

研究生创新教育系列丛书



恢复生态学导论

(第三版)

任海 刘庆 李凌浩 刘占锋
等 编著

 科学出版社

非外借

恢复生态学导论

(第三版)

任海 刘庆 李凌浩 刘占锋 等 编著

科学出版社

内 容 简 介

本书是在《恢复生态学导论》第一、二版的基础上,结合近年国内外恢复生态学研究与实践进展撰写而成的。全书基于恢复生态学的理论与实践,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、各类型退化生态系统(森林、草地、湿地、水体、农田、废弃矿地等)的恢复实践、生物入侵与生态恢复、全球变化与生态恢复、恢复生态学中的人文观、生态系统管理与生态恢复、生态系统健康与生态恢复、生态系统服务与生态恢复、可持续发展等问题。

本书内容丰富、结构合理、资料新颖,具有较强的理论性和较高的实践指导价值,可作为生态学、林学、农学、地学、生物学以及自然保护和环境保护领域的研究人员、高等院校师生的参考书,也可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. —3版. —北京:科学出版社,2019.3
ISBN 978-7-03-060638-9

I. ①恢… II. ①任… III. ①生态系生态学 IV. ①Q148

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037040号

责任编辑:王静 王海光 田明霞 / 责任校对:严娜
责任印制:吴兆东 / 封面设计:刘新新

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>

北京虎彩文化传播有限公司 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:720×1000 1/16

2008年1月第二版 印张:28

2019年3月第三版 字数:560 000

2019年3月第一次印刷

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

1	恢复生态学概论	1
1.1	生态恢复和恢复生态学的定义	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	4
1.1.3	恢复生态学的定义	5
1.2	恢复生态学的基本内容	11
1.3	恢复生态学研究简史	12
1.4	恢复生态学的发展趋势	17
	主要参考文献	21
2	恢复生态学的理论基础	27
2.1	基础生态学理论	27
2.1.1	限制因子理论	27
2.1.2	群落演替理论	31
2.1.3	生态位理论	36
2.1.4	物种相互作用理论	37
2.1.5	生态适宜性理论	38
2.1.6	生态系统的结构与功能理论	38
2.1.7	生物多样性理论	40
2.1.8	景观生态学理论	41
2.2	恢复生态学的主要理论	47
2.2.1	自我设计理论和设计理论	47
2.2.2	参考生态系统理论	48
2.2.3	集合规则理论	49
2.2.4	恢复的概念模型	51
2.2.5	适应性恢复	54
2.2.6	定居限制	56
2.2.7	护理植物理论	60

2.2.8	植物功能性状与恢复	64
2.2.9	生态记忆	69
	主要参考文献	75
3	退化生态系统	84
3.1	退化生态系统的成因与过程	84
3.2	全球的退化生态系统	86
3.3	中国的退化生态系统	88
3.3.1	中国的生态系统类型及其分布	88
3.3.2	典型生态系统退化与恢复	89
3.3.3	水土流失问题	95
3.3.4	生物多样性问题	96
3.3.5	中国当前的退化生态系统问题	97
3.3.6	生态恢复的地带性问题	98
3.3.7	退化生态的研究趋势	99
	主要参考文献	99
4	生态系统恢复	102
4.1	生态恢复的目标与模式	102
4.2	退化生态系统恢复的基本原则	103
4.3	恢复成功的标准	105
4.4	生态恢复的方法	106
4.5	生态恢复的时间	109
4.6	生态恢复工程管理指南	109
4.6.1	引言	111
4.6.2	概念规划	111
4.6.3	准备工作	114
4.6.4	规划实施	116
4.6.5	实施工作	117
4.6.6	实施后的工作	117
4.6.7	评价与宣传	117
4.6.8	项目规划和管理的 15 条原则	117
4.7	生态恢复的监测和评估	118
4.8	生态系统恢复后的生物与非生物特征	119
4.8.1	生物特征	120

4.8.2	非生物特征	122
4.9	不同尺度与组分的生态恢复	124
4.9.1	生境恢复	124
4.9.2	种群尺度的恢复	125
4.9.3	群落尺度的恢复	126
4.9.4	生态系统尺度的恢复	127
4.9.5	景观尺度的恢复	127
4.9.6	全球变化与人类干扰要纳入生态恢复范畴	128
4.10	生态恢复的社会、经济、文化问题	128
4.11	中国森林恢复中存在的问题	130
	主要参考文献	131
5	生态恢复实践	135
5.1	退化草地生态系统的恢复	135
5.1.1	引言	135
5.1.2	重大科学问题与研究进展	136
5.1.3	草地生态系统恢复重建的生态学基础	141
5.1.4	草地生物多样性的生态系统功能	151
5.1.5	草地生态系统持续管理原则	152
5.1.6	中国北方温带退化草地的恢复重建	155
5.2	退化淡水湿地生态系统的恢复	162
5.2.1	湿地的功能及其退化原因	163
5.2.2	湿地恢复的概念	163
5.2.3	湿地恢复的理论	164
5.2.4	湿地恢复的原则和目标	169
5.2.5	湿地恢复的策略	171
5.2.6	湿地恢复的过程与方法	171
5.2.7	湿地恢复的合理性评价	174
5.3	极度退化的热带季雨林恢复	175
5.3.1	恢复地点的自然概况	176
5.3.2	森林恢复前后的生态效应对比	177
5.3.3	热带季雨林恢复机制	180
5.4	南亚热带退化草坡生态系统的自然恢复	183
5.4.1	草坡恢复过程中的植物多样性演变规律	183

5.4.2	草坡恢复过程中的土壤化学成分变化	185
5.4.3	草坡恢复过程中的水文变化特征	187
5.4.4	草坡恢复过程中的草坡生物量和生产力	188
5.4.5	南亚热带草坡自然恢复的机制	188
5.4.6	植被恢复研究与实践的发展趋势	194
5.5	亚高山人工针叶林的恢复	197
5.5.1	样地概况	197
5.5.2	物种多样性变化	197
5.5.3	群落生物量变化	199
5.5.4	凋落物的变化	200
5.5.5	土壤肥力的变化	202
5.5.6	植物对土壤氮获取策略的变化	202
5.5.7	亚高山人工针叶林恢复的生态特征	205
5.6	退化农田生态系统的恢复	207
5.6.1	农田生态系统的退化	207
5.6.2	退化农田恢复的程序及措施	209
5.6.3	评估农业生态系统恢复的参考指标	209
5.6.4	复合农林业	210
5.6.5	防止退化的必由之路——可持续性农业	217
5.7	红树林生态系统的恢复与管理	219
5.7.1	红树林概论	219
5.7.2	实例——深圳湾红树林生态系统	220
5.7.3	红树林生态系统的管理与恢复要点	222
5.8	海岛生态系统的恢复	228
5.8.1	海岛恢复概论	228
5.8.2	海岛的干扰	229
5.8.3	海岛恢复的限制性因子	230
5.8.4	海岛恢复的利益与过程	231
5.8.5	海岛恢复中的注意事项	231
5.8.6	实例——热带珊瑚岛的植被恢复	232
5.9	红壤退化生态系统及其植被恢复	239
5.9.1	红壤退化的原因与过程	239

5.9.2	红壤退化的防治及恢复	241
5.10	黄土高原植被恢复	243
5.10.1	黄土高原生态系统退化的主要原因	243
5.10.2	恢复策略	244
5.10.3	恢复技术问题	245
5.10.4	植被恢复技术	245
5.11	干旱区的植被恢复	247
5.11.1	干旱区的植被及其恢复概况	247
5.11.2	西北干旱区生态恢复应考虑的问题	249
5.12	喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复	252
5.12.1	喀斯特研究概况	253
5.12.2	石漠化的原因与机制	255
5.12.3	石漠化喀斯特生态系统恢复	257
5.12.4	石漠化喀斯特生态系统恢复研究趋势	259
5.13	矿业废弃地的植被恢复	260
5.13.1	矿业废弃地恢复概论	261
5.13.2	矿业废弃地植被恢复与重建方法	262
5.13.3	矿业废弃地植被恢复与重建模式	266
5.14	珍稀濒危植物种群的生态恢复	268
5.14.1	植物回归的定义及发展历史	269
5.14.2	回归与种群恢复	270
5.14.3	植物回归实践与研究	271
5.14.4	回归工作的展望	272
5.15	生物多样性与生态恢复	273
5.15.1	生物多样性恢复概论	274
5.15.2	主要生态系统的生物多样性恢复	276
5.15.3	生物多样性恢复与生态系统服务	277
5.15.4	中国履行国际《生物多样性公约》情况	278
5.16	土壤生物多样性的生态恢复	279
5.16.1	土壤生物多样性概论	279
5.16.2	土壤生物多样性的生态系统服务功能	282
5.16.3	生态恢复过程中土壤生物多样性的演变规律	284

5.16.4	土壤生物多样性的管理与调控	284
5.16.5	土壤生物多样性恢复	286
	主要参考文献	291
6	生物入侵与生态恢复	310
6.1	植物外来种及其对生态系统的影响	310
6.1.1	乡土种和外来种的概念	310
6.1.2	植物入侵对群落和生态系统的影响	311
6.2	影响植物入侵的因子	314
6.2.1	影响植物入侵的外因	314
6.2.2	影响植物入侵的内因	315
6.3	外来种的入侵模式和风险评价	316
6.3.1	对有关外来种定居方面的特性的评价	317
6.3.2	对有关外来种传播特性的研究	318
6.3.3	对外来种影响的评价	319
6.4	对植物外来种的管理	320
6.4.1	外来种的管理策略	321
6.4.2	阻止植物外来种新的入侵和扩展	321
6.4.3	消除和控制已定居的外来种	322
	主要参考文献	323
7	全球变化与生态恢复	325
7.1	全球变化的表现形式及变化趋势	325
7.1.1	温室效应及全球变暖	326
7.1.2	降水格局改变	327
7.1.3	酸雨及氮沉降加剧	328
7.1.4	生物入侵及生物多样性丧失	329
7.1.5	臭氧层损耗	330
7.2	全球变化对地上植被群落结构与功能的影响	330
7.2.1	全球变化对植物物种多样性的影响	330
7.2.2	全球变化与植物区系分布	333
7.2.3	全球变化与植物传粉	334
7.3	全球变化对地下生物群落结构与功能的影响	334
7.3.1	全球变化对土壤微生物群落结构与功能的影响	335
7.3.2	全球变化对土壤动物群落结构与功能的影响	337

7.3.3	全球变化对植物根系的影响	339
7.4	全球变化对地上-地下生物学互作的影响	341
7.4.1	全球变化对植物地上-地下互作的影响	341
7.4.2	全球变化对植物-土壤生物之间互作的影响	342
7.5	全球变化与恢复生态学的整合研究	344
	主要参考文献	346
8	恢复生态学中的人文观	355
8.1	海岸带生态恢复中的社会价值角色	355
8.2	生态决策的人文价值观目标	358
8.2.1	发展海岸带休闲旅游业	358
8.2.2	提高公共投资	360
8.2.3	增加教育机会	361
8.2.4	保护或改善人类健康	362
8.2.5	保护传统文化和历史的价值	364
8.2.6	提高与市场无关的美学价值	365
8.2.7	改进整体市场活动	365
8.2.8	减少财产损失和提高财产价值	366
8.2.9	提高运输和商务效率	367
8.2.10	改进商业鱼虾类渔场	368
8.3	国际生态恢复学会的环境政策	368
8.3.1	生态系统的保护	368
8.3.2	重建	369
8.3.3	生态恢复的采用	369
8.3.4	生态系统管理	369
8.3.5	景观整合	369
8.3.6	文化与可持续发展	369
8.3.7	生物多样性与濒危物种	370
8.3.8	环境恢复的战略价值	370
8.3.9	全球植被重建项目	370
	主要参考文献	370
9	生态系统管理与生态恢复	372
9.1	生态系统管理	372
9.1.1	生态系统管理的定义及研究内容	372

9.1.2	生态系统管理的发展简史	374
9.1.3	生态系统管理的数据基础	375
9.1.4	生态系统变化的度量	376
9.1.5	生态系统管理的要素及步骤	377
9.2	非洲南部稀树草原生态系统管理	379
9.2.1	稀树草原主要植物种类的形态与生理	380
9.2.2	稀树草原的生态系统评估	381
9.2.3	稀树草原自然演替与退化	381
9.2.4	稀树草原的水土流失	383
9.2.5	火及其对稀树草原的影响	384
9.2.6	灌木入侵及丛生化	385
9.2.7	稀树草原管理原则	386
	主要参考文献	387
10	生态系统健康与生态恢复	389
10.1	生态系统健康的定义及研究简史	389
10.2	生态系统在胁迫下的反应	391
10.2.1	单因子胁迫下的反应	391
10.2.2	多因子胁迫下的反应	391
10.2.3	生态系统对胁迫的反应过程与结果	392
10.3	生态系统健康的标准	392
10.4	生态系统健康的评估与预测	394
10.4.1	活力的测量	394
10.4.2	组织的测量	395
10.4.3	恢复力的测量	395
10.5	生态系统健康的等级理论	395
10.6	干扰、生态系统稳定性与生态系统健康	396
10.7	生态系统管理、生态系统可持续发展与生态系统健康	396
10.8	生态系统健康研究存在的问题	397
	主要参考文献	397
11	生态系统服务与生态恢复	400
11.1	生态系统服务定义	400
11.2	生态系统服务的研究简史	401
11.3	生态系统服务的内容	404

11.3.1	生产生态系统产品	406
11.3.2	产生和维持生物多样性	406
11.3.3	调节气候	407
11.3.4	减缓旱涝灾害	407
11.3.5	维持土壤功能	408
11.3.6	传粉播种	408
11.3.7	有害生物的控制	409
11.3.8	净化环境	409
11.3.9	景观美学与精神文化功能	410
11.4	天然与人工生态系统的服务比较	410
11.5	生态系统服务价值的评价	411
11.5.1	物质量评价	411
11.5.2	价值量评价	412
11.5.3	中国生态系统服务价值	412
11.6	生态系统服务的保护策略与途径	413
11.7	生态恢复中的生态系统服务变化	414
	主要参考文献	415
12	可持续发展	417
12.1	可持续发展的概念及有关背景	417
12.1.1	可持续发展的概念	417
12.1.2	可持续发展的4次重要国际会议	418
12.1.3	可持续发展的4份重要报告	419
12.2	中国的可持续发展观	421
12.3	可持续发展的思想与生态恢复	423
12.4	可持续发展的理论框架	425
12.5	可持续发展研究的发展趋势	426
	主要参考文献	426
	第一版后记	429
	第二版后记	431
	第三版后记	433

1 恢复生态学概论

自工业革命以来，由于人口剧增和科技进步，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（目前至少 12% 的全球陆地覆盖被改变，40% 的被修饰过，100% 的受到影响）。在那些人类群居的地方，大部分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。2018 年全球人口已突破 74.4 亿，而且仍在快速增长，人类对自然资源的需求也在快速增长。能源危机、环境污染、过度开垦、植被破坏、土地退化、生境破碎化、水资源短缺、生物入侵、生物多样性丧失等增加了对自然生态系统的胁迫，再加上全球变化的影响，使得全球生态系统大面积严重退化，它们提供产品和服务功能的能力也受到了极大的损害。这些退化生态系统的存在，会影响人类的可持续发展（马世骏，1990；Chapman，1992；Conacher，1995；刘良梧和龚子同，1994；彭少麟，1997；任海等，2008）。

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 & Jordan，1985；Cairns et al.，1988；Cairns，1995；Daily，1995；Daily et al.，1997；陈灵芝和陈伟烈，1995；Dobson et al.，1997；任海和彭少麟，2001；SER，2004；Temperton et al.，2004；Andel & Aronson，2005，2012；Falk et al.，2006；任海等，2008，2014）。2018 年 6 月，国务院学位委员会生态学科评议组将生态学调整为 7 个二级学科，其中一个为修复生态学，国家自然科学基金委员会学科分类中仍保留了恢复生态学。本书沿用恢复生态学这个学科术语，对近些年来国际上恢复生态学在理论和方法上的进展进行介绍，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，国际上的生态系统健康评价和生态系统管理等方面的进展，预测了恢复生态学可能的发展方向。

1.1 生态恢复和恢复生态学的定义

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、草食动物、肉食动物、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）。生态系统可以是任意大小的空间单位，从只包括几个个体的空间体到有一定结构、小区域、在分类学上同质、基于群落的单位，如“湿地生态系统”，甚至还包括基于生物群系的大规模单位，如“热带雨林生态系统”。

生态恢复（ecological restoration）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（SER, 2004）。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也能引起或加剧对生态系统的破坏，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，且主要是指恢复到其历史状态的轨迹。因而，原始状态就成为生态恢复设计的理想出发点。当前提条件存在一定的局限性时，生态恢复容易促使生态系统沿不同的轨迹演化。因此，要特别注意使生态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有结构、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；Temperton et al., 2004；Andel & Aronson, 2005, 2012；Falk et al., 2006）。

大多数的生态恢复可分为如下 3 类：①完全恢复（complete restoration），这类恢复力争包括历史自然群落的所有特征；②生态系统服务恢复（ecological services restoration），是指基于过程的生态系统结构和功能恢复，常常包括一批乡土种的简单组合，也可能会出现新奇群落（novel community）；③根据经验的恢复（experiential restoration），是指为使人们满意而重造出来的恢复。这 3 类恢复中第 1 类最复杂且最难，一般在极度退化的地点开展，而后两类相对简单且易于成功。这 3 类恢复随时间的发展，也可能会发生相互转换（Howell et al., 2012）。

生态恢复中有基于原理的恢复还是基于标准的恢复之争，国际生态恢复学会长期以来致力于解决这种争论。国际生态恢复学会认为生态恢复是一种保护生物多样性和改进人类福祉的方式，并于 2016 年发布了生态恢复实践的国际标准，该标准包括 6 个重要的内容：①生态恢复实践要以适当的地方乡土参考生态系统为基础，并考虑环境变化；②在形成长期的目标和短期的目标之前要确定目标生态系统所要求的关键特征；③实现恢复最可靠的方法是帮助其自然恢复过程，修补

自然恢复潜力受损的程度；④恢复要寻求“最大努力和最好效果”；⑤成功的恢复要利用所有相关的知识；⑥与所有利益相关者尽早地、真诚地、积极地合作可以获得长期恢复的成功 (McDonald et al., 2016)。现在认为，基于原理的恢复比基于标准的恢复更好，因为基于原理的恢复与生态系统恢复的发展阶段和有效恢复功能是一致的，当然，两者也可协同发挥作用。这是因为一个灵活开放的恢复实践方法需要解决投资、气候变化、人类需求、科学不确定性和当地适当的创新实践等问题。国际生态恢复学会提出的“伦理规范”(code of ethics)与“生态保护区恢复”(ecological restoration in protected area)等以原理为先的方法为生态恢复提供了灵活的和适应性的解决办法。基于(绩效)标准优先的实践方法可能会限制创新且不易达到生态修复效果，如果有明确的原理和科学证据，绩效标准可以为生态恢复提供有价值的参考。原理和标准可以有效地一起运作，但需要仔细协调，一般原理应该先于标准 (Higgs et al., 2018)。

生态恢复是一项不确定性的、长期的、需要土地和资源投入的任务，因为它有目标导向(也称价值导向，包括个人价值、生态价值、文化价值和社会经济价值)和生态过程导向之分，所以，在对某个生态系统进行恢复之前必须深思熟虑，综合多因子考虑比根据单独因子考虑会更好 (Clewell & Aronson, 2013)。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因素。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。总体来说，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，但通常在有明确界线的景观中实施，这是为了保证邻近生态系统间相互作用的适宜性。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。

一旦实现了预期的固有轨迹，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了，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，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，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，尤其是在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的。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。许多人文生态系统由于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，北美洲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的弹性，能与相邻生态系统有生物、非生物及文化交流（SER，2004）。

国际生态恢复学会（SER，2004）列出了如下 9 个特征作为判定生态恢复是否完成的标准：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，如果它们没有出现，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与其他生态系统相互作用；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，恢复生态系统应该有能自我维持无限长时间的潜能。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，这些特征用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。

由此可见，恢复后的生态系统有 3 个基本特征：相似的参考生态系统的生物学集合、维持生物学集合和支持生态系统功能的特征与过程、有潜在的自我可持续性。Shackelford 等（2013）认为恢复后的生态系统具有的 9 个特征可归为物种组成、生态系统功能、生态系统稳定性和景观背景 4 类，在全球变化和人类干扰日趋严重的情况下，还需要考虑第 5 类即人类元素。

Clewell 和 Aronson（2013）指出，恢复的生态系统有直接获得的特征和间接获得的特征。直接获得的特征包括：物种组成（乡土种、代表性的功能群、参考生态系统中共同适应的种类集合，可能包括冗余种和外来种）、群落结构（种群中有足够多度和适当的分布，而且种间关系易于群落构建）、非生物环境（非生物环境可容纳生物的可持续发展）、景观背景（生态系统可整合到一个更大的景观基底中，生态系统间有生物和非生物交流，从其他生态系统中对恢复的生态系统的健康和完整性的威胁减轻）。间接获得的特征有：随生态系统发展有正常的生态系统功能，生物多样性回复到未受干扰前的历史连续性轨迹上，具有促进生态位分化和生境多样性的复杂结构的生态复杂性，有生态系统反馈的自组织过程，受到一定胁迫能够恢复的恢复力，生物多样性会随外环境变化和内部流变化而波动或变化的自我可持续性，能够提供 O₂、吸收 CO₂、减缓温度、提供生境等生物圈支撑功能。这 11 个直接和间接获得的特征的关系如图 1.1 所示。

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（Davis, 1996）。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的学科，由于恢复生态学同时具有理论性和实践性，从不同的角度看生态恢复会有不同的理解，因此关于恢复生态学的定义有很多，其中关于生态恢复的具代表性的定义如下。Bradshaw 和 Chadwick（1980）提出了一个概括性的定义，即所有寻求让受损土地或新造土地恢复到有利用价值的改造和升级活动；但 Diamond（1985）认为地球上没有一个群落能离开人类的直接或间接影响，因而自然群落很难找，生态恢复更难；Berger（1987）认为自然资源