

恢复生态学研究的一些基本问题探讨*

章家恩* (华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642)

徐琪 (中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

【摘要】 对恢复生态学的研究概况、基本概念、内涵与研究内容以及生态恢复的目标、原则、程序与技术进行了分析与探讨。指出恢复生态学应加强基础理论研究(包括生态系统的演替理论及干扰条件下生态系统的受损过程与响应机制研究等)和应用技术研究(包括土壤、水体、大气和植被恢复技术、生物多样性保护技术以及生态系统的组装与集成技术等)。生态恢复与重建是指根据生态学原理,通过一定的生物、生态以及工程的技术,人为地切断生态系统退化的主导因子和过程,调整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及其时空秩序,使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快地成功地恢复到原有的乃至更高的水平。

关键词 恢复生态学 退化生态系统 生态工程

Major issues in restoration ecology researches. Zhang Jia'en (South China Agricultural University, Guangzhou 510642) and Xu Qi (Institute of Soil Sciences, Academia Sinica, Nanjing 210008). -Chin. J. Appl. Ecol., 1999, 10(1): 109 ~ 113.

The basic concepts and their connotations of restoration ecology and its general situation of researches, as well as the objectives, principles, procedures and techniques of ecological restoration, were discussed in this paper. It is suggested that the restoration ecology research should give consideration both to the basic theories including the succession of ecosystem and its damage process and reaction mechanism under disturbance, and to the applied techniques, including the restoration of soil, water body, atmosphere and vegetation, the conservation of biodiversity, and the assemblage and integration of ecosystem. The ecological restoration and reconstruction is a systematic engineering, which is in the light of ecological principles and by the certain biological, ecological and engineering techniques, to artificially control the key factors and processes of ecosystem degradation, and regulate and optimize the flow processes and their spatial and temporal sequences of matter, energy and information among the ecosystem and its environment, by the aim of successfully restoring the structure, function and ecological potentials of degraded ecosystem to their original or higher level.

Key words Restoration ecology, Damaged ecosystem, Ecological engineering.

1 引言

当今,全球变化、生物多样性丧失、资源枯竭和生态环境退化使人类陷于了自身导演的生态困境之中,并严重威胁到人类社会的可持续发展。因此,如何保护现有的自然生态系统,综合整治与恢复已退化生态系统,以及重建可持续的人工生态系统,已成为摆在人类面前亟待解决的重要课题。在这种背景之下,恢复生态学(Restoration ecology)应运而生,在20世纪80年代得以迅猛发展,现已日益成为世界各国的研究热点。1996年,美国生态学会把恢复生态学作为应用生态学的五大研究领域之一^[19]。

恢复生态学研究可追溯到本世纪20~50年代,当时侧重于采矿业和地下水开采所造成的各种塌陷环境及其生态恢复方面的研究^[7]。1975年,在美国召开了题为“受害生态系统的恢复”国际会议,这次会议讨论了受害生态系统的恢复与重建等许多重要的生态学问题,并呼吁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。1980年,

Cairns主编的《受害生态系统的恢复过程》从不同角度探讨了受害生态系统恢复过程中的重要生态学理论和应用问题。1983年,在美国召开了题为“干扰与生态系统”(Disturbance and ecosystem)学术会议,系统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^[11]。1985年Aber和Jordan两位英国学者提出了“恢复生态学”的概念^[9]。在此期间,国际上召开了一系列的学术会议,成立了国际生态恢复学会,并出版了有关生态恢复方面的专著^[3,7,8,9,11,14,15,20~27]。这些著作的问世标志着生态恢复工作的不断展开和日益活跃。

在我国,对各种退化土地生态系统的整治与改良利用工作早有开展。从50年代末,我国一些学者在华南地区退化坡地上开展恢复生态学研究,并长期的定位观测试验^[8],对发展我国热带亚热带地区的植被恢复生态学起了重要的推动作用。自80年代末,我国

* 三峡工程环境保护项目(1-03-03)。

** 通讯联系人。

1998-06-01 收稿,1998-11-18 接受。

在农牧交错区、风蚀水蚀交错带、干旱荒漠地区、丘陵山地、干热河谷、湿地、城市等退化或脆弱生态环境及其恢复重建方面进行了大量的工作^[12,14,15],将该方面的研究推向了一个新阶段. 1990年召开了“全国土地退化防止学术讨论会”,这次会议系统总结了中国在土地退化方面的研究动态与进展,提出了许多切实可行的生态恢复与重建的技术与模式^[3,4]. 目前,我国在退化生态系统的恢复与重建理论、应用技术和研究手段方面已取得了初步的成果

然而,恢复生态学研究毕竟刚刚起步,在理论和方法上还不够成熟. 今后应加强对不同类型退化生态系统的定位观测试验,对其退化机理、过程进行研究,获取有关的生态学参数,并建立相应的基础数据库,系统地总结和完善恢复生态学有关的理论、原则、方法、生态工程设计、恢复与重建的操作程序、风险效益评价等内容,同时要特别加强对退化生态系统的恢复与重建技术的研究^[17].

2 恢复生态学的基本概念与内涵

2.1 退化生态系统

与健康生态系统(Healthy ecosystem)相比,退化生态系统(Degraded ecosystem)是一类病态的生态系统,它是指在一定的时空背景下,在自然因素、人为因素,或二者的共同干扰下,导致生态要素和生态系统整体发生的不利于生物和人类生存的量变和质变^[16],生态系统的结构和功能发生与其原有的平衡状态或进化方向相反的位移(Displacement),具体表现为生态系统的基本结构和固有功能的破坏或丧失,生物多样性下降,稳定性和抗逆能力减弱,系统生产力下降. 这类系统也被称之为“受害或受损生态系统(Damaged ecosystem)^[1,8]”.

生态系统退化的原因是多方面的. 自然干扰和人为干扰是生态系统退化的两大触发因子. 自然干扰主要包括一些天文因素变异而引起的全球环境变化(如冰期、间冰期的气候冷暖波动),以及地球自身的地质地貌过程(如火山爆发、地震、滑坡、泥石流等自然灾害)和区域气候变异(如大气环境、洋流及水分模式的改变等);人为因素主要包括人类社会中所发生的一系列的社会、经济、文化活动或过程(如工农业活动、城市化、商业、旅游、战争等)^[14~16]. 人为干扰往往叠加在自然干扰之上,共同加速生态系统的退化. 干扰对生态系统的影响,表现在生态系统动态的各个方面. 首先,某些干扰(如人口过度增长、人口流动等)对生态系统或环境不仅会形成静态压力,而且会产生动

态压力. 同时,干扰通过对个体的综合影响,进而引起种群的年龄结构、大小和遗传结构,以及群落的丰富度、优势度与结构的改变^[19];另一方面,干扰可直接破坏或毁灭环境和生态系统中的某些组分,造成系统资源短缺和某些生态学过程或生态链的断裂,最终导致整个生态系统的崩溃.

干扰的类型、强度和频度在很大程度上决定着生态系统退化的方向与程度. 自然干扰总是使生态系统返回到生态演替的早期状态. 某些周期性的自然干扰在生态系统演替过程中起着正负反馈作用,使生态系统处于一种稳态平衡状态^[19]. 但一些剧变或突变性的自然干扰(火山爆发、洪水等)往往会导致生态系统的彻底毁坏. 人为干扰可直接或间接地加速、减缓和改变生态系统退化的方向与过程. 在某些地区,人为干扰对生态退化起着主要贡献,且常造成生态系统的逆向演替,以及不可逆变化和不可预料的生态后果,如土地荒漠化、生物多样性丧失和全球气候变化等.

根据退化过程及景观生态学特征,退化生态系统可分为不同的类型. 余作岳等将退化生态系统分为裸地(包括原生裸地和次生裸地)、森林采伐迹地、弃耕地、沙漠化地、采矿废弃地和垃圾堆放场几种类型^[8]. 显然上述分类主要适用于陆地生态系统. 实际上生态退化还应包括水生生态系统的退化(如水体富营养化、干涸等)和大气系统的退化(如大气污染、全球气候变化等). 根据生态系统的层次与尺度,又可分为局地退化生态系统、中尺度的区域退化生态系统和全球退化生态系统. 笔者认为,在研究生态退化时,应把人自身纳入生态系统加以考虑,研究人类-自然复合生态系统的结构、功能、演替及其发展. 环境恶化、经济贫困、社会动荡、文化落后等都是人类-自然复合生态系统退化的重要诊断特征^[16].

2.2 恢复与重建

目前,有关恢复(Restoration)与重建(Reconstruction)的科学术语很多,如修复(Rehabilitation)、改造或改良(Reclamation)、改进(Enhancement)、修补(Remedy)、更新(Renewal)和再植(Revegetation)等^[8,19],这些术语从不同角度反映了恢复与重建的基本意图. 所谓生态恢复与重建是指根据生态学原理,通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法,人为地改变和切断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及其时空秩序,使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快地成功地恢复到一定的或原有的乃至更高的水平^[16]. 生态恢复过程一般是由人

工设计和进行的,并是在生态系统层次上进行的^[10]。这里需要说明的是,生态系统或群落在遭受火灾、砍伐、弃耕等后而发生的次生演替实质上也是一种生态恢复过程,只是它是一种自然恢复形式罢了。

生态恢复与重建的难度和所需的时间与生态系统的退化程度、自我恢复能力以及恢复方向密切相关。一般来说,退化程度越轻的和自我恢复能力愈强的生态系统愈易恢复,其所需的时间亦愈短。生态系统的自我恢复往往较为缓慢,而人为恢复可在一定程度上改变生态系统演替的方向和速度,并可缩短其恢复周期。在不同地区,生态系统的自我恢复能力是不同的,恢复所需的时间也不同,也就是说,生态系统的自然恢复能力存在着地域差异。通常而言,在温暖潮湿的气候条件下,自然恢复速度比较快;而在寒冷和干燥的气候条件下,自然恢复速度比较慢。在寒冷的阿拉斯加,即使是先锋植物阶段的演替(地衣苔藓植物群落)也需要花费 25~30 年的时间,而在热带地区,这个阶段的演替时间只需 3~5 年即可完成^[13]。

2.3 恢复生态学及其研究内容

恢复生态学是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与方法、生态学过程与机理的科学^[8]。它是现代生态学的年轻分支学科之一。恢复生态学最早是由西欧学者提出的,它的出现有着强烈的应用生态学背景,因为其研究对象是那些在自然灾变和人类活动压力下受到破坏的生态系统。因此,恢复生态学在一定意义上是一门生态工程学(Ecological engineering)或生物技术学(Biotechnology)^[10]。

恢复生态学与生态学分支(如遗传生态学、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学、景观生态学、保护生态学等)^[8]、生物学、土壤学、水文学、农学、林学、工程与技术学、环境学、地学、经济学、社会伦理学等学科紧密相连。恢复生态学是一门以基础理论和技术为软硬件支撑的多学科交叉,多层次兼顾的综合应用学科。

恢复生态学应加强基础理论和应用技术两大领域的研究工作。基础理论研究包括:(1)生态系统结构(包括生物空间组成结构、不同地理单元与要素的空间组成结构及营养结构等)、功能(包括生物功能;地理单元与要素的组成结构对生态系统的影响与作用;能流、物流与信息流的循环过程与平衡机制等)以及生态系统内在的生态学过程与相互作用机制^[15];(2)生态系统的稳定性、多样性、抗逆性、生产力、恢复力与可持续性研究;(3)先锋与顶级生态系统发生、发展机理与演替规律研究^[15];(4)不同干扰条件下生态系

统的受损过程及其响应机制研究;(5)生态系统退化的景观诊断及其评价指标体系研究;(6)生态系统退化过程的动态监测、模拟、预警及预测研究;(7)生态系统健康研究。应用技术研究包括:(1)退化生态系统的恢复与重建的关键技术体系研究;(2)生态系统结构与功能的优化配置与重构及其调控技术研究;(3)物种与生物多样性的恢复与维持技术;(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;(6)典型退化生态系统恢复的优化模式试验示范与推广研究。

3 退化生态系统恢复与重建目标、原则与操作程序

3.1 退化生态系统恢复的基本目标

根据不同的社会、经济、文化与生活需要,人们往往会对不同的退化生态系统制定不同水平的恢复目标。但是无论对什么类型的退化生态系统,应该存在一些基本的恢复目标或要求,主要包括:(1)实现生态系统的地表基底稳定性。因为地表基底(地质地貌)是生态系统发育与存在的载体,基底不稳定(如滑坡),就不可能保证生态系统的持续演替与发展。(2)恢复植被和土壤,保证一定的植被覆盖率和土壤肥力。(3)增加种类组成和生物多样性。(4)实现生物群落的恢复,提高生态系统的生产力和自我维持能力。(5)减少或控制环境污染。(6)增加视觉和美学享受^[7]。

3.2 退化生态系统恢复与重建的基本原则

退化生态系统的恢复与重建要求在遵循自然规律的基础上,通过人类的作用,根据技术上适当,经济上可行,社会能够接受的原则,使受害或退化生态系统重新获得健康并有益于人类生存与生活的生态系统重构或再生过程。生态恢复与重建的原则一般包括自然法则、社会经济原则、美学原则 3 个方面(图 1)。自然法则是生态恢复与重建的基本原则,也就是说,只有遵循自然规律的恢复重建才是真正意义上的恢复与重建,否则只能是背道而驰,事倍功半。社会经济条件是生态恢复重建的后盾和支柱,在一定尺度上制约着恢复重建的可能性、水平与深度。美学原则是指退化生态系统的恢复重建应给人以美的享受。下面就几个主要原则加以探讨。

3.2.1 地域性原则 由于不同区域具有不同的生态环境背景,如气候条件、地貌和水文条件等,这种地域的差异性和特殊性就要求我们在恢复与重建退化生态系统的时候,要因因地制宜,具体问题具体分析,千万不能照搬照抄,而应在长期定位试验的基础上,总结经验,获取优化与成功模式,然后方可示范推广。

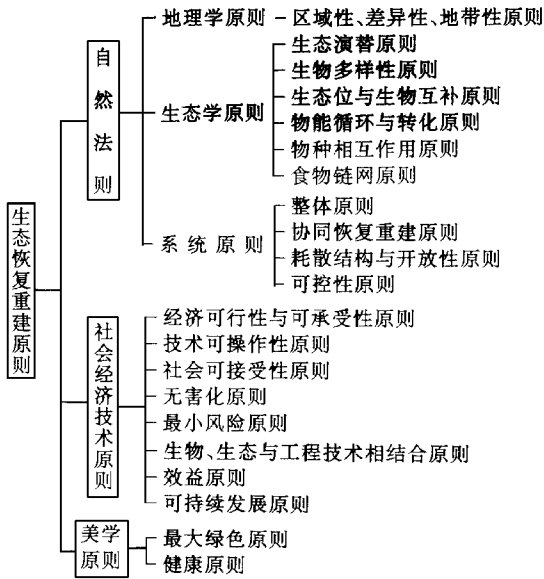


图1 退化生态系统恢复与重建应遵循的基本原则
Fig. 1 Principles obeyed in the restoration of the degraded ecosystems.

3.2.2 生态学与系统学原则 生态学原则包括生态演替原则、食物链网、生态位原则等,生态学原则要求我们根据生态系统自身的演替规律分步骤分阶段进行,循序渐进,不能急于求成,“拔苗助长”。例如,要恢复某一极端退化裸荒地,首先应重在先锋植物的引入,在先锋植物改善土壤肥力条件并达到一定覆盖度以后,可考虑草本、灌木等的引种栽植,最后才是乔木树种的加入。另一方面,在生态恢复与重建时,要从生态系统的层次上展开,要有整体系统思想,不能“头痛治头,脚疼医脚”。根据生物间及其与环境间的共生、互惠、竞争和颀颀关系,以及生态位和生物多样性原理,构建生态系统结构和生物群落,使物质循环和能量转化处于最大利用和最优循环状态,力求达到土壤、植被、生物同步和谐演进,只有这样,恢复后的生态系统才能稳步、持续地维持与发展。

3.2.3 最小风险原则与效益最大原则 由于生态系统的复杂性以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,人们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地估计和把握,因此,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,经过综合分析评价、论证,将其风险降到最低限度。同时,生态恢复往往又是一个高成本投入工程,因此,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。这些内容是恢复经济学研究的重点课题。

3.3 生态恢复与重建的一般操作程序

退化生态系统的恢复与重建一般分为下列几个步骤:(1)首先要明确被恢复对象,并确定系统边界;(2)退化生态系统的诊断分析,包括生态系统的物质与能量流动与转化分析,退化主导因子、退化过程、退化类型、退化阶段与强度的诊断与辨识;(3)生态退化的综合评判,确定恢复目标;(4)退化生态系统的恢复与重建的自然-经济-社会-技术可行性分析;(5)恢复与重建的生态规划与风险评价,建立优化模型,提出决策与具体的实施方案。(6)进行实地恢复与重建的优化模式试验与模拟研究,通过长期定位观测试验,获取在理论和实践中具可操作性的恢复重建模式;(7)对一些成功的恢复与重建模式进行示范与推广,同时要**加强后续的动态监测与评价**(图2)。

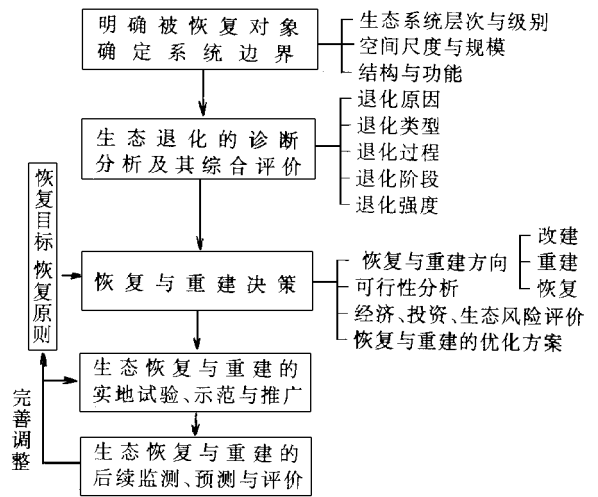


图2 退化生态系统恢复与重建的一般操作程序与内容
Fig. 2 Common procedures for the restoration of degraded ecosystems.

4 退化生态系统的恢复与重建技术

恢复与重建技术是恢复生态学的重点研究领域,但目前是一个较为薄弱的环节。由于不同退化生态系统存在着地域差异性,加上外部干扰类型和强度的不同,结果导致生态系统所表现出的退化类型、阶段、过程及其响应机制也各不相同。因此,在不同类型退化生态系统的恢复过程中,其恢复目标、侧重点及其选用的配套关键技术往往会有所不同。尽管如此,对于一般退化生态系统而言,大致需要或涉及以下几类基本的恢复技术体系:(1)非生物或环境要素(包括土壤、水体、大气)的恢复技术;(2)生物因素(包括物种、种群和群

表 1 退化生态系统的恢复与重建技术体系^[2,5-8,12,18]

恢复类型 Type	恢复对象 Object	技术体系 Technique system	技术类型 Technique type
非生物环境因素 Environment factor	土壤 Soil	土壤肥力恢复技术	少耕、免耕技术;绿肥与有机肥施用技术;生物(如 EM 技术)培肥技术;化学改良技术;聚土改土技术;土壤结构熟化技术
		水土流失控制与保持技术	坡面水土保持林、草技术;生物篱笆技术;土石工程技术(小水库、谷坊、鱼鳞坑等);等高耕作技术;复合农林技术
		土壤污染与恢复控制技术	土壤生物自净技术;施加抑制剂技术;增施有机肥技术;移土客土技术;深翻埋藏技术;废弃物的资源化利用技术
	大气 Air	大气污染控制与恢复技术 全球变化控制技术	新兴能源替代技术;生物吸附技术;烟尘控制技术 可再生能源技术;温室气体的固定转换(如细菌、藻类)技术; 无公害产品开发与生产技术;土地优化利用与覆盖技术
生物因素 Organism factor	水(体) Water	水体污染控制技术	物理处理技术;化学处理技术;生物处理技术;氧化塘技术; 水体富营养化控制技术
		节水技术	地膜覆盖技术;集水技术;节水灌溉(渗灌、滴灌等)技术
	物种 Species	物种选育与繁殖技术	基因工程技术;种子库技术;野生物种的驯化技术
		物种引入与恢复技术	先锋物种引入技术;土壤种子库引入技术;天敌引入技术;林草植被再生技术
	种群 Population	物种保护技术	就地保护技术、易地保护技术;自然保护区技术
		种群动态调控技术	种群规模、年龄结构、密度、性比例等调控技术
群落 Community	种群行为控制技术	种群竞争、它感、捕食、寄生、共生、迁移等行为控制技术	
	群落结构优化配置与组建技术	林灌草搭配技术;群落组建技术;生态位优化配置技术;林分改造技术;择伐技术;透光抚育技术	
生态系统 Ecosystem	结构与功能 Structure & Function	群落演替控制与恢复技术	原生与次生快速演替技术;水生与旱生演替技术;内生与外生演替技术
		生态评价与规划技术	土地资源评价与规划技术;环境评价与规划技术;景观生态评价与规划技术;"4S"(RS、GIS、GPS、ES)辅助技术
		生态系统组装与集成技术	生态工程设计技术;景观设计技术;生态系统构建与集成技术

落)的恢复技术;(3)生态系统(包括结构与功能)的总体规划、设计与组装技术。这里,将退化生态系统的一些常用或基本的技术加以总结(表 1),以供参考。

参考文献

- 1 马世骏主编. 1990. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社. 43 ~ 127, 261 ~ 316.
- 2 中国生态学会主编. 1991. 生态学研究进展. 北京: 中国科学技术出版社.
- 3 中国科协学会部编. 1990. 中国土地退化防止研究. 北京: 中国科学技术出版社.
- 4 刘良梧、龚子同. 1994. 全球土壤退化评价. 自然资源, (1): 10 ~ 14.
- 5 李文华、赖世登主编. 1994. 中国农林复合经营. 北京: 科学出版社.
- 6 李 博主编. 1993. 普通生态学. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社. 53 ~ 132.
- 7 纪万斌主编. 1996. 塌陷与生态. 北京: 地震出版社. 55 ~ 224.
- 8 余作岳、彭少麟主编. 1996. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科学技术出版社. 1 ~ 35.
- 9 余作岳. 1994. 广东热带沿海侵蚀地的植被恢复生态学研究. 植被生态学研究编辑委员会编辑. 植被生态学研究. 北京: 科学出版社. 124 ~ 180.
- 10 陈昌笃主编. 1993. 持续发展与生态学. 北京: 中国科学技术出版社. 3 ~ 314.
- 11 张凤荣编著. 1996. 持续土地利用管理的理论与实践. 北京: 北京大学出版社. 218 ~ 316.
- 12 张经伟、姚清尹、李焕珊等著. 1994. 华南坡地研究. 北京: 科学出版社. 111 ~ 288.
- 13 尚玉昌. 1989. 生态学及人类未来. 北京: 中国青年出版社. 68 ~ 123.

- 14 赵桂久、刘燕华、赵名茶等主编. 1993. 生态环境综合整治和恢复技术研究(第一集). 北京: 北京科学技术出版社.
- 15 赵桂久、刘燕华、赵名茶等主编. 1995. 生态环境综合整治和恢复技术研究(第二集). 北京: 北京科学技术出版社.
- 16 章家恩、徐 琪. 生态退化研究的基本内容与框架. 水土保持通报, 17(3): 46 ~ 53.
- 17 章家恩、徐 琪. 1997. 现代生态学研究的几大热点问题透视. 地理科学进展, 16(3): 29 ~ 37.
- 18 湖南农学院、华南农业大学、广西农学院等合编. 1987. 农业环境保护. 长沙: 湖南大学出版社. 45 ~ 214.
- 19 彭少麟. 1997. 恢复生态学与热带雨林的恢复. 世界科技研究与发展, 19(3): 58 ~ 61.
- 20 Barrow, C. J. 1991. Land Degradation. London: Cambridge University Press. 285pp.
- 21 Cairns, J. et al. (ed.). 1988. Rehabilitation Damaged Ecosystems. Boca Raton: CRC Press. 1 ~ 220.
- 22 Conacher, A. J. et al. 1995. Rural land degradation in Australia. Melbourne. New York: Oxford University Press. 21 ~ 90.
- 23 Freedman, B. 1989. Environmental Ecology: the impact of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. London: Academic Press. 116pp.
- 24 Jordan, W. R. et al. 1987. Restoration Ecology. London: Cambridge University Press.
- 25 Sehla, J. et al. 1994. Soil Degradation in India: Status and Impact. New Delhi: Oxford & IBH Pub. Co. 145pp.
- 26 Suter, G. W. et al. 1993. Ecological Risk Assessment. Boca Raton: Lewis Publishers. 40 ~ 126.
- 27 Zhihong, Cao (ed.). 1998. Soil, Human and Environment Interactions. Beijing: China Science & Technology Press. pp. 116 ~ 206.

作者简介 章家恩,男,1968年生,博士后,主要从事生态学、土壤学、地理学和环境学等方面的研究,已发表论文 40 余篇。