绝大多数海岛都属于大陆岛。

## （2）海洋岛

海洋岛在地质构造上与大陆没有直接联系，是从海洋底部上升露出海面的岛屿，分布于广阔的海洋上，亦称“大洋岛”，按成因可分为火山岛和珊瑚岛。

火山岛是由海底火山的喷发物质堆积而成的岛屿。火山岛通常地势高峻陡峭，其主要分布在太平洋中西部、印度洋西部和大西洋东部，如马里亚纳群岛北部的岛屿，面积小、地势高、坡度大，其中阿格里汉岛上的火山为群岛最高峰，高达 965 m。火山岛土地肥沃，岸边多隐藏着优良港湾，常被建成军事基地和国际港口，著名的如夏威夷群岛中瓦胡岛上的珍珠港。

珊瑚岛是指由珊瑚礁构成的岩岛，或在珊瑚礁上堆积珊瑚碎屑等形成的沙岛。珊瑚岛的基础是珊瑚礁，由珊瑚虫遗体和少量石灰藻、贝壳等长期胶结而形成。

## （3）冲积岛

冲积岛是由泥沙受水流冲刷堆积而成的岛屿，亦称“堆积岛”。河流和湖泊中也有冲积岛，即河岛和湖岛。海洋中的冲积岛有河口冲积岛和沙嘴冲积岛。河口冲积岛一般在含沙量大的河流的河口和较宽河口处形成，并顺着河流的方向排列，如长江口的崇明岛及其南侧的长兴岛和横沙等。沙嘴冲积岛是由沙嘴被潮汐、波浪、海流冲刷而成的海岛，也可以是在沙嘴形成以前尚未连成沙嘴的海岛，如中国河北的曹妃甸。

冲积岛地势低平，一般由细砂、黏土等物质组成，土地肥沃，水资源丰富，可开发成良田。

### 1.1.2 按物质组成分类

海岛按物质组成可分为基岩岛、沙泥岛和珊瑚岛 3 大类。

#### （1）基岩岛

基岩岛是由固结的沉积岩、变质岩和火山岩组成的岛屿。我国基岩岛屿约占全国海岛总数的 90% 以上。基岩岛分布很广，除河北省和天津市无基岩岛外，其他各省均有分布，其中以浙江为最多。

#### （2）沙泥岛

沙泥岛是由沙、粉砂和黏土等碎屑物质经过长期堆积作用形成的岛屿。这类海岛一般分布在河口区，地势平坦。我国沙泥岛约占全国海岛总数的 6% 左右，其中河北省最多，山东省次之。

### (3) 珊瑚岛

珊瑚岛如前所述，它是由珊瑚遗骸堆积并露出海面而形成的岛屿，主要分布在海南、台湾和广东。

## 1.2 海岛的意义和价值

海岛是壮大海洋经济、拓展发展空间的重要依托，是保护海洋环境、维护生态平衡的重要平台，是捍卫国家海洋权益、保障国防安全的战略前沿。其具有非常重要的意义和价值。

### 1.2.1 海岛的政治意义和价值

海岛是一个国家不可分割的重要领土，对其拥有和管辖则代表国家的主权完整和独立，这对任何一个主权国家来说其政治意义都是至高无上的。

同时，海岛在国家间海域划界中的地位也尤为重要。比如，我国采用“直线基线法”确定领海基线，就是用直线连接各领海基点以确定领海基线；领海基点是划定领海的起始点，也是确定专属经济区和大陆架的起点，直接关系到国家的海洋权益。我国的领海基点绝大多数分布在海岛上，因此，相关的领海基点海岛就意义重大。

我国政府共分两次公布了我国部分领海基线及基点的地理坐标，一是1996年《中华人民共和国政府关于中华人民共和国领海基线的声明》，宣布了我国大陆领海的部分基线和西沙群岛共77个领海基点的名称和地理坐标；二是2012年9月10日《中华人民共和国关于钓鱼岛及其附属岛屿领海基线的声明》，宣布了我国钓鱼岛及其附属岛屿的领海基线和17个领海基点的名称和地理坐标。

### 1.2.2 海岛的经济价值

海岛拥有丰富的陆地资源，海岛拥有自己的大陆架和专属经济区资源，海岛具有重要的交通和通信价值，且海岛各具特色，适合发展旅游业等，因此海岛具有独特的经济价值。

1) 《联合国海洋法公约》现已获得包括中国在内的150多个国家批准，被誉为国际法发展过程中的一个里程碑，是一部真正的海洋宪法。《联合国海洋法公约》规定：测算领海宽度的正常基线是沿海国官方承认的大比例尺海图所标明的沿岸低潮线。每一国家有权确定其领海的宽度，直至从基线量起不超过12 n mile的界限为止；低潮高地是在低潮时四面环水并高于水面但在高潮时没入水中的自然形成的陆地，如果低潮高地全部或一部与大陆或岛屿的距离不超过领海的宽度，该高地的低潮线可作为测算领海宽度的基线。如果低潮高地全部与大陆或岛屿的距离超过领海的宽度，则该高地没有其自己的领海。

岛屿则可以与大陆领土一样拥有相应的领海、大陆架和专属经济区（不能维持人类居住或其本身的经济生活的岩礁，不具有专属经济区或大陆架）。因此，一些海岛可能本身并不大，资源可能也不丰富，但其所属的大陆架和专属经济区的广大区域内的资源却可能给所属国带来巨大的经济利益。

例如，一个海岛的归属，可以决定其周围半径200 n mile的专属经济区的归属，这 $4.3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的海域，相当于4个浙江省的陆域面积！而且其决定的12 n mile的领海区域面积达



1 550 km<sup>2</sup>，《联合国海洋法公约》同时规定：沿海国对专属经济区的一切自然资源拥有所有权和专属管辖权，且具有排他性，即不允许其他国家开采或管辖。

2) 多数海岛陆地资源丰富。比如马来群岛有多种金属和石油等矿藏，盛产橡胶、椰子、木棉和热带木材，是世界最大的热带经济作物生产基地。太平洋岛国瑙鲁因富产鸟粪石（磷酸矿盐）而成为世界上最富裕的国家之一。我国的海南岛也是热带作物的重要生产基地，其木材、水果、胡椒等产量丰富，质量较佳。

3) 海岛可成为重要的交通和通讯基点。大陆沿岸海岛在各国沿海海运交通和通信中有重要作用。有的可建成沿海港口的转运港，如伊朗的哈尔克岛已建成其国内最大的原油输出基地；如新加坡岛位于太平洋至印度洋的航线上，又是亚洲与大洋洲的交通要冲，被称为“东方十字路口”。此外，大洋海岛中一些条件较好的岛屿可建成跨洋通信线的中继站，如太平洋中部的中途岛、关岛等都已建成太平洋海、空航线和通信线的中继站，在太平洋海、空交通和通讯事业中，甚至军事活动中均起着举足轻重的作用。

4) 海岛风光各具特色，适合于发展旅游。海岛有独特的地貌，其生物、渔村往往与碧蓝的大海交相辉映。它们还可以与海岸景观、海滨山岳景观、海洋生态景观、海底景观、海岛历史文化景观、滨海城市景观相互融合与补充，而增加了旅游资源的综合开发价值，形成了对旅游者具有吸引力的自然存在。同时，中国的海洋文化历史久远，如普陀山岛、庙岛列岛，前者是中国佛教圣地，后者被称为“海上仙山”。

### 1.2.3 海岛的军事价值

大陆国家要获得制海权和海洋制空权，军事基地至关重要。目前军事基地的建立或形成主要有三种方式：一是陆基；二是岛基；三是航母。

陆基是当前控制海洋的主要基地，具有给养充足、保障体系完备、兵力移动便捷等优势。但不足之处也很明显：受作战半径的影响，仅能控制沿岸一定宽度的海域。

航母是浮动的基地，因其机动性强而具有巨大的优越性，既可作为前方的进攻支点，又可成为后方的中转基地，具有快速移动和反应的优点，历来为海洋战略家所重视。但缺点也较明显：一是造价和维护费用昂贵；二是兵力容量相对有限；三是某些狭小航道难以通过。

岛基则是以上两种方式的有益补充，是陆基向海洋纵深的延伸，可以大大扩展海洋控制范围。敌方如要从海洋一侧进攻大陆国家，必定要经过海防前哨——海岛，岛基兵力则是保卫海疆的第一道防线，是杀伤来犯之敌的前沿战场，可减少沿海陆地的战争损失，并争取备战时间，延长海防纵深，从而起到有利于战争发展的作用。

大洋海岛和大陆海岛相结合，可控制大片海域，甚至某整个海域。如在第二次世界大战后，美国将第三舰队驻扎在夏威夷群岛，第七舰队以日本的长崎、横须贺、冲绳，菲律宾的苏比克湾，以及关岛、雅浦岛作为基地，几乎控制了整个太平洋。

此外，美国在 20 世纪 80 年代中期公布了对美国全球战略至关重要的 16 个海上咽喉，除苏伊士运河、巴拿马运河、直布罗陀海峡、黑海海峡等通道十分狭窄，两岸陆地即可控制通道，好望角以南海域和阿拉斯加湾为开阔水域无岛扼守外，其他咽喉要道多数均有岛屿，这些岛屿是封锁周边海上战略通道的堡垒，战略地位极为重要。



## 1.3 生态系统

生态系统 (ecosystem) 指由生物群落与无机环境构成的统一整体。其中, 无机环境是一个生态系统的基础, 其条件的好坏直接决定生态系统的复杂程度和其中生物群落的丰富度; 生物群落反作用于无机环境, 生物群落在生态系统中既在适应环境, 也在改变着周边环境的面貌, 各种基础物质将生物群落与无机环境紧密联系在一起, 而生物群落的演替甚至可以把一片荒凉的裸地变为物种丰富的沃土。

生态系统是生态学领域的一个主要结构和功能单位, 属于生态学研究的最高层次。生态系统各个成分的紧密联系, 这使生态系统成为具有一定功能的有机整体。生态系统的范围可大可小, 相互交错, 最大的生态系统是生物圈; 最为复杂的生态系统是热带雨林生态系统。为了维系自身的稳定, 生态系统需要不断输入能量, 否则就有崩溃的危险。

生态系统类型众多, 一般可分为自然生态系统和人工生态系统。自然生态系统还可进一步分为水域生态系统和陆地生态系统。人工生态系统则可以分为农田、城市等生态系统。全国科学技术名词审定委员会审定公布的生态系统定义 (表 1-1)。

表 1-1 不同学科下生态系统的定义

所属一级学科	所属二级学科	生态系统的定义
大气科学	应用气象学	生物群落及其地理环境相互作用的自然系统, 由无机环境生物的生产者 (绿色植物)、消费者 (草食动物和肉食动物) 以及分解者 (腐生微生物) 四部分组成
地理学	生物地理学	由生物群落和与之相互作用的自然环境以及其中的能量流过程构成的系统
昆虫学	昆虫生态学	在一定空间范围内, 所有生物因子和非生物因子, 通过能量流动和物质循环过程形成彼此关联、相互作用的统一整体
生态学	生态系统生态学	在一定空间范围内, 植物、动物、真菌、微生物群落与其非生命环境, 通过能量流动和物质循环而形成的相互作用、相互依存的动态复合体

生态学的研究发现: 地球系统本身、演化过程及生物圈行为模式都是开放的复杂系统。这类系统有以下共同特征 (成思危, 2000):

- 1) 系统各个单元之间的联系广泛而紧密, 构成一个网络, 因此每一个单元的变化都会受到其他单元变化的影响, 并会引起其他单元的变化。
- 2) 系统具有多层次、多功能的结构, 每一个层次均会成为构筑其上一个层次的单元, 同时也有助于系统的某一功能的实现。
- 3) 系统在发展过程中能够不断学习并对其层次结构与功能进行重组及完善。
- 4) 系统是开放的, 它与环境有密切关系, 能与环境相互作用, 并能不断向更好地适应环境的方向发展变化。

5) 系统是动态的, 它不但处于发展变化之中, 而且系统本身对未来的发展有一定的预测能力。

## 1.3.1 生态系统的组成

### 1.3.1.1 生态系统中的初级生产

初级生产指自养生物即无机营养性生物所进行的有机物的生产。在一般生态系统中, 光合成生物(绿色植物和光合细菌)所进行的有机物生产在数量上占绝大多数, 因此, 一般也多指光合成生物的有机物的生产。因为这是生态系统中第一次能量固定, 所以植物所固定的太阳能或所制造的有机物质称为初级生产量或第一性生产量(primary production)。

在初级生产过程中, 植物固定的能量有一部分被植物自己的呼吸消耗掉, 剩下的可用于植物生长和生殖, 这部分生产量称为净初级生产量(net primary production)。而包括呼吸消耗在内的全部生产量, 称为总初级生产量(gross primary production)。总初级生产量(GP)、呼吸所消耗的能量(R)和净初级生产量(NP)三者之间的关系是:

$$GP = NP + R$$

### 1.3.1.2 生态系统中的次级生产过程

从理论上讲, 净初级生产量可以全部被异养生物所利用, 转化为次级生产量(如动物的肉、蛋、奶、毛皮等), 但实际上, 任何一个生态系统中的净初级生产量都可能流失到这个生态系统以外的地方去。还有很多植物生长在动物所达不到的地方, 因此也无法被利用。总之, 对动物来说, 初级生产量或因得不到、或因不可食、或因动物种群密度低等原因, 总有相当一部分未被利用。即使是被动物吃进体内的植物, 也有一部分通过动物的消化管排出体外。

例如, 蝗虫只能消化它们吃进食物的 30%, 其余 70% 将以粪便形式排出体外, 供腐食动物和分解者利用。食物被消化吸收的程度依动物的种类而大不相同。在被同化的能量中, 有一部分用于动物的呼吸代谢和生命的维持。这一部分能最终将以热的形式消散掉, 剩下的那部分才能用于动物各器官组织的生长和繁殖新的个体, 这就是所说的次级生产量。当一个种群的出生率最高和个体生长速度最快的时候, 也就是这个种群次级生产量最高的时候, 这时往往也是自然界初级生产量最高的时候。但这种重合并不是碰巧发生的, 而是自然选择长期起作用的结果, 因为次级生产量是靠消耗初级生产量而得到的。

### 1.3.1.3 生态系统中的分解过程

生态系统的分解(decomposition)是生命体死之后有机物质的逐步降解过程。分解时, 无机元素从有机物质中释放出来, 称为矿化, 它与光合作用时无机营养元素的固定正好是相反的过程。从能量而言, 分解与光合也是相反的过程, 前者是放能, 后者是贮能。

从名字上讲, 分解作用很简单, 实际上是一个很复杂的过程, 它包括碎裂、异化和淋溶三个过程的综合。碎裂为机械作用阶段, 是由于物理的和生物的作用, 动植物遗体被分解成为颗粒和碎屑; 而有机物质在酶的作用下分解, 从聚合体变成单体, 例如由纤维素变成葡萄糖, 进而成为矿物成分, 称为异化; 淋溶(是指一种由于雨水下渗或人工灌溉, 上方土层中的某



些矿物盐类或有机物质溶解并转移到下方土层中的作用)则是可溶性物质被水所淋洗出,是一种纯物理过程。所以分解者亚系统实际上是一个很复杂的食物网,包括食肉动物、食草动物、寄生生物和少数生产者。

当植物叶还在生长时,微生物已经开始分解作用:活植物体产生各种分泌物、渗出物,还有雨水的淋溶,提供植物叶、根表面微生物区系的丰富营养。枯枝落叶一旦落到地面,就为细菌、放线菌、真菌等微生物所作用。活的动物机体在其生活中也有各种分泌物、脱落物(如蜕皮、掉毛等)和排出的粪便,它们又受各种分解者所作用。分解过程还因许多无脊椎动物的摄食而加速,它们吞食角质、破坏软组织、穿成孔,使微生物更易侵入。

植物的残落物落到土表,从土壤表层的枯枝落叶到下面的矿质层,随着土壤层次的加深,死有机物质不断地为新的分解生物群落所分解着。食碎屑的也包括千足虫、蚯蚓等,它们的活动使叶等有机残物暴露面积增加10余倍。因为这些食碎屑动物的同化效率很低,大量的未经消化吸收的有机物通过消化管而排出,很易为微生物分解者所利用。从这个意义上讲,大部分动物既是消费者,又是分解者。

分解过程是由一系列阶段所组成的,从开始分解后,物理的和生物的复杂性一般随时间进展而增加,分解者生物的多样性也相应增加。这些生物中有些具特异性,只分解某一类物质,另一些无特异性,对整个分解过程起作用。随分解过程的进展,分解速率逐渐降低,待分解的有机物质的多样性也降低,直到最后只有矿物元素存在。各层次的理化条件不同,有机物质的结构和复杂性也有顺序地改变。微生物呼吸率随深度的逐渐降低,反映了被分解资源的相应变化。

### 1.3.2 生态系统组成的特征

一般生态系统组成及内部都具有以下共同特征:

- 1) 生态系统是生态学上的主要结构和功能单位,属于生态学研究的最高层次。
- 2) 生态系统内部具有自我调节能力。生态系统的结构越复杂,物种数目越多,自我调节能力越强。但生态系统的自我调节能力是有限度的,超过了这个限度,调节也就失去了作用。
- 3) 能量流动、物质循环和信息传递是生态系统的三大功能。能量流动是单方向的,物质流动是循环的,信息传递则包括遗传信息、营养信息、化学信息、物理信息和行为信息,构成了信息网。通常物种组成的变化,环境因素的改变和信息系统的破坏是导致自我调节失调的三个主要原因。
- 4) 生态系统是动态系统,要经历从简单到复杂,从不成熟到成熟的发育过程,其早期发育阶段和晚期发育阶段具有不同特性。
- 5) 生态系统中存在大量非线性因素,使得生态系统表现出复杂的演化特征。生态系统的非线性导致其演化具有高度的不确定性,在不确定性条件下确保生态可持续发展是一个核心问题。
- 6) 生态系统相互作用涉及多种时空尺度,在不同层次和尺度上,系统的运行方式和机制存在着很大的差异。