

“十二五”国家重点图书出版规划项目

典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书

半干旱黄土丘陵区退化 生态系统恢复技术与模式

李生宝 蒋 齐 赵世伟 蔡进军 等 著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书

半干旱黄土丘陵区退化 生态系统恢复技术与模式

李生宝 蒋 齐 赵世伟 蔡进军 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在恢复生态学、景观生态学等理论的基础上,全面论述了半干旱黄土丘陵区退化生态系统的土地利用格局优化、水资源高效利用、生态恢复技术模式、林草植被保育、生态产业开发,以及半干旱黄土丘陵区退化生态系统的管理、生态恢复技术的推广、生态恢复综合效益评价等内容。

本书可供生态学、农学、林学、水土保持与荒漠化防治、农林经济管理领域的研究人员、管理工作以及有关高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术与模式 / 李生宝等著. —北京:科学出版社, 2011

(典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-030982-2

I. 半… II. 李… III. 半干旱—黄土区—丘陵地—生态系统—研究
IV. X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 081061 号

责任编辑: 李 敏 张 菊 李娅婷 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 钱玉芬 / 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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 6 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2011 年 6 月第一次印刷 印张: 26 3/4 插页: 2

印数: 1—1 200 字数: 650 000

定价: 96.00 元

如有印装质量问题, 我社负责调换

总 序

我国是世界上生态环境比较脆弱的国家之一，由于气候、地貌等地理条件的影响，形成了西北干旱荒漠区、青藏高原高寒区、黄土高原区、西南岩溶区、西南山地区、西南干热河谷区、北方农牧交错区等不同类型的生态脆弱区。在长期高强度的人类活动影响下，这些区域的生态系统破坏和退化十分严重，导致水土流失、草地沙化、石漠化、泥石流等一系列生态问题，人与自然的矛盾非常突出，许多地区形成了生态退化与经济贫困化的恶性循环，严重制约了区域经济和社会发展，威胁国家生态安全与社会和谐发展。因此，在对我国生态脆弱区基本特征以及生态系统退化机理进行研究的基础上，系统研发生态脆弱区退化生态系统恢复与重建及生态综合治理技术和模式，不仅是我国目前正在实施的天然林保护、退耕还林还草、退牧还草、京津风沙源治理、三江源区综合整治以及石漠化地区综合整治等重大生态工程的需要，更是保障我国广大生态脆弱地区社会经济发展和全国生态安全的迫切需要。

面向国家重大战略需求，科学技术部自“十五”以来组织有关科研单位和高校科研人员，开展了我国典型生态脆弱区退化生态系统恢复重建及生态综合治理研究，开发了生态脆弱区退化生态系统恢复重建与生态综合治理的关键技术和模式，筛选集成了典型退化生态系统类型综合整治技术体系和生态系统可持续管理方法，建立了我国生态脆弱区退化生态系统综合整治的技术应用和推广机制，旨在为促进区域经济开发与生态环境保护的协调发展、提高退化生态系统综合整治成效、推进退化生态系统的恢复和生态脆弱区的生态综合治理提供系统的技术支撑和科学基础。

在过去 10 年中，参与项目的科研人员针对我国青藏高原高寒区、西南岩溶地区、黄土高原区、干旱荒漠区、干热河谷区、西南山地区、北方沙化草地区、典型海岸带区等生态脆弱区退化生态系统恢复和生态综合治理的关键技术、整治模式与产业化机制，开展试验示范，重点开展了以下三个方面的研究。

一是退化生态系统恢复的关键技术与示范。重点针对我国典型生态脆弱区的退化生态系统，开展退化生态系统恢复重建的关键技术研究。主要包括：耐寒/耐高温、耐旱、耐

盐、耐瘠薄植物资源调查、引进、评价、培育和改良技术,极端环境条件下植被恢复关键技术,低效人工林改造技术、外来入侵物种防治技术、虫鼠害及毒杂草生物防治技术,多层次立体植被种植技术和林农果木等多形式配置经营模式、坡地农林复合经营技术,以及受损生态系统的自然修复和人工加速恢复技术。

二是典型生态脆弱区的生态综合治理集成技术与示范。在广泛收集现有生态综合治理技术、进行筛选评价的基础上,针对不同生态脆弱区退化生态系统特征和恢复重建目标以及存在的区域生态问题,研究典型脆弱区的生态综合治理技术集成与模式,并开展试验示范。主要包括:黄土高原地区水土流失防治集成技术,干旱半干旱地区沙漠化防治集成技术,石漠化综合治理集成技术,东北盐碱地综合改良技术,内陆河流域水资源调控机制和水资源高效综合利用技术等。

三是生态脆弱区生态系统管理模式与示范。生态环境脆弱、经济社会发展落后、管理方法不合理是造成我国生态脆弱区生态系统退化的根本原因,生态系统管理方法不当已经或正在导致脆弱生态系统的持续退化。根据生态系统演化规律,结合不同地区社会经济发展特点,开展了生态脆弱区典型生态系统综合管理模式研究与示范。主要包括:高寒草地和典型草原可持续管理模式,可持续农—林—牧系统调控模式,新农村建设与农村生态环境管理模式,生态重建与扶贫式开发模式,全民参与退化生态系统综合整治模式,生态移民与生态环境保护模式。

围绕上述研究目标与内容,在“十五”和“十一五”期间,典型生态脆弱区的生态综合治理和退化生态系统恢复重建研究项目分别设置了 11 个和 15 个研究课题,项目研究单位 81 个,参加研究人员 463 人。经过科研人员 10 年的努力,项目取得了一系列原创性成果:开发了一系列关键技术、技术体系和模式;揭示了我国生态脆弱区的空间格局与形成机制,完成了全国生态脆弱区区划,分析了不同生态脆弱区面临的生态环境问题,提出了生态恢复的目标与策略;评价了具有应用潜力的植物物种 500 多种,开发关键技术数百项,集成了生态恢复技术体系 100 多项,试验和示范了生态恢复模式近百个,建立了 39 个典型退化生态系统恢复与综合整治试验示范区。同时,通过本项目的实施,培养和锻炼了一大批生态环境治理的科技人员,建立了一批生态恢复研究试验示范基地。

为了系统总结项目研究成果,服务于国家与地方生态恢复技术需求,项目专家组组织编撰了《典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书》。本丛书共 16 卷,包括《中国生态脆弱特征及生态恢复对策》、《中国生态区划研究》、《三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理》、《中国半干旱草原的恢复治理与可持续利用》、《半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术与模式》、《黄土丘陵沟壑区生态综合整治技术与模式》、《贵州喀斯特高原山区土地变化研究》、《喀斯特高原石漠化综合治理模式与技术集成》、《广西

岩溶山区石漠化及其综合治理研究》、《重庆岩溶环境与石漠化综合治理研究》、《西南山地退化生态系统评估与恢复重建技术》、《干热河谷退化生态系统典型恢复模式的生态响应与评价》、《基于生态承载力的空间决策支持系统开发与应用：上海市崇明岛案例》、《黄河三角洲退化湿地生态恢复——理论、方法与实践》、《青藏高原土地退化整治技术与模式》、《世界自然遗产地——九寨与黄龙的生态环境与可持续发展》。内容涵盖了我国三江源地区、黄土高原区、青藏高寒区、西南岩溶石漠化区、内蒙古退化草原区、黄河河口退化湿地等典型生态脆弱区退化生态系统的特征、变化趋势、生态恢复目标、关键技术和模式。我们希望通过本丛书的出版全面反映我国在退化生态系统恢复与重建及生态综合治理技术和模式方面的最新成果与进展。

典型生态脆弱区的生态综合治理和典型脆弱区退化生态系统恢复重建研究得到“十五”和“十一五”国家科技支撑计划重点项目的支持。科学技术部中国21世纪议程管理中心负责项目的组织和管理，对本项目的顺利执行和一系列创新成果的取得发挥了重要作用。在项目组织和执行过程中，中国科学院资源环境科学与技术局、青海、新疆、宁夏、甘肃、四川、广西、贵州、云南、上海、重庆、山东、内蒙古、黑龙江、西藏等省、自治区和直辖市科技厅做了大量卓有成效的协调工作。在本丛书出版之际，一并表示衷心的感谢。

科学出版社李敏、张菊编辑在本丛书的组织、编辑等方面做了大量工作，对本丛书的顺利出版发挥了关键作用，借此表示衷心的感谢。

由于本丛书涉及范围广、专业技术领域多，难免存在问题和错误，希望读者不吝指教，以共同促进我国的生态恢复与科技创新。

丛书编委会

2011年5月

序

人口、资源、环境和发展是当今世界面临的重大问题。近几十年来,随着全球经济快速发展和人口急剧膨胀,资源和环境危机日益严峻。在全球生态危机中,因人为活动而导致的区域生态系统退化已成为当前生态领域的中心问题之一。

中国是世界上生态类型最为丰富的国家之一,基本囊括了地球上全部陆地生态系统类型,这些生态系统是我国社会经济持续发展的重要基础。随着国民经济的快速发展,各类生态系统退化形势不容乐观,严重威胁着国家和区域生态安全以及社会经济的可持续发展。

举世瞩目的黄土高原,横跨我国青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南7个省(自治区),历史上曾经分布着以森林草原和草原生态系统为主的原生植被,孕育了灿烂辉煌的华夏文明。但是,长期以来因人口压力和经济活动频繁造成的资源不合理利用与掠夺性开发,导致其生态系统遭受严重破坏,水土流失加剧,从而造成了今天黄土高原沟壑纵横、梁峁起伏的破碎景观。严重退化的生态系统不仅影响着该地区广大农民的生存环境和生活水平,而且制约着区域农业生产力的提高和社会的可持续发展,并进一步对黄河流域中下游地区的发展带来一定的影响。因此,该区域的生态环境及社会发展问题一直受到中央及地方各方面的关注。长期以来,国家在治理黄土高原水土流失和生态建设上投入了大量的人力、物力与财力,老一辈科学家与众多科技工作者也开展了深入、系统和卓有成效的科学研究,为认识、研究与治理黄土高原奠定了坚实的科学理论基础和积累了丰富的实践经验。但是,应清醒地看到,黄土高原的水土流失依然很严重,生态环境依旧脆弱,仍有80%以上的地区生态系统还处在退化阶段,治理任务任重而道远。开展黄土高原的退化生态系统恢复的理论与实践创新,提出受损生态系统的恢复技术与模式,是今后更长一段时间内的重要任务,也是科技工作者的历史使命。

《半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术与模式》是宁夏农林科学院李生宝研究员和他的研究团队在“十一五”国家科技支撑计划课题研究所取得的资料与成果的基础上编写而成的。该书以恢复生态学为理论指导,通过大量的第一手实测资料,结合本领域的最新科学进展,创新性地提出了具有区域特色的半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复理论与方法。以流域为基本单元,从生态系统的健康诊断入手,从土地结构的优化、水土资源的高效配置、林草植被的快速恢复、庭院生态农业建设及生态产业培育等方面着手,集成总结了一系列以流域为单元的退化生态系统恢复技术与模式,并论证了这些技术措施的实践

效果。该书是一部理论与实践紧密结合的学术专著。它不仅为黄土高原的生态建设提供了理论基础和技术模式，而且为黄土高原区域发展的可持续管理提供了科学决策依据，具有很强的可操作性。对于黄土高原广大科技工作者来说，这是一本不可多得的应用基础研究的资料，具有很高的学习和参考价值，对于促进和推动黄土高原的相关研究有重要作用。我相信这本著作会受到相关学科科技同仁及各级政府的欢迎和好评。

黄土高原的生态环境和区域发展问题，尤其是该区域的退化生态系统对农业、农村经济发展和人民生活水平的影响，一直受到科技工作者的重视。该书作者及其科研团队在多年的努力下为我们提供了区域生态建设和农村经济发展的范式，使我们增强了对该地区未来发展前景的信心。值此著作出版之际，我谨表示衷心的祝贺，并期望社会各界人士继续关注黄土高原的生态保护和建设以及区域经济的发展。我深信，在广大科技工作者、各级政府和社会各界的共同努力下，定能将黄土高原建设成山川秀美、生态环境和社会经济持续发展的和谐统一区域。

中国工程院院士

2011年1月27日

前 言

如何保护好现有健康生态系统、恢复和重建退化生态系统,已成为当今世界各国关注的重点,也是生态学领域研究的热点问题之一。据联合国环境规划署调查,人类干扰已导致全球 50 亿 hm^2 以上的土地退化,使 43% 的陆地植被生态系统的服务功能受到影响,大面积的土地被退化生态系统所覆盖。因此,人类面临着如何合理恢复、保护、开发利用资源的严峻挑战。

目前我国各类生态系统的退化现象非常严重,退化生态系统约占国土总面积的 40%,黄土高原则是其中的典型代表。作为我国土壤侵蚀最严重的地区,黄土高原水土流失面积为 $3.4 \times 10^5 \text{km}^2$,多年平均输入黄河的泥沙量达 16 亿 t,使黄河下游河道平均每年淤高 10cm。严重的水土流失极大地阻碍了区域社会经济的可持续发展。因此,以恢复生态学理论为指导,开展黄土高原退化生态系统恢复和重建,对于改善黄土高原生态环境、实现经济社会全面协调可持续发展具有重要意义。

自 20 世纪 50 年代开始,国家在提出根治黄河的同时,逐步开始推进七大流域的水土流失治理,半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复工作开始得到重视。特别是 80 年代以来,在半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复方面,坚持以小流域为单元,山、水、田、林、路统一规划,综合治理,逐步形成了重点地区治理和规模化治理相结合,工程措施、生物措施、农艺措施相结合,生态恢复与产业开发相结合,生态效益与经济效益相结合的生态恢复实践体系。近年来,随着我国经济实力的进一步增强,国家加大了生态恢复的投入力度,提出生态建设是西部大开发的切入点和基础,把黄河中上游水土流失的治理和生态建设列为重点,有力地促进了半干旱黄土丘陵区退化生态系统的恢复进程。

本书是宁夏农林科学院和中国科学院水土保持研究所在“十一五”国家科技支撑计划课题“半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术研究”(2006BAC01A07)支持下完成的主要科研成果,是作者及其研究团队在知识创新思想指导下,立足于半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复的需求,经过长期研究实践总结而得的学术专著。本书在撰写过程中注意了各章节的逻辑关系和模式与技术的从属关系,注重了研究成果的科学性和实用性。全书共分为 12 章,从系统诊断入手,在摸清生态系统退化原因及特点的基础上,以土地结构的优化、有限水资源的高效利用、退化生态系统恢复技术与模式实践、基于水分平衡的防护林配置、人工草地的建设与高效利用、生态产业开发及生态系统综合管理与运行为重点,以生态恢复为主线,总结了人为活动对退化生态系统的影响,并论证了退化生态系统

恢复、可持续发展的对策和关键性科学问题，最终形成了半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复的理论思想与技术指导体系，实现了理论与实践的有机结合，可为半干旱黄土丘陵区生态建设和资源高效利用提供科学指导。

本书由李生宝、蒋齐策划并制订撰写大纲，具体分工为：第1章，李生宝、董立国、蔡进军、马璠；第2章，王月玲、蔡进军、许浩、赵世伟、刘德林；第3章，李壁成、刘德林、陈其春、安韶山；第4章，王月玲、赵世伟、蔡进军、赵勇钢；第5章，潘占兵、董立国、蔡进军、李娜；第6章，许浩、张源润、李娜、余峰；第7章，侯庆春、税军峰、赵勇钢、华娟、张扬；第8章，潘占兵、税军峰、温淑红、李娜；第9章，季波、蒋齐、许畴、温淑红；第10章，蔡进军、赵世伟、安韶山、余峰；第11章，董立国、张源润、潘占兵、赵世伟、李壁成；第12章，董立国、蒋齐、杨永辉、赵世伟。最后由李生宝、蔡进军统稿，李生宝审阅定稿。

在本项成果的研究过程中，宁夏回族自治区科学技术厅、宁夏彭阳县政府、原州区政府、中国21世纪议程中心、中国科学院生态环境研究中心、西北农林科技大学等单位给予了大力支持；高生珠、火勇、杜玉斌、马玉富、王川、黄肖勇、岳彩娟、陈宏亮、艾琦、杜社妮、杨晓洁、王劲松等先后参加了本项成果的研究工作。在本书撰写过程中，还得到了傅伯杰、欧阳志云、刘国华、刘荣光、张新君、张儒等专家和领导的热情指导和帮助，在此，特向他们表示最衷心的感谢！

限于作者的知识面和水平，全面反映我国半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术的区域性及广度和深度尚存在一定的局限性，疏漏及不足之处实难避免，敬请读者批评指正。

著 者

2011年1月

目 录

总序

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 生态学及生态系统	1
1.2 半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复的目的和意义	7
1.3 国内外退化生态系统恢复研究现状	8
1.4 生态恢复研究与实践的发展趋势	15
第2章 半干旱黄土丘陵区生态系统分析及诊断	17
2.1 生态环境状况	17
2.2 自然资源状况	23
2.3 社会经济状况	30
2.4 退化生态系统的演变趋势	32
2.5 生态系统健康评价	46
2.6 生态系统退化的驱动力分析	53
第3章 退化生态系统土地利用格局优化及适宜性评价	57
3.1 黄土高原小流域土地类型分类	57
3.2 半干旱黄土丘陵区小流域土地资源评价	60
3.3 小流域土地利用时空格局演变	67
3.4 黄土丘陵区土地利用的竞争模式	75
3.5 土地利用景观格局优化与生态功能区规划	80
3.6 固原市原州区土地利用格局变化分析	86
第4章 退化生态系统水资源优化配置与高效利用	99
4.1 雨水资源潜力分析	99
4.2 土壤水资源蓄积量	105
4.3 降水后水分移动规律与再分配	113
4.4 雨水资源化工程技术	122
4.5 雨水资源化旱作农艺技术	130
第5章 退化生态系统恢复技术模式	138
5.1 退化荒山生态系统恢复模式	138
5.2 退化农地人工林草建设模式	153
5.3 退化耕地“减一增一提”地力恢复模式	158

5.4 侵蚀沟立体综合治理模式	171
第6章 半干旱黄土丘陵区防护林体系建设技术及其生态效应	175
6.1 半干旱黄土丘陵区立地类型划分原则与标准	175
6.2 半干旱黄土丘陵区立地分类	178
6.3 半干旱黄土丘陵区造林树种选择	180
6.4 半干旱黄土丘陵区抗旱造林技术	182
6.5 水土保持林体系的林分配置模式	188
6.6 水土保持林体系植物-土壤水分关系	193
6.7 水土保持林体系生态效益	201
第7章 退化生态系统植被恢复与保育	211
7.1 植被恢复的目标	212
7.2 植被恢复的途径	212
7.3 植被恢复的生态条件	213
7.4 乡土树草种在植被恢复中的地位	216
7.5 人工恢复植被技术	217
7.6 人工植被恢复的效果	221
7.7 自然植被恢复	244
7.8 值得注意的几个问题	247
第8章 人工草地的建设及高效可持续利用	249
8.1 人工草地建设技术	249
8.2 旱作苜蓿地土壤水分与物理性质	254
8.3 旱作苜蓿地土壤养分与土壤微生物	265
8.4 人工草地高效可持续利用	276
8.5 人工草地的经济效益	282
第9章 半干旱黄土丘陵区生态产业开发及效益	285
9.1 发展生态产业的目的及意义	285
9.2 生态产业发展现状及存在问题	286
9.3 农业生态优势产业的选择与发展方向	288
9.4 生态产业的集成优化	294
9.5 生态产业发展的支撑技术	304
9.6 生态产业开发示范的效益	319
第10章 庭院高效生态农业模式及效益	325
10.1 庭院生态农业的概念、内涵与发展前景	325
10.2 庭院经营结构类型划分	326
10.3 退耕还林还草工程对家庭经营结构的影响	332
10.4 家庭经营结构的能流、价值流变化	347
10.5 庭院高效生态农业模式	354
10.6 庭院高效生态农业建设的关键技术	357

10.7 庭院高效生态农业模式效益分析	360
第11章 半干旱黄土丘陵区退化生态系统管理与运行	366
11.1 生态系统管理的概念	366
11.2 生态系统管理框架构建与分析	367
11.3 多元化主体参与的生态系统管理运行模式	368
11.4 生态系统管理监测和评价	375
11.5 生态系统管理的思考与对策	380
第12章 半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复试验示范区建设综合效益评价	384
12.1 中庄试验示范区建设效果评价	384
12.2 河川试验示范区建设效果评价	392
参考文献	400

第1章 绪 论

1.1 生态学及生态系统

1.1.1 生态学及其基本原理

德国动物学家赫克尔 (E. Haeckel) 在 1866 年首次给出了生态学 (ecology) 的定义, 即生态学是研究生物与环境之间相互关系的科学。美国生态学家奥德姆 (E. P. Odum) 将生态学定义为“生态学是研究生态系统的结构和功能的科学”。然而这个定义在逻辑上不够完备, 因为“生态系统”是基于“生态学”的概念和理念才提出的新概念。我国著名生态学家马世骏认为: “生态学是研究生命系统和环境系统相互关系的科学”, 该定义与赫克尔的定义较为接近, 且更为全面和合理。目前, 学界较为通行的生态学定义是“生态学是研究生物与环境之间相互关系的科学, 其实质是研究生命系统与非生命系统之间的物质循环、能量流动和信息传递的规律与调控机制”。

生态学以生物个体、种群、群落、生态系统直至生物圈等不同的系统层次为研究对象, 分别为从个体生态学到生态系统生态学等不同层次, 然而不论研究的系统层次高低, 生态学都遵循着一些最基本的原理。生态学的基本原理可认为是物质、能量、信息等要素通过生物, 在时空格局上的最优配置的原理, 也可以认为是生物与环境之间为达到最为有序的状态而产生和遵循的一系列原则关系, 生态学的基本原理大致有以下四个方面。

(1) 生物与环境的相互作用关系

生物为了生存与繁衍, 一方面从环境中摄取物质与能量, 另一方面通过生理代谢过程和死后残体分解, 使环境物质得到补充。环境和生物相互影响: 环境影响和限制着生物的生存、繁衍和进化, 反之生物又强有力地改造着环境, 亿万年来使地球表面发生了显著变化。生物是环境的产物、占有者和主导者, 又是环境的一个组成部分, 两者处于不断地相互影响和相互协调的过程中, 正是这种相互影响、改造的过程造就了地球上种类繁多的生物以及绚丽多彩的自然生态景观。

(2) 生物之间的食物营养关系

自然界同时存在着多种生物, 它们之间存在着极为复杂的关系, 但生物之间最主要的关系是食与被食的关系, 正是通过直接的食物营养关系, 物质和能量才在生态系统中循环和流动。从植物到顶级食肉动物一环扣一环构成食物链, 食物链之间相互交织连接形成食物网。食物链上任何一个环节发生变化, 都必然影响到相邻的环节, 甚至牵动整个食物网。生物之间的这种食物营养关系还包含一定的数量与能量的比例关系, 从植物的数量逐

级上升到顶级肉食动物的数量,近似一个基底大、顶端小的金字塔结构,这就是生态学中的“生态金字塔”规律。

(3) 物质和能量的代谢关系

绿色植物吸收水、二氧化碳及其他营养元素,通过光合作用,将太阳能转化为有机物中的化学能,供自身生长和动物食用,在其生长发育过程中,还不断释放代谢气体,其凋落物直接返回土壤;动物采食植物,有机物和化学能的一小部分用于其生长发育,其余大部分代谢物与能量返回环境;微生物对动植物归还的代谢产物进行分解,分解后的简单物质供植物再度吸收利用。这种周而复始的物质能量代谢,使自然生态系统成为具有自动调节功能的动态系统。这种由生产者、消费者和分解者所组成的生产—消费—分解的代谢过程,是生态系统的基本功能,也是生态学的基本原理之一。

(4) 系统的自组织协调关系

生物和环境之间,生物与生物之间经过长期的相互作用,系统产生突变,在远离热力学平衡态的位置建立了相对稳定的自组织结构,即达到生态平衡。平衡的生态系统是更为宏大的生命机体,是物质世界进化的高级形态,也是人类生存繁衍的必要条件,然而生态平衡是动态的、相对的、有条件的,不同的植物、动物、微生物之间存在着纷繁复杂的竞争、共生、寄生、采食、捕食等关系,生物与环境之间也存在着复杂的物质、能量、信息动态过程,系统中某些组分的改变具有牵一发而动全身的后果。

1.1.2 生态系统及其特征

生态系统(ecosystem)是指一定尺度区域内的生物以及生物与周围无机环境之间通过物质、能量以及信息的循环流动而构成的统一整体。无机环境主要包括阳光、空气、水、岩石等生物体的物质基础和能量来源;生物则包括以绿色植物为主的生产者、以各种动物为主的消费者,还有以各种微生物为主的分解者构成的不同群落。生态系统的规模和范围差异巨大,一段倒朽的枯木可以构成一个生态系统,而整片森林也构成一个生态系统;一片池塘是一个生态系统,整个大洋也是一个生态系统;不同大小和类型的生态系统往往相互交织镶嵌,构成多样的景观。生态系统是开放的动态系统,无时无刻不在与外界进行着物质和能量的交换和循环,在这种运动过程进行的同时,生态系统拥有了一定的结构和功能。生态系统具备耗散结构特征,系统内的要素通过非线性的相互作用使系统在远离热力学平衡态的状态下达到宏观上有序的动态稳定,即生态平衡。处于平衡和健康状态的生态系统一般拥有较为丰富的生物多样性、发达的物质和能量循环功能,以及较高的生产力,系统的各种服务功能对于人类的生存和发展有重要意义。

地球上每一个生态系统都有一定的生物群落与其生境相结合,进行着物质、能量和物种的循环和交流。在一定条件下,系统内各要素的结构与功能处于动态的稳定状态。就生态系统具有的特征,蔡晓明(2000)作了较全面的总结,生态系统都具有下列共同特征。

(1) 以生物为主体的整体性特征

生态系统都与一定空间范围相联系,并且以生物为主体。生物多样性与生命支持系统的物理状况有关。一般而言,一个具有复杂垂直结构的环境能维持更多的物种,如森林生

态系统比草原生态系统包含了更多的物种,同样,热带生态系统要比温带或寒带生态系统展示出更大的多样性。系统各要素动态稳定的联系保证了系统的整体性。

(2) 复杂而有序的层级系统性特征

自然界中生物的多样性和相互关系的复杂性,决定了生态系统是一个极为复杂的、多要素、多变量构成的层级系统。从个体、种群、群落、生态系统,再到景观、生物圈,生态系统的层级结构依次展现。较低级系统的循环运动过程速度较快,而较高的层级系统以大尺度、低频率和缓慢速度为特征,它们被更大系统、更缓慢作用所控制。

(3) 开放的、远离平衡态的热力学系统性特征

任何一个自然生态系统都是开放的,有输入和输出,输入的变化总会引起输出的变化;反过来,输出结果又作为新的输入对系统产生作用,这称之为反馈。反馈有正负之分,正、负反馈作用的共同存在使生态系统发展并在一定范围内保持稳定。任何一个相对稳定的生态系统都是远离热力学平衡态的有序结构。当生态系统变得更大更复杂时,就需要更多的可用能量去维持,经历着无序—有序—新的无序—新的有序的发展过程。

(4) 具有明确功能服务性的特征

生态系统中所有的生物和无机环境不是杂乱无章存在的,而是形成了有规律的结构和功能,这是生态系统的普遍特征。结构是功能的基础,功能是结构的表现;结构是内在的、相对稳定的,功能是外在的、多变的。生态系统功能的另一重要特征是为人类提供生态系统服务。所有生态系统都在不断地进行能量流动和物质循环,在此过程中生态系统直接或间接地为人类生产生活提供了有价值的有形或无形产品,即生态系统服务功能。

(5) 具有自我维持与自我调控功能的特征

自然生态系统中的生物与其环境条件经过长期进化,逐渐建立了相互协调的关系。生态系统自动调控机能主要表现在同种生物内部、异种生物之间以及生物与环境之间三方面。生物不断地从生境中摄取所需的物质,生境亦需要对其输出进行及时的补偿。生态系统对于一定强度阈值之下的周期性或随机性的干扰具有抵抗和恢复能力。生态系统调控功能主要依靠负反馈作用,通过正、负反馈相互作用和转化,保证系统达到一定的稳态。

(6) 具有动态性的特征

生态系统也和自然界许多事物一样,具有发生、形成和发展的演替过程。生态系统可分为幼期、成长期和成熟期,表现出鲜明的历史性特点,生态系统具有自身特有的整体演化规律。任何一个自然生态系统都是经过长期发展形成的。生态系统这一特性为预测未来提供了重要的科学依据。

(7) 具有健康和可持续发展的特性

自然生态系统在数十亿年发展中支持着全球的生命系统,也为人类提供了经济发展的物质基础和良好的生存环境。然而长期以来掠夺式的开采方式给生态系统健康造成极大的威胁。可持续发展观要求人们转变思想,对生态系统加强管理,保持生态系统健康和可持续发展特性。

1.1.3 退化生态系统

生态系统处于平衡状态是相对的、有条件的,而或多或少地偏离平衡状态才是绝对

的。除系统的随机涨落外,使生态系统偏离平衡状态的主要原因是外界的干扰。如洪水、台风、火灾、病虫害等干扰会改变系统的某些组成部分,破坏系统原有结构,进而使系统状态朝远离平衡状态的方向发生偏移。当干扰强度在生态系统能够承受的阈值之下,系统自身具有的抗干扰和恢复能力将发挥作用,使系统重新回归平衡状态附近;当然,新的系统平衡状态与原有的平衡状态是有所不同的。当干扰强度超过阈值,生态系统的结构遭到极大破坏之后,系统的物质和能量循环运动受阻,系统会朝物种和群落较少、结构和功能简单、生产力低下的状态发展,成为退化的生态系统。生态系统一旦发生退化,很难在短时期内通过自身的调节能力恢复到原有平衡状态附近。生态系统的退化不仅使其对人类的服务功能降低,而且往往对人类的生产生活造成严重影响。引起生态系统退化的干扰因素包含自然的和人为的两大类,而人为干扰是居于首位的驱动力,人类所具有的技术能力可以使人类有意识或无意地对生态系统产生颠覆性的干扰和破坏。例如,对森林的过度砍伐、对草原的过度放牧而造成的各种类型的土地荒漠化,因水体污染和富营养化而造成的湖泊湿地生态系统的解体等。

1.1.3.1 生态系统退化的原因

生态系统发生退化的原因是多方面的,但总结起来,无非是系统原有的结构遭到破坏,致使系统功能失衡。不同类型的生态系统在不同的自然历史背景中,其遭受的结构破坏是不尽相同的,系统的某一组分可能比其他部分更容易遭受破坏,有的生态系统首先是无机环境遭到破坏,有的则是生物组分最先受到影响。不同的退化过程和退化历史形成了各种状态的退化生态系统,也形成了各种恢复需求及与之相关的恢复方法。下面就一些生态系统发生退化的原因举例作简要介绍。

(1) 生态系统由于无机环境的破坏而退化

一个地区的大气、阳光等环境要素一般是稳定的,无机环境的破坏主要发生在水土资源方面。例如,一些荒漠中的绿洲生态系统由于人口膨胀,用水量急剧增加,导致水资源枯竭,进而引发绿洲生态系统的退化。北非、西亚、中亚等地的这类绿洲退化一直从历史上延续到今天。又如黄土高原由于水土流失而损失了肥沃的表土和雨水资源,使植被生长的条件遭到破坏,引起植被和生态系统的退化。

就水生生态系统而言,无机环境的破坏最值得关注的是水体富营养化的问题。农业化学物质的流失和城市污水的排放造成下游水体氮、磷元素含量增加,激发藻类疯长,消耗水中氧气,使鱼虾等水生生物缺氧而死,水生生态系统崩溃。

(2) 生态系统由于生物组分的破坏而退化

植物群落的结构极大地制约着生态系统的结构,从而直接影响着系统的功能,并影响和限制着动物、微生物群落等功能群的生存与发展。因此,植物及其相关生物多样性的不良变化是陆地生态系统退化的关键。陆地植被被破坏的原因之一是乱砍滥伐,这是对植被最为直接的破坏;另外,外来物种入侵也是植被破坏的重要原因。外来物种在本地如果没有遇到与其相克的物种,就会迅速繁殖蔓延,挤占本土物种的生存空间。

动物种群的丧失也是生态系统退化的基本原因。一个生态系统如果没有消费者功能群,物质的循环和能量流动就会十分缓慢,最终造成系统结构的简单化。如果一个生态系