

# 生态环境建设工程的效益评价研究与进展

赖亚飞, 朱清科, 李文华

(水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京林业大学 水土保持学院,北京 100083)

**摘要:**本文从生态环境建设内涵入手,综合评述了生态环境建设工程效益评价的评价指标和评价方法,在此基础上回顾了我国的生态环境建设工程效益评价研究已取得的成果,指出了在生态环境建设工程效益评价研究中存在的问题和今后的发展趋势。

**关键词:**生态环境建设;评价方法;效益评价

**中图分类号:**X826,Q146 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2007)01-0168-05

Advances in Researches on the Benefit Evaluation of Ecological Environment Construction Project

LAI Ya-fei, ZHU Qing-ke, LI Wen-hua

(The Key Lab. of Soil and Water Conservation & Desertification Combat; Beijing Forestry University & Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the concept of ecological environment construction, researches on evaluation indeices and methods of the benefit evaluation of ecological environment project were comprehensively appraised. then the research achievements which had been got on the benefit evaluation of ecological environment project at home were reviewed. The existing problems and the development trends of the benefit evaluation of ecological environment project were pointed out in this paper.

**Key words:** ecological environment construction; benefit evaluation; evaluation methods

生态环境恢复与重建已成为我国和世界经济持续发展的重大问题。自上个世纪中叶开始,保护和建设生态环境已作为我国长远发展的国家策略,相继启动和实施了一系列旨在增加植被盖度、恢复和改善区域环境的生态工程,如“三北”地区的防护林建设工程,长江中上游防护林体系、全国防沙治沙、黄河中游防护林体系建设、天然林保护、退耕还林等生态环境建设工程和土流失治理工程。这些工程的实施在改善我国生态环境的同时,也使越来越多人,认识到了实施生态环境建设工程的重要性。如何对各项生态环境建设工程的效益进行科学、合理的评价,是摆在世人面前的一项重大课题。本文从生态环境建设工程效益评价的评价指标和评价方法对近几年来生态环境工程的效益评价研究进行探讨,并对未来的相关研究进行了展望。

## 1 生态环境建设内涵

生态环境建设是一个具有中国特色名词,它不能与环境建设混同,后者主要偏指人为环境方面的

工程建设,如水污染,排气污染等的治理。生态环境只是环境的一个部分内容。根据《全国生态环境建设规划》中的所述,仅对全国陆地生态环境建设而言,主要包括:天然林等自然资源保护,植树种草,水土保持,防治荒漠化,草原建设,生态农业。除了这些,生态环境建设还可加上城市园林建设和工矿交通建设区的生态环境恢复重建等内容,这些内容有其显著特色而不同于一般的生态环境建设项目。生态环境建设根据其实施重点手段的不同可区分为两类,一类是以生物措施为手段的植被建设,另一类是工程措施为手段的工程建设。

## 2 生态工程的效益评价研究

### 2.1 生态环境建设工程的效益评价指标体系

2.1.1 评价指标体系确定 效益评价的首要工作是建立一套能客观、准确、全面并定量化反映工程效果的评价指标或指标体系。生态环境建设工程的效益评价指标体系可分为两类:即效益指标体系和结构指标体系,可以全面反映生态环境建设工程效果

收稿日期:2006-04-24 修回日期:2006-06-06

基金项目:国际“十五”攻关课题“退耕还林还草工程区水土保持型植被建设技术研究与示范”(2004BA510B0101)和“吴旗县生态建设综合效益评价”资助

作者简介:赖亚飞(1967-),女,副教授,在读博士生,研究方向为林业生态工程。

的内涵和外延。效益指标体系反映工程在一定时期可达到的经济、生态、社会效益及三者的综合效益,它是在结构指标评价基础上,对生态工程的各种效益进行计算与评价。结构指标体系是生态结构、水土保持措施结构及经济技术结构。它反映生态环境建设工程的特征,揭示生态工程各种措施及土地利用形势、经济结构及其各层次技术是否协调,决定着生态工程总体的功效水平。

目前为止,世界上还没有一个能被广泛接受的效益评价指标体系。要成功地建立一整套生态环境建设工程综合效益指标体系,必须选择定性 with 定量相结合的原则和方法。首先由专家组研究指标体系的具体构成,依据生态环境建设工程的效益评价的目的,再遵循评价指标要反映生态工程与环境、社会、经济系统的整体性和协调性;评价指标应操作简便,评价方法易于掌握;各评价指标和相应标准应相互独立;评价指标和标准应有明确的内涵和可度量性;评价指标能反映事物的本质物征等原则,选取各项指标。效益指标的确定应对应于其总效益与诸多分效益<sup>[1]</sup>,可以由4级指标组成体系。Ⅰ级指标为总指标,称聚合指标(总效益指标);Ⅱ级指标为分类指标,又称性质指标(分效益指标);Ⅲ级指标为具体指标,又称体现指标(准效益指标);Ⅳ级指标为结构指标,又称效益构成指标(即计算效益的基础指标)。最后根据不同方法,确定指标权重,合成在不同层次上,具有横向维、竖向维和指标维的三维综合效益指标体系<sup>[2]</sup>。

2.1.2 指标权重的确定 生态环境建设工程各大效益根据所选的指标的归属的不同,其重要性不同,各项指标在指标体系中的相对重要性用重要性系数(即权重)来表示。指标权重的确定是综合评价的关键,其值选择的正确与否,直接影响评价结果。评价指标体系权重的确定,近几年来,随着线性代数、模糊数学、集合论和电子计算机的应用,人们确定权重的方法正在从定性和主观判断向定量和客观判断的方向逐步发展<sup>[3]</sup>。目前常用的方法有:专家评估法(特尔菲法)<sup>[4]</sup>、频数统计分析法、等效益替代法、指标值法、因子分析法、相对系数法、模糊逆方程法和层次分析法<sup>[5,6]</sup>等。

## 2.2 生态环境建设工程效益评价方法

生态环境建设工程效益评价的方法从评价的性质可分为定性和定量两类。定性评价是以评价人员的主观判断为基准的一种评价方法,是以“评分”或“指数”为评价尺度而进行的评价;定量评价是一种通过数值形式的指数体系或以货币形式的价值体系,以计算结果为基础的一种评价方法;在实际过程

中,往往将两者结合起来进行综合评价。目前,我国生态环境建设工程效益评价主要采用下列方法:

### 2.2.1 定性与数值形式定量评价相结合的方法

(1)加权综合指数法:对每个评价指标定出评价的等级,并用分值(0~10)表示。将评价指标所得分值采用加权法累计得工程效益总得分值,按总分大小排序,以决定对象的优劣。

该方法简单易行,便于计算,而且反映了指标间的重要性程度。但个别因子对效益的影响反映不敏感,这是因为在指标权重分配较均衡和指标较多时,加权和掩盖某些真实现象,漏掉了某些重要信息。

(2)加乘综合指数法:首先计算各类指标子因素的评分值之和,然后将各类指标分值连乘得总评分值,并按分数多少排序,确定优劣。

该方法全面考虑了水土保持工程效益多指标、多因素、多目标的特点和指标权重的要求,既反映工程治理“目标—目标因素(三大效益)—效益指标”间层次递进的关系,又体现了指标之间、因素之间的相互关系,其灵敏度较加权法高。该方法的主要不足是对效益指标的分类要求较高,即必须分清究竟哪些是经济效益指标,哪些是社会效益指标,哪些是生态效益指标。

(3)灰色关联分析法:灰色系统评价就是利用灰色系统理论,尤其是关联度分析原理对多种因素所影响的事物或经济现象作出全面、系统、科学的评价。关联度分析原理是系统发展态势的统计数据列几何关联相似程度的量化分析比较方法<sup>[7]</sup>。

该方法在充分满足生态工程效益评价多指标、多因素、多目标和指标权重的要求基础上,构造最优评价准则,通过关联度反映水土保持工程综合治理效益的本质特征。

(4)模糊评价方法:模糊评价法模糊评价分为单因子和多因子评价,通过对不同指标取不同权重,根据模糊集理论,每个指标的评价构成一个模糊子集,全部指标的综合评价组成模糊集的映射,即模糊关系。

模糊评价方法的特点主要表现在:其一,它不直接依赖于某项指标,也不过份地依赖于绝对标准,而是采取相对比较的方法,这样可以避免一般数学评价方法中,由于标准选用不尽合理而导致评价结果的偏差。其二,指标的重要程度通过权数加以体现,但允许在权数选择上有一定的出入,而不致于改变最终评价结果。其三,在技术处理上有效地避免了累计误差的影响。其四,通过对模糊评价中算子的选择和隶属函数关系的确立,使各项参与评价的指标之间建立了有机关系,使评价结果能够更好地反

映出生态工程的整体特征和一般趋势。

(5)模拟评价方法:模拟评价方法可分为数学模拟及实验室或野外模拟两种。数学模拟是把生态环境建设不同方案涉及的自然、技术和经济等方面的各种数据,按其内在联系及总体规划的要求,相应建立各种数学模型用电子计算机算出各种工程方案的经济效益与生态效益。

数学模拟及实验室或野外模拟方法主要用于生态环境建设工程的生态效益评价。它是按生态工程所在地区的环境特点,设置实验小区、标准地等,调查观测某些措施生态效益,或者在生态环境相类似的地区进行科学实验。

### 2.2.2 定性性与货币形式定量评价相结合的方法

货币形式定量评价法(价值量评价法)是指从货币价值量的角度对生态环境效益进行定量评价。进入20世纪,森林的生态环境效益的研究已较成熟,国内外生态效益价值化的研究多集中于生物措施产生的生态效益<sup>[8]</sup>。许多学者将生态环境建设工程中生物措施的生态效益进行了价值化。如韩国学者采用费用支出法和条件价值法对森林净化大气、涵养水源防止泥石流和保护野生动物等效能做了评价。印度学者采用资产价值法、机会成本法和费用支出法对森林制氧、防止土壤侵蚀,保护土壤肥力、动植物的歇息和保护、控制空气污染等效用进行价值计算。我国李意德<sup>[9]</sup>采用等价格替换法、造林成本法、环境治理成本法等对海南岛热带天然林的生态环境服务功能价值进行了核算;薛达元<sup>[10]</sup>分别采用旅行费用法(TCM)和条件价值法(CVM)对长白山自然保护区的生物多样性经济价值进行了评估;侯元兆<sup>[11]</sup>首次较为全面地以货币的形式核算了我国森林资源的涵养水源、保护土壤、固定CO<sub>2</sub>供给O<sub>2</sub>等四项生态系统的功能效益;韩维栋等<sup>[12]</sup>使用市场价值法、影子工程法、机会成本法和替代花费法等对中国现存红树林生态系统的价值进行经济评估。由于社会效益的价值化目前尚未进行深入的研究,还没有可行的价值化计算方法,所以对生态环境工程产生的社会效益仍停留于定性评价阶段。目前,对生态效益价值量评价方法主要有以下方法<sup>[13-17]</sup>:

(1)市场价值法:它是利用市场价格对生态环境的现状及其变化进行直接评价的方法。包括生产率变动法、疾病成本法和人力资本法、机会成本法、有效成本法、预防性支出法、置换成本法等。

(2)替换市场法:当研究资源环境没有直接的市场价格时,通过寻找替代物的市场价格来衡量,主要包括旅行费用法和享受价值法。

(3)假想市场法:它是在连替代市场都难以找

到的情况下,人为创造假想市场来衡量环境质量及其变动的价值的一种评估方法,其主要代表是条件价值法(CVM),也叫意愿调查法。它直接向调查对象询问对资源环境的支付意愿。

价值量评价方法特点:1)既能使生态工程的生态效益的各单项指标量纲统一,将其进行加总,能评价生态环境工程的综合生态效益。2)人们对货币价值有明显的感知,因此,运用价值量评价方法得出的结果能引起人们对生态环境的足够的重视,促进人们对资源环境的持续利用。3)生态效益的价值量评价研究能促进环境核算,将其纳入国民经济核算体系,最终实现绿色GDP。该方法的局限在于价值量反映了人类对生态环境的支付意愿,这无疑使其结果存在主观性。而且人们寻找出的各种对等物与实际生态效果不论是存在形态上,还是实际价值上都存在着很大的出入,不能完全反映出每一种生态功能所具有的真正的“生态价位”。

## 2.3 我国生态环境建设工程效益评价研究取得成果

随着人们对生态环境认识愈来愈深刻,我国对生态环境工程效益评价的重要意义日益得到重视。许多学者对生态环境工程效益的不同指标,采用了不同方法进行了评价。上世纪60年代开始,我国的科研和教学单位相继开展了森林生态的定位监测与计量研究,在“七五”期间,对三北及黄、淮海平原、黄土高原的防护林进行了防风、固沙、保土、改善农田小气候及其对农作物增产效益的研究。80年代后期,中国林学会组织了“森林效益的计量评价研究”,为推动我国开展生态环境工程效益评价研究提供了一个较为系统的可参考的开端。高勇禄等<sup>[18]</sup>利用数量化理论方法,研究黑龙江省经度、纬度、海拔等因子与气候、水文因子变化的关系,进而定量评价了森林的防护效能。进入90年代,张建国<sup>[19]</sup>选择影子价格法、影子工程法等方法对森林涵养水源、保持水土、改良土壤等效能以货币的形式进行了定量评价。孙立达等<sup>[2]</sup>提出了水土保持林生态效益评价指标体系,并以数学方法确定生态效益指数或综合效益指数等,以数值形式从而实现生态效益或综合效益的定量化。周庆生<sup>[20]</sup>对生态经济型防护林体系生态经济效益评价指标体系进行了探讨,对各指标以数值形式进行量化,得出生态经济指标的得分值。雷孝章<sup>[21]</sup>、慕长龙<sup>[22]</sup>等分别应用“软系统综合集成法(SSM)”建立了长江中上游防护林工程效益评价指标体系。王宏兴等<sup>[23]</sup>首次将多目标灰色关联投影法运用于小流域水土保持生态工程建设综合效益评价方面,以资丰富迫切需要的生态

工程建设评价方法;庞恒才、谭俊、段绍光等<sup>[24-26]</sup>分别建立指标体系对天保工程实施后产生的生态、社会、经济效益展开了分析和评价。此外,支玲、侯军岐、高军、梅再美、侯宁等<sup>[27-31]</sup>根据退耕还林工程特点,建立了效益评价指标体系,通过深入调查研究取得评价的基础材料,以不同地区为例,用定性定量评价相结合的方法,从生态、社会和经济效益方面对退耕还林工程进行系统分析与评价。

基于以上分析生态环境工程效益评价有两个特点:指标设置注意定性与定量的结合分析;研究思路注重案例及个案的研究<sup>[32,33]</sup>。

### 3 存在的问题与展望

目前生态环境建设工程的效益评价研究虽已取得了一定进展,但在下列诸方面的研究尚有待于加强:

(1)研究方法主要是对生态工程效益的静态评价,不能及时地、全面地反映生态工程在不同时段的变化趋势。

(2)研究对象和重点主要集中在小尺度和某个生态工程效能的计量评价上。近年来我国各工程建设区都在进行各自区域的生态功能评价研究并形成了一系列的适应各区域的评价技术。但是,一方面,由于各地区自然、经济和社会条件的差异,效益评价重点、方向和目的不同。反映效益的评价指标差异很大,尤其是对生态功能评价指标的设置。另一方面,由于人们认识上的不同、或研究目的的不同,效益的划分方法各式各样,没有形成统一的能被大家公认的划分方法,对各种生态环境建设工程效益的计算仍停留于定性、定量和半价值化程度上,不在同一量纲下,使工程经济效益和生态效益评价不能统一于一个完整的评价体系之中。其研究结果,不能被直接应用于较大尺度范围,且评价结果尚不具有可比性<sup>[34,35]</sup>。国家和政府无法获得宏观尺度上的决策信息。

(3)只注重生态环境建设工程正面效应的评价,忽略了生态环境建设工程带来的负面效应。生态建设工程除了前面所述的经济、生态、社会的三方面带来的正面效应外,从生态方面也会带来一些负面效应,如生态耗水,占用土地,使用农药、化肥带来的环境污染等。如果不能对这些负效应有足够的重视和了解,就不能在工作中做到趋利避害,更无法使有限的、宝贵的资源得到最优配置,实现资源的可持续利用。有些虽也涉及到了负面效应,但也是从经济、社会方面去分析,从生态方面考虑得很少。

因此,如何建立一套具有科学性、系统性、可操

作性的评价标准和指标体系?生态环境建设工程的各种效益如何定量化评价?生态环境建设工程效益评价中是否应考虑影响生态方面的负面效应?便成为当前迫切需要研究和解决的问题。这也是一项在我国乃至世界上均属最复杂的生态环境建设效益评价研究问题之一。要解决这些问题,需要重新认识生态环境工程的特点,探索新的评价理论与方法已成为生态环境建设工程发展的必然趋势。

### 参考文献:

- [1] 周学安主编.水源涵养林效益计量评价及工程建设技术对策研究[M].北京:中国林业出版社,1998.
- [2] 孙立达,朱金兆主编.水土保持林体系综合效益研究与评价[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [3] 孙立达.小流域综合治理的动态监测与效益评价研究进展[J].水土保持学报,1993,7(4):84-95.
- [4] 吴建军,王兆骞.生态农业综合评价的指标体系及其权重[J].应用生态学报,1992,3(1):42-47.
- [5] 向成华.川中浅丘区不同林分类型的综合效益评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):61-68.
- [6] 赵焕臣,许树柏.层次分析法——一种简易的新决策方法[M].北京:科学出版社,1990.
- [7] 黎锁平.水土保持综合治理效益的灰色系统评价方法[J].水土保持科技情报,1995(4):23-26.
- [8] 叶廷琼,张信宝.水土保持效益分析与社会进步[J].水土保持学报,2003,17(2):71-73.
- [9] 李意德,陈步峰.海南岛热带天然林生态环境服务功能价值核算及生态公益林补偿探讨[J].林业科学研究,2003,16(2):146-152.
- [10] 薛达元.生物多样性经济价值评估-长白山自然保护区案例研究[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [11] 侯元兆.中国森林资源核算研究[M].北京:中国林业出版社,1995.
- [12] 韩维栋,高秀梅,卢昌义,等.中国红树林生态系统生态价值评估[J].生态科学,2000,19(1):40-46.
- [13] 赵景柱,欧阳志云,吴钢.社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究[M].北京:中国环境科学出版社,1999.
- [14] Loomis J, Kent P. Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey[J]. Ecol-Econ, 2000, 33: 103-117.
- [15] Nabhan G P, Buchmann S L. Pollination services: biodiversity's direct link to world food stability[A]. Daily C C Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[C]. Washington D C: Island Press,1997. 133-150.
- [16] Vitousek P, Ehrlich P, Ehrlich A, Matson P. Human appropriation of the products of photosynthesis[J]. Bio-science, 1986, 36: 368-373.
- [17] Woodwell G M. Forests: what in the world are they for? [A]. in: Ramakrishna K, Woodwell G M. World Forests for the Future: Their Use and Conservation[C]. New Haven, Conn: Yale University Press, 1993. 1-20.
- [18] 高勇禄.森林防护效益及计量方法的初步研究[J].生态学杂志,1989(4):14-18.

- [19] 张建国. 福建森林综合效益计量与评价[J]. 生态经济, 1994 (5):1-6, (6):10-16.
- [20] 周庆生. 生态经济型防护林体系效益评价原则和指标体系[J]. 林业经济, 1993(6):54-57.
- [21] 雷孝章, 王金锡, 彭沛好, 等. 中国生态林业工程效益评价指标体系[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2):175-182.
- [22] 慕长龙. 长江中上游防护林工程效益评价研究[D]. 北京林业大学, 1998.
- [23] 王宏兴. 多目标决策灰色关联投影法在小流域水土保持生态工程综合效益评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4):43-45.
- [24] 庞恒才, 安和芳, 张全平, 等. 黑龙江省天然林保护工程生态效益评价[J]. 林业勘察设计, 2001, 118(2):26-27.
- [25] 谭俊. 国有林区天然林资源保护与经济社会发展问题[J]. 内蒙古林业调查设计, 1999, (3):85-88.
- [26] 赵德缙, 彭学林, 陈世虎. 实施天保工程封山育林效益评价[J]. 防护林科技, 2004, (5):54-55.
- [27] 段绍光, 吴明作, 王慈民, 等. 河南省天然林保护工程效益评价分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2002, 1(4):38-41.
- [28] 支玲, 林德荣, 李怒云, 等. 西部退耕还林工程社会影响评价——以会泽县、清镇市为例[J]. 林业科学, 2004, 40(3):2-11.
- [29] 侯军岐, 张社梅. 黄土高原地区退耕还林还草效果评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(6):29-31.
- [30] 高军, 贾志文, 刘艳华, 等. 乌拉特中旗退耕还林工程试点阶段性社会经济效益评价[J]. 内蒙古林业调查设计, 2003, 26(1):20-22.
- [31] 侯宁. 从青海大通县看退耕还林效益[J]. 林业经济, 2003, (3):29-30.
- [32] 梅再美, 熊康宁. 喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价——以贵州清镇退耕还林示范区为例[J]. 中国岩溶, 2003, 22(2):136-143.
- [33] 宫伟光, 向开馥, 王明忠, 等. 防护林区区域性生态效益的评价[J]. 东北林业大学学报, 1997, 28(1):1-7.
- [34] 李卫忠, 郑小贤, 赵鹏祥. 生态公益林建设效益评价指标体系初探[J]. 内蒙古大学学报, 2001, 22(2):12-15.
- [35] 张会楠. 从人与自然的关系社会的可持续发展[J]. 世界林业研究, 1997, 10(4):51-55.

### (上接第 140 页)

- [37] 白川. 使用高黏度黏结剂的橡胶木质复合板的成型加工装置的研究[J]. 林产试验场报, 2002, 16(5):35-38.
- [38] 邓本诚. 橡胶并用与橡胶共混技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [39] 雪. 日本利用废旧轮胎制涂料[J]. 新型建筑材料, 2003.
- [40] 季佳. 木材胶粘剂生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [41] Brydson J. A. Rubber Chemistry [M]. London, Cambridge Press: 1978. 69-73.
- [42] 马岩. 纳微米科学与技术木材工业的应用前景展望[J]. 林业科学, 2001, 37(6):109-112.
- [43] 沈贵, 张文玲. 中国木材工业现状与未来[J]. 林产工业, 2002, 30(1):3-5.

### (上接第 151 页)

- [6] Duncan J, Stow D, Franklin J. Assessing there lationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, NewMexico[J]. International Journal Remote Sensing, 1993, 14(18):3395-3416.
- [7] Larsson H. Linear regressions for canopy cover estimation in Acacia wood lands using Landsat-TM/MSS and SPOTHRV-XS data [J]. International Journal Remote Sensing, 1993, 14(11):2129-2136.
- [8] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5):588-593.
- [10] 雷丽萍, 胡德水, 江平. 森林虫害的遥感监测模式研究[J]. 遥感信息, 1995(3):20-21.
- [11] 胡良军, 邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1):40-43.
- [12] 王劲峰. 中国自然区划[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [13] 许鹏. 草地资源调查规划学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] Fung T. Situ W. Environmental quality and its changes, ananalysis is using NDVI[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(5):1011-1024.
- [15] Macleod RD, Congalton RG. A quantitative comparison of change-detectional gorithms for monitor in geel grass from Remotely sens data[J]. Photogrammetric of Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(3):207-210.
- [16] 陈正宜. 晋陕蒙接壤地区脆弱生态系统遥感监测与管理研究[M]. 北京: 宇航出版社, 1994. 24-36.