

CAOYE YU SHENGTAI HUANJING JIANSHE CONGSHU

草业与生态环境建设丛书

# 草地植被 恢复与重建

王 堃 著



化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心

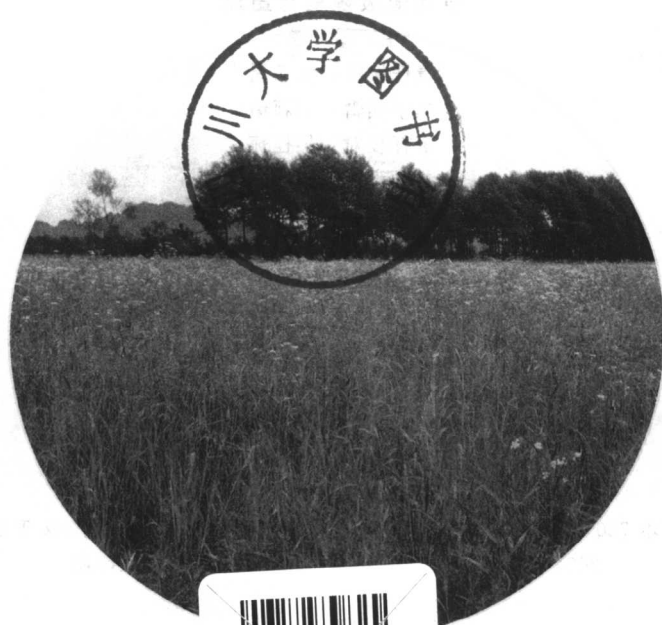
CAOYE YU SHENGTAI HUANJING JIANSHE CONGSHU

草业与生态环境建设丛书

90105179

# 草地植被 恢复与重建

王 堃 著



90105179



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

073035/2

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

草地植被恢复与重建/王堃著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 4

(草业与生态环境建设丛书)

ISBN 7-5025-5426-2

I. 草… II. 王… III. 草地植被-培育 IV. S812.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 037894 号

---

草业与生态环境建设丛书

**草地植被恢复与重建**

王 堃 著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 吴桂萍

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 17 1/2 插页 1 字数 242 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5426-2 /X · 432

定 价: 30.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 序

科学家预言：21 世纪将是生物学的世纪，生命科学将成为一切研究的轴心。生命科学是一个非常宽泛的概念，它既包含了生命本身，也涵盖了与生命有关的环境，而现代生命科学更多关注的是生物与环境的持续稳定发展问题。目前，世界范围内的人口、粮食、环境、能源和交通问题愈来愈突出，特别是由于世界经济一体化，使得人类的物质和文化生活水平不断提高，食物结构在悄然发生着变化，这种变化的结果促使整个农业生产发生了变革。基于上述原因，现代农业遇到了难以逾越的障碍，而且更为严重的是由于土地的不合理耕种和滥用化肥、农药，致使土地肥力下降、荒漠化加剧，农业的生态环境问题愈加突出。就是在这种背景下，草业在 20 世纪末期迅速崛起，逐渐发展成为一个独具魅力的朝阳产业，而且正在迅猛发展！

草业是个知识密集型产业，这是在 20 世纪 80 年代由我国著名科学家钱学森总结、提升出来的，它是集牧草生产、加工、销售、转化乃至畜产品营销为一体的系统工程，目前已基本形成以草地畜牧业、草产品加工业、牧草种子生产业、城市绿地草坪业、景观旅游业以及生态保护与治理为总体框架的行业体系；草业又是一个绿色产业，它在为人类提供畜产品的同时，也在施予人类一种无法替代的生态需求。草业本身具有生产和生态双重功能。因此，世界上较发达的国家都非常重视草地畜牧业的发展，如新西兰、美国、英国、法国等国家的草业都占相当大的比例，远远超过了农业种植业，成为一个真正的农业支柱产业。

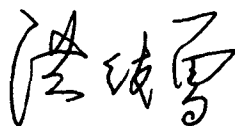
我国拥有 4 亿公顷草地，占国土面积的 41.7%，比林地和农田面积的总和还大，是真正的第一大陆地生态系统，也使我国成为世界第二草地资源大国。但是我国草业整体发展水平并不高，单位面积的产值仅相当于世界上发达国家的几十分之一，主要原因是由于我国的草地资源没有得到科学合理的利用，草地畜牧业生产力水平较低，管理水平落后，草产品的加工能力不足及市场运作不规范，而且最为重要的是草业发展的科学技术支撑不足。特别是近几十年来，由于人口的迅速增长，大面积天然草地被盲目开垦、超载过牧，草地

的生产力水平下降，生态环境恶化。进而导致沙尘暴频发，水土流失严重及荒漠化面积扩大等一系列生态问题，已严重制约了我国农牧业经济的可持续发展。如何进行农业产业结构调整，尽快恢复受损的生态环境，再造一个西部秀美山川，真正营造一个与自然协调发展的健康持续的生态环境，是摆在我们面前的重任。

目前，我国的西部开发战略和农业结构调整工作都已进入了攻坚阶段，国家对西部地区生态环境治理的力度逐年加大，退耕还林还草、防沙治沙、京津风沙源治理及江河源头生态保护等重大项目相继启动。在这些项目中，草业都占据着十分重要的位置。但是科学宣传方面却明显滞后，国内有关这方面的书籍数量非常有限，更缺乏一定的科学理论体系，在某种意义上讲，影响了草业的发展。出版一套《草业与生态环境建设丛书》，一方面，可以直接服务于农牧业生产实践；另一方面，对提高人民的生态环境意识、促进我国农牧业的可持续发展具有重要意义。

化学工业出版社与中国草学会合作，组织草学界不同学术领域的一批具有较深学术造诣的专家、学者，其中绝大多数是中青年科学家、学术界的中流砥柱，集中智慧，共同努力，编纂出版了这套《草业与生态环境建设丛书》，这是一件非常有意义的事情，也是草业科学界的一大喜事，它将对推动我国草业科学和草产业的快速健康发展起到十分重要的作用。

相信并期望本套丛书能够受到广大读者的欢迎！



2004. 1. 8 于北京

# 前 言

生态系统 (ecosystem) 是地球上的生命支持系统。人类正是依靠这一支持系统在自然界的怀抱中安全地生存了几百万年, 创造了许多人类历史文明。然而, 自工业文明时代开始的短短两百多年的时间里, 人类征服自然的破坏性行为, 已把大自然弄得千疮百孔、不堪入目。由于人口的过度膨胀和社会经济的迅猛发展, 人类对自然的干扰 (disturbance) 强度和规模不断扩大, 生态系统退化 (ecosystem degeneration) 已成为普遍现象, 以致引起了温室效应、酸雨、臭氧空洞、环境污染、水土流失、土地沙漠化和生物多样性丧失等全球性生态危机 (ecological crisis), 甚至是生态灾难 (ecological disaster) 已严重地制约了经济和可持续发展, 甚至威胁到人类本身的生存。

作为生命支持系统的生态系统, 在强大的人为干扰压力下, 已经遭到不同程度破坏, 甚至引发了一系列的生态灾难。但也应该看到, 这其中除了部分由于人类无知而产生不良行为外, 更主要的是人类为了生存而采取的一些无奈之举。显然, 原始的自然和谐已远不能支撑现今庞大的地球生命系统。因此, 任何过分崇尚自然的悲观和过分相信人的主观能动性的盲目乐观都是不可取的。只有面对现实, 以生态学原理为人类的行为准则, 逐渐理顺人与自然的关系, 达到人与自然的和谐, 并在此基础上实现可持续发展, 才是人类追求的目的。从而, 研究生态系统受损机理 (damaged mechanism)、恢复 (restoration) 受损的生态系统及重建 (reconstruction) 高效的人工生态系统, 是当前生态学所面临的主要任务。

生态系统是一个开放系统, 它被能流所穿过, 并不断与自然界进行

物质交换；生态系统是一个动态系统，像自然界任何事物一样，永远处于运动和变化之中。但是，由于生态系统具有自维持的内稳态机制，即在不受或少受外力干扰的情况下，系统的变化是围绕一定的水平随时间变化而波动或演替（succession），并使其内部结构由简单到复杂，最终处于自维持状态的功能相对稳定的生态系统。然而，生态系统的这种变化是有一定范围的，也就是所谓的“阈值”。当外在干扰超过这一“阈值”时，生态系统的自调节能力被削弱或阻断，便发生退化。因此，生态系统退化，实质上是系统在超负荷干扰压力下逆向演替的生态过程。它既决定于生态系统的内在因素即自维持力和抵抗力的强弱，也决定于外在的趋动力——干扰。

生态系统的退化是生态系统受损的结果表现，具体体现在系统内组分及相互作用过程发生不良变化，以及系统功能的衰退或生态过程的弱化。造成系统受损的因素很多，既有自然因素，也有人为因素。根据这些因素的作用方式和途径，大致可归为两类：一类是直接或间接地影响生态系统的生命组成部分，如砍伐森林、盲目开垦草原、过度放牧、频繁割草、滥捕滥猎野生动物和自然灾害对动植物的影响等；另一类是对系统的结构成分和环境进行直接或间接的影响，如大气污染、农药化肥使用和污水排放所造成的环境污染，以及不合理耕作造成的土地沙漠化和盐渍化等。但总的看来，人类的直接或间接干预，是造成生态系统退化的根本原因。

生态系统受损后，形成了各种各样的退化生态系统（damaged ecosystem）类型。实际上，我们人类今天所接触到的各种生态系统，已非原初的自然生态系统，而是在人类干扰下所形成的退化或人工生态系统。正如著名生态学家 E. P. Odum 所指出的那样，在今天的自然界，已很少有未受人类影响的生态系统。虽然这些退化的生态系统类型千差万别，但也有其共同特点：①系统结构畸形或简单化；②能量流动出现危机和障碍，物质循环通道不畅；③食物链或食物网结构脆弱化；④系统的生产力下降；⑤对不利环境的抵抗能力下降；⑥系统的稳定性变差。

草地生态系统是陆地生态系统的重要类型之一，它是在自然气候条

件控制及异养生物的共同作用下形成的一种庞大的自然景观，也是一个脆弱的生态系统类型。与其他生态系统一样，在超载过牧和盲目开垦等干扰压力下，草地生态系统受损，并发生退化演替。这种退化不仅表现在其系统内部的结构和功能的衰变上，而且由于它在陆地生态系统的重要位置，以及与其他生态系统的退化耦合（coupling）造成全球生态系统的变化，如大面积开垦草原以致引发的“黑风暴”及气候干旱化等。我国的草地生态系统退化形势非常严峻，据最新资料显示，我国草地退化（grassland degradation）面积为 1.35 亿公顷，占草地总面积的三分之一，并且每年还在以 200 万公顷的速度增加，（全国生态环境建设规划，光明日报，1999 年 1 月 7 日），已严重影响了我我国草地畜牧业的发展和各项社会主义经济建设。

退化草地生态系统的恢复与重建一直是国内外学术界研究的热点领域之一，我国在西部开发中把生态环境建设放在首位，而西部地区的地带性植被是草原，目前已经开展或即将启动的许多重大工程项目中都包含相关内容。因此，开展退化草地植被恢复重建研究是实现我国社会、经济、生态协调持续发展的需要。本书初步构筑了草地植被恢复与重建的理论框架和方法体系，也基本上反映了该领域的总体科学研究与技术应用水平，期望对广大读者有参考价值！

全书的资料主要来源于作者承担的科技部“973”重大基础研究子专题“农牧交错带生态系统受损机理及恢复重建途径”（G2000018606）、农业部丰收计划项目“重度退化草地植被恢复与重建及综合配套技术推广”（200161280201）、农业部“948”项目“退化草地综合改良与草地建设配套技术引进”（202099）、京津风沙源治理项目“退化草地综合改良技术”（2002-08）以及在研项目河北省省校合作项目“河北省坝上地区退耕地高效饲草料生产技术体系研究”、科技部成果转化项目“农牧交错带退耕地人工饲草基地建及持续利用技术的转化”等。本书是上述各项成果及在研项目的积淀和结晶，也是作者长期理论与实践研究的总结与升华。

本书出版之际，衷心地感谢我的博士生导师东北师范大学祝廷成先生、博士后合作教授中国农业大学韩建国先生，他们在我确定的研究方

向和科研过程中给予了前瞻性的指导和无私的帮助；同时，还要感谢中国农业大学草地研究所的周禾教授、张英俊副教授、戎郁萍副教授、吕进英副教授，他们对本书的撰写曾提出一些有益见解；此外，我的博士研究生邵新庆、严学兵、黄顶、欧阳克惠和硕士研究生刘克思、王在升、王生耀等在资料整理和成文过程中也付出了大量辛勤劳动，对此一并表示感谢！

**著者**

**2004 年 4 月于北京**

## 内 容 简 介

本书是草业与生态环境建设丛书中的一本。

本书是以作者长期从事草地恢复生态研究和实践的成果为基本素材撰写而成的。全书紧紧围绕草地退化、盐碱化和沙化这一生产实践中令人担忧的“三化”问题，首次较全面地阐述了草地植被恢复与重建的理论框架、基本原理和技术应用问题，揭示了退化草地生态系统的成因和过程机制，在分析草地植被恢复的限制因子基础上提出了进行恢复重建的关键技术，并论述了草地生态恢复的方法、步骤及评价体系。

本书可供从事草业科学、生态学、林学、农学、畜牧学、水土保持学、自然地理学和环境科学的高等院校师生、研究生及管理人员参考，也可作为政府有关部门进行草地建设管理和生态环境工程设计时的参考书。

# 目 录

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>第一章 恢复生态学的理论框架 .....</b>     | <b>1</b>  |
| 一、恢复生态学的涵义及溯源 .....             | 1         |
| (一) 历史沿革 .....                  | 1         |
| (二) 概念的提出与发展 .....              | 3         |
| 二、恢复生态学研究的对象与内容 .....           | 5         |
| (一) 研究对象 .....                  | 5         |
| (二) 主要研究内容 .....                | 6         |
| 三、恢复生态学的基本理论 .....              | 7         |
| (一) 生态系统退化及成因 .....             | 7         |
| (二) 干扰与生态系统退化 .....             | 8         |
| (三) 恢复生态学的理论基础 .....            | 9         |
| 四、恢复生态学的发展趋势 .....              | 10        |
| <b>第二章 草地植被恢复与重建研究进展 .....</b>  | <b>13</b> |
| 一、生态系统受损研究进展 .....              | 13        |
| 二、退化草地恢复与重建理论研究进展 .....         | 15        |
| 三、草地植被恢复与重建研究现状与发展趋势 .....      | 16        |
| (一) 退化草地植被恢复重建研究现状 .....        | 16        |
| (二) 草地退化的机理及原因 .....            | 17        |
| (三) 主要存在的问题及发展趋势 .....          | 18        |
| <b>第三章 草地恢复与重建的理论方法体系 .....</b> | <b>19</b> |
| 一、退化生态系统 .....                  | 19        |
| (一) 退化生态系统的概念 .....             | 19        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| (二) 土壤生态系统及其退化·····                     | 19        |
| (三) 退化草地生态系统·····                       | 20        |
| 二、退化草地生态系统恢复的过程与机理·····                 | 21        |
| (一) 退化草地恢复的一般程序·····                    | 21        |
| (二) 退化草地生态系统恢复的机理·····                  | 22        |
| 三、恢复的原则与方法·····                         | 23        |
| (一) 基本原则·····                           | 23        |
| (二) 草地恢复的基本方法·····                      | 24        |
| 四、退化草地恢复的目标与标准·····                     | 24        |
| (一) 恢复的目标·····                          | 24        |
| (二) 恢复成功的标准与时间·····                     | 25        |
| 五、与草地恢复相关的生态学理论·····                    | 26        |
| (一) 自组织理论·····                          | 26        |
| (二) 演替理论·····                           | 27        |
| (三) 生物多样性原理·····                        | 28        |
| (四) 与物质变化相关的生态学原理·····                  | 28        |
| (五) 与能量流动相关的原理·····                     | 29        |
| (六) 与时空有关的原理·····                       | 29        |
| <b>第四章 我国草地退化现状、成因及发展战略·····</b>        | <b>31</b> |
| 一、我国草地退化的现状及存在的问题·····                  | 31        |
| (一) 草地退化的背景分析·····                      | 31        |
| (二) 草地退化现状分析·····                       | 32        |
| (三) 存在的主要问题·····                        | 33        |
| 二、草地退化的成因分析·····                        | 34        |
| (一) 庞大的人口生存压力是造成草地退化的最根本原因·····         | 34        |
| (二) 严酷的自然条件和近期全球气候干旱化是促使草地退化的自然因素·····  | 34        |
| (三) 过度放牧、滥垦滥挖是造成草地退化的直接因素·····          | 34        |
| (四) 投入不足、基础建设缺乏、科研重视不够是造成草地退化的间接原因····· | 35        |

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 三、草地植被恢复与重建发展战略 .....                                 | 35        |
| (一) 草地植被恢复重建的优化模式 .....                               | 35        |
| (二) 草地恢复重建与可持续利用研究 .....                              | 36        |
| (三) 草地植被恢复的总体战略 .....                                 | 38        |
| <b>第五章 草地生态系统受损机理 .....</b>                           | <b>43</b> |
| 一、草地生态系统受损的原因及特征 .....                                | 43        |
| 二、草地生态系统受损的耗散结构机制 .....                               | 43        |
| 三、农牧交错带草地生态系统受损机理实证 .....                             | 45        |
| <b>第六章 退化草地生态系统的演替 .....</b>                          | <b>51</b> |
| 一、放牧草地退化机理的初步探讨 .....                                 | 51        |
| (一) 放牧草地退化阶段的划分 .....                                 | 51        |
| (二) 草原放牧演替轨迹 .....                                    | 59        |
| (三) 在放牧演替过程中, 群落主要优势种的种间协变<br>(CO-Variation) 规律 ..... | 62        |
| (四) 草原退化演替中物种多样性变化规律研究 .....                          | 69        |
| (五) 草原退化演替中土壤种子库的变化规律 .....                           | 72        |
| (六) 草原退化演替各阶段地上地下生物量及其结构的比较 .....                     | 74        |
| (七) 退化草地枯枝落叶的积累及分解 .....                              | 76        |
| (八) 退化草原土壤理化性状的模糊评判及其与植被之间的<br>关系 .....               | 78        |
| 二、垦殖 (clearing) 对交错带草原生态系统的影响 .....                   | 80        |
| (一) 垦殖与自然气候变化的关系 .....                                | 82        |
| (二) 农牧交错带农田土壤沙漠化过程及灰色马尔科夫 (GM)<br>预测 .....            | 82        |
| (三) 垦殖对农牧交错带草地生物多样性的影响 .....                          | 86        |
| 三、土壤风蚀规律及其与植被覆盖度之间的关系 .....                           | 90        |
| (一) 土壤风蚀规律的研究 .....                                   | 90        |
| (二) 植被覆盖度与土壤风蚀关系的研究 .....                             | 92        |
| <b>第七章 受损草地生态系统的恢复与重建 .....</b>                       | <b>95</b> |
| 一、退化草地生态系统的恢复 .....                                   | 96        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| (一) 围栏禁牧与退化草地植被的进展演替·····    | 96         |
| (二) 退化草地恢复改良措施的比较·····       | 105        |
| (三) 退化草地施肥的效果·····           | 110        |
| 二、撂荒地植被演替·····               | 111        |
| (一) 撂荒地植被演替的阶段划分·····        | 112        |
| (二) 撂荒地植被演替中物种多样性变化规律·····   | 114        |
| (三) 撂荒地演替过程中土壤理化性状变化规律·····  | 116        |
| 三、人工草地的建立·····               | 117        |
| (一) 优良牧草及饲料作物品种筛选·····       | 118        |
| (二) 人工草地建植方式研究·····          | 120        |
| <b>第八章 盐碱化草地的类型与分布</b> ····· | <b>127</b> |
| 一、盐碱土的地理分布·····              | 127        |
| (一) 滨海地区·····                | 128        |
| (二) 黄淮海平原·····               | 128        |
| (三) 东北平原·····                | 129        |
| (四) 河西走廊·····                | 130        |
| (五) 准噶尔盆地·····               | 130        |
| (六) 塔里木盆地·····               | 130        |
| (七) 柴达木盆地·····               | 132        |
| 二、盐碱土的类型·····                | 132        |
| (一) 盐土·····                  | 133        |
| (二) 碱土·····                  | 134        |
| 三、中国盐生植物的类型和种类·····          | 135        |
| (一) 盐生植物的定义·····             | 135        |
| (二) 盐生植物的生态类型·····           | 136        |
| (三) 盐生植物的种类·····             | 136        |
| 四、主要盐生植物的生物-生态学特征及地理分布·····  | 137        |
| (一) 蓼科 (Polygonaceae)·····   | 138        |
| (二) 藜科 (Chenopodiaceae)····· | 138        |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| (三) 毛茛科 (Ranunculaceae)  | 140 |
| (四) 十字花科 (Cruciferae)    | 140 |
| (五) 蔷薇科 (Rosaceae)       | 140 |
| (六) 豆科 (Fabaceae)        | 141 |
| (七) 蒺藜科 (Zygophyllaceae) | 141 |
| (八) 柽柳科 (Tamaricaceae)   | 141 |
| (九) 菊科 (Compositae)      | 142 |
| (十) 禾本科 (Gramineae)      | 142 |
| (十一) 莎草科 (Cyperaceae)    | 144 |
| (十二) 百合科 (Liliaceae)     | 144 |
| <b>第九章 盐碱化草地的形成机理</b>    | 145 |
| 一、盐碱土的主要特征               | 145 |
| 二、土壤中盐分的来源和迁移            | 146 |
| 三、盐碱土的形成条件               | 148 |
| (一) 草地盐碱化的自然条件           | 148 |
| (二) 草地土壤盐碱化的人为因素         | 150 |
| (三) 草地盐碱土的形成过程           | 151 |
| 四、盐类对植物毒害的原因             | 153 |
| (一) 盐类对植物毒害的原因           | 153 |
| (二) 主要阴、阳离子对植物的毒害作用      | 154 |
| 五、碱斑的形成及扩展机制             | 155 |
| (一) 基本概念                 | 155 |
| (二) 松嫩草原碱斑的形成分析          | 156 |
| (三) 碱斑的扩展分析              | 157 |
| (四) 研究结论                 | 157 |
| <b>第十章 盐碱化草地植被的恢复重建</b>  | 159 |
| 一、盐碱草地恢复与重建基本理论          | 159 |
| 二、盐碱化草地的恢复重建途径           | 162 |
| (一) 围栏封育                 | 162 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| (二) 施肥 .....                     | 167        |
| (三) 灌溉 .....                     | 170        |
| (四) 松土 .....                     | 171        |
| (五) 生物措施 .....                   | 174        |
| (六) 施枯草 .....                    | 177        |
| (七) 铺沙 .....                     | 182        |
| (八) 施石膏 .....                    | 183        |
| <b>第十一章 草地荒漠化现状及发展趋势 .....</b>   | <b>185</b> |
| 一、荒漠化概念 .....                    | 185        |
| (一) 荒漠化概念的提出 .....               | 185        |
| (二) 荒漠化与沙漠化概念的甄别 .....           | 186        |
| 二、国外荒漠化研究进展 .....                | 189        |
| (一) 世界土地荒漠化状况 .....              | 189        |
| (二) 国外荒漠化研究现状 .....              | 190        |
| (三) 荒漠化研究发展趋势 .....              | 194        |
| 三、中国的荒漠化研究进展 .....               | 195        |
| (一) 国内荒漠化研究现状 .....              | 195        |
| (二) 国内荒漠化研究展望 .....              | 197        |
| <b>第十二章 温带草地沙漠化现状及成因分析 .....</b> | <b>199</b> |
| 一、概况 .....                       | 199        |
| 二、中国温带草地沙漠化现状 .....              | 200        |
| (一) 草地沙漠化面积不断扩大 .....            | 201        |
| (二) 草地沙漠化造成生物生产力严重下降 .....       | 203        |
| (三) 草地沙漠化的危害程度逐年增加 .....         | 203        |
| (四) 草地沙漠化导致生态系统功能紊乱 .....        | 204        |
| 三、中国草地沙漠化的成因探讨 .....             | 205        |
| (一) 草地沙漠化的自然因素分析 .....           | 205        |
| (二) 草地荒漠化的人为因素 .....             | 209        |
| 四、草地荒漠化的发生机理 .....               | 213        |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| (一) 草地沙漠化过程中的反馈关系·····                 | 213 |
| (二) 沙漠化的非平衡过程·····                     | 214 |
| (三) 沙漠化与系统复杂性的关系·····                  | 214 |
| <b>第十三章 温带草原沙漠化过程中土壤理化性状变化研究</b> ····· | 215 |
| 一、研究地区的自然概况·····                       | 216 |
| 二、研究方法·····                            | 217 |
| 三、草地沙漠化过程中土壤结构变化分析·····                | 218 |
| (一) 草地沙漠化过程中土壤表层物理特性变化规律·····          | 220 |
| (二) 沙化草地土壤化学特性分析·····                  | 222 |
| 四、研究结果与讨论·····                         | 223 |
| <b>第十四章 草地沙漠化过程中植被的变化规律</b> ·····      | 225 |
| 一、概论·····                              | 225 |
| 二、研究方法·····                            | 226 |
| (一) 演替研究方法·····                        | 226 |
| (二) 土壤种子库研究方法·····                     | 226 |
| (三) 物种多样性计算方法·····                     | 227 |
| 三、草地沙漠化过程中的群落演替·····                   | 227 |
| (一) 群落演替的驱动力·····                      | 228 |
| (二) 群落的演替轨迹·····                       | 228 |
| (三) 草地沙漠化过程中土壤种子库的变化规律·····            | 232 |
| (四) 草地沙漠化过程中物种多样性变化·····               | 234 |
| (五) 植物对沙漠化的适应机理及沙生植物特点·····            | 235 |
| 四、基本结论·····                            | 237 |
| <b>第十五章 沙化草地的恢复与重建途径</b> ·····         | 239 |
| 一、沙漠化治理的国内外概况·····                     | 239 |
| 二、自然概况和研究方法·····                       | 241 |
| (一) 研究地区的自然概况·····                     | 241 |
| (二) 沙化草地自然恢复研究方法·····                  | 241 |
| (三) 沙化草地的人工恢复研究方法·····                 | 242 |