

恢复生态学原理与应用

HUIFUSHENGTAIXUEYUANLIYUYINGYONG

高等学校“十二五”规划教材



市政与环境工程系列研究生教材

主编 魏志刚 李永峰 张百慧 段怡彤
主审 张颖

 哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材
市政与环境工程系列研究生教材

恢复生态学原理与应用

主 编 魏志刚 李永峰 张百慧 段怡彤
主 审 张 颖

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书可分为两大部分:第一部分,基础介绍,1~11章,主要介绍恢复生态学的研究进展、基础概念、基本原理;生态系统退化的成因与分类,生态系统结构与功能的恢复过程,植被恢复误区与方法,污染生态效应的发生机制与防治,生态恢复及其监测的研究技术,生态系统健康评价;全球变化、可持续发展、低碳经济与退化生态系统的恢复的关系。第二部分,专项介绍,12~18章,介绍森林、草地、荒漠、农田、湿地、农牧、矿山诸多生态系统退化的恢复途径与方法。

本书可作为生态学、环境科学、环境工程等专业的研究生教材和相关专业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

恢复生态学原理与应用. 魏志刚等主编.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.5

ISBN 978-7-5603-3601-5

I. ①恢… II. ①魏… III. ①生态系生态学-研究

IV. ①Q148

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 111968 号

策划编辑 王桂芝 贾学斌

责任编辑 苗金英

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 430 千字

版 次 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3601-5

定 价 36.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

恢复生态学形成于20世纪80年代,是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、区域和历史情况以及可持续的社会实践等诸多方面。由于生态系统具有复杂性,退化生态系统恢复的方向和恢复时间具有不确定性,因此其恢复的机理可用临界阈值理论进行解释。本书第1、3、12、13、14、15、16、17、18章介绍了恢复生态学的一些基础内容、相关理论以及部分实际应用情况;第2章通过介绍退化生态系统内部结构和功能变化的外在表现,阐述了退化生态系统的类型、特征和成因;第4章从气候变化、植被和微生物对环境的作用以及景观格局驱动理论等方面阐述退化生态系统的自然恢复机制;第5章从生态系统结构入手,介绍了群落、食物网、景观生态系统的恢复重建过程;第6章通过人们熟知的植被恢复,介绍其恢复的误区和天然植被的恢复技术与方法;第7章在介绍环境污染与生态效应的基础上着重介绍土壤重金属和农药污染系统的生态效应;第9章阐述了生态系统管理的首要前提——生态系统的恢复状态、生态恢复程度以及生态系统健康状况,为生态系统可持续健康发展提供决策支持;恢复生态学由于发展历史较短,研究的深度、广度和系统性有限,不仅未形成自己的理论体系,而且没有提出自己的方法论;第10章参照相关学科已有研究方法,对生态恢复研究方法作了一些探讨;第8、11章探讨了全球变化、可持续发展、低碳经济等热门话题与恢复生态学的内在关系。

本书的出版得到东北林业大学主持的“溪水林场生态公园的生态规划与建设(No. 43209029)”项目和环保部公益性科研项目(200909043)的技术成果和资金的支持,特此感谢!东北林业大学、黑龙江省环境保护厅依兰监测站、中国城市建设研究院、上海工程技术大学、东北农业大学的专家们编撰。使用本教材的学校可免费获取电子课件,需要者可与李永峰教授联系(mr_lyf@163.com)。由于编者业务水平和编写经验有限,书中难免存在不足之处,希望有关专家、老师及同学们随时提出宝贵意见,使之更臻完善。

编 者

2012年6月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 恢复生态学的概念与研究任务	1
1.2 恢复生态学的形成与发展	5
1.3 生态恢复与社会经济发展	10
第2章 生态系统退化	12
2.1 退化生态系统分类	12
2.2 生态系统退化特征	18
2.3 生态系统退化的成因	26
第3章 生态恢复的基础理论	33
3.1 生态恢复的基本要素	33
3.2 生态系统演替理论	37
3.3 退化生态系统的脆弱理论	38
3.4 生态系统管理理论	42
第4章 退化生态系统的自然恢复和人工恢复	46
4.1 气候与植被恢复	46
4.2 生物自我修复	57
4.3 植物与微生物的修复机理	60
4.4 景观驱动机理	67
4.5 人工生态修复的物理、化学机理	73
第5章 生态系统结构与功能的恢复过程	78
5.1 群落结构、食物网链的恢复	78
5.2 景观结构的修复过程	92
5.3 能量流动、养分和水分的恢复过程	94
5.4 生态系统服务功能的恢复过程	104
第6章 植被恢复	112
6.1 植被恢复的误区	112
6.2 植被恢复的基本原则	118
6.3 天然植被的功能、效益和价值	128
6.4 天然植被恢复技术	135

6.5	基于流域综合治理的水体生态修复	136
第7章	环境污染与生态恢复	145
7.1	环境污染与污染的生态效应	145
7.2	污染生态效应的发生机制与防治	148
7.3	土壤重金属污染及其生态恢复	151
7.4	农药污染及其生态恢复	155
第8章	全球变化与生态恢复	161
8.1	全球变化及其内容	161
8.2	全球变化产生的影响	164
8.3	全球变化的控制与生态恢复	169
第9章	生态恢复与生态系统健康	172
9.1	生态系统健康的定义及研究简介	172
9.2	生态系统健康的标准与评价	173
9.3	生态系统健康的等级理论	176
9.4	生态系统健康与恢复生态学等学科的关系	177
9.5	农田、草地生态系统健康评价	177
9.6	森林、湿地、水体生态系统健康评价	182
第10章	生态恢复及其监测的研究技术	188
10.1	直接判别生态恢复	188
10.2	对比法研究生态恢复	196
10.3	定量法研究生态恢复	206
10.4	观测地的选择	210
10.5	生态恢复监测指标体系	215
第11章	可持续发展、低碳经济与退化生态系统的恢复	218
11.1	可持续发展与低碳经济的概念	218
11.2	可持续发展的思想与恢复生态学	221
11.3	低碳社会生活与恢复生态学	224
第12章	森林生态系统恢复重建	227
12.1	森林生态系统的概念与功能	227
12.2	森林生态系统退化特征和成因分析	228
12.3	森林生态系统恢复的途径与方法	232
12.4	森林生态系统恢复重建的实例分析	233
第13章	草地生态系统恢复重建	236
13.1	草地生态系统的概念及其功能	236
13.2	草地生态系统的退化特和成因分析	237
13.3	草地生态系统恢复与重建的主要途径与方法	238
13.4	草地生态系统恢复重建的实例分析	240

第 14 章 荒漠生态系统恢复重建	242
14.1 荒漠生态系统的概念及荒漠化的危害	242
14.2 荒漠化生态系统的退化特征和成因分析	242
14.3 退化荒漠生态系统的恢复途径与方法	245
14.4 荒漠生态系统恢复重建的实例分析	247
第 15 章 农田生态系统恢复重建	248
15.1 农田生态系统概述	248
15.2 农田生态系统的退化特征和成因分析	249
15.3 农田生态系统恢复的途径与方法	251
15.4 农田生态系统恢复实例——盐渍化农田综合治理实例	253
第 16 章 湿地生态系统恢复重建	255
16.1 湿地的定义	255
16.2 湿地生态系统的退化特征、原因	256
16.3 湿地生态系统恢复的途径和方法	259
16.4 湿地生态系统恢复实例——佛罗里达沼泽湿地恢复项目	260
第 17 章 农牧生态系统恢复重建	262
17.1 农牧交错复合生态系统的退化特征和成因分析	262
17.2 农牧交错复合生态系统退化现状	263
17.3 农牧交错生态系统退化的成因	264
17.4 农牧交错生态系统修复的途径与措施	264
17.5 农牧交错生态系统恢复重建的案例分析——宁夏盐池退化生态系统 综合治理研究	266
第 18 章 矿山生态系统恢复重建	267
18.1 矿山废弃地的特征和成因	267
18.2 矿山废弃地生态修复的途径和方法	269
18.3 矿山废弃地恢复实例——南方高岭土采矿废弃地生态修复	272
参考文献	274

第 1 章 绪 论

恢复生态学起源于 100 多年前对山地、草原、森林和野生生物等自然资源的管理研究,形成于 20 世纪 80 年代。它是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、区域和历史情况以及可持续的社会实践等诸多方面。恢复生态学的研究对象是在自然或人为干扰下形成的偏离自然状态的退化生态系统。生态恢复的目标包括恢复退化生态系统的结构、功能、动态平衡和公共效益,其长期目标是通过恢复与保护相结合,实现生态系统的可持续发展。恢复生态学的理论与方法较多,它们均源于生态学等相关学科。由于生态系统具有复杂性,退化生态系统恢复的方向和恢复时间具有不确定性,因此其恢复的机理可用临界阈值理论进行解释。本章将介绍恢复生态学的一些相关理论与部分实际应用情况。

1.1 恢复生态学的概念与研究任务

1.1.1 恢复生态学的概念与特点

1. 恢复生态学的定义

恢复生态学(restoration ecology)是 20 世纪 80 年代迅速发展起来的现代生态科学的分支学科。作为科学术语提出恢复生态学一词的是美国学者 Aber 和 Jordan(1985),但把生态恢复作为一种新思想并进行试验的却是美国人 Leppold(1935)。他在麦迪逊的一块废弃矿地上种植高秆草,同时在废弃矿地上进行恢复工作,使人们认识到把受损的废弃矿地恢复为原来的草原、森林在理论上是可能的并且在技术上可行。

恢复生态学是一门关于生态恢复(ecological restoration)的学科,由于恢复生态学具有理论性和实践性,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,其中具有代表性的如下所述:

(1) 受损生态系统的结构和功能恢复到受干扰前状态的过程,即重建该系统干扰前的结构与功能及有关的物理、化学和生物学特征(Cairns,1995)。

(2) 有意识地改造一个地点,建成一个确定的、本土的、历史的生态系统的过程,这个过程的目的是竭力仿效生态系统的结构、功能、多样性和动态(Aronson,1993)。

(3) 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(美国生态恢复学会,1995)。

(4) 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、区域和历史情况以及可持续的社会实践等诸多方面(国际恢复生态学会,1995)。

(5)重建某区域历史上有的植物和动物群落,并且保持生态系统和人类的传统文化功能的持续性的过程(Egan,1996)。

(6)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和方法以及生态学过程与机理的学科(余作岳,1996)。

上述定义包含几层意思:①恢复生态学是一门应用与理论研究结合的科学;②恢复生态需要人工干预;③恢复过程可能是自然恢复、逼近原生生态系统或根据人类自己的需要对生态系统进行重建以达到人类的目的。

前五种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、恢复时间太长以及费用高等现实条件的限制,这种理想状态不可能达到,于是余作岳等人的恢复生态学的定义被广大学者所接受。

2. 与恢复生态学有关的其他概念

(1)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,退化生态系统的种类组成、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。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。

(2)与生态恢复(restoration)相关的概念:

重建(rehabilitation):去除干扰并使生态系统回复原有的利用方式。就生态恢复的意义来讲,该定义过度强调了人对退化生态系统重新建设和改造的能力。同时,该词在更多意义上是指对社会与经济的调整。所以,除了完全的人工生态系统外,很难对退化的自然生态做到重建。

改良(reclamation):改良地理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):对原有的受损系统进行改进,提高某方面的结构与功能。无论是对退化的生态系统,还是对未退化的生态系统,改进的系统都可能导致生态系统的不稳定,而且与恢复无关。

修补(remedy):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):恢复生态系统的部分结构和功能,或先前土地利用方式;也指重新建立植被,使已破坏植被的土地(如侵蚀过的土地)生长出新的植被覆盖物,或再次生长出新的植被。

这些概念可看做广义的恢复概念,一般所说的“恢复”实际上包括了这些内容。

生态恢复与重建是指根据生态学原理,通过一定的生物与工程的技术和方法,人为地改变和消减导致生态系统退化的主导因子或过程,调整、配置和优化系统内部及其与外界的物质、能量和信息的流动过程与时空秩序,使生态系统的结构、功能和生态潜力尽快成功地恢复到一定的或原有的乃至更高的水平。

3. 恢复生态学与伦理学关系

恢复生态学作为生态科学的一个分支,具有生态学的一般特性,与伦理学的理论、方法密不可分。恢复生态学的许多理论、方法来源于生态学、生物学、地理学、经济学、社会学、

数学和系统科学,以及工程学、林学、农学、环境学等。生态学可概括为研究生物与生物之间环境的相互关系的科学,其以生物个体种群、群落为经,生存环境为纬,在动态平衡中研究其相互作用、相互影响的机制。恢复生态学与生态学的相同点在于都以生态系统为基本单位,并有许多共同的理论和方法;不同点在于恢复生态学更注重实践。作为生态系统层次上的实验生态学,可以验证生态学理论,也可以对天然生态系统进行直接观察和实验室模拟。

4. 恢复生态学的特点

恢复生态学有如下特点:①具有充分的自然生态系统背景;②由于生态恢复是在生态系统受到破坏或损害的基础上进行的,所以它对导致生态系统破坏的主要和次要因素较为清楚,对在这些因素作用下生态系统退化的全过程较为了解,对人们设计的恢复措施有预定的科学依据,对生态系统恢复中的环境、生物参数可进行有效的监测和控制;③由于它采取了人为附加的措施,从而使受损或遭破坏的生态系统的演进过程比自然过程的时间大大缩短,因此,可在较短时间内和恰当的空间尺度上认识自然生态系统内在的变化机制,建立生态系统演替的定量化指标参数。

1.1.2 恢复生态学理论基础

恢复生态学是生态学的应用性分支,从生态系统层次考虑和解决问题,是对社会经济活动导致的退化生态系统、各类废弃地和废弃水域进行生态治理的科学技术基础;它融合了生物学、地理学、生态学、社会学、经济学、数学、管理生态学和地理信息系统科学等诸多学科。因此,恢复生态学理论可以通过引用和借鉴与物质、能量、时间和空间有关的基础性与应用性知识,对退化生态系统恢复重建过程中物质能量的变化、时空转换等进行准确表述。

1. 生态因子间的不可替代性和可调剂性规律

植物在生长发育过程中,所需要的光、热、水分、空气、无机盐类等对植物的作用是不可缺少的,同时也不能由另一个因子来替代,但某一因子量的不足在一定情况下可以通过其他因子的增加或加强而得到调剂,并且仍然可能获得相似或相等的生态效益。

2. 制约因子的制约性原理

在生态系统的演变过程中,任何一个过程的正常运行与系统组成要素之间的作用在受到其他过程或要素的影响时,必然存在一个影响最为严重或者是作用最为关键的因子,这个因子常常被称为制约因子。制约因子的作用随着其他因素的改变而发生变化,原来的制约因子可能转化为非制约因子,或者由于其他因素作用的改善,使得原来制约因子较强的制约性逐渐减弱,为此在研究生态系统的同时,识别制约因子和量化制约因子的作用就成为认识生态系统过程与机理的关键,但是这并不意味着忽视其他因子的作用。

3. 耐性定律

耐性定律:生物的存在与繁殖,要依赖于某种综合环境因子的存在,其中一项因子的量不足或过多,超过了某种生物的耐性限度,则使该物种不能生存,甚至灭绝。任何一个生态因子在数量上和质量上都存在一个使有关的生理活动正常发生的范围。

4. 物质循环与能量流动原理

物质循环与能量流动原理是生态学的基本原理。物质是生物和非生物构成的基础。

生态系统通过生产者的吸收与利用、消费者的摄入与转化以及分解者的释放,使得物质在生态系统的各个组成或功能单元之间转化与循环,并把能量提供给系统的各个功能单元。系统能量的转化遵循热力学定律。

5. 种群空间分布格局原理

种群的空间分布格局在总体上有随机、均匀和集群分布格局的方式,由种的生物学特性、种内与种间关系和环境因素的综合影响决定;包括生态位原理和边缘效应原理。

6. 种群密度制约原理

种群不是简单的个体集合体,而是一个具有一定的自我调节机制的系统。种群能按自身的性质及环境的状况调节它们的数量,在一定的空间和时间里,常有一定的相对稳定性。

7. 最小风险原则与效益最大原则

由于生态系统的复杂性及某些环境要素的突变性,加之人们对生态过程及其内在运行机制认识的局限性,往往不可能对生态恢复与重建的后果以及生态最终演替方向进行准确的估计和把握,在某种意义上,退化生态系统的恢复与重建具有一定的风险性。这就要求我们要认真地透彻地研究被恢复对象,经过综合的分析、评价、论证,在实施过程中将恢复风险降到最低限度。同时,生态恢复往往又是一个高成本投入工程,在考虑当前经济的承受能力的同时,又要考虑生态恢复的经济效益和收益周期,这是生态恢复与重建工作中十分现实而又为人们所关心的问题。保持最小风险并获得最大效益是生态系统恢复的重要目标之一,这是实现生态效益、经济效益和社会效益完美统一的必然要求,也是最终目的。

8. 自我设计和人为设计理论

自我设计与人为设计理论是从恢复生态学中产生的理论,是唯一起源于恢复生态学的理论。自我设计理论指只要有足够的时间,随着事件的进程,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。人为设计理论则认为,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。前者主要在生态系统层次上考虑生态恢复,后者主要从个体和种群的尺度上考虑生态恢复。事实上两者没有严格的界限,人工生态系统的恢复设计,必须依据自然演替进程,但通过工程方法,也可以加速自然生态恢复的进程。

1.1.3 恢复生态学的研究对象、内容及任务

1. 恢复生态学的研究对象

恢复生态学的研究对象为退化的生态系统。退化生态系统是相对于正常的顶极生态系统(群落)而言的,顶极生态系统是一种结构相对稳定、功能高效、信息畅通以及处于动态平衡之中的系统;退化生态系统则是指人类和自然灾害的干扰,破坏了生态系统的原有特性,使系统的物质循环、能量流动、信息联系发生了变化,形成破坏性的波动或恶性循环。退化生态系统包括裸地、湿地、森林等,以及由人为活动产生的弃耕地、沙漠、采矿废弃地、喀斯特石漠化山地、垃圾堆放场等。

2. 恢复生态学的研究内容

恢复生态学的主要研究内容包含三个方面:

(1) 干扰和受损。干扰是使生态系统发生变化的主要原因。正常的生态系统是生物和自然环境之间的平衡的自我维持系统,但在人为或自然因素的干扰下,生态系统的结构与

功能会发生位移(displacement),位移的结果打破了原有生态系统的平衡状态,使系统的结构和功能发生变化,形成破坏性或恶性循环的生态系统。这样就形成了受损生态系统或退化生态系统。所以要研究干扰的类型、强度、频度和时间,以及受损生态系统的表现形式并对受损程度进行评估。

(2)受损机理与受损过程。研究受损机理和过程就是要深入研究生物个体、种群、群落及环境在不同程度致损因子的作用下的反应和表现。重点要找出生态系统受损害的临界值,从而为制定恢复措施和揭示退化的实质提供依据。

(3)恢复措施与恢复途径。恢复措施主要包括:①非生物或环境要素的恢复技术,通常指工程技术等方面的措施;②与生物有关的恢复技术,如引种、间伐、优化配置群落结构等。Todd认为恢复有两种途径,一种是重建原来的生态系统;另一种是建立一种符合人类经济需求的生态系统。

3. 恢复生态学的研究任务

根据恢复生态学的定义和生态恢复实践的要求,恢复生态学主要包括基础理论和应用技术两方面的研究任务。事实上,另外两个任务也很重要,即示范和决策支持。

(1)恢复生态学的基础理论研究:

①生态系统的结构与组成(包括生物部分的空间组成,不同地理单元内各个生态要素的空间组成及营养结构等)、功能以及生态系统内在的生态学过程与相互作用机制。

②生态系统的恢复力、生产力、稳定性、多样性和抗逆性。

③从先锋到顶级不同级次生态系统发生、发展机理与演替规律研究。

④不同干扰条件下生态系统的受损过程及其响应机制。

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生态系统退化的诊断与评价指标体系。

⑦生态系统健康与持续服务。

(2)退化生态系统恢复、重建技术:

①退化生态系统的恢复与重建的关键技术体系。

②生态系统结构与功能的优化配置与重构及其调控技术。

③物种与生物多样性的保护、恢复与维持技术。

④生态工程设计与实施技术。

⑤环境规划与景观生态规划技术。

在社会和文化方面,生态恢复研究还包括生态恢复的规划和生态发展的合理构架、实施恢复项目过程中社区和社会的参与以及生态恢复带来的机遇和挑战。

1.2 恢复生态学的形成与发展

恢复生态学的发展历程虽然较短,但发展速度较快。特别是近几年来,随着国际社会对生态问题的重视和科研投入的增加,恢复生态学在众多方面都取得了丰硕的成果。了解恢复生态学的发展历程,对于正确把握恢复生态学的发展方向和趋势趋势是有益的。

自1940年以来,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。在人

类的居住地,人们为了生存,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,有的甚至已失去了原有的生产力。随着人口的持续增长,对自然资源的需求及索取也在不断增加。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、海洋污染、温室效应、臭氧层破坏等增加了对自然生态系统的威胁,并使人类的生存陷入危机之中。人类面临着合理恢复、保护和开发利用自然资源的挑战。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,这将为解决人类生态问题和实现可持续发展提供机遇。

从 20 世纪 40 年代至今,恢复生态学经历了从生态恢复实践、恢复生态学理论诞生到学科方兴未艾的发展历程。其间发生了许多重要的事情,从中可以看出恢复生态学的不断发展和成熟。

1.2.1 恢复生态学的形成与发展

1. 恢复生态学早期阶段

恢复生态学研究起源于 100 多年前关于山地、草原、森林和野生生物等自然资源管理的研究,在 19 世纪后期已有一些论著。1935 年,Alpo Leppold 对美国威斯康星州草原的恢复重建进行了研究。

20 世纪 50~60 年代,世界各地尤其是欧洲、北美洲和中国都注意到了各自的环境问题,开展了一些工程技术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的工程,并取得了一些成效。工业革命的兴起,人类对土地的破坏,导致了土地破坏程度由局部发展为普遍,特别是工业革命时期的欧洲,如英国、法国。直到 1966 年英国威尔士阿伯方发生了一场灾难,环境问题才引起了人们的极大关注。这场灾难使人们越来越感觉到对这些矿业废弃地进行整治的必要性,这为恢复生态学的诞生奠定了坚实的应用基础。从 20 世纪 70 年代开始,欧美一些发达国家开始开展水体恢复的研究。在此期间,虽有部分国家开始定位观测和研究,但还没有关于生态恢复机理的研究。Farnworth 等(1973)提出了热带雨林恢复的研究方向。1975 年 3 月,在美国弗吉尼亚工学院召开了“受损生态系统的恢复”国际会议。会议讨论了受损生态系统恢复重建的许多重要生态学问题和生态恢复过程中的原理、概念与特征,提出了对加速生态系统恢复重建的初步设想、规划和展望。

2. 恢复生态学建立阶段

恢复生态学作为一门学科开始于 20 世纪 80 年代,之后迅速兴起,成为现代生态学的热点之一。

在这个阶段,恢复生态学的研究与实践得到了进一步拓展,不仅包括工矿废弃地与城镇边缘区退化土地的恢复,而且包括退化森林、草地、湿地和水体等生态系统的恢复。影响较大的研究有日本宫胁昭教授在大阪与横滨等地开展的环境保护林的研究与恢复实践。其方法是首先研究当地的植被,然后筛选出那些适合于当地气候、土壤和地理环境的植物种类。

Cairns 在 1977 年出版了《受损生态系统的恢复与重建》,从不同角度探讨了受损生态系统恢复过程中的重要生态学理论和应用问题。1980 年,Bradshaw 和 Chadwick 出版了《土地恢复——受损及退化土地的修复与生态学》,系统地阐述了废弃地的问题,探讨了有关露

天矿、深井矿、采石场等地的植被恢复与重建的技术和方法。同年, Cairns 主编了《受损生态系统的恢复过程》一书,邀请了8位科学家从不同角度探讨了受损生态系统恢复过程中的重要生态学理论和应用问题。1983年,在美国斯坦福大学召开了“干扰与生态系统”国际研讨会,探讨了干扰对生态系统各个层面的影响。1984年,在美国威斯康星大学召开了恢复生态学的研讨会,来自美国和加拿大的300多位生态学家向会议提交了14篇关于生态恢复的正式报告,会后出版了《恢复生态学论文集》,虽然没有系统全面地阐述恢复生态学的基本理论和基本内容,也没有进一步明确恢复生态学的定义,但明确指出恢复生态学的环境技术和生态学是一门综合科学,是在群落和生态系统水平上的恢复科学和技术,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生态系统的保护与开发中起着重要的桥梁作用。1985年,美国成立了“恢复地球”组织,该组织先后开展了森林、草地、海岸带、矿山、流域、湿地等生态系统的恢复实践工作,并出版了一系列生态恢复实例专著。Abet 等人于1985年提出了恢复生态学的术语,并于1987年出版了《恢复生态学:一种综合的生态研究方法》一书。1985年,国际恢复生态学学会成立,标志着恢复生态学学科已经形成;1989年9月,在意大利 Siena 举行的第五次欧洲生态学研讨会把生态系统恢复作为会议讨论的主题之一。

3. 恢复生态学的发展阶段

近30年恢复生态学得到了进一步的发展与完善,世界各国也根据自己的具体情况逐渐开始重视和开展有关生态恢复的研究。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,在中国香港举行了“华南退化坡地恢复与利用”国际研讨会,系统介绍了中国华南地区退化坡地的形成及恢复问题;同年创刊了 *restoration Ecology* 杂志, Bradshaw (1993) 发表了 *restoration Ecology, a Science*, 真正确立了恢复生态学的学科地位及其在退化生态系统恢复中的理论意义;1996年,在瑞士召开了第一届世界恢复生态学大会,大会强调了恢复生态学在生态学中的地位、恢复技术与生态学的联结,以及恢复过程中经济与社会内容的重要性,迄今已举办了18届国际恢复生态学国际研讨会。各国每年都发表大量关于恢复生态学的论文。

此外,与恢复生态学有关的主要学术刊物还有 *Ecological restoration/North American* (原为 *restoration&Management Notes*)、*Land Degradation & Development*、*Conservation Biology*。

除了“恢复生态”在国际生态学大会上继续作为大会议题外,如1994年8月英国曼彻斯特第六届国际生态学大会、1998年美国生态学年会和2000年日本长野市(Nagano)国际植被学学会年会等,从1996年瑞士第一届国际恢复生态学大会至2001年加拿大尼亚加拉瀑布城第十三届恢复生态学国际大会,在短短的6年之中,国际恢复生态学会议频频召开。这反映了作为现代生物领域三大热点的恢复生态学越来越受到全球的关注和重视,这门新生边缘交叉学科体现出了旺盛的生命力。

1.2.2 恢复生态学在我国的发展历程

根据文献记载,我国恢复生态学的发展基本上与国际其他国家同步。研究始于20世纪50年代,那时我国有关专家开始注意到资源不合理利用及由此产生的生态环境问题,从最早的中国科学院华南植物研究所余作岳等人在1959年对广东的热带沿海侵蚀台地开展的退化生态系统恢复技术与机理研究,到后来的其他各个科研机构 and 高等院校先后对不同

退化生态系统的研究。在 20 世纪 60 ~ 70 年代,我国曾提出过要“改造黄山,绿化祖国”。当时的工作重点是从林业的角度出发,如何提高我国的绿化覆盖率,其间也曾开展过有关植被恢复演替的研究。如周家俊等(1976)对浙江建德山区的幼年次生林通过间伐、施肥等人工措施来改造森林的有益尝试。80 年代以来,特别是近些年来,生态退化、环境污染等问题已日益成为困扰我国农业持续发展的重要因素,从而引起了有关政府部门和相关科学家的关注和重视。长江和沿海防护林工程的建设 and 太行山绿化工程的实施以及 80 年代末在农牧交错区、风蚀水蚀区、干旱荒漠区、丘陵、山地、干热河谷和湿地等也开展了退化或脆弱生态系统的恢复重建研究与试验示范。“七五”和“八五”期间,国家有关部委及地方政府分别从不同角度支持了有关恢复生态学的研究,开展了“生态环境综合整治与恢复技术研究”、“我国主要类型生态系统结构、功能及提高生产力途径研究”等项目以及“亚热带退化生态系统的恢复研究”、“建立北方草地主要类型优化生态模式研究”和“内蒙古典型草原草地退化原因、过程、防治途径及优化模式”等课题。余作岳等人在广东沿海侵蚀地上开展热带亚热带退化生态系统的恢复生态学研究,总结出了国内外先进的集水区法、植被恢复三步法和时空互代法等行之有效的方法,论证了热带极度退化的生态系统通过人工辅助,实现了恢复的可行性。我国的恢复生态学研究,最初主要是以土地退化,尤其是土壤退化为主,主要针对水土流失、风蚀沙化、草场退化及盐渍化对农林牧业的危害进行,也包括岩化、裸土化、砾化、土地污染及肥力贫瘠化等。近期,有关生态系统退化的研究除前期的研究内容外,重点逐渐向区域退化生态系统的形成机理、评价指标及恢复重建研究上转移。目前,已在生态系统退化的原因、程度、机理、诊断以及退化生态系统恢复重建的机理、模式和技术方面作了大量的研究。同时,对退化生态系统的定义、内容及恢复理论也有了一定的完善和提高,提出了一些具有指导意义的应用基础理论。这些研究已取得了显著的生态效益、社会效益和经济效益,为地方自然资源的持续利用和生态环境的改善发挥了重要的作用;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》、《中国退化生态系统研究》和《恢复生态学导论》等专著,许多专家和学者从中国的国情出发,提出了适合中国的恢复生态学的理论和技术方法。这些著作在系统总结恢复生态学部分研究成果的同时,推动了地理学、生物学和包括恢复生态学在内的生态学的发展。比较著名的是余作岳和彭少麟在森林恢复方面提出的“在一定的人工启动下热带极度退化的森林可恢复”观点;任海等人提出了次生林地生态系统的恢复需采用封山育林、林分改造、透光抚育等措施。其他的还有相关学者在湿地、沙地、草地和黄土高原恢复等方面的研究,并取得了相当好的成果。许多学者研究表明控制水土流失问题是治理黄土高原的关键突破口之一,水土保持生态恢复是黄土高原生态环境建设的有效途径,并提出了修复机理和一些治理的措施,如打淤地坝、治理坡耕地等。

总之,我国近年来恢复生态学的研究工作开展得较多,发展也较为迅速,归纳起来主要有以下特点:

(1) 注重实用性。生态学是研究生物与环境之间相互关系的学科,我国的生态学研究自新中国成立以来得到了蓬勃的发展,取得了长足的进步,然而运用生态学知识解决重大国计民生问题的成功范例却极少。纵观近十年来我国恢复生态学的研究,不难看出不论是对采石场、煤矿、铅锌尾矿的复垦研究,还是对退化草场、退化裸地上的植被恢复研究,无不与社会生产需求密切相关,这充分体现了恢复生态学注重实际需要与效果的特点。

(2)理论上进行了有益的探索和总结。恢复生态学是一门新兴的综合性的学科,其科学理论体系还很不完备。我国近年来的研究者们从不同的角度和研究领域,进行了多方面的大胆的尝试,一些研究专著也陆续出版,如陈灵芝等(1995)的《中国退化生态系统研究》;余作岳等的《热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学的研究》和孙鸿烈的《中国生态系统》,总结了恢复生态学的部分研究成果,促进了我国恢复生态学的发展。

(3)研究重点发生了转移。我国的恢复生态学研究,早期的工作主要是针对水土流失、风蚀沙化、草场退化及盐渍化对农林牧业的危害而进行的,其中也包括岩化、裸土化、砾化、土地污染土壤贫瘠化等,近期的研究工作除了延续前期的主要工作之外,更加关注区域和全球尺度的生态系统退化,在不同尺度上研究和探索区域退化生态系统的形成过程、演变机理、评价指标体系及恢复重建的模式与技术等。

(4)显示出地域特色。我国历史悠久,幅员辽阔,自然生态系统复杂多样,随着经济的发展,对环境的压力也越来越大,过度放牧、乱砍滥伐、毁林垦殖等人类活动都将扩大和加剧已有的退化生态系统。单以采矿地计,90年代初我国采矿占用的土地面积就已高达 200 hm^2 。各地因自然地貌、原有植被、生产活动各不相同,其退化生态系统类型也有差别。我国西部干旱、半干旱与半湿润地区约占我国陆地面积的 $2/3$,其生态恢复的主要对象是沙漠化土地、盐渍化土地和特殊目标的保护,并且恢复与保护的难度比较大;中部地区的主要生态问题是水土流失,恢复的主要任务是退化土地和生态系统功能持续性的培育;东部地区的生态恢复主要体现在生产功能和美学功能的保护与恢复上。所以因地制宜、结合当地的社会实际需求,切实开展恢复生态学的研究,意义十分重大。

(5)实行定点观测。恢复生态学基础是对生态系统演变过程的把握与规律的深刻认识。要做到这一点就必须有能够反映生态系统变化过程的长期数据,为此国内自1988年起就开始建立“中国生态系统研究网络(CERN)”,一些地方性的生态站也已建立,这为我国恢复生态学的定位观测创造了有利的条件。迄今,中国生态系统研究网已经发展成为一个能够进行森林、草地、农田、水体、海洋、荒漠和山地等生态系统长期定位监测的,拥有34个台站、一个综合中心和五个分中心的网络系统,成为世界上规模最大的长期生态系统研究网络。已经运行的试验台站代表了不同生态系统类型,它们分布在不同的地域。其中不少台站如中科院鹤山站、内蒙古草原站、海北高寒草甸站、沙坡头站等都结合当地的退化生态系统积极开展有关恢复生态学的研究,有的已起到了良好的示范样板效果,并已着手试行推广,部分研究成果还引起了国际学术界的关注。其中不少有关恢复生态学的研究成果陆续展现在《中国生态系统网络丛书》之中。

1.2.3 国外恢复生态学研究概况

英国、美国、澳大利亚等发达国家有着悠久的工业史(开矿史),他们最初在恢复生态学方面的工作主要集中在对山地、草原、森林和野生生物等自然资源管理方面,“恢复生态学”一词最初缘于此。20世纪80年代以来随着各类生态系统的日益退化以及相继引起的环境问题的加剧,他们开始注重不同退化生态系统恢复重建的研究和实践,在生态恢复的实践中,开展了不同受害生态系统恢复与重建的研究。近十年来,国外在恢复生态学的理论与技术方面都进行了大量的研究工作。美国早在20世纪30年代就成功恢复了一片温带高秆草草原;在20世纪60~70年代又开始了北方阔叶林、混交林等生态系统的恢复试验研