

中国生态恢复效果评价研究综述

吴丹丹 蔡运龙

(北京大学城市与环境学院 资源与环境地理系, 北京 100871)

摘 要:随着全球环境的日益恶化,生态恢复的理论与实践的研究在世界范围内逐渐开展起来。中国是世界上生态系统退化最为严重的国家之一,也是较早开展生态恢复研究和实践的国家之一。自 20 世纪 50 年代以来,中国已经批准和实施了一大批生态恢复工程。对生态恢复工程的实施效果进行科学准确的评价,不仅是生态恢复工程的重要组成部分,更是进一步调整和优化生态恢复方案的重要手段。本文在回顾中国生态恢复效果评价研究的基础上,归纳了中国生态恢复效果评价的主要内容、评价思路及相应的方法与技术,指出现有研究中存在的问题,并对今后中国生态恢复效果评价研究进行了展望,提出了今后该领域的研究重点。

关 键 词:生态恢复;效果评价;综述;中国

生态退化已成为全球共同面临的重大问题,并成为人类自身的生存和经济的可持续发展的严重威胁。在严峻的生态形势下,人们逐渐认识到生态恢复工作的必要性,从 20 世纪 70 年代开始,有关受损生态系统恢复的理论与实践的研究在世界各国广泛开展起来^[1]。目前,对于什么是生态恢复仍没有统一的定义,不同学者分别从生态恢复的目标、内容、过程等角度进行了阐述^[1-5]。综合近年来国内外生态恢复的研究和实践项目,生态恢复的涵义可概括为“根据生态学原理,在生态系统层次上进行的,通过一定的生物技术和工程技术恢复、修复、改良、更新、重建受损或退化的生态系统和土地,使其结构和功能恢复到一定的或原有的乃至更高的水平的过程”,而各类“生态修复”、“生态治理”、“生态重建”、“植被恢复”等方面的研究和实践都应属于生态恢复的范畴。

中国是世界上生态系统退化最为严重的国家之一,也是较早开始生态恢复实践和研究的国家之一。20 世纪 50 年代以来,中国已经批准和实施了一大批保护与生态恢复工程,这些工程有的已经显现出一定的效益,有的还处在摸索和调整阶段。由于生态恢复是一个长期的动态过程,对已经完工或正在实施的生态恢复工程的效果进行科学、客观和准确的评价,及时掌握生态系统当前状况、恢复实

现程度、发展方向等方面的信息,不仅是生态恢复工程的重要组成部分,也是为生态恢复提供反馈信息,进一步调整和改进恢复方案的重要手段。本文在系统总结中国生态恢复效果评价研究进展的基础上,归纳了中国生态恢复效果评价的主要内容、评价思路及相应的方法与技术,指出了研究中存在的问题,并对今后的重点研究领域进行了展望。

1 中国生态恢复研究和实践概况

中国部分地区自然环境脆弱,加之多年来不合理的资源利用方式造成的破坏,中国已成为世界上生态系统退化最为严重的国家之一。目前,中国森林生态系统退化、水土流失、土地荒漠化、湿地退化等生态退化问题突出^[6],生态恢复成为保证中国经济可持续发展的必然选择。

20 世纪 50 年代末,中国有关专家开始注意到资源不合理利用及由此产生的环境破坏问题,提出了退化生态系统恢复方面的问题,并进行了零散的小规模的恢复试验,如中科院华南植物研究所在广东热带沿海侵蚀台地上开展的退化生态系统的植被恢复机理与技术研究^[7]以及 50 年代末华南地区退化坡地上的荒山绿化、植被恢复工程^[5]。几十年来,国家通过防护林建设工程等形式开展了农牧交错区、风蚀水蚀交错区、干旱荒漠区、丘陵山地、干

收稿日期:2008-12; 修订日期:2009-02.

基金项目:国家自然科学基金项目(40871047);国家科技支撑计划子课题(2006BAC01A01-03)。

作者简介:吴丹丹(1984-),女,壮族,广西柳州人,硕士研究生,主要从事土地利用变化研究。E-mail:dnsty02@163.com

热河谷和海岸、湿地等退化或脆弱生态环境的恢复重建工作^[4-5,10-11]。进入新世纪,国家实施了以重点林业生态工程为主体的生态建设,六大重点生态工程即天然资源保护工程、退耕还林工程、三北和长江流域等重点防护林系统建设工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程、速生丰产用材林基地建设工程正逐渐显现出成效^[8]。

总体上看,近几十年来由于国家政府层面的高度重视,中国的生态恢复事业得到了快速发展^[9],已经在退化生态系统的类型、分布、特点,退化的机理、程度、诊断以及退化生态系统恢复重建的机理、模式和技术上做了大量的研究^[1-5,10]。生态恢复研究涉及的地域范围广,从干旱区到湿润区,热带到寒带,平原到高原山地等均有涉及;涉及的生态系统类型多样,包括森林、草地、农田、水域、采矿废弃地等^[11];同时包含多个生态系统退化典型地区研究,如农牧交错带、风蚀水蚀交错区、干热河谷、石灰岩山地等^[4,11];此外还有基于具体生态退化问题的水土流失治理、土地荒漠化治理、污染治理等^[3]研究。

2 中国生态恢复项目效果评价研究

2.1 生态恢复效果评价研究进展

2.1.1 总论性研究

高彦华等^[12]对生态恢复评价进行了较系统的归纳,通过借鉴生态系统健康和生态安全的概念,从多角度、多途径判断和分析生态系统恢复状况,同时提出了监测与评价的指标体系、评价标准与参照系、外来种影响以及遥感应用等问题。李万明等^[13]提出了弃耕地生态重建效益评价指标体系的原则和目标,设置了弃耕地生态重建效益评价指标体系,并提出了指标体系的评价方法。徐宣斌等^[14]在西部生态修复限制因子分级基础上,阐述了生态修复评价指标筛选的依据、思路和原则,并提出了一套4要素共30个指标的西部生态修复评价指标体系。林积泉等^[15]在分析小流域治理效益评价的常用指标的基础上提出了由流域生态环境、农村环境和社会经济3类指标和17个子指标构成的小流域环境质量综合评价指标体系。杨子峰等^[16]对水土保持生态修复综合效益评价的指标进行了归类,并对主要的评价方法进行评述,在此基础上确立了评价原则和一套涵概生态、经济、社会效益的综合评价指标体系。吴后建等^[17]在系统总结中国湿地生态恢复效果评价研究进展的基础上,归纳了目前该领域

研究中存在的问题,并提出了今后中国湿地生态恢复效果评价研究重点。田宇鸣等^[18]对生态恢复的生态系统服务功能的价值评估方法进行了总结。郭百平等^[19]根据生态学原理,总结了水土保持生态修复工程建设和监测的实践经验,提出了水土保持生态修复效果监测指标设计的原则、监测指标体系及主要指标的具体监测方法。

2.1.2 方法创新性研究

喻理飞等^[20]采用“空间代替时间”的方法,建立退化群落自然恢复的演替系列,在分析群落组成、结构、功能变化的基础上,提出潜力度、恢复度、恢复速度3个评价指标,研究显示采用这3个指标评价退化喀斯特群落恢复情况是可行的,可用于长期定位研究。丁成^[21]采用PFU法对草浆工业废水各处理阶段水体中的原生动物进行了监测,对原生动物的特征参数与水质的关系进行了初步的探讨,研究表明原生动物可作为废水湿地生态处理状况的指示生物。吴克华等^[22]对贵州省花江峡谷的监测研究表明,进行人工生态恢复的不同等级喀斯特石漠化地区的土壤温度及水分效应具有一定变化规律,可尝试从土壤水热角度解释石漠化恢复治理过程中的生态效应。李巧等^[23]介绍了节肢动物作为生物指示对生态恢复评价的重要性、可行性以及指示种选取、抽样、鉴定和分析等具体研究方法。李娜等^[24]介绍了采用植物光谱进行尾矿生态恢复评价的原理,并以云南个旧锡矿尾矿的生态恢复效果评价为例,证明了与传统方法相比高光谱数据能去除干扰信息的影响,提高计算精度。卓莉等^[25]利用锡林郭勒草原地区NDVI时间序列数据,通过建立像元尺度上的气候—植被生长基准响应模型并结合相对残差趋势法识别处于恢复阶段的草原区域,将结果与统计资料进行对比分析,初步证明了该方法在时间序列较短情况下监测和评价草原生态恢复效果的有效性。

2.1.3 实践性研究

(1) 植被恢复及退耕还林方面,彭少麟等^[26]通过土壤养分元素和空气负离子浓度的定量对比分析,计算了恢复系统的直接经济效益和间接生态效应,认为植被生态恢复提高了土壤的理化性质和空气质量,并提出未来应在林分、美学方面进行改进。张文辉等^[27]采用干群问卷调查的方式对黄土高原植被生态恢复效果进行了评价,表明黄土高原大部分地区已经改变了植被数量和质量持续下降的局面。雷敏等^[28]基于统计数据和构建的评价指标体系,采

用数理统计分析及趋势预测等方法,对陕北黄土高原米脂县的退耕还林工程综合效益进行定量评价与定性分析并提出后续政策建议。

(2) 水域湿地方面,冯江等^[29]通过前后定量对比发现长春南湖水质明显好转,藻类生存密度大幅下降,种类组成明显增加,种群暴发式更替显著受控,表明生态工程治理效果显著。方东等^[30]选取总磷、总氮、叶绿素 a、浮游生物、浮游植物等多项环境监测指标前后对比,对南京玄武湖水环境污染的治理效果进行了监测与评价,指出水环境已从高度富营养化降到中度富营养化,生态工程治理效果显著。

(3) 喀斯特石漠化方面,王德炉等^[31]以贵州花江为例,根据石漠化的成因和治理目标选择了 8 个主导因子,用直接评价和因子评分相结合的方法进行数量评价并对结果进行分级,结果显示该区域由原来的“差”等级上升为“一般”等级,治理效果较好。向悟生等^[32]以广西平果县龙何生态重建示范区的石漠化山地复合生态系统为例,采用层次分析法确定了评价指标体系中的各权重值,应用指数评价模型对该系统进行综合评估,结果显示示范区生态总体质量由项目实施前的较差等级恢复到一般等级。吴孔运等^[33]比较了广西平果县果化示范区治理前后的植被覆盖率和土壤侵蚀模数、直接利用价值,用影子工程法、市场价格法计算了治理恢复前后的生态服务净价值。

(4) 水土保持方面,黎锁平^[34]阐述了水土保持综合治理效益评价的系统思想、指标体系以及灰色系统评价用于水土保持综合治理效果评价的具体过程,并对黄土高原水土流失区的 5 条小流域作了实例分析。刘霞等^[35]以淄博市淄川区水土保持生态修复试点工程为例,在构建土石山区生态修复效益监测指标体系、划分措施类型的基础上,采用宏观遥感与微观实测耦合技术,对生态修复工程的效益进行了分类监测及系统评价,结果表明生态修复区域生态环境得到了改善,经济效益和社会效益显著。

(5) 小流域治理方面,李中魁^[36]根据黄土高原地区小流域及其治理的特点,以宁夏黄家二岔小流域为例,提出了效益评价指标体系和评价方法,从整体上系统评估了小流域在不同治理阶段的状态,认为该流域已达到了持续、稳定和协调发展的阶段。韩玉玲^[37]以浙江省 50 个小流域统计数据为基础,探讨了小流域综合治理保土、经济、社会、生态效益的计算方法,并通过对小流域综合治理项目的国民经济评价及效益分析,反映小流域综合治理在国民经济中的作用和地位。陈宝昆等^[38]对姚安县典型小流

域水土保持生态修复过程中的植被群落、土壤理化性质、径流泥沙进行监测,采用直接对比评价的方法,表明该小流域景观生态系统的组成要素、结构和功能都得到一定程度的提高和改善。丁立仲等^[39]对浙西山区上梧溪采用层次分析及模糊综合分析相结合的方法建立综合评价指标体系,并用欧氏距离模型结合模糊聚类分析法对生态恢复工程综合效益进行评价,结果显示其经济、社会、生态效益都呈明显上升趋势。王道坦等^[40]针对福建朱溪河流域治理情况构建小流域评价指标体系,利用层次分析法与专家分析法相结合确定指标权重,对治理前后流域状况进行了评价,得出治理后生态效益、经济效益和社会效益明显优于治理前。

(6) 其他方面,洪涛等^[41]在对张掖地区农田防护林生态效益研究的基础上建立区域防护林生态效益的评价指标体系,并对张掖、高台、临泽 3 县(市)的防护林生态效益采用灰色局势决策中的效果测度法计算生态效益综合指数,据此动态评价这 3 县(市)的防护林生态效益的差异。李忠锋等^[42]利用 TM 影像解译的土地利用变化情况,运用 GIS 空间分析和景观分析软件分析了神木县近 10 年土地利用变化的数量、速度、类型转化和景观变化特征,结果表明神木县土地整治取得显著成绩。马育军等^[43]选取生态系统服务价值、生态绿当量、人均生态足迹赤字和环境质量综合指数作为区域生态环境质量表征指标,借助 DEA 模型对区域生态环境建设过程中劳动力投入、资金投入、技术投入和资源投入的绩效进行评价,结果显示苏州市 10 年来生态环境建设总体而言绩效良好。潘竟虎等^[44]采用遥感技术和地面检测相结合的方法对长江流域两当河上游的生态修复实施效果进行了评价,表明其农田退化系统恢复效果显著,植被盖度提高,种群数量增加,生态系统向良性演变。

2.2 生态恢复效果评价研究小结

2.2.1 评价内容

综合近年我国生态恢复效果评价的研究结果,评价内容可以概括为以下几个方面:

(1) 生物及群落评价。植被恢复是我国生态恢复的重要目标和最直接的效果表现,所以对恢复生态系统的生物个体生长情况及生物群落的结构和功能的评价成为生态恢复效果评价的重要内容。生物及群落评价主要通过实地跟踪监测和调查展开,主要的指标包括生物量、生存密度、生物多样性等。

(2) 水土保持功能评价。对许多严重退化生态系统的恢复工程来说,控制水土流失是首要的工作。

水土保持功能主要体现在植被对降雨的拦蓄能力、林地的涵养水源能力、林地的保土能力等。通常采用渗透性能、持水性能、抗蚀性能、径流泥沙含量、土壤侵蚀模数等指标,相应数据主要通过实地检测取得。

(3)水土理化性质评价。土壤养分的恢复和维持是陆地退化生态系统功能恢复和自我维持能力提高的最重要的表现,所以土壤理化性质是生态系统恢复评价的重要方面,普遍采用矿质营养元素含量、有机质含量、阳离子交换量、土壤生物学活性指标以及营养物质循环密切相关的枯枝落叶分解指标等。而在水域生态系统,水质评价则是生态恢复效果评价的必要内容,常用指标包括富营养元素含量、有机质含量、细菌微生物含量等。这些指标的数据一般靠实地监测或采样分析获得。

(4)小气候评价。在退化生态系统的植被恢复及演替过程中,小气候的改善也是恢复生态系统效益的表现之一^[45]。常用气象气候方面的指标,如温度、湿度、降水等,以及空气质量方面的指标,如空气负离子含量、有害气体含量、可吸入颗粒物含量等来进行评价。

(5)景观格局评价。随着景观生态的发展与相关技术的应用,景观格局评价也开始在生态恢复效果评价领域应用。景观格局评价的实质是考察区域生态系统在景观尺度上的各子系统的数量和空间结构关系。评价方法主要是在土地利用数据或子系统空间数据的基础上计算多个景观格局指数,如斑块的面积指数、形状指数、距离指数以及景观多样性均匀度指数等。

(6)生态价值评价。生态价值的评价主要包括直接经济效益和间接生态服务价值,其中直接经济效益主要为林产品和旅游产业;间接生态服务价值包括空气质量改善、涵养水源、提高土壤肥力、生态多样性保育等等,这些生态服务价值通过影子工程法、市场价格法等方法计算为可进行度量的货币价值。

(7)系统的综合评价。当前生态恢复和重建的研究和实践已经从关注自然转向关注人地关系的协调,生态恢复的目标、技术模式等已经显现出较强的综合性^[14,46],生态恢复效果的综合评价也随之兴起。生态恢复效果的综合评价全面考虑了工程技术效益、经济效益、社会效益、生态效益,通常根据研究区的具体情况建立一套多要素多指标多层次的评价体系,通过一定的数学方法得到相应的综合指

数来进行评价。综合评价的指标数据除生态系统各方面的监测数据外,还包括各种社会统计数据。

总之,对恢复生态系统效益的评价应从各个方面进行,同时也应该考虑恢复生态系统作为一个生态系统的生态功能的综合性,在单方面或多方面评价的基础上建立相应的综合评价体系,才能系统而全面地评价生态恢复的效果。

2.2.2 评价方法与技术

对应以上的生态恢复效果评价内容,目前主要有两种评价途径:

(1)指标直接评价。对于生态恢复效果某个具体内容的评价多采用这种途径,即根据所要评价内容的要求,选取相应的指标,或定性描述指标的变化,或用定量的方法,将生态恢复前后的数据进行对比或监测某个指标数据的连续变化趋势,以直接评价生态恢复工程对生态系统某个方面的影响或取得的效果。这种途径的优点是思路简单明了,评价目标及结果明确,易于使用,目前多用于生态恢复过程的监测和评价,也可用多方面的多指标的直接对比来反映恢复生态系统的整体效益。

(2)综合效益评价。对于恢复生态系统的综合评价多采用这种途径。综合效益评价是多目标、多因素、多层次和多指标的评价,通常根据生态恢复项目的具体情况设定几个子目标层(多分为社会效益、经济效益、生态效益3方面^[16,19,34]),适当选取各子目标的一个或多个评价指标作为指标层。在此基础上构造相应的综合指数,设计一定的算法,由指标层计算得到子目标的综合指数,再进一步得到整体的综合指数,以此来评价恢复生态系统的整体效益。这种途径的优点是综合性强,比较具有可比性,适用于生态恢复阶段性评价与恢复地域单元之间的横向比较。

生态恢复评价的技术可理解为获取相应指标数据的具体手段和方法。合理的、具有可操作性的技术对于获取指标数据、快速正确地开展评价具有重要意义,因此新技术、新方法也成为生态恢复效果评价研究的重要内容之一。在单个指标数据获取方面,4S(RS、GIS、GPS和ES)辅助技术应用于退化生态系统诊断和生态恢复、重建后续监测、预测和评价成为一大热点^[17,35,42,44]。在综合指数计算方面,综合指数法、模糊评判法、灰色系统理论、层次分析法、专家分析法、系统工程分析方法等多种方法得到了发展^[28]。在新技术方法的推动下,研究者们还尝试寻找一些更具有代表性的指示物或指标来进

行生态恢复效果的评价^[21,23,25],使得生态恢复效果评价的研究朝着更科学、更具效率的方向发展。

3 中国生态恢复效果评价研究存在的问题

综合前文分析,虽然我国学者在生态恢复效果评价方面已经取得一定成果,但仍存在一些问题,归纳为如下几个方面:

(1)评价理论体系不完善。虽然国内一些学者对生态恢复效果评价的理论进行了探讨^[12-13,19],但迄今为止,国内学者还没有发表对生态恢复效果评价理论框架体系方面的专著;研究者对生态恢复效果评价的原理、方法论方面的阐述通常侧重某个领域,缺乏统一的标准和及时的总结。

(2)评价指标系统不全面,评价标准或缺乏或不合理。现有的研究往往考虑某个生态恢复区域的特点以及相应的数据获取情况来选取对应的指标,往往不能客观而全面地反映被评价恢复生态系统的真实情况。同时,利用指标数据进行评价时往往缺乏生态恢复程度判断的参照系统和相应的评价标准,在指标直接评价方面,往往只是通过恢复工程实施前后的简单对比来判断“好了”还是“坏了”,没有说明具体的恢复程度或目标是恢复到什么程度;综合评价也存在同样的问题,导致生态恢复效果评价的结果缺乏指导性。

(3)缺乏评价方法的创新和方法之间的对比。现有的评价方法缺少指标对比和综合分析之间的整合;同时缺乏不同评价方法效果之间的横向对比分析,特别是对于同一个生态恢复区域的综合评价方面,目前存在层次分析法、综合评分法等多种方法,而不同评价方法之间的对比将有利于评价方法的改进和创新,并利于寻找到最适合的方法,增强评价研究的准确性。

(4)缺乏学科之间的合作。生态恢复是一项十分复杂的系统工程,涉及许多相关学科,如地理学、土壤学、环境化学、工程学、经济学等。目前对于恢复生态系统某个方面的单独评价往往只基于某一个学科领域,不能正确反映生态恢复的真实情况。加强各学科之间的合作也是完善生态恢复效果评价的理论框架体系、拓展评价思路的必要条件。

(5)缺乏评价与生态恢复其他环节之间的衔接。一方面,需要加强生态恢复效果评价和恢复机理研究之间的联系。由于生态恢复工程通常是事先规划

和设计的,生态恢复效果评价结果可以从正、反两方面对恢复工程实施前的生态恢复机理假设进行验证;同时生态恢复效果评价结果需要结合生态恢复机理进行解释,找出存在的问题。所以,加强两者之间的衔接具有重要意义。但是目前我国的多数研究都缺乏相应的反馈和衔接,以致生态恢复效果评价不能正确地反馈治理措施存在的问题。另一方面,缺乏评价结果对生态恢复后续工作的指导作用研究。目前的大多数研究仅局限于评价本身,忽略基于评价结果的、对已有恢复模式随着时间推移和经济发展的需求变化的优化调控研究,或者只是罗列笼统政策建议,没有提出对具体模式和措施的针对性修改办法,同时缺乏“评价到调整”执行机制。

(6)缺乏对恢复生态系统的持续检测和评价。生态恢复效果评价及相应的监测工作是一个长期、反复的过程,而现有的一些研究只注重前后对比,缺乏对于整个生态恢复过程的长期、持续跟踪评价。

4 中国生态恢复效果评价研究展望

结合目前我国生态恢复效果评价存在的问题和实际需要,认为今后中国生态恢复效果评价研究的重点在于以下几个方面:

4.1 完善理论框架 拓展评价思路

应该在现有研究的基础上,加强多学科之间的合作,加强生态退化机理、生态恢复过程等基础研究,及时总结理论框架方面的研究进展,建立系统的生态恢复效果评价理论框架。并在多学科合作的基础上拓展评价思路。

4.2 加强生态恢复监测,完善评价指标体系及评价标准

针对目前指标体系不全面的问题,首先要在理论层次上确定不同评价方面各指标使用的可行性,并可基于区域或特定的生态恢复模式建立相应的指标体系。评价标准方面,目前确定参照系统和评价标准主要有两种方法,即将同一生物地理区系内未受干扰或少受干扰的同一生态类型作为参照系,或将被评价系统在较少受到人类干扰条件下的系统状态作为参照系统和评价标准^[12]。但由于许多生态系统在破坏前常常缺乏相应的监测工作,如何通过模拟、小范围试验等方法寻找到一个合理的评价标准成为今后生态恢复效果评价中的一个难题。同时,应将生态恢复效果评价与监测紧密结合,建立一套长期、持续的监测和评价机制,以保证评价的顺利进行。

4.3 加强评价方法、技术的创新和不同评价方法之间的对比

注意根据恢复区的实际情况对现有评价方法进行改进,并及时跟进相关学科的研究进展尝试各种新方法。通过多种评价方法的评价结果之间的相互比较和验证,确定比较客观的评价结果,有利于评价方法的推广,也使得评价结果更为准确。在今后的生态恢复效果评价中还应多借助现代科技手段,可以把遥感、地理信息系统、卫星定位系统、计算机模拟等技术应用到生态恢复的监测中,还可以应用计算机技术推动生态恢复过程数学模型研究和深化机理研究。在评价方面,模糊数学、灰色系统理论、人工神经网络、遗传算法等定量方法都可以应用到生态恢复效果评价中,以提高评价的精确性和科学性。

4.4 加强生态恢复效果评价与生态恢复机理研究的衔接

加强生态恢复效果评价与生态恢复机理研究之间的衔接对于整个生态恢复研究来说具有重要意义。目前,我国生态退化和恢复的机理研究还比较薄弱,如果利用生态恢复效果评价的信息来反向推进生态退化和恢复机理方面的研究,可能会成为生态退化和恢复研究的一个思路和方向。同时,如何基于生态恢复机理来解释效果评价结果,以正确地反馈治理措施存在的问题,也是我国今后生态恢复效果评价研究的一大问题。

4.5 加强生态恢复效果评价的后续研究

在进行生态恢复效果评价后,应该加强生态恢复效果评价对生态恢复后续工作的指导作用,研究并建立起良好的生态恢复效果评价的执行机制。通过认真分析生态工程实施后生态恢复区出现的一些新问题和新情况,及时、适当地调整生态恢复措施,更好地服务于生态恢复,巩固生态恢复的成果。

参考文献

- [1] 李洪远,鞠美庭. 生态恢复的原理与实践. 北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 孙书存,包维楷. 恢复生态学. 北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 赵晓英,陈怀顺,孙成权. 恢复生态学:生态恢复的原理与方法. 北京:中国环境科学出版社,2001.
- [4] 米文宝,谢应忠. 生态恢复与重建研究综述. 水土保持研究,2006,13(2):49-53.
- [5] 包维楷,刘照光,刘庆. 生态恢复重建研究与发展现状及存在的主要问题. 世界科技研究与发展,2001,23(1):

- 44-48.
- [6] 于秀波. 我国生态退化、生态恢复及政策保障研究. 资源科学,2002,24(1):72-76.
- [7] 李志安,翁轰,余作岳. 人工植被对广东热带沿海侵蚀地土壤之影响. 热带地理,1996,16(4):310-318.
- [8] 李世东编著. 中国生态状况报告 2005 生态综合指数与生态状况及出判断. 北京:科学出版社,2006.
- [9] 谢运球. 恢复生态学. 中国岩溶,2003,22(1):28-34.
- [10] 张永泽,王烜. 自然湿地生态恢复研究综述. 生态学报,2001,21(2):309-314.
- [11] 陈恩波. 生态退化及生态重建研究进展. 中国农学通报,2007,23(4):335-338.
- [12] 高彦华,汪宏清,刘琪璟. 生态恢复评价研究进展. 江西科学,2003,21(3):169-174.
- [13] 李万明,孔令英. 新疆弃耕地生态重建效益评价指标体系及评价方法. 新疆农垦经济,2004,(3):24-26,42.
- [14] 徐宣斌,赵军,李世清,等. 西部地区生态修复限制因子及评价指标筛选. 水土保持研究,2005,12(6):42-45.
- [15] 林积泉,王伯铎,马俊杰,等. 小流域治理环境质量综合评价指标体系研究. 水土保持研究,2005,12(1):69-71.
- [16] 杨子峰,于兴修,马骞. 水土保持生态修复效益评价探讨. 水土保持研究,2006,13(6):175-177,181.
- [17] 吴后建,王学雷. 中国湿地生态恢复效果评价研究进展. 湿地科学,2006,4(4):304-310.
- [18] 田宇鸣,李新. 生态恢复的生态/经济效益价值评估方法研究. 中国高校科技与产业化(学术版),2006(S3):182-183.
- [19] 郭百平,于亚文. 水土保持生态修复效果监测评价指标与方法. 山西水土保持科技,2008(1):21-23.
- [20] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 退化卡斯特森林自然恢复评价研究. 林业科学,2000,36(6):12-19.
- [21] 丁成. 原生动植物评价废水生态治理工程运行效果研究. 盐城学院学报(自然科学版),2003,16(1):46-48.
- [22] 吴克华,孙永丽,荣丽,等. 卡斯特地区不同等级石漠化人工生态恢复的土壤温度及水分效应:以贵州省花江峡谷为例. 贵州师范大学学报(自然科学版),2005,23(4):18-22.
- [23] 李巧,陈又清,郭萧,等. 节肢动物作为生物指示对生态修复的评价. 中南林学院学报,2006,26(3):117-122.
- [24] 李娜,杨锋杰,吕建升. 植物光谱效应在尾矿生态恢复评价中的应用. 国土资源遥感,2007(2):75-77.
- [25] 卓莉,曹鑫,陈晋,等. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果评价. 地理学报,2007,62(6):471-480.
- [26] 彭少麟,陆宏芳,梁冠军. 澳门离岛植被生态恢复与重建及其效益. 生态环境,2004,13(3):301-305.
- [27] 张文辉,刘国彬. 黄土高原植被生态恢复评价、问题与对策. 林业科学,2007,43(1):102-106.
- [28] 雷敏,曹明明,郝静. 米脂县退耕还林的综合效益评价与政策取向. 水土保持通报,2007,27(3):151-156.
- [29] 冯江,王显久. 长春南湖“水变”的生态工程治理效果研究. 东北师大学报自然科学版,1995(1):121-123.

- [30] 方东,许建华,徐实.生态工程治理玄武湖水污染效果的监测与评价.环境监测管理与技术,2001,13(6):36-38.
- [31] 王德炉,喻理飞,熊康宁.卡斯特石漠化综合治理效果的初步评价:以花江为例.山地农业生物学报,2005,24(3):233-238.
- [32] 向悟生,李先琨,何成新,等.石漠化山地负荷生态系统评价:以广西平果县龙何屯生态重建示范区为例.长江流域资源与环境,2007,16(6):826-830.
- [33] 吴孔运,蒋忠诚,罗为群.喀斯特石漠化地区生态恢复重建技术及成果的价值评估:以广西平果县果化示范区为例.地球与环境,2007,35(2):159-165.
- [34] 黎锁平.水土保持综合治理效益的灰色系统评价.水土保持通报,1994,14(5):13-18.
- [35] 刘霞,张光灿,董勤瑞,等.水土保持生态修复工程效益监测与评价.中国水利,2006,(16):49-51.
- [36] 李中魁.黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究:以宁夏西吉县黄家二岔为例.生态学报,1998,18(3):241-247.
- [37] 韩玉玲.小流域综合治理效益分析.浙江水利科技,2001(4):13-15,23.
- [38] 陈宝昆,刘赋,董映程,等.姚安县典型小流域水土保持生态修复监测与评价.西南林学院学报,2005,25(1):31-35.
- [39] 丁立仲,卢剑波,徐文荣.浙西山区上梧溪小流域生态恢复工程效益评价研究.中国生态农业学报,2006,14(3):202-205.
- [40] 王道坦,黄炎和,王洪翠,等.花岗岩强度水土流失区的治理效益综合评价.福建热作科技,2006,31(4):4-7.
- [41] 洪涛,刘发明.防护林区域生态效益评价指标体系.甘肃林业科技,1997,(2):59-61.
- [42] 李忠锋,王一谋,冯毓荪.神木县近10年生态治理效果评价.遥感技术与应用,2004,19(5):348-352.
- [43] 马育军,黄贤金,肖思思,等.基于DEA模型的区域生态环境建设绩效评价:以江苏省苏州市为例.长江流域资源与环境,2007,16(6):769-774.
- [44] 潘竟虎,魏宏庆.区域水土保持生态修复模式及效果评价:以长江流域两当河上游为例.中国生态农业学报,2008,16(1):192-195.
- [45] 刘苑秋.亚热带红壤区生态退化及生态恢复研究综述.南京林业大学学报,2000,24(增刊):53-58.
- [46] 徐勇,田均良,沈洪泉,等.生态重建模式的评价方法:以黄土丘陵区为例.地理学报,2004,59(4):621-628.

Evaluation of Ecological Restoration Effects in China: A Review

WU Dandan, CAI Yunlong

(College of Urban and Environmental Science, Department of Resource and Environmental Geography,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Along with the degradation of the global environment, restoration ecological research and restoration practices for degraded ecosystem have been developed as one of the scientific hotspots and public focuses around the world. China, whose ecosystem has degraded drastically, is one of the earliest countries which carried out the research and practice of ecological restoration. Since the 1950s China has authorized and put a number of ecological conservation and restoration projects in practice. The evaluation of ecological restoration effects is not only an indispensable element of these ecological restoration projects, but also can provide important information to modulate and optimize the further implementation of these projects. According to a systematic summary of the study progress on effects evaluation of ecological restoration in China, the paper supplies a brief account of effects evaluation from the aspects of its content, approach, method and technology, and based on analyzing problems of restoration ecological research and restoration practices for degraded ecosystem in China, five proposals are suggested to promote ecological restoration research in China.

Key words: ecological restoration; effects evaluation; summarization; China