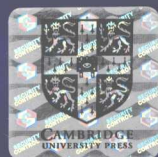


受损自然生境 修复学

〔美〕 STEVEN G. WHISENANT 著
赵忠 等 译



科学出版社
www.sciencep.com



图字：01-2007-2360号

受损自然生境修复学

〔美〕Steven G. Whisenant 著

赵忠等 编译

本书由科学出版社与美国加州大学出版集团合作出版。本书任何部分之文字及图片，未经出版者许可，不得用任何方式抄袭、复制或翻印。
© Cambridge University Press & Science Press, 2006.
This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
Press 1999. All rights reserved.
0520521869407 by Steven G. Whisenant, first published by Cambridge University Press 1999. A process-oriented, landscape-scale approach. Fifth printing.

图书在版编目(CIP)数据

受损自然生境修复学 / (美) 惠森特 (Steven G. Whisenant) 著；赵忠等

译．—北京：科学出版社，2006

ISBN 978-7-03-020187-4

I. 受… II. ①惠… III. 生境—修复—教材 IV. Q14

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第173253号

责任编辑：甄文全 刘晶 责任校对：包志江
责任印制：张志成/封面设计：张彦雷设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100071

<http://www.sciencep.com>

科学出版社发行 各地新华书店经销

2006年1月第1版 开本：B5 (130×100)

2006年1月第1次印刷 印张：14.5

科学出版社

定价：33.00元

(如有印装质量问题 请与本社联系)

北京

图字：01-2007-5360 号

内 容 简 介

从改善受损生境的生态条件、增加生物多样性和提高生产力的角度来讲,这本书所描述的独到生态修复方法与措施对人们有着非同寻常的吸引力。本书作者基于生态学理论和立足于自然生态过程的修复,而并非依靠昂贵的经济投入,提出了如何使受损生态系统趋于稳定的措施。确定了现实可行的管理目标。这种强调从修复水分和养分循环过程开始,增强系统对能量固持能力的思路,必将使受损生境通过自身的主动反馈,不断和自发地走向恢复。因此,本书所提出的修复策略,更适合于人们一贯所追求的低成本而又可持续的土地利用和植被管理模式,以实现增加生物多样性、促进畜牧业和木材生产、适于野生动物栖息、提高流域水分有效管理、增强和优化生态系统服务功能的目标。到目前为止,还没有其他书籍能够提供如此全面的受损生境修复策略,这使得本书成为在生态修复、生物保护、草地与牧场管理等领域的一本极具价值的著作。

本书可供各类学校生态学专业选作教材。同时,也可供有关专业科研人员参考。

Repairing Damaged Wildlands: a process-oriented, landscape-scale approach, Fifth printing 2005, (9780521665407) by Steven G. Whisenant, first published by Cambridge University Press 1999. All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Science Press, 2008.

本书由科学出版社和剑桥大学出版社合作出版。本书任何部分之文字及图片,未经出版者书面许可,不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

本书封面贴有 Cambridge University Press 激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

受损自然生境修复学/[美]惠森特(Steven G. Whisenant);赵忠等

译. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-020187-4

I. 受… II. ①惠…②赵… III. 生境-恢复-高等学校-教材 IV. Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 173353 号

责任编辑:甄文全 刘 晶/责任校对:包志虹

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 1 月第一次印刷 印张: 14 3/4

印数: 1—3 000 字数: 350 000

定价: 33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<明辉>)

中文版序言

自从 20 世纪 90 年代后期着手写这本书开始，生态修复日益引起了世界不同国家和地区的人们愈来愈广泛的关注。迄今为止，我曾有幸到过 30 多个国家访问和工作，这些经历使我深深地感受到人们对改善生态环境服务功能、提高生活质量的迫切需求。政府组织、非政府组织和个体农户也已认识到健康的自然生境生态系统在提高区域生物多样性、发展农业生产和改善人居环境质量方面的重要意义。这种情况在中国更为突出。1991 年以来我曾先后 15 次来到中国，严重的环境问题和那些改善环境的巨大工程给我留下了深刻的印象。也正是人们的努力工作和改善环境的决心与信心一直激励着我和我的中国新老朋友坚持不懈地致力于生态修复事业。

现在这本著作被翻译成中文，使得更多的人可以阅读和使用，这让我深感荣幸，也非常激动，因为没有西北农林科技大学的朋友们热情和真诚的帮助，这几乎是不可能的。对此，赵忠副校长给予了高度评价，认为这是一项具有重要意义的工作。王朝辉、刘增文、廖允成、海江波、李凯荣、王进鑫、张胜利、张青峰、赵淳和李轶冰等学者参与了本书的翻译和编辑，对他们努力和富有创意的工作，我表示深深的谢意！同时，我也非常感谢剑桥大学出版社许可这本书以中文再版以及科学出版社为出版此书而做出的努力！

祝愿中国的生态修复工作取得更大的成就！

Steven G. Whisenant
College Station, Texas, USA
May 2007

中文版前言

人为和非人为因素造成的自然生境破坏、生物多样性退化、人与环境的关系恶化等问题已引起了人们的广泛关注。特别是随着世界与我国人口的不断增长，所产生的环境与资源压力与日俱增，给人类的生存带来前所未有的威胁。认识生态过程、保持生态系统的功能和修复受损或退化的自然生态系统已成为人类生存亟待解决的问题。本书结合我们对生态或自然生境修复的认识，翻译了美国得克萨斯农工大学草地生态与管理系 Steven G. Whisenant 教授的著作 *Repairing Damaged Wildlands*。

这本书汇集了 Whisenant 教授在生态修复与自然资源管理方面 25 年来丰富的教学、科研、技术推广实践经验和重要理论成果。作者基于生态学理论，着眼于自然恢复过程，以改善受损自然生境的生态过程、增加生物多样性和提高生产力为目标，从修复水分和养分循环开始，增强系统的能量固持能力，强调通过自身主动反馈，促使受损生境不断和自然地走向恢复。同时，从提高生物多样性、促进养殖和木材生产、创造有利于野生动物栖息条件、有效管理流域水分、实现自然生境人文服务功能的角度出发，提出了如何使受损生态系统趋于稳定的措施，确定了现实而又可持续的土地利用和植被管理模式。本书共 8 章：第 1 章介绍自然生境的退化与修复；第 2 章介绍自然生境主要生态过程受损评价；第 3 章介绍自然生境主要生态过程修复；第 4 章介绍植被变化调控；第 5 章介绍修复植物筛选；第 6 章介绍整地与种植地管理；第 7 章介绍修复植物种植技术；第 8 章介绍自然景观修复规划。

本书第 1 章由赵忠、王朝辉和赵淳，第 2 章由张青峰、海江波和刘增文，第 3 章由廖允成、李铁冰和海江波，第 4 章由刘增文、李凯荣和张青峰，第 5 章由海江波、王进鑫和廖允成，第 6 章由李凯荣、刘增文和张胜利，第 7 章由王进鑫、张胜利和赵忠，第 8 章由张胜利、王进鑫和张青峰，负责完成编译工作。在

初稿完成后,由刘增文和海江波两位老师对所有章节反复进行统一、阅改,并经各位老师认真校改。成稿后,请李生秀教授对全部书稿进行审阅,并根据审稿意见进行了最后修订。研究生赵淳为本书的文字编辑、图表绘制做了大量工作。为了使文字内容的翻译准确到位,本书原作者 Whisenant 教授利用到中国访问的机会,专门对编译工作进行了有益的指导。科学出版社的甄文全博士作为本书的责任编辑,对工作非常负责,字斟句酌、严格要求、一丝不苟,他这种精益求精的敬业精神使我们深受感动。

在此,对各位专家为本书编译、出版付出的辛勤劳动,表示最衷心的感谢!

赵 忠

2007年5月 杨凌

原 版 前 言

人类对自然生境生态系统需求的日益增加导致了基础资源的退化、物种多样性的降低以及可利用的物质产品和服务功能的减少。由于受到现实社会经济因素和对该问题认识程度的限制，人们对自然生境退化所做出的反应还不是非常积极和有效的。为了修复受损的自然生境，我们已付出了艰辛的努力，也有很多成功的案例，但还是有越来越多的自然生境已经或正在受到更为严重的破坏。高昂的费用、较少的利润和彻底的失败，使得对受损或低生产力的自然生境的修复工作陷入了困境。这些问题主要是由于对本应该有效的农艺技术和措施的错误应用而导致的严重后果。

残酷的现实告诫我们，对于退化生境的修复要保持谨慎的乐观态度。目前全世界很多学科领域的科学家和工作者都提出了大量改善和修复受损生境的有效措施。尽管国际间信息的传播已经很畅通，但是学科之间的交流仍显不足。关于受损自然生境修复的大量概念和研究报道出现在农林业、作物间作学、土壤微生物学、水文学、生态工程、养分循环、矿区复垦、保护生物学、景观生态学和其他生态及应用学科领域的文献中。随着各个学科的发展，在新观点、新概念、不同的修复思路和实践日益增多的同时，也增加了学科之间交流的难度。

本书对于有兴趣致力于改善生态环境、增加生物多样性和提高受损生境生产力的各界人士具有重要的参考价值。这本书所关注的是设法降低受损自然生境修复中的昂贵投入，因此，这里提出的方法是要修复主要生态过程和启动生态系统的自发修复机制，而不是要设法替代日益耗竭的自然资源。这里虽然不强调取代自然资源，但并不是说补充养分或者其他物质因素不重要。相反，我们的目的是想寻求一种修复策略，通过自发的生态过程和最少的人为干预，实现对受损自然生境的有效修复和管理。这种方法特别适用于要求低投入和以保持生物多样性为目标的可持续植被管理，并维持一定的畜牧与木材生产、野生动物栖息地和有效

流域管理等生态系统服务功能的土地利用情况。

本书没有列举出所有可能的修复方法，而且这些方法的组合也是无穷的。我们的目的是为针对具体的受损自然生境设计综合修复措施提供一个方法基础。尽管我们可以改善或修复受损的自然生境，但并不能排除人为的或其他因素对生境的进一步破坏。而且，经过修复的自然生境在很多方面都不能与未受损时的状态相比。因此，最好的方法就是防止对自然生境的损害。

本书吸收了许多前人和相关著作的研究成果。因为受损自然生境的修复方法一直都在发展，因此本书一个很重要的目的就是整合相关学科的理论观点和实际的修复方法，形成一个生态过程调控的概念性框架，促进生态修复学科的发展。生态系统并不像一本书那样是由一些独立的单元或章节组成的，因此，本书在各个章节的整合中将会增加相关概念的一致性和连续性，突显自然生境修复措施的整体性特征，而且没有哪一个章节可以独立形成一项有效的修复方法。也正是由于本书的综合性特征，使其对于专业培训、研究生，或者具备一定生态学和土壤学专业知识的低年级本科生等，具有重要的参考价值。

Steven G. Whisenant

1999 年

目 录

中文版序言

中文版前言

原版前言

第 1 章 自然生境的退化与修复	1
1.1 自然生境的退化	3
1.2 确定可实现的目标	7
1.3 受损生境的修复	11
1.3.1 传统措施	11
1.3.2 推荐的修复措施	13
第 2 章 自然生境主要生态过程受损评价	17
2.1 什么是生态系统正常与受损的功能?	17
2.1.1 资源的保护	18
2.1.2 正常的水文功能	23
2.1.3 土壤侵蚀	27
2.2 自然生境的生态机制评价	29
2.2.1 土壤稳定性和水文功能	32
2.2.2 养分循环	41
2.2.3 养分循环的直观评价	43
第 3 章 自然生境的主要生态过程修复	44
3.1 改善表层土壤状况	46
3.1.1 增加地表粗糙度	46
3.1.2 提高地表粗糙度, 控制风蚀	47
3.1.3 地面障碍物	49
3.1.4 土壤调节剂	55
3.1.5 诱发微生物结皮的形成	55
3.2 提高土壤对资源的保持能力	56
3.2.1 选择适应土壤养分状况的植被	56
3.2.2 修复或者取代土壤中的生物过程	61
3.2.3 增施有机物质	63
3.3 其他水文问题	65
3.3.1 干旱区土壤盐渍化	65

3.3.2	沟道侵蚀	66
3.3.3	压实土壤	67
第4章	植被变化调控	69
4.1	认识植被变化	69
4.1.1	生态过程与环境	70
4.1.2	不确定性和稀少的偶发事件	70
4.1.3	时间和空间变化	71
4.1.4	植被变化机制	71
4.1.5	植被稳定态和转变临界点	73
4.2	确定目标	74
4.3	调控植被变化	74
4.3.1	物种特性的分化	75
4.3.2	生境有效性的分化	81
4.3.3	物种有效性的分化	84
第5章	修复植物筛选	89
5.1	植物种及其种间搭配	90
5.1.1	本土物种	91
5.1.2	物种多样性	95
5.1.3	遗传多样性	95
5.1.4	功能多样性	97
5.1.5	整合规则	104
5.1.6	自我调节	106
5.2	植物繁殖器官的选择	107
5.2.1	种子	107
5.2.2	整株植物	112
5.2.3	其他繁殖器官	117
第6章	整地与种植地管理	119
6.1	自然恢复	119
6.2	辅助自然恢复	120
6.3	人工恢复	121
6.3.1	播种失败的原因	121
6.3.2	整地与种植地管理	123
6.4	特殊生境的整地与种植地管理	133
6.4.1	缺水生境	133
6.4.2	盐渍化土壤	134
6.4.3	活动沙丘	136
6.4.4	覆盖	137

第7章 修复植物种植技术	139
7.1 直播	139
7.1.1 种子准备	139
7.1.2 播种时间	140
7.1.3 播种量	142
7.1.4 播种深度	144
7.1.5 条播	146
7.1.6 撒播	149
7.2 移植	154
7.2.1 乔灌木树种的栽植密度	156
7.2.2 野生苗	157
7.2.3 草皮	157
7.2.4 裸根苗	157
7.2.5 容器苗	158
7.2.6 插条	159
7.3 修复生境种植后的维护管理	159
7.3.1 草地	160
7.3.2 林地	161
7.3.3 乔灌木幼苗的保护	161
第8章 自然景观修复规划	164
8.1 对景观的认识	164
8.1.1 景观结构	164
8.1.2 景观功能	165
8.2 景观设计的原则	165
8.2.1 治本胜于治表	168
8.2.2 生态过程修复优于结构重置	168
8.2.3 修复措施的适宜尺度	169
8.2.4 提高对有限资源的保持能力	169
8.2.5 设计景观空间变化	171
8.2.6 维持景观主要生态过程的整合性	171
8.2.7 设置景观间的关联性	171
8.2.8 设置种源斑块	172
8.2.9 增强种子的动物传播	173
8.2.10 增强种子的风力传播	174
8.2.11 增强动物的积极作用	174
8.2.12 改善微环境	174
8.3 决策程序	175
8.3.1 环境关系分析	176

第1章 自然生境的退化与修复

自然生境 (wildland) 包括森林、草地、稀树草原、沙漠、湿地、灌丛、沼泽及其他一些人类粗放经营管理的土地。在这些地方, 维持具有较强自我调节能力的多年生植被的长期生存是生态系统管理的主要目的。尽管自然生境通常保持着相对较低的生产力水平, 或者所生产的产品具有相对较低的市场价值, 但是, 自然生境覆盖了地球大部分陆地, 不仅为人类提供了食物、纤维及休闲娱乐资源, 而且对于实现生物多样性、调控水资源质量和数量以满足多种农业及非农业的用途, 都具有非常重要的作用。

尽管这些自然生境生态系统的最初退化已改变了物种的组成, 但它们仍然具有调控土壤、水分、养分及有机物质等组成系统本身的一些必要资源的能力。当这些自然生境生态系统失去对资源调控能力时 (Chapin et al., 1997), 就意味着退化已经很严重了。不仅如此, 严重受损的自然生境还将失去自我修复能力, 不再能够抵御接踵而来的退化过程, 即它将不具有抗逆性, 而且还要失去它的环境服务功能 (Myers, 1996)。随着退化进一步加剧, 超过临界值时, 这些区域将永远不能再恢复, 这就是所谓的荒漠化。它一旦开始, 就是一个动态的、难以逆转的过程 (Tivy, 1990; Thurow, 1991)。

自然生境的退化包括社会经济和生理功能两个方面。也正是由于这两方面的原因, 人们感到难于对退化的程度进行评价。社会及一些个体经营者对于这些生态系统的物质产品和服务功能的需求, 影响了人们对退化过程的理解和认识。物种组成的变化降低了自然生境的社会经济价值, 但并不会影响它对于那些必要资源的制约能力。作为本书所关注的重点——生理功能的退化, 在自然生境失去了对那些必要资源制约能力的时候, 必将会发生。由于生理功能退化对生态系统的社会经济价值的不良影响, 因此常常用作评价自然生境退化的主要指标。当然, 有些评价以生态系统的社会经济价值退化为指标, 但多数情况下不仅如此, 而且要两者兼顾。

由于一些不准确的信息或者信息缺乏, 以及众多对于退化类型的不合理定义, 人们很难去描述和估计这些区域或全球性退化的影响。因此, 建立在各种划分标准基础上的、对于退化的全球性评价也只能是粗略的。尽管定义不同, 但是大家都明确承认在大部分地区都存在着严重的退化问题。例如, 1945~1990年, 世界上大约有 17% 的植被覆盖地区 (2000 万平方公里) 发生了退化 (WRI, 1992); 到 1984 年, 全球大约有 61% 的高产农田都出现了中度荒漠化, 在发展

中国至少有 80% 的牧场发生了荒漠化 (Mabutt, 1984); 到 1992 年, 大约有超过 1200 万平方公里的退化土地仅依靠农民个人的力量已无法修复, 其中 300 万平方公里的土地需要大量的工程措施才能修复, 1 万平方公里的土地已经无法修复 (Mabutt, 1984; Tivy, 1990; Harrison, 1992)。此外, 每年还有 6 万平方公里的土地发生不可逆转的退化 (UNEP, 1984)。自然生境生态系统的退化与破坏可以有很多种定义, 都很难准确量化, 但作为一个主要的全球问题, 自然生境的退化必须得到足够的重视。

即使对目前全世界土地退化或荒漠化进行最乐观的估计, 就目前我们的改良技术和方法而言, 对于生态修复的需要远远超过了我们的修复能力。幸运的是, 即使在退化最严重的地区, 也可以通过自然的、由植物本身驱动的自发修复过程来达到生态修复的目的, 而不需要人类进一步的管理和投入。对受损生态系统的修复能力是我们改善与管理世界环境的重要因素之一 (Dobson et al., 1997)。但从经济学的观点出发, 这种自发修复过程的启动应该要求最少的管理和最低的投入。修复严重受损的生境, 需要消除生境地表物理条件的限制, 以达到保水、保土、保肥和保种的目的。尽管这种地表情况的改善只是暂时的, 但它可以促进植被的建立与恢复, 提高其改善环境条件的潜力。从功能上来讲, 只有当抗干扰的能量获取速率得到恢复, 养分流失量减少, 水分利用效率的控制得以实现的时候, 才能说是完成了修复工作 (Breedlow et al., 1988)。从实惠的角度出发, 我们可以从修复的生态系统获得一定的物质产品和服务功能。

实现受损生境的修复需要考虑生态系统的损坏程度、系统的生态潜力、土地利用的目标以及社会经济的限制等因素。自然生境是动态的、不断变化的, 而不是静止的、可以预测的, 所以提前制定物种组成目标是不现实的。相反, 调控生态系统使其向着有利的方向发展才是修复受损生境的有效方法。

考虑到各种修复目标、方法、限制因素和土地类型之间组合的多种可能性, 推荐按部就班的修复方法是没用的。因此, 本书目的在于为修复受损生境提供一个工作框架: ①以生态过程调控为主; ②诱导生态系统的自发修复; ③考虑生境景观间的相互作用。我们提出的方法从评价水文学特征、能量获得和养分循环等一些主要的生态过程, 以及强化诱导自发修复过程的正反馈 (positive feedback) 机制开始, 以达到自发修复的目的。正反馈会导致和加速生态系统发生变化, 这种变化可能是改善系统功能和环境条件的有利变化, 也可能是不利变化。相反, 负反馈 (negative feedback) 则通过抵御变化以维持现状。也就是说, 如果这种反馈抵御生境退化, 维持其功能, 那么它就是有利的和我们所期望的; 如果这种反馈维持退化现状, 抵御改进, 那么它就是不利的和我们不希望发生的。本书的主要目的之一, 就是认识并适当地利用这些反馈机制, 提高我们修复受损自然生境的能力。

与本书所描述的自然生境修复方法不同,目前多数修复工程所使用的方法主要有以下3个特点:①过分强调养分及物种(species)的还原,而忽视水文学过程,以及养分循环、能量获得等基本过程;②过分注重具体的生境,而忽略整个景观环境;③将修复视为一项工作的结束,而不是自发修复过程的开始。事实上,对于那些功能受损的生态系统,只注重修复其组成结构的方法是不能真正达到实现生态系统自我修复的目标的。

1.1 自然生境的退化

健康的生态系统具有内在的自发修复机制,但损坏过程可能超过了这种自身的修复能力(图1.1)。一旦如此,自然修复机制将不能修复所有的损害。消除这些阻碍自然修复的关键因素需要主动的干预措施。我们的目标是以最少的干预来实现自然修复障碍因素的消除。这种方法并不能达到立竿见影的效果,但能启动自然生境的自我修复过程,并使之向着能正常发挥系统功能的方向发展。就我们的目的而言,正常发挥系统功能的自然生境可以保护自然资源、恢复自我修复能力,并为生态和社会经济的可持续发展提供物质产品和服务。

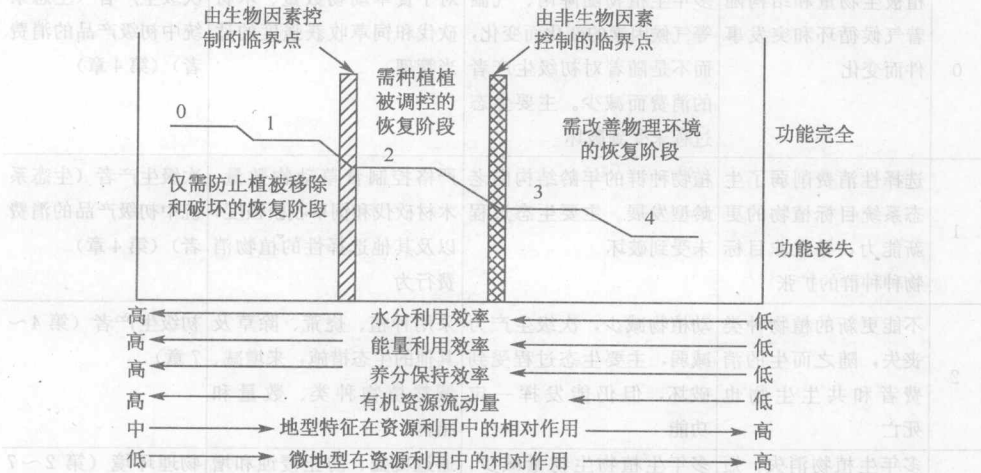


图 1.1 一个假设的自然生境中植被的退化过程

其中两个临界状态将此过程分为三个阶段。主要是依据它们功能的完整性及修复时的限制因素而划分的。当自然生境仍由生物因素控制时,只需通过引入和移除某些品种的植被管理即可达到修复的目的;而一旦自然生境被非生物因素控制,则需要通过增加渗透、减少径流、增加有机成分及改善极端微环境条件等物理措施,才能达到修复的目的。

任何间断的、对植被或土壤的破坏和移除行为必将损坏生态系统的功能。生物量的移除和各种物理干扰都会导致自然生境退化。生物量的移除,包括长期的

过度放牧、采集饲料和薪材等都会破坏或导致植物死亡。某些剧烈的干扰,如快速的沙化就会在短期内导致地表生物大量减少。另外,人类的文明进程也会加快自然生境的退化,如车辆的行驶会导致土壤的压实和植被的破坏,耕种和采矿等行为会破坏和移动土壤。自然生境的退化主要表现在:①目标动植物种的减少;②植物生物量减少;③初级生产量减少;④向食物链中食草动物和分解者的能量流动减少;⑤养分元素储库耗竭;⑥土壤稳定性降低。受损的水力学过程、养分循环、能量获得和植被演化过程将导致正反馈作用的发生,这会进一步加剧退化。

Milton 等(1994)通过建立概念性模型,描述了在干旱半干旱生态系统中由于放牧导致退化所引起的上述变化。他们描述了退化的特征,提出了管理方法的要点与核心问题,为生态系统初始破坏的评价和修复策略的初步制定提供了一个工作框架(表 1.1)。由于管理费用会随着退化程度的加重而增加,所以认识早期退化的特征有着特别重要的意义。

表 1.1 自然生境景观的逐步退化过程

阶段	描述	特征	管理措施	初始修复的重点
0	植被生物量和结构随着气候循环和突发事件而变化	多年生植物随降雨、气温等气候因素的变化而变化,而不是随着对初级生产者的消费而减少。主要生态过程未受到破坏	对于食草动物数量、木材砍伐和饲草收获强度的适当管理	次级生产者(生态系统中初级产品的消费者)(第 4 章)
1	选择性消费削弱了生态系统目标植物的更新能力,导致非目标物种种群的扩张	植物种群的年龄结构向老龄型发展。主要生态过程未受到破坏	严格控制食草动物数量、木材砍伐和饲草收获强度,以及其他选择性的植物消费行为	次级生产者(生态系统中初级产品的消费者)(第 4 章)
2	不能更新的植物种类丧失,随之而生的消费者和共生生物也死亡	动植物减少,次级生产力减弱,主要生态过程受到破坏,但仍能发挥一定功能	采用种植、烧荒、除草及其他的生态措施,来增减、调整植物种类、数量和结构	初级生产者(第 4~7 章)
3	多年生植物消失,短命植物开始出现,植被的生物量和生产力发生剧烈波动	多年生植物生物量减少,短命和非稳定性植物增加,鸟类由定居转为游栖。主要生态过程只能发挥部分功能	通过覆盖、防止侵蚀和增加糙度来改善土壤条件。通过有选择地种植木本植物,改善微环境条件	物理环境(第 2~7 章)
4	土壤剥蚀和荒漠化发展,导致了土壤功能和食碎屑动物活性的变化	地表裸露、侵蚀、旱化。主要生态过程的功能彻底丧失	通过覆盖、防止侵蚀和增加糙度来改善土壤条件。通过有选择地种植木本植物,改善微环境条件	物理环境(第 2~7 章)

注:根据 Milton 等(1994)的资料整理

气候周期性的变化和突发事件导致了相对未受损生境的变化（阶段0）（图1.2）。旱灾、疾病、火灾、冰雹、飓风和泥石流导致了大量的植物死亡或者新的生物迁入，从而改变了原有的物种组成和生产过程。长期的大量生物移出通常会改变植物种群的大小（Milton et al., 1994），增加某些特定物种或生活型，同时也会使另外一些物种灭绝（阶段1）。这样，落叶植物的生活力就会降低，所产生的具有繁殖能力的种子也相应减少。在这些保存相对完好的生境中，所能采取的最有效的措施就是对生态系统的初级消费者进行适当的管理，主要包括对放牧、损害野生生物种群数量、砍伐木材、采集饲料以及其他一些破坏植被行为的限制。

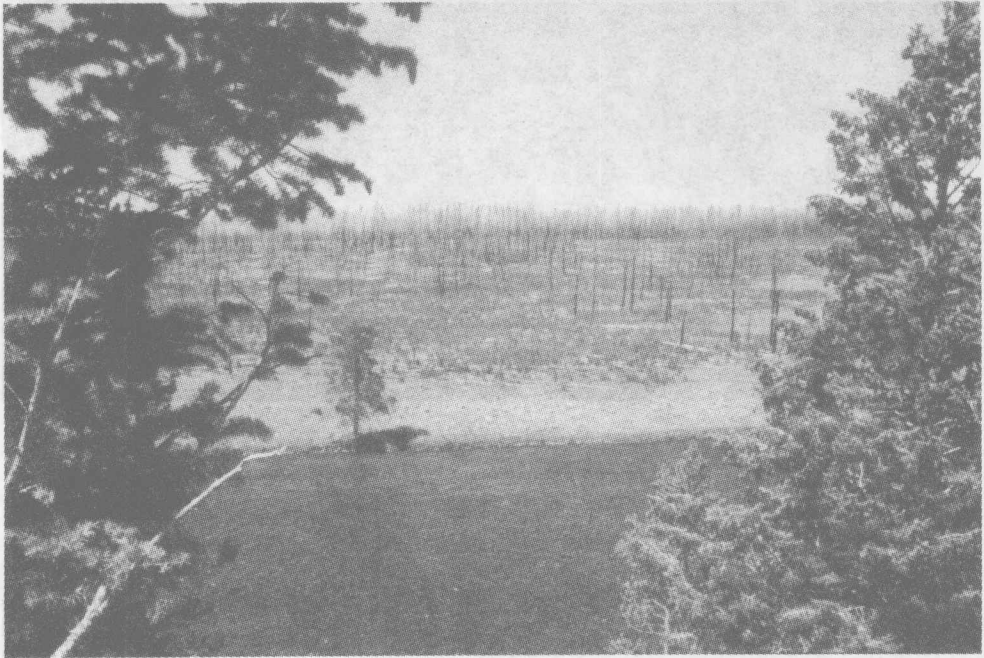


图1.2 美国黄石国家公园

作为未被破坏、相对完整的自然生境，其保持着对于水分、土壤、养分、能量和生物等有限资源循环的控制。尽管阶段0中生态系统未发生变化，而阶段1中改变了物种的组成和生产能力（Milton et al., 1994），但它们的生态功能相似。因为它们具有完善的系统功能，所以在受到火灾等干扰情况下，仍然具有良好的自我修复能力。

如果对于自然生境的掠夺进一步加剧，生物的多样性和生产力就会降低（阶段2），它们的共生生物和捕食者也会消失（Milton et al., 1994）。植物生产力的降低进而会导致土壤肥力、水分入渗速率和保水能力的下降（图1.3）。在这种情况下，没有增加或减少物种等人为管理的介入，受损的自然生境将很难自我