


生命科学专论

导论
(第二版)

恢复生态学

刘任
李凌浩庆海
等编著

 科学出版社
www.sciencep.com

恢复生态学导论

(第二版)

任海 刘庆 李凌浩等 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园（前华南植物研究所）、成都生物研究所和植物研究所三位长期从事恢复生态学研究的研究员的合作成果之一。全书基于恢复生态学的理论研究与实践活动，阐述了恢复生态学概论、恢复生态学的理论基础、退化生态系统、生态系统恢复、各类型（森林、草地、湿地、水体、农田等）退化生态系统的恢复实践、全球变化与生物入侵、生态系统管理与可持续发展、恢复生态学理论和实践的挑战等问题。

本书是在第一版的基础上，结合近年来国际恢复生态学研究进展和我国恢复生态学实践，进行较全面的改写而成的。全书内容丰富、结构合理、资料新颖，具有较强的理论性和实践指导意义。

本书不仅可以作为高等院校生态学、林学、农学、地学、生物学、自然保护、环境保护专业师生及从事相关工作研究人员的参考书，还可以作为政府有关部门制定生态规划和环境保护政策、实施生态恢复工程的科学依据。

图书在版编目(CIP)数据

恢复生态学导论/任海等编著. —2版. —北京: 科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020565-0

I. 恢… II. 任… III. 生态系生态学—研究 IV. Q148

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 182218 号

责任编辑: 霍春雁 彭克里 刘 晶 / 责任校对: 朱光光

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 福瑞来书装

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 4 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2008 年 1 月第 二 版 印张: 18

2008 年 1 月第一次印刷 字数: 412 000

印数: 5 501—8 500

定 价: 48.00 元

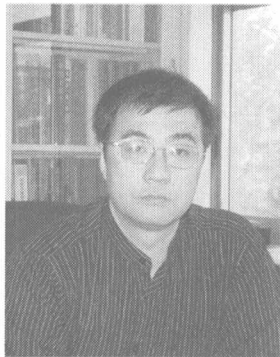
(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)



任海，男，1970年出生，1997年获中国科学院华南植物研究所博士学位。主要从事恢复生态学、景观生态学和生态系统生态学的研究。现为中国科学院华南植物园研究员、博士生导师，园副主任兼党委副书记。曾赴美国和荷兰进修或学习。曾主持或正在主持国家自然科学基金项目、中国科学院各类项目以及广东省和广州市科技攻关项目等12项。出版专著3本，发表论文80余篇，授权发明专利6项。曾获中国科学院科技进步一等奖以及广东省自然科学和科技进步一等奖等成果6项，以及2004年广东省五四青年奖章。指导并培养博士、硕士研究生12名。



刘庆，男，1965年出生于四川，1994年在东北师范大学获博士学位。主要从事恢复生态学与森林生态学研究，现为中国科学院成都生物研究所研究员、博士生导师，生态研究中心主任，四川省学术与技术带头人。中国科学院知识创新工程“西部行动计划”重大项目首席科学家，曾主持国家自然科学基金重点项目、国家科技攻关课题等12项，发表论文80余篇，出版专著6部，培养博士、硕士研究生22名，获省部级二、三等奖2项，获四川省青年科技奖和四川省优秀科技工作者等荣誉称号。



李凌浩，男，1964年出生于内蒙古，1994年在厦门大学获生态学博士学位。研究兴趣为草地生态学、恢复生态学与生物地球化学。中国科学院植物研究所研究员、博士生导师，中国生态系统研究网络（CERN）生物分中心首席科学家。中国科学院知识创新工程“西部行动计划”重大项目和国家重点基础研究发展规划（“973”）——“草地与农牧交错带”项目的执行负责人。共发表论文100余篇，出版专著3部，培养博士、硕士研究生10名。

目 录

1 恢复生态学概论	1
1.1 生态恢复与恢复生态学的定义	1
1.1.1 生态恢复的定义	1
1.1.2 生态系统恢复后的特征	3
1.1.3 恢复生态学的定义	3
1.1.4 生态恢复与其他生态实践	4
1.2 恢复生态学的基本内容	7
1.3 恢复生态学研究简史	7
1.4 恢复生态学的发展趋势	10
主要参考文献	12
2 恢复生态学的理论基础	15
2.1 基础生态学理论	15
2.1.1 限制因子理论	15
2.1.2 群落演替理论	16
2.1.3 生态位理论	18
2.1.4 物种共生理论	19
2.1.5 生态适宜性理论	20
2.1.6 生态系统的结构理论	20
2.1.7 生物多样性理论	21
2.1.8 景观生态学理论	23
2.2 恢复生态学理论	25
2.2.1 人为设计和自我设计理论	25
2.2.2 参考生态系统理论	26
2.2.3 集合规则理论	27
2.2.4 恢复的概念模型	27
2.2.5 适应性恢复	29
2.2.6 护理植物理论	30
主要参考文献	33
3 退化生态系统	36
3.1 退化生态系统的定义	36

3.2	退化生态系统的成因与过程	36
3.3	全球及中国的退化生态系统	37
3.3.1	中国的生态系统类型及其分布	38
3.3.2	各类型生态系统退化与恢复	39
3.3.3	水土流失问题	44
3.3.4	生物多样性问题	45
3.3.5	中国当前的退化生态系统问题	46
3.3.6	生态恢复的地带性问题	47
3.3.7	退化生态系统的研究趋势	48
	主要参考文献	48
4	生态系统恢复	51
4.1	生态恢复的目标与模式	51
4.2	退化生态系统恢复的基本原则	52
4.3	恢复成功标准	53
4.4	生态恢复的方法	54
4.5	生态恢复的时间	56
4.6	生态恢复工程管理指南	57
4.6.1	引言	57
4.6.2	概念规划	57
4.6.3	预备工作	60
4.6.4	规划实施	61
4.6.5	实施工作	62
4.6.6	实施后的工作	62
4.6.7	评价与宣传	62
4.7	生态恢复的监测和评估	63
4.8	生态系统恢复后的特征	64
4.8.1	生物特征	64
4.8.2	非生物特征	67
4.9	中国森林恢复中存在的问题	68
	主要参考文献	69
5	生态恢复实践	72
5.1	草地生态系统恢复重建与适应性管理	72
5.1.1	引言	72
5.1.2	重大科学问题与研究进展	72
5.1.3	草地生态系统恢复重建的生态学基础	76
5.1.4	草地生物多样性的生态系统功能	84

5.1.5 草地生态系统持续管理原则	85
5.1.6 中国北方温带退化草地的恢复重建	88
5.2 退化淡水湿地生态系统的恢复	94
5.2.1 湿地的功能及其退化原因	94
5.2.2 湿地恢复的概念	95
5.2.3 湿地恢复的理论	96
5.2.4 湿地恢复的原则和目标	100
5.2.5 湿地恢复的策略	101
5.2.6 湿地恢复的过程与方法	102
5.2.7 湿地恢复的合理性评价	104
5.3 极度退化的热带季雨林恢复	105
5.3.1 实验地小良定位站概况	105
5.3.2 森林恢复前后的生态效应对比	106
5.3.3 主要启示	110
5.4 南亚热带退化草坡生态系统的自然恢复	111
5.4.1 草坡恢复过程中的植物多样性演变规律	111
5.4.2 草坡恢复过程中的土壤化学成分变化	113
5.4.3 草坡恢复过程中的水文变化特征	114
5.4.4 草坡恢复过程中的草坡生物量和生产力	115
5.4.5 南亚热带草坡恢复的一些问题讨论	115
5.5 亚高山人工针叶林的恢复	121
5.5.1 实验样地概况	121
5.5.2 物种多样性变化	121
5.5.3 群落生物量变化	123
5.5.4 凋落物变化	124
5.5.5 土壤肥力变化	125
5.5.6 亚高山人工针叶林恢复的生态特征	126
5.6 退化农田生态系统的恢复	127
5.6.1 农田生态系统的退化	127
5.6.2 退化农田恢复的程序及措施	129
5.6.3 评估农业生态系统恢复的参考指标	129
5.6.4 复合农林业	130
5.6.5 防止退化的必由之路——可持续性农业	136
5.7 潮间带红树林生态系统的恢复与管理	137
5.7.1 红树林概论	137
5.7.2 实例——深圳湾红树林生态系统	138
5.7.3 红树林生态系统的管理与恢复	141
5.8 海岛生态系统的恢复	144

5.8.1	海岛恢复概论	145
5.8.2	海岛的干扰	145
5.8.3	海岛恢复的限制性因子	146
5.8.4	海岛恢复的利益与过程	147
5.8.5	海岛恢复中的注意事项	147
5.8.6	实例——广东南澳岛的植被恢复	148
5.9	红壤退化及其植被恢复	148
5.9.1	红壤退化的原因与过程	148
5.9.2	红壤退化的防治及恢复	150
5.10	黄土高原植被恢复	152
5.10.1	黄土高原生态系统退化的主要原因	152
5.10.2	恢复策略	152
5.10.3	恢复技术问题	153
5.10.4	植被恢复技术	154
5.11	干旱区的植被恢复	156
5.11.1	干旱区的植被及其恢复概况	156
5.11.2	西北干旱区生态恢复应考虑的问题	157
5.12	喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复	160
5.12.1	喀斯特研究概况	160
5.12.2	石漠化的原因与机制	162
5.12.3	石漠化喀斯特生态系统恢复	164
5.12.4	喀斯特石漠化生态系统恢复研究趋势	166
5.13	废弃矿地的植被恢复	166
5.13.1	矿业废弃地恢复概论	167
5.13.2	矿业废弃地植被恢复与重建方法	168
5.13.3	矿业废弃地植被的恢复与重建模式	170
	主要参考文献	171
6	全球变化与生物入侵	179
6.1	外来种在生态系统恢复中的作用	179
6.1.1	植物外来种与退化生态系统	179
6.1.2	影响植物入侵的因子	182
6.1.3	外来种的风险评价	184
6.1.4	对植物外来种的管理	188
6.2	生物多样性在生态恢复中的作用	190
6.3	全球变化对生态系统的影响	190
6.3.1	全球变暖对生态系统的影响	192
6.3.2	大气臭氧损耗对生态系统的影响	196

6.3.3 二氧化碳浓度增加对生态系统的影响	199
6.3.4 全球变化对生态系统的影响研究存在的问题	201
主要参考文献	201
7 生态系统管理与可持续发展	205
7.1 生态系统管理	205
7.1.1 生态系统管理的定义	205
7.1.2 生态系统管理的发展简史	207
7.1.3 生态系统管理的数据基础	207
7.1.4 生态系统变化的度量	208
7.1.5 生态系统管理的要素	209
7.2 南非的稀树草原生态系统管理	210
7.2.1 稀树草原主要植物种类的形态与生理	210
7.2.2 稀树草原的生态系统评估	211
7.2.3 稀树草原自然演替与退化	212
7.2.4 稀树草原的水土流失	214
7.2.5 火及其对稀树草原的影响	214
7.2.6 灌木入侵并丛生	215
7.2.7 稀树草原管理原则	216
7.3 恢复生态系统的服务功能	217
7.3.1 生态系统服务功能定义	217
7.3.2 生态系统服务功能的研究简史	218
7.3.3 生态系统服务功能的内容	221
7.3.4 天然生态系统与人工生态系统的服务功能比较	226
7.3.5 生态系统服务功能价值的评价	227
7.3.6 生态系统服务的保护策略与途径	228
7.4 生态系统健康	229
7.4.1 生态系统健康的定义及研究简史	229
7.4.2 生态系统在胁迫下的反应	230
7.4.3 生态系统健康的标准	232
7.4.4 生态系统健康的评估与预测	233
7.4.5 生态系统健康的等级理论	234
7.4.6 干扰、生态系统稳定性与生态系统健康	234
7.4.7 生态系统管理、生态系统可持续发展与生态系统健康	235
7.4.8 生态系统健康研究存在的问题	235
7.5 恢复生态学中的人文观	236
7.5.1 沿岸边生态恢复——社会价值的角色	236
7.5.2 生态决策的人文价值观目标	238

7.6 国际恢复生态学会的环境政策	247
7.6.1 生态系统的保护	247
7.6.2 重建	247
7.6.3 生态恢复的采用	248
7.6.4 生态系统管理	248
7.6.5 景观整合	248
7.6.6 文化与可持续发展	248
7.6.7 生物多样性与濒危物种	248
7.6.8 环境恢复的战略价值	248
7.6.9 全球植被重建项目	249
7.7 可持续发展与退化生态系统恢复	249
7.7.1 可持续发展的概念及有关背景	249
7.7.2 中国的可持续发展观	252
7.7.3 可持续发展的思想与恢复生态学	253
7.7.4 可持续发展的理论框架	254
7.7.5 可持续发展研究的发展趋势	255
主要参考文献	256
8 恢复生态学理论和实践的挑战	260
8.1 当前恢复生态学理论研究热点及面临的挑战	260
8.1.1 退化生态系统恢复的评价标准	260
8.1.2 参考生态系统及其构建	261
8.1.3 生物多样性在生态系统功能恢复中的地位和作用	262
8.1.4 生态系统的构建规则	262
8.1.5 群落交错区、生态过渡区和景观边界理论及其在生态恢复中的意义	263
8.1.6 生态系统恢复力及其在生态恢复中的作用	264
8.1.7 生态系统健康与生态完整性	264
8.1.8 新兴生态系统与复合生态系统	265
8.2 恢复生态学实践面临的挑战	267
8.2.1 生态恢复的根本原因与动力	267
8.2.2 极端地区的生态恢复	267
8.2.3 退化生态系统成功恢复的一般特征与评价标准	269
8.2.4 生态恢复的复杂性	270
8.3 面临挑战的恢复生态学	270
主要参考文献	271
第一版后记	275
第二版后记	277

1 恢复生态学概论

自工业革命以来,随着科学技术的进步,人类生产、生活和探险的足迹遍及全球,对自然界的影 响越来越大。目前全球人口已达 57 亿,而且每年仍以 900 多万的速度在增加。在那些人类居住的地方,大部分的自然生态系统被改造为城镇和农田,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。随着人口的持续增长,对自然资源的需求也在增加。能源危机、环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺、气候变化、生物多样性丧失等问题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 年代以后,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、利用和保护机制,为解决人类面临的生态问题和实现可持续发展提供了机遇 (Aber and Jordan, 1985; Cairns, 1995; Daily, 1995; 陈灵芝和陈伟烈, 1995; Dobson, 1997; 任海和彭少麟, 2001; SER, 2004; Temperton et al., 2004; Andel and Aronson, 2005; Falk et al., 2006)。本书对近年来国际上恢复生态学在理论和方法上的进展进行了综述,并结合国内在森林、草地、农田和湿地等方面开展的生态恢复、生态系统健康评价和生态系统管理等方面的进展,预测恢复生态学的可能发展方向。

1.1 生态恢复与恢复生态学的定义

1.1.1 生态恢复的定义

生态系统包括特定区域内的生物 (植物、动物、微生物)、生物赖以生存的环境,以及生物和环境之间的相互作用。生物可按其在生态系统中的作用划分为不同的功能群 (如初级生产者、食草动物、食肉动物、分解者、固氮生物、传粉生物)。生物赖以生存的外界环境可分为土壤或基质、大气、水体、水分、天气、气候、地形地貌、坡向、土壤肥力状况、盐分状况等 (SER, 2004)。生态系统可以是任何大小的空间单位,从只包括几个个体的空间体到有一定结构的、小区域的、在分类学上同质的、基于群落的“湿地生态系统”,甚至还包括基于生物群系的、大规模的“热带雨林生态系统”。

生态恢复是帮助退化、受损或毁坏的生态系统恢复的过程,它是一种旨在启动及加快对生态系统健康、完整性及可持续性进行恢复的主动行为。人类活动能直接或间接导致生态系统退化、受损、变形,甚至完全毁坏,因而要对其进行修复。当然,有时诸如自然灾害、洪涝、风暴和火山喷发等自然灾害同样能引起或加剧生态系统的破坏,使其无法恢复到原来的状态或偏离正常路线。生态恢复就是设法使生态系统恢复到其原来的正常轨迹。因而,原始状态就成为生态恢复设计的理想出发点。由于当前条件存在一定的局限性,生

态恢复时容易促使生态系统沿不同的轨迹演化。因此,要特别注意使系统恢复到原始状态。极度退化生态系统的历史轨迹很难或无法精确界定,但是,一个生态系统大致的演化路线和边界还是可以确定的。这需要整合受损生态系统原来结构、组分和功能方面的知识,参考相邻的一些正常生态系统,调查当地自然环境条件,分析相关的生态、文化和历史信息。融合这些信息就可以更好地设计基于生态数据和预测模型的生态恢复路线及方案,从而使生态系统恢复后更加健康和完整(任海和彭少麟,2001;SER,2004;Temper-ton et al.,2004;Andel and Aronson,2005;Falk et al.,2006)。

生态恢复是一项具有不确定性的、长期的、需要土地和资源投入的任务,因此,在对某个生态系统进行恢复前必须深思熟虑,集思广益比单独确定会更好。不同恢复方案的生态恢复措施不尽相同,这取决于生态系统过去所受干扰的程度和持续时间、改变系统外貌的文化背景、当代的限制因素及机遇等。在最简单的条件下,生态恢复往往包括去除明确的干扰并让生态系统进行自发的修复,例如,去掉一个水坝而让该区域重新回到原来那种水淹的状态。而在比较复杂的情况下,生态恢复可能还要重新引入当地消失的乡土种,尽可能消除那些有害的、入侵性的外来种或控制其发展。一般来说,生态系统的退化有多种因素,而且有时滞,生态系统中原有的组分也大量丢失。有时候,退化生态系统的演化过程一旦受阻,它的自然恢复就会无限期拖延。总体说来,生态恢复着眼于重启或加快这种自然恢复过程,从而使生态系统重回原来的固有轨迹。生态恢复可在不同规模上开展,但实施过程中通常是在有明确界线的景观中,这是为了保证邻近生态系统间的相互作用的适宜性。生态恢复的真正目标是重塑破碎化的生态系统或景观,而不仅仅着眼于单个生态系统。

一旦预期的固有轨迹实现了,受控生态系统可能就不再需要额外的帮助来保证其未来的健康和完整性,这时就可以认为恢复工作完成了。事实上,由于被恢复的生态系统经常受到机会种的入侵,以及各种人类活动、气候变化和不可预见因素的影响,所以必须要有持续的管理措施来缓解这些影响。从这一方面看,被恢复的生态系统和正常的生态系统一样,都需要一定程度的生态系统管理。虽然生态恢复和生态系统管理有较大的联系,而且经常采用相同的方法,但不同的是生态恢复着眼于重启或促进恢复进程,而生态系统管理则是设法保证恢复过程的正常进程。

有些生态系统,尤其是发展中国家的生态系统,还是用传统的、符合当地文化背景的方法来管理。在人文生态系统中,人文活动和生态过程有一定的互惠,人类活动能增进生态系统的健康和可持续性。许多人文生态系统受到人口增长和各种外部压力的损害,也需要恢复。对这些生态系统的恢复往往要同时恢复当地的生态系统管理措施,包括扶持当地居民的尚存文化、语言(这些都是传统文化的活化石)。生态恢复应该鼓励并依赖当地居民的长期努力,以促进成功。当前,传统文化的社会环境正经历着前所未有的全球变化,为了适应这种变化,生态恢复应该接纳甚至鼓励符合当代潮流的合适的新文化措施。与欧洲规范的文化景观不同,北美注重恢复质朴的文化景观。在非洲、亚洲和拉丁美洲,如果不能明确地表明其有助于提高人类生存的生态基础,那生态恢复肯定无法立足。已开展的大量生态恢复表明,在生态恢复行动中文化活动可以与生态过程相互促进。特别是在生态恢复活动的倡导下,文化信仰和活动往往有助于决定和改进生态恢复的具体措施(SER,2004)。

1.1.2 生态系统恢复后的特征

当生态系统拥有充足的生物与非生物资源,在没有外界帮助的情况下能维持系统的正常发展,就可以认为这个系统恢复了。恢复后的生态系统在结构和功能上能自我维持,对正常幅度的干扰和环境压力表现出足够弹性,能与相邻生态系统有生物、非生物流动及文化作用(SER, 2004)。

国际恢复生态学会(SER)列出了9个特征作为判定生态恢复是否完成的标准。当然,并不是符合所有的这些特征才能说明生态恢复成功了,不过用这些特征来证实生态系统是否沿着正确的轨迹向预定或参照的目标发展倒是很有必要。有些特征很容易测定,而另一些只能间接推测。例如,大部分生态系统的功能特征的确定需要大量科学研究,完成这些研究往往会超过生态恢复项目的预算。这9条特征如下:

(1) 生态系统恢复后的特征应该与参照系统类似,而且有适当的群落结构。

(2) 生态系统恢复后有尽可能多的乡土种,在恢复后的文化生态系统中,允许外来驯化种、非入侵性杂草和作物的协同进化种存在。

(3) 生态系统恢复后,维持系统持续演化或稳定所必需的所有功能群都出现了,如果它们没出现,在自然条件下也应该有重新定居的可能性。

(4) 生态系统恢复后的环境应该能够保证那些对维持生态系统稳定或沿正确方向演化起关键作用的物种的繁殖。

(5) 生态系统恢复后在其所处演化阶段的生态功能正常,没有功能失常的征兆。

(6) 生态系统恢复后能较好地融入一个大的景观或生态系统组群中,并通过生物和非生物流动与其他系统相互作用。

(7) 周围景观中对恢复生态系统的健康和完整性构成威胁的潜在因素得到消除或已经减轻到最低程度。

(8) 恢复的生态系统能对正常的、周期性的环境压力保持良好的弹性,从而维持生态系统的完整性。

(9) 与作为参照的生态系统保持相同程度的自我维持力,在现有条件下,恢复生态系统应该具有能够自我维持无限长时间的潜能。

此外,适当的生态恢复目标也可加入上述清单,例如,生态恢复的一个目标就是在适当情况下,恢复生态系统能为社会提供特定的产品或服务。也就是说,恢复生态系统是能为社会提供产品和服务的自然资本。生态恢复的另一个目标是为某些珍稀物种提供栖息地,或者作为某些经过筛选的物种的基因库。生态恢复的其他目标还包括:提供美学的享受,融合各种重要的社会行为(如通过参与生态恢复活动可增加团队的凝聚力)。

1.1.3 恢复生态学的定义

恢复生态学是一门关于生态恢复(ecological restoration)的学科,由于恢复生态学具

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:①美国自然资源委员会(Natural Resource Defense Council)认为使一个生态系统恢复到较接近其受干扰前的状态即为生态恢复(Cairns, 1995);②Jordan (1995)认为使生态系统恢复到先前或历史上(自然的或非自然的)的状态即为生态恢复;③Cairns (1995)认为生态恢复是使受损生态系统的结构和功能恢复到受干扰前状态的过程;④Egan (1996)认为生态恢复是重建某区域历史上存在的植物和动物群落,而且保持生态系统和人类传统文化功能的持续性的过程(Hobbs and Norton, 1996)。

上述四种定义都强调受损的生态系统要恢复到理想的状态,但由于受一些现实条件的限制,如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,这种理想状态不可能达到,于是又有了下述定义。

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以及生态学过程与机制的科学;Bradshaw (1987)认为生态恢复是有关理论的一种“酸性试验”(acid test,或译为严密验证),它研究生态系统自身的性质、受损机制及修复过程(Jordan et al., 1987);Diamond (1987)认为生态恢复就是再造一个自然群落或再造一个自我维持并保持后代持续性的群落;Harper (1987)认为生态恢复是关于组装并试验群落和生态系统如何工作的过程(Jordan et al., 1987)。国际恢复生态学会(SER)先后提出四个定义:①生态恢复是修复被人类损害的原生生态系统的多样性及动态的过程(1994);②生态恢复是维持生态系统健康及更新的过程(1995);③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(1995)(Jackson et al., 1995);④恢复生态学是研究如何修复由于人类活动引起的原生生态系统生物多样性和动态损害的一门学科,其内涵包括帮助恢复和管理原生生态系统的完整性的过程。这种完整性包括生物多样性临界变化范围,生态系统结构和过程、区域和历史内容,可持续发展的文化实践(SER, 2004)。SER最后的定义现广为引用。

1.1.4 生态恢复与其他生态实践

与自然条件下发生的次生演替不同,生态恢复强调人类的主动作用。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(如恢复的价值取向、社会评价、生态环境等)等基本成分(Luken et al., 1990)。生态恢复有时会与相关实践行为相混淆,这些行为包括土地改造、环境修复、环境补偿、生态工程和各种资源管理措施,如烧荒、捕鱼、放牧、农业、林业等。如果这些行为能满足前述的那9条标准,那它们就与生态恢复在某些方面相同,甚至可归为生态恢复。但与其他相关行为不同的是,生态恢复通常需要更多的后续管理来满足所有的这些标准(SER, 2004)。Bradshaw (1987)曾作了一个退化、恢复、重建与改良示意图说明其关系,后来Lugo (1988)又加以修改(图1.1)。

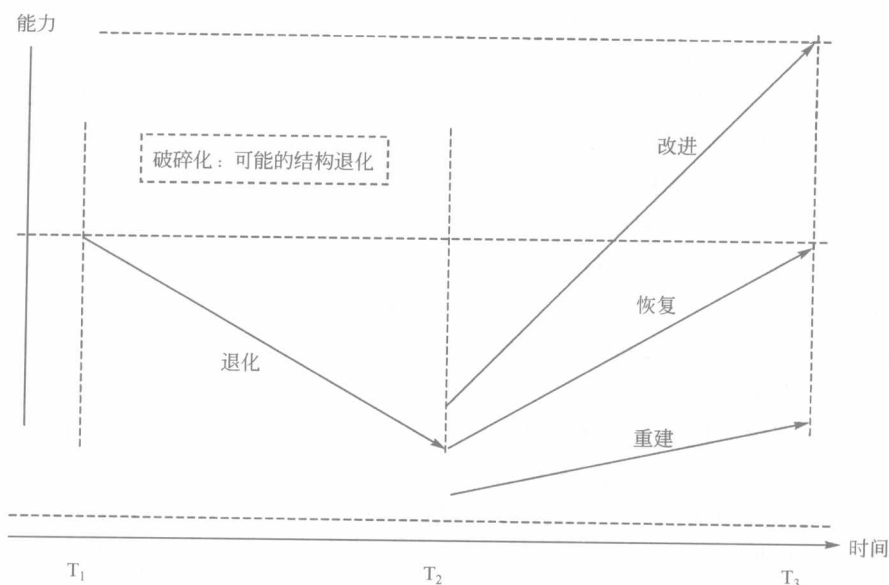


图 1.1 退化和各类恢复 (仿 Lugo, 1988)

生态恢复 (restoration) 指修复那些受到干扰、破坏的东西, 使其尽可能恢复到原来的状态。对那些小而具体的东西来说比较容易恢复, 但对于生态系统或区域生态环境 (尤其是那些尺度较大的生态系统及景观) 的恢复则是件既昂贵又耗时的工作。北美洲对这一术语的应用较为普遍。

生态修复 (rehabilitation) 指根据土地利用计划, 将受干扰和破坏的土地恢复到具有生产力的状态, 确保该土地保持稳定的生产状态, 不再造成环境恶化, 并与周围环境的景观 (艺术欣赏性) 保持一致。与生态恢复有一个相同之处, 那就是它们都关注历史上的或先前存在的生态系统, 并把其作为参照系统或原型, 但是这两种行为的目标和策略各不相同。生态修复强调对生态系统过程、生产力和服务功能的修复; 而生态恢复的目的包括重建先前存在的生物完整性, 包括物种组成和群落结构。然而, 生态恢复中很大一部分工作以前都被当作是生态修复。被干扰的土地在经过生态修复后能够阻止和避免对周围生态系统施加更进一步的负面影响, 同时具有经济效益和美学价值。立足于生态学基础之上的改造可被认为是生态修复, 甚至是生态恢复 (SER, 2004)。

改造 (reclamation) 指将被干扰和破坏的生境恢复到某种状态, 从而使原来定居在其上的物种能够重新定居, 或者与原来物种相似的物种能够定居。改造的主要目标包括固土、提高公共安全性、美化环境, 经常是指把土地改造成在当地条件下有用的类型。这个术语被大多数土壤学家所使用, 尤其在恢复盐碱化的土地为农田的研究领域。此外, 在矿区地表恢复中也常用这个术语。

再植 (revegetation) 指尽量恢复一个生态系统的任何部分和功能, 或者是恢复到其原来的土地利用类型, 如将一开垦的草场从农田恢复到草地。它通常是改造的一个重要组成部分, 可能只需要建立一种或几种植被类型。

缓解 (mitigation) 是指主动对环境破坏进行补偿的一种行为。例如, 在美国, 当要批

准一项可能对湿地造成破坏的私人发展或公共经营计划时，环境补偿通常是必需的。可能有一些缓解被认为是生态恢复。

重塑 (creation) 和重造 (fabrication) 主要用在对完全没有植被的陆地生态系统的补偿中。重造可作为重塑的替代词使用。一个地方植被的消退会给当地的环境带来巨大的变化，因而需要在这个地方重新建立一个与原来不同的生态系统。生态重塑是一种管理工程学或景观建筑学而不是生态恢复学行为，这是因为生态恢复沿预设轨迹来促进生态系统发展，因而允许其通过自发生态过程来延续后续发展，很少需要或不需要人为的干预 (SER, 2004)。

生态工程 (ecological engineering) 是指操纵自然资源、活体生物和外界环境来实现人类特定的目的，解决技术难题的活动。可预见性是所有工程设计必须考虑的，而生态恢复承认那些不一定实用但包含生物多样性、生态系统完整和健康的不可预见的恢复路线和目标。生态工程学的核心原理包括：整体性原理、协调与平衡原理、自生原理、循环再生原理等。其生态学原理包括：生态位原理、生物间互利共生机制原理、限制因子原理、食物链原理、物种多样性原理、生物与环境相互适应并协同进化原理、效益协调统一原理等。

生态设计 (eco-design) 这个概念提出之前，一般表述为环境保护、环境修复和环境净化等，生态设计在北美也称为“为环境而设计 (DEF)”。目前，比较一致的看法是：生态设计是一种在现代科学与社会文化环境下，运用生态学原理和生态技术，实现社会物质生产和社会生活的生态化，从而实现人与自然的和谐发展。生态设计的基本原理包括：尊重自然、整体优先的设计原则；同环境协调，充分利用自然资源的生态设计原理（即强调减量使用、重复使用、回收和循环利用）；发挥自然的生态调节功能与机制设计原理；生态设计的参与性与经济性原则；乡土化、方便性、人文性原则等。生态设计至少包括产业生态设计与技术、生态建筑设计与技术、景观与环境的设计与技术、生态公园与生态旅游设计、公路和矿山边坡生态修复设计、屋顶与墙面绿化生态设计、废弃物处理的生态化技术、复合系统的生态设计、城市园林生态设计、景观生态规划与设计、生态农业设计、区域综合生态设计等。

环境修复 (environment remediation) 是指在 20 世纪 60 年代，美国生态学家 H. T. Odum 提出生态工程概念，受此启发，欧洲一些国家尝试应用研究，并形成所谓生态工程工艺技术，实际属于清洁生产的范畴。随着生态学与环境生态学的发展，美、德等国家在 20 世纪 90 年代提出通过生态系统自组织和自调节能力来修复污染环境的概念，并通过选择特殊植物和微生物，人工辅助建造生态系统来降解污染物，这一技术被称为环境生态修复技术。由于生态系统的复杂性，该技术至今还不成熟，国外的环境生态修复也只是对轻度污染陆地的环境修复，最典型的事例就是通过湿地自调节能力防治污染。这与我国的生态自我修复有很大差别 (王治国, 2003)。

Kloor (2000) 通过对北美森林的恢复研究认为，应该淘汰“恢复”这个词，他的理由是恢复生态学中存在三个问题：一是恢复的目标具有不确定性，即恢复某生态系统历史上哪一个时间阶段的状态无法确定，例如，美国的 Minnesota 历史上曾被冰雪覆盖，是否应恢复为雪地呢？二是“恢复”这个词有静态的含意，因而恢复不仅要试图重复过去的环境，而且要通过管理以维持过去的状态，但事实上自然界是动态的。三是由于气候变化、

关键种缺乏或新种入侵,完全恢复是不可能的。Davis (2000) 进一步指出,根据“恢复”过程中所做的工作,将“恢复”(restoring)换成“生态改进”(ecological enhancement 或 ecological enrichment)会更精确,作为一门学科,恢复生态学应该叫“生态构建”(ecological architecture),并将它作为景观构建(landscape architecture)的一个分支学科。Higgs 等(2000)代表(国际)恢复生态学会对这三点作了逐条反驳,他们认为生态恢复强调了参考条件,而且生态学家已致力于寻找适当的时间和空间参考点;恢复是一个动态的过程,而且恢复包括结构、干扰体系、功能随时间变化;恢复促进了乡土种、群落、生态系统流(能流、物流等)、可持续的文化的繁荣,它应是应用生态学的一个分支。

1.2 恢复生态学的基本内容

经过近 20 年的发展,恢复生态学目前已确认了以森林、草地、水体、湿地等各类退化生态系统为对象,系统研究其结构、功能与动态。恢复的理论主要是生态学理论,恢复的关键过程包括退化过程、扭转退化的方法,确定重建物种、恢复目标及恢复过程中的社会-经济-文化障碍等的重要性,建立相对简单的测定方法并进行相应的统计分析及实验设计,提出相应的技术、监测过程及评估等。

目前,国内外尤其是国际上已出版的几本恢复生态学专著内容各有不同,大多数的专著认为恢复生态学的研究内容包括:①气候土壤等自然因素及其作用与生态系统的响应机制,生物生境重建尤其是乡土植物生境恢复的程序与方法;②土壤恢复、地表固定、表土储藏、重金属污染土地生物修补等;③生态系统的恢复力、生产力、稳定性、多样性和抗逆性;④从先锋到顶级不同级次生态系统发生、发展机制与演替规律研究;⑤生态系统退化过程的动态监测、响应机制及其模拟、预警与预测;⑥人为因素对生态系统的作用过程与机制,生态系统退化的诊断与评价指标体系;⑦植物自然重新定植过程及其调控技术,包括种子库动态及种子库在自然条件下的萌发机制、杂草的生物控制、生物侵入控制、植物对环境的适应、植物存活、生长与竞争;⑧微生物和动物在生态恢复中的作用;⑨植被动态,重建生态系统植被动态、外来植物与乡土植物的竞争关系;⑩生态系统结构、功能优化配置重构理论和生态工程规划、设计及实施技术;⑪生态系统功能(生产力、养分循环)恢复理论与技术;⑫干扰生态系统恢复的生态原理;⑬各类生态系统恢复技术,如干旱、沙漠、湿地、水生、矿区生态系统的重建;⑭典型退化生态系统恢复的优化模式、试验示范与推广;⑮恢复区的生态系统管理技术;⑯恢复生态学的生态学理论基础(任海和彭少麟,2001;Temperton et al., 2004; Andel and Aronson, 2005; Falk et al., 2006)。

1.3 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。