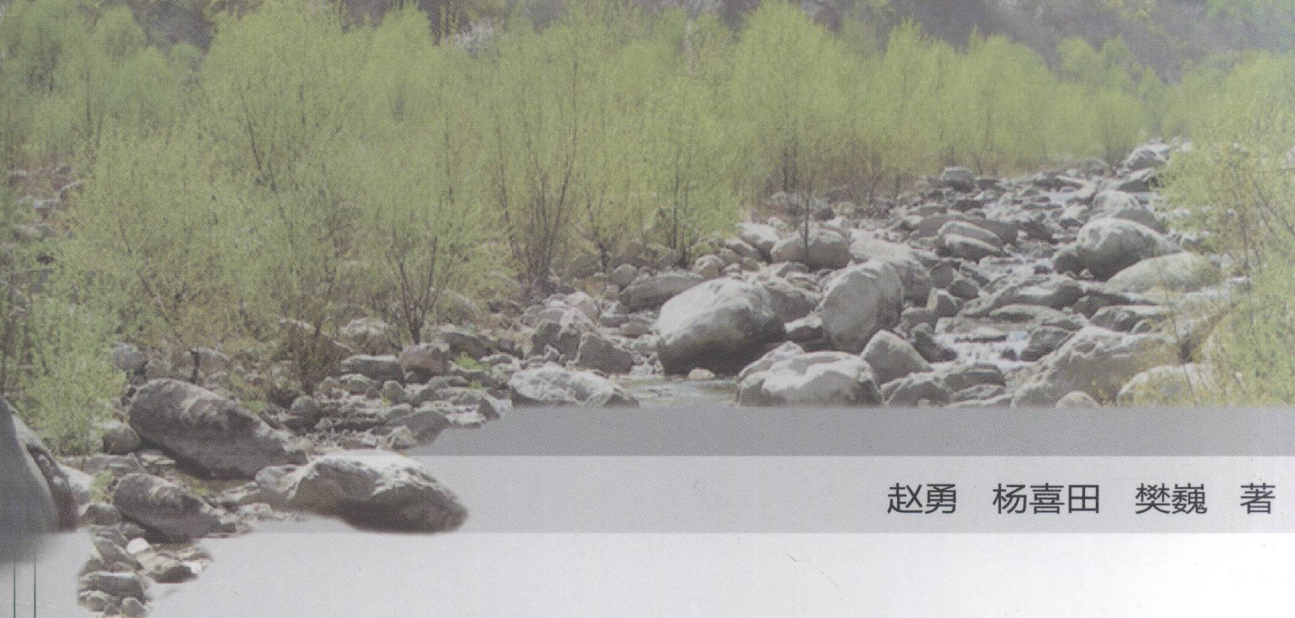




赵勇 杨喜田 樊巍 著

太行山

低山丘陵区植被恢复过程中 生态特征研究

TAIHANGSHAN

DISHAN QIULINGQU ZHIBEI HUIFU

GUOCHENGZHONG

SHENGTAI TEZHENG YANJIU

中国环境科学出版社

Q948.15
J0131

太行山低山丘陵区植被恢复过程中 生态特征研究

赵勇 杨喜田 樊巍 著



中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

太行山低山丘陵区植被恢复过程中生态特征研究/赵勇,
杨喜田, 樊巍著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.12
ISBN 978-7-5111-0928-6

I. ①太… II. ①赵…②杨…③樊… III. ①太行山—丘
陵区—植被—生态恢复—研究 IV. ①Q948.15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 038310 号

责任编辑 刘 璐
责任校对 扣志红
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 15.25
字 数 350 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

内容简介

本书以太行山低山丘陵区为研究对象，从分析河南太行山低山丘陵区的生态系统结构出发，探讨了太行山低山丘陵区植被退化的机制；较系统地研究了该区退化生态系统自然恢复过程的物理、化学和生物学变化特征；揭示了群落恢复过程中生态和环境变化特征；建立植被恢复预测模型，对植被演替和恢复时间进行了初步探索；构建了植被恢复过程的评价指标体系并进行了评价。本书在群落演替进程阶段划分、退化机制辨识、植被恢复过程生态变化特征以及恢复进程评价等方面都融入了作者的研究成果，是一部关于植被恢复机理的研究专著，研究对象具体，剖析到位、手段多样。实践性强是本书的特色。

本书可供生态学、林学、环境科学等专业的本科生、研究生学习以及从事相关专业的研究人员、工程技术人员使用。

前言

生态环境是人类社会经济可持续发展的基础,良好的生态是人类生存和生活的必要条件之一。人类在推动经济发展的同时,也使得生态系统遭受不同程度的影响。自工业革命以来,人口的快速增加和工业化的迅猛发展,导致资源环境不断出现紧张局面。全球面临着在生物多样性与生境丧失、气候变化、可持续发展等方面的严峻挑战。生态退化问题已经成为维持人类生存和社会经济可持续发展的严重威胁。生态问题从未像现在这样突出地呈现在人们面前,考验着人类的智慧。如何防止自然生态环境的退化,有效处理和解决全球生态系统退化问题,恢复和重建已经受损的生态系统原有结构和功能,已经成为全人类共同面临的生存课题。

在此背景下,恢复生态学得到各界的关注,成为现代生态学研究领域的热点和前沿。自 20 世纪 20 年代开始,德、美、英、澳等国家开展了土壤环境修复探索,重点围绕废弃矿山的土地恢复和利用进行研究,逐渐形成了土地复垦技术。70 年代以后,受生态工程学术思想的影响,这方面的研究从土壤环境修复和生产力恢复层面上升到了生态系统恢复层面,在人为辅助控制下,利用生态系统演替和自我恢复能力,使被扰动和损害的生态系统恢复到接近于其受干扰前的自然状态,此时恢复的目标更关注生态系统的结构、功能和物理、化学、生物学特征。1975 年在美国弗吉尼亚工学院召开“受损生态系统的恢复”国际会议;1980 年 Cairns 主编《受害生态系统的恢复过程》一书;1985 年 Aber 和 Jorban 两位英国学者提出了恢复生态学的术语;1987 年 Jordan 出版《生态恢复学》专著;1993 年《恢复生态学》(*Restoration Ecology*)杂志创刊;1996 年在瑞士召开第一届世界恢复生态学大会,至今已连续成功举办了 20 届。目前国外恢复生态研究的焦点领域是土壤、野生动植物及其生物多样性恢复。主要对自然生态系统在采矿、道路和机场建设、采伐、工业污染等干扰体系的影响下退化和自然恢复的机制和生态学过程等方面进行综合、连续研究。

生态恢复主要研究生态系统退化的原因、退化生态恢复与重建的技术和方法、生态学过程与机理,主要目的是通过改良和重建退化自然生态系统,恢复其生物学潜力。人类大部分活动都是在加剧地球环境的恶化,而恢复生态过程却是人类改善地球环境的努力。加强生态恢复理论研究和生态恢复实践,对探索生态恢复途径、走区域生态可持续发展道路意义十分重大。

河南省横跨黄河、淮河、长江、海河四大流域,气候温和,四季分明,雨量适中。

自 2000 年以来,在国家大的政策引导下,河南大力实施退耕还林、天然林保护、长江及淮河防护林、太行山绿化和农田林网建设等林业生态工程,全省 1 330.4 万亩天然林得到保护,16 万 km 的路、渠、沟、河等通道得到绿化。目前全省森林面积为 336.59 hm²,森林覆盖率 20.16%,平原地区农田林网、农林间作面积 8 500 万亩,控制率达 90%。全省的绿色生态防护体系初具规模,在改善区域生态环境、保障农业生产和城市环境质量以及遏制生态环境恶化等方面发挥了重要作用。根据国家林业局《林业发展“十一五”和中长期规划》,到 2020 年,河南省森林覆盖率需要提高到 30%以上,河南林业生态建设的任务还相当艰巨。

河南太行山低山丘陵区属平原与山地的生态过渡带,国家和河南省对其进行了长期的植被恢复和森林保护工程,但是由于长期人为的过度开发利用,目前表现出天然植被稀疏、低矮,部分地段裸露并镶嵌类型各异的人工植被,植被改善环境的能力减退。营造功能良好、健康的森林环境是太行山地区生态建设的终极目标。阐明太行山低山丘陵区退化生态系统自然恢复过程的生态学特征,探求自然恢复机理,对人工加快植被恢复进程和实现该区域资源的可持续发展具有重要意义。如何迅速恢复森林植被则必须借助生态学的手段。生态恢复研究的目的是通过人工设计和恢复措施,在受干扰破坏的生态系统的基础上,恢复和重建一个具有自我恢复能力的健康的生态系统。其研究内容主要涉及两个方面:一是对生态系统退化与恢复的生态学过程研究;二是退化生态系统恢复与重建模式的试验示范研究。开展生态系统退化的原因、退化生态恢复与重建的技术和方法、生态学过程与机理研究是该地区植被恢复的最重要基础工作。在国家和河南省科研攻关课题的资助下,课题组依托国家林业局黄河小浪底生态定位站,多年来围绕太行山地区的生态恢复开展工作。在划分植被恢复阶段的基础上,从土壤、植被和群落演替分析入手,深入剖析了恢复演替过程中群落的物理、化学和生物学变化特征以及群落演替过程中生态特征和环境特征的变化规律;通过建立研究区群落演替模型和采取植被恢复预测模型等手段,对植被演替和恢复时间进行了探索;并且通过构建植被恢复过程的评价指标体系,对植被恢复进程进行了评价。这对研究植被恢复机理、划分植被恢复阶段、加快人工植被恢复进程具有重要的指导意义。

为系统地展示研究成果,在课题任务的基础上进行整理和总结而编制成本书。在我国,恢复生态学基础理论研究还是一个新兴的领域,很多问题都需要进一步研究探索,由于作者水平有限,书中不足和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2012 年 3 月

目 录

第一章 引言	1
1.1 研究区的典型性和重要性	1
1.2 研究目的和意义	1
第二章 研究进展概述	3
2.1 恢复生态学研究综述	3
2.2 群落演替研究进展	6
2.3 恢复过程的生态学研究不断深入	8
2.4 生态系统服务功能成为研究热点	12
2.5 生态恢复评价成为新研究重点	13
第三章 研究内容、关键问题和技术路线	16
3.1 研究目标	16
3.2 研究内容	16
3.3 研究思路和技术路线	16
3.4 技术路线	16
3.5 拟解决的关键问题	17
第四章 研究区概况	18
4.1 地理位置和地形地貌	18
4.2 气候和土壤	18
4.3 植被概况	18
4.4 生境特点	19
第五章 生态系统退化机制分析	21
5.1 研究区生态退化类型	21
5.2 生态系统退化特点	22
5.3 低山丘陵区生态系统退化因素分析	23
5.4 小结	34
第六章 植被在恢复过程中的物理变化	36
6.1 土壤物理变化特征	36

6.2 植被恢复过程中小气候效应	52
第七章 植被恢复过程中的化学变化	64
7.1 土壤化学变化特征	64
7.2 不同恢复阶段群落的光能利用效率比较	71
7.3 典型植物氮素回收效率分析	72
7.4 典型群落主要元素循环及分配特征	81
7.5 植被恢复过程中碳贮量特征	101
第八章 植被恢复过程中生物变化	111
8.1 不同恢复阶段物种多样性变化特征	111
8.2 典型植物光合特征分析	129
8.3 不同演替阶段群落生物量研究	141
8.4 不同恢复阶段群落凋落物及分解特征	151
8.5 主要群落土壤微生物学特征变化	168
8.6 主要群落土壤种子库特征	172
第九章 群落植被恢复过程分析与评价	188
9.1 植被恢复过程中群落演替特征	188
9.2 植被恢复时间估算	191
9.3 植被恢复阶段划分	200
9.4 自然恢复评价	205
9.5 小结	210
第十章 结论与讨论	212
10.1 结论	212
10.2 讨论	214
主要参考文献	216
附录 野外调查植物名录	226
后 记	236

第一章 引言

1.1 研究区的典型性和重要性

太行山处于华北平原西侧,历史上这里植被、气候、土壤、水资源丰富多样,对华北平原起着极为重要的生态调节作用。其低山丘陵区是由平原同质性趋于山地异质性的生态过渡区,复杂多变的地形是形成生境异质性以及由此生长分布较丰富的生物多样性的基础(方精云等,2004)。由于人类的开发历史悠久,原生植被基本荡然无存,随着人口不断增加,加之典型的大陆性季风气候和严重的水土流失,干旱缺水成为这里农业生产和人民生活发展的主要制约因素(徐化成,1994;郑均宝,1988)。人们对现有土地和植被资源超强度利用,出现各种干扰如坡地垦荒、过牧、樵采、采石等,致使天然植被退化为次生植被,甚至退化到原生裸地,从而导致水土流失加剧,生物多样性锐减,生态系统抗干扰能力较低(宋永昌,2001;刘滚,1996)。干旱缺水严重、有效土层较薄、质地不佳、肥力较低是目前该区生态环境主要障碍因素。

退化生态系统的恢复和重建是现代生态学关注的焦点。退化生态系统的恢复与重建是一个动态过程,要掌握这个动态过程,就要对恢复进程中的变化进行长期监测、对比和判断,并对恢复的状态进行合理有效的评价。而目前国内外对于恢复程度的判断大多停留在定性水平上,定量的方法还很缺乏,现有的指标体系还不系统,并且可操作性较差;生态解释上还很成熟和完善,等等。因此探索植被恢复过程中的群落演替规律,揭示植被恢复和重建的生态机理,建立一套成熟的评价指标体系和确定明确的恢复目标成为当务之急。

1.2 研究目的和意义

太行山是我国人工绿化的重点工程,我国在太行山地区造林技术、林业生态工程等方面的研究都取得了很大突破。比如太行山森林立地类型分类、评价及适地适树研究;太行山荒废地植被恢复技术研究;太行山南段的植被类型及其分类;太行山石质砂岩区封育植被景观及其功能分析等;而对太行山区低山丘陵区退化生态系统植被恢复过程全面研究,系统介绍该区生态恢复方面的研究报道,在各种文献中还不多见。

黄河小浪底库区地处河南西北部的太行山地,是我国重点水利工程小浪底水库所在地,小浪底库区属于易受破坏的生态脆弱地区,本区属于太行山系,生态系统退化趋势在局部表现仍然显著,干旱、岩石裸露和植被稀少造林困难是主要生态问题,是河南省黄河流域水土流失最严重的区域。近年来,随着人口增长、资源开发及大规模的生产建设,生态环境不断恶化,增加了水库的淤积量从而对大坝会产生很大的影响,生境退化,生态系统多样性减少,生态平衡受到破坏,不仅给当地环境及人民生活带来很大影响,而且还对

下游生态环境造成很大影响。改善和恢复该区的生态环境成为一项紧迫而艰巨的任务。该区域虽经过多年的人工植被恢复,但是独特的气候和环境条件,仍然使该区成为植被稀少和水土流失严重的地区,这种状况也严重影响到小浪底水库的安全运行,因此,加快恢复该区域植被对改善生态环境和保障小浪底水库的安全运行意义重大。

本项目支撑为国家“十五”“黄河小浪底库区高效复合经营与植被恢复配套技术与示范”(2004BA510B0404)项目,项目进行中还得到了国家“十一五”重大科技支撑项目专题“裸露石质山地植被快速恢复试验示范”的支持。其研究目的是揭示植被在恢复过程中的生态因子变化特征。探讨该区域退化生态系统在自然恢复过程中群落演替的规律,了解其恢复机理,回答植被恢复演替时间以及植被组成生态关系,最终以群落的生态稳定性和生态功能的持续发挥为前提,实现生态效益和经济效益的协调发挥。

第二章 研究进展概述

2.1 恢复生态学研究综述

2.1.1 恢复生态学内涵不断丰富

1985年 Aber 和 Jordan 两位英国学者提出了“恢复生态学”的概念(余作岳, 1996); 1987年 Jordan 出版了《恢复生态学: 生态学研究的一种合成方法》(*Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*) 标志着该学科的正式诞生, 随着形势的发展, 该学科迅速成为当今生态科学的前沿领域(彭少麟, 1996; 章家恩等, 1999; 任海等, 2001)。

关于生态恢复的概念, 长期以来许多学者从不同的角度赋予其不同的内涵。美国生态恢复学会(Society for Ecological Restoration)的定义是: 生态恢复是帮助生态整体(Ecological Integrity)恢复和管理的过程; 国际恢复生态学会(Society for Ecological Restoration)提出的定义是: 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; 美国资源委员会(The US Natural Resource Council)认为生态恢复是使一个生态系统恢复到较接近受干扰前的状态(Cairns, 1995); Hobbs 认为, 恢复生态学必须是当今全球土地管理中的一个重要组成部分, 是人类对连续生态系统的变化和退化响应的成功实践(Hobbs 等, 1996)。通过对以上各定义, 可以看出恢复生态学是一门关于生态恢复的学科, 是研究生态系统退化的原因, 退化(受损)生态系统恢复与重建的技术与方法及其生态学过程与机理的科学。它的研究对象是退化生态系统, 旨在研究生态系统的受损因素、(干扰)退化机制和生态恢复的过程等。其内涵包括导致生态系统退化的动因和机制、恢复与重建的技术与方法、恢复的生态学过程和机理等。

2.1.2 国外恢复生态学产生和发展

20 世纪 20—50 年代英国、美国、澳大利亚等国家开始对采矿废弃地以及地下水开采所造成退化系统的生态进行恢复试验。1973 年, 在美国召开了题为“受害生态系统的恢复”国际学术讨论会, 会议重点讨论了生态系统恢复的基本原理、技术、方法和相关特征, 提出要加强对受害生态系统的基础数据的收集与生态恢复技术措施等方面的研究; 1983 年, 在美国召开了“干扰与生态系统”(Disturbance and Ecosystem)学术会议, 探讨了人类的干扰对生物圈、自然景观、生态系统、种群和生物种的生理学特性的影响。国际恢复生态学会(Society for Ecological Restoration)1985 年在美国成立。国际地圈生物圈计划(IGBP)、全球变化的人类因素研究计划(IHDP)、全球环境监测系统(GEMS)等国际大型计划也都包含恢复生态学内容。1993 年《Restoration Ecology》杂志创刊发行。第一届世界恢复

生态学大会 1996 年在瑞士召开, 随后国际恢复生态学会每年召开一次国际研讨会, 2001 年, 第十三届国际恢复生态学大会在加拿大尼加拉瀑布城召开, 其主题是“跨越边界的生态恢复”, 提出了生态系统的结构和功能只有自然边界而没有政治边界, 当政治边界跨越重要的生态系统时, 应通过建立协作关系, 开展多边合作, 以实现成功的生态恢复(赵平, 2001)。目前, 国际上恢复生态学期刊有《Restoration Ecology》、《Restoration and Management Notes》、《Restoration and Reclamation Review》、《Land Degradation and Development》。一些生态学期刊和国际文摘开辟专栏或专辑刊载恢复生态学方面的成果(赵晓英等, 2000; 任海等, 2001)。

纵观国外关于恢复生态学的发展过程, 其研究主要表现出如下特点: (1) 研究对象的多元化。主要包括森林、草地、灌丛、水体、公路建设环境、机场、采矿地、山地灾害地段等在大气污染、重金属污染、放牧、采用等干扰影响下的退化与自然恢复; (2) 研究积累性好、综合性强, 涉及生态功能群的方方面面, 如植被、土壤、气候、微生物、动物; (3) 生态恢复研究的连续性强, 特别注重受损后的自然生态学过程及其恢复机制研究。

2.1.3 我国恢复生态学研究逐渐活跃

我国是世界上生态系统退化类型、山地生态系统退化最严重的国家之一, 也是较早开展生态重建实践和研究的国家之一。最早的恢复生态学研究是中国科学院华南植物研究所余作岳等人对热带亚热带退化森林生态系统的植被恢复技术与机理研究(余作岳等, 1995)。其后, 生态恢复实践在我国各地相继开展, 研究内容涉及水土流失治理、荒漠化土地整治、退化草地及森林的恢复与改良、沿海滩涂湿地的保护与恢复、矿地植被恢复以及污染水体的综合治理等。自 20 世纪 80 年代以来, 生态退化、环境污染等问题已日益成为困扰我国社会经济持续发展的重要制约因素, 从而引起了政府部门和相关科学家的关注。“七五”和“八五”期间, 我国先后对工业废弃地、干旱半干旱地区、荒漠地、退化山地、退化热带雨林、北方农牧交错带、城市水土流失区、亚热带侵蚀地、湿地、“三北”地区和长江中上游等地区进行了植被恢复与重建的研究。完成了“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”、“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, 取得许多成果(陈灵芝等, 1995; 赵晓英等, 2000; 任海等, 2001)。

近年来, 有关生态系统退化的研究除继承前期的研究内容外, 重点逐渐转移到区域退化生态系统的形成机理、评价指标及恢复重建的研究上。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、模式和技术方面做了大量的研究。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。在侵蚀退化生态系统植被恢复的理论研究方面, 形成了以生态演替理论和生物多样性恢复为核心, 注重生态学过程的多层次的、时空优化调控的植被恢复与重建。先后发表了许多有关生态系统退化以及生态恢复技术、效益等方面的论文、报告和论著, 也正式出版了一批关于恢复生态学方面的著作(彭少麟, 2003)。这些研究为区域自然资源的持续利用和生态环境的改善发挥了重要作用。

我国近 40 年来的生态恢复重建研究主要特点是：(1) 涉及范围广，密切结合生产实际。研究范围从森林、草地、农田到水域等方面；(2) 实践重于基础理论研究；(3) 注重人工重建研究，特别注重恢复有效的植物群落模式试验。存在的主要问题是：在生态要素退化方面主要是在土壤退化和植被退化两方面研究较多，而对动物、微生物、水文等方面的研究较少；对生态退化的原因、类型等研究较多，而对生态退化的驱动机制研究较少；更缺少从整个生态系统水平进行的生态退化的综合研究；缺乏对生态恢复重建的生态功能和结构的综合评价。

2.1.4 理论研究不断深入

尽管恢复生态学应用了许多学科的理论方法，并在互相渗透交叉与协同研究中形成了一定理论优势，但自身的理论基础还相当薄弱，生态系统理论仍然是恢复生态学的理论基础（任海等，2001）。

(1) 自我设计与人为设计理论 (Self-design versus design theory)。恢复生态学中的自我设计理论强调群落恢复的自然性，该理论认为，只要有足够多的时间，随着时间的进程，退化生态系统恢复将根据环境条件合理组织自己并会最终改变其组分。人为设计理论则强调人为的作用，认为通过人工辅助的工程方法和植物重建等方法可以快速、有目的地恢复退化的生态系统，但恢复的类型可能是多样的。自我设计与人为设计理论被认为是唯一从恢复生态学中产生的基本理论 (Van Dervalk, 1999)，至今，它仍是生态恢复实践的指导性理论之一（任海等，2001）。

(2) 干扰理论 (Disturbance theory)。干扰作用在自然界中普遍存在 (Clements, 1916)，干扰可分为自然干扰和人为干扰两大体系（余作岳等，1997；赵晓英等，2000）。干扰被认为是导致生态系统结构与功能衰退的主要原因 (Higgs, 1997)。干扰理论认为，干扰作用对生态系统的影响是多层次的，干扰在不同层次水平的作用机制、功能和效果都存在很大差异，干扰的效果取决于干扰的作用方式与过程、干扰频率与强度等。任何一种干扰都在一定的时空尺度内，即干扰作用与时空尺度密切相关 (Risser 等，1984；魏斌等，1996)。自然干扰具有一定的偶然性，是根本的动力来源。人类不利的干扰可一方面导致生态系统退化，另一方面有益的干扰可以使生态系统恢复。群落的变化都是干扰下的一种演替过程，在此过程中，人为干扰起着主导的重要作用（岑慧贤等，1999；赵晓英等，1998）。在生态恢复实践中，通过分析干扰的属性、干扰的时空尺度、干扰频率与强度的变化等方面是生态系统恢复与重建的主要技术途径。

(3) 演替理论 (The succession theory)。演替理论被认为是恢复生态学的重要指导理论之一。现代生态系统的理论认为，受人为干扰和自然干扰的调控，生态演替具有多种的随机演替方向，在一定尺度上演替可能存在多个平衡状态，而在另一些尺度上系统则永远无法达到平衡状态 (Parker V T, 1997)。事实上，无论生态系统的退化，或是恢复，都是一种演替过程。

(4) 植被与环境耦合理论。植被的发生与气候及气候的变迁耦合或生物的发生与环境耦合理论是森林植被恢复重建的最基本理论（赵文智等，2001）。生物的发生、生长、演替等都是在大的环境背景下进行的，受环境控制，又改变环境；生物的生存和繁殖依赖于各种生态（环境）因子的综合作用，其中一种或少数几种生态因子是限制生物生存和

繁殖的关键因子；生物生存所依赖的大、小环境决定了生物的定居范围，植被的恢复重建应建立在恢复地区现实的环境条件的基础上（王仁卿，2001）。

2.1.5 目前存在的问题和发展方向

2.1.5.1 存在问题

（1）植被恢复的研究方法还须探索。目前恢复生态学所用的方法均来自相关学科，尚需形成自己独特的方法体系。研究多以机理研究为主，在区域植被恢复对区域生态环境动态影响方面研究比较薄弱；对植被恢复过程的研究方法还相对缺乏，手段上较多采用静态方法，动态研究滞后，研究手段和方法上还有待提高。今后要加强植被恢复对环境影响的系统研究，建立植被恢复环境影响监测网络，进行长期动态、连续性的监测；

（2）植被退化、土壤状况（水分、养分）、群落优势种相互之间的关系认识不够；目前尚不能从植被退化、土壤状况和群落优势种相互之间的关系来确定植被所处的演替阶段，从而不能有针对性地采取相应的植被恢复对策、途径和步骤，提高植被恢复的效益；

（3）生态恢复成效评价体系不完善。由于生态恢复是一个动态的过程，要掌握在这个动态过程中生态系统所发生的变化，需要对恢复过程中的前后变化进行长期监测和科学地评价。但目前这方面的研究相对来说较少，现有的指标体系还不系统，并且可操作性差；植被恢复效益评价指标过于简单和主观，多数研究者仅是以植被覆盖率、水土流失和土壤肥力恢复等几个可测性指标的变化幅度来评价植被恢复的效益，没有建立评价植被恢复效益的综合评价体系；

（4）现有的恢复生态学模型还不能适应需要。今后要重点探讨生态系统的动态及其内在机制，对系统内的物质及能量循环、生物生产力、呼吸作用等随生态系统变化而产生的动态变化进行数学模拟，还要加强物种对影响生态系统的特性等方面研究。

2.1.5.2 研究重点

生态系统的恢复与重建研究需要长期的定位实验和观测，国内外在生态恢复方面的工作还不够系统和完善，同时生态恢复是一项系统的工程，需要国家、社会、科学工作者和民众的共同参与与合作。在今后的研究和实践中，生态恢复还需要加强各类生态系统退化机理与过程、景观生态设计、恢复与重建的关键性技术、生物多样性测度与保护、生态恢复的标准、系统指标的选定和确立、生态系统恢复时间的预测、生态经济评价与调控、风险效益评价等方面的研究。研究技术方面还要借助现代信息技术和计算机技术等高科技手段，不断提高获取生态系统各类信息的速度和准确性，为动态监测、实时评价、准确预测系统的运行变化提供丰富准确的数据。

2.2 群落演替研究进展

2.2.1 演替理论仍在发展

群落演替是生态学中最重要的问题之一，研究演替规律有助于对生态系统进行有效的控制和管理，并可指导退化生态系统恢复和重建，Odum 认为“生态演替是解决当代人类

环境危机的基础”(王伯荪, 1985; 任海, 2001)。经典的演替理论是由美国的 Clements(1916)提出的单元顶极假说(monoclimax theory), 该理论是以群落学为基础的。演替的第二个主要理论是 F. E. Egler 提出的, 认为演替具有很强的异源性, 并不一定朝着顶极群落方向发展, 该理论认为没有一个物种会对其他物种占有竞争优势, 故该理论被称为抑制作用理论。演替的第三个重要理论是由 J. H. Connell 和 R. O. Slatyer 提出的忍耐理论, 他们认为演替就是靠新物种的侵入和原来定居物种的逐渐减少而进行的。除了上述三个重要的演替理论外, 还有不少生态学家以不同的角度提出了许多新的演替理论, 如初始植物区系学说(initial floristic theory)(Egler, 1954), Grime 提出了适应对策演替理论(R-C-S 学说); Tilman 提出了资源比例理论; Pickett 等提出了等级演替理论; 美国植物生理生态学家 Bazzaz 还试图从演替先锋群落到顶极群落一些主要种的生理生态学的主要特征的比较上来解释演替的机理。20 世纪 70 年代后开始强调干扰在群落演替中的作用。在受迫生物群落逆行演替的任一阶段, 只要环境胁迫(environmental stress)未超过生态阈值(ecological threshold), 一旦停止干扰, 群落就从这个阶段开始它的复生过程, 且演替速度较原生演替快。在森林植被的恢复重建研究中, 这个理论得到了较大的重视与发展(王仁卿等, 2002)。现代生态演替理论最重要突破之一是认识到演替方向的多重性。我国近年来由于植被恢复受到重视, 演替规律已经越来越受到生态学家的关注。在华北地区, 近年来关于森林演替的研究不是很多, 如张玉钧等人(1997)主要对灌木植被进行了研究。王印传和傅桦(2001)对雾灵山森林群落的同期发生演替进行了分析, 其他地区森林演替的研究相对较零散和分散(孙航等, 1996; 余树全, 2003; 王献溥, 1997; 吕亚强, 2001; 吴邦兴, 1995)。演替理论的发展, 为植被恢复生态学的发展提供了坚实的理论基础。这些理论对生态恢复和重建具有重要的指导作用, 广泛应用于生产实践中(余作岳等, 1997; Cairns, 1995)。

2.2.2 群落演替模型不断更新

演替理论和模型的研究仍是当今生态学中的重大挑战之一。自 20 世纪 80 年代以来, 随着生态学的发展和数学方法的应用, 对生态演替的研究开始由定性转为定量, 演替成为数学生态学研究的主要内容之一(孙儒泳, 2002; 张金屯, 1995)。一些数学方法被应用到生态演替的研究中, 应用较多的数学模型主要包括: 马尔可夫过程模型、演替的竞争模型、非收敛系统模型等(王刚等, 1990; 赵景柱, 1992; 张大勇等, 1989, 1990)。最近 10 多年来, 许多新的数学方法被应用到群落演替研究中, 主要包括统计分析模型, 如主分量分析(principal component analysis)、典型相关分析(canonical correlation analysis)方法等, 马尔可夫过程模型, 演替的竞争模型、生态位模型、模糊数学模型等(孙儒泳, 2002; 张金屯, 2002)。由于群落演替的过程与机制非常复杂, 其模型也较多, 包括线性及非线性系统预测方法。以往的研究者认为一般情况下群落演替可归结为线性系统, 演替的线性模型可以通过马尔可夫过程来描述: 马尔可夫过程所描述的演替过程, 实质上是群落中各组分的竞争过程。事实上, 植物群落的演替系统一般都是随机性系统, 尤其在人类对自然植被干扰能力如此强大的今天, 非线性则可用局部线性化的方法研究(王孝安, 1994; 熊利民, 1991)。

目前国内关于群落演替的趋势预测仍以“时空替代”的现实样地演替序列法为主, 如王伯荪(1985)、李兴东(1993)、郑元润(1999)、余树全(2003)等对演替过程预测都

基于上述方法。数学模型方法对群落演替的预测的研究,还存在一定的问题,有待于完善和提高(王德艺, 2003)。

2.3 恢复过程的生态学研究不断深入

2.3.1 生产力和生物量仍是研究重点

在生态系统中,植物的生物量是非常重要的,它是系统内各种物质流和能量流的基础,其数量最能反映生态系统的生产能力(Cannell, 1982)。随着对生态系统认识的深化和利用途径的多样化,以生物量方法研究和评价生态系统的生产能力,已成为一种重要的手段。我国自20世纪70年代末开展生物量的研究工作。从人工林生物量开始研究,随着工作的开展,研究也从人工林扩展到自然林;从温带森林到亚热带森林和热带森林,逐步扩展到草原、海洋和各类水体。生物量及生产力的测定方法主要有收获法,即通过对生物体现存量采用直接收获进行研究。直接收获法有两种,全收获法和样木收获法。全收获法最为直观,数据也最为可靠,但因为需要太大的工作量而难以有效地应用。现在多用在草地生物量或灌木的测定上。森林生物量的研究最常用的“相对生长法”,是以Huxley(1932)提出的相对生长法则为依据的,这种形式在国内外得到了广泛应用。气体交换法可以通过测定植物的光合作用或呼吸作用测定生物量,该法要求有高精密度的仪器、劳动强度小等优点,因而备受人们的重视。

2.3.2 水分研究成为热点

土壤水分是干旱、半干旱地区植被恢复的主要限制因子,关于水分胁迫下的植物反应、半干旱区土壤水分的时空分布格局及其与植被分布的关系等问题一直是恢复生态研究的热点(杨文治, 1998; 张小泉, 1994)。目前研究内容主要涉及土壤水分含量的影响因素(如质地、容重)、土壤水分常数(田间持水量、凋萎系数、饱和持水量、土壤导水率等)、植物生长与土壤水分的关系等方面(刘贤赵, 1997)。土壤水分的空间分布对植被的空间分布具有重要的意义,土壤水分空间格局,导致了植被分布的空间复杂性。正是因为这种复杂性,目前仍然存在很多争论和分歧。关于水分对于植被恢复和建设的直接影响相对研究仍然不足。寻找水分动态规律、探求水分分布格局与植物生长关系、研究植物水分利用和消耗特性、找到提高水分利用效率仍然是恢复生态学需要重点关注的问题(解文艳, 2004; 赵西宁, 2004; 刘奉觉, 1997)。

2.3.3 土壤退化评价方法呈现多样化

土壤退化是生态退化的直接结果,它会带来生态系统自我恢复和抵抗外来干扰能力的降低,也会加速生态退化速率,使水土流失、养分淋溶等退化特征加剧。群落植被变化和土壤性质的变化有着极其密切的关系,因此许多学者都认为抑制土壤退化和促进退化土壤环境的恢复是实现生态恢复的关键之一(岑慧贤等, 1999; 彭少麟, 1996; 余作岳等, 1996)。目前国内外研究重点一方面是比较不同人工林群落在土壤物理性质和化学性质的改良作用;另一方面研究则集中在不同植被类型及植被的不同演替发育阶段与土壤恢复之间的关

系;也有一些研究针对生物多样性对土壤性质的影响来展开(杨小波,2002;吴彦,2001)。从已有的研究看,着眼于土壤因子对植被恢复、群落演替以及群落生物多样性的影响的研究较少。

土壤质量评价是以土壤质量动态变化为基础,通过土壤质量指数的时空变化来反映的。由于评价实体、目标、指标体系的不同,评价模式也多种多样。美国国家土壤保持局提出多变量指标克立格法、土壤质量动力学方法和土壤质量综合评价法;澳大利亚联邦科学与工业研究组织则提出较为定性的综合评价方法,建议用理想水平与现实情况结合进行比较与评价土壤质量。国内关于土壤质量动态变化的研究报道较少,有的学者提出土壤质量相对指数(Relative Soil Quality Index, RSQI)的概念,并用其变化速率评价不同利用方式对土壤质量演化的影响(王效举,1997、1998;陈浮等,2001);胡金明等(1999)提出土壤质量矩阵评价模式;章家恩等(1999)提出“土壤退化距离”和“土壤养分退化综合指数”的概念;为避免涉及各评价指标权重的选取时主观因素的影响,陈浮等(2002)提出采用修正后的内梅罗(Nemoro)公式计算土壤养分质量指数。这些多样的研究方法一方面丰富了土壤质量评价;另一方面由于方法不统一,使得研究结果可比性较差,探求统一的评价方法和技术成为该领域亟待解决的问题。

2.3.4 植被恢复与物种多样性关系还在探索

物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式,对它的研究较之遗传多样性、生态系统多样性、景观多样性更广泛、更成熟(黄建辉,1994)。通过对植被恢复过程中的物种多样性变化研究,可以定量评价植被生态功能的恢复状况。我国对植物物种多样性的研究始于1980年以后。20世纪90年代,我国植物群落多样性的研究已成为生物研究的热点之一。许多研究成果相继发表,近年来,研究内容涉及退化森林生态系统、农业弃耕地、退化沙地草地生态系统等。国内很多学者如李新彬(2006)、杨玉盛(1999)、王国良(2002)、刘忠宽(2004)、万雪琴(2005)、沈泽昊(2001)等都对植物群落的多样性与植被演替的关系展开了深入的研究,并取得了一定成果。

由于群落类型的不同、环境条件的各异以及人为干扰程度差异,致使群落演替与物种多样性的关系十分复杂。有些研究发现随演替进程,物种多样性呈现持续升高的趋势;而有些则认为二者呈“抛物线”关系;也有的提出二者是“先期升高后期波动”的关系。这些不同的结论还有待于在今后研究中统一。关于群落生产力与物种多样性之间的关系,目前研究结果存在着较大的争议(Tilman等,1996)。不同类型植物群落物种多样性和生产力特征及变化规律已有许多研究报道(Wheeler等,1991;Huston,1987;Wilson等,1991;王仁忠等,1996)。达尔文在《物种起源》一书中阐述了这样的一种观点:植物群落越丰富,生产能力也越强(Tilman,1996)。这种关系的研究对植物群落的恢复和重建而言,具有重要的理论意义和实践意义,理论上可以丰富或修正物种多样性的发生和维持机制。

2.3.5 恢复过程的小气候效应

目前,对演替过程中群落小气候的研究较少,而这些较少的研究又多数是在我国的南方地区。闫俊华等(2002)对南亚热带鹤山先锋群落马占相思生态系统水热的连续观测,