

全球变化下北方农牧交错地带区域适应能力评价模型研究

陈凤臻¹, 姜琦刚², 于显双¹, 崔瀚文²

(1. 赤峰学院 环境与资源管理系, 内蒙古 赤峰 024000; 2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 以可持续发展理论为指导, 依据 2006 年全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议精神, 参考前人有关生态环境评价框架和指标组合研究, 建立了适合北方农牧交错地带特点的区域适应能力评价模型(PSRRAD), 并对模型的构建思想、参数意义和评价指标的具体计算进行了探讨, 以为全球变化区域响应研究提供参考。针对北方农牧交错地带的实际情况, PSRRAD 模型将第四纪地质地貌与现代生态环境研究整合, 提出第四纪地质脆弱指数概念, 在生态环境胁迫分析中, 提出衡量农牧交错地带农牧业环境胁迫程度的地农牧业生产量指数的概念, 使生态环境先天与后天胁迫因子、自然与人文因子得以客观体现, 对生态环境脆弱性研究的时间和空间尺度均有所拓展。

关键词: 全球变化; 农牧交错地带; 区域适应能力; 指标体系; 框架; 模型

中图分类号: X87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)03-0292-05

Study on Regional Adaptability Model for Farming-pastoral Zone in the Northern of China Under Global Change

CHEN Feng-zhen¹, JIANG Qi-gang², YU Xian-shuang¹, CUI Han-wen²

(1. Department of Environment and Resource Management, Chifeng University, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China;

2. School of Geoprospection Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China)

Abstract According to the guideline adopted by IHDP's Sixth Open Meeting in 2006, based on sustainable development theory and the formers' achievement in index and framework of environmental ecological evaluation, regional adaptability model "PSRRAD" was built in order to provide reference for regional response to global change. The model was adequate for farming-pastoral zone in the northern of China. The building idea of the model was discussed, parameter was explained, and calculation of evaluation index was introduced. For farming-pastoral zone in the northern of China, the model "PSRRAD" firstly puts forward the concept of quaternary geology vulnerability index after integrating quaternary geology and modern ecological environment research; and firstly shows the concept of farming-pastoral production per unit which could measure the environmental stress of farming-grazing production in farming-pastoral zone. The congenital (or acquired) and natural (or humanistic) factors could be embodied objectively. Ecological environment vulnerability could be developed in time and space dimensions.

Key words: global change; farming-pastoral zone; regional adaptability; index system; framework; model

0 引言

全球变化科学(Global Change Science)是始于

20 世纪 80 年代的一个新兴科学领域, 其目标是描述和理解人类赖以生存的地球环境系统运转的机制、变化规律以及人类活动对地球的影响, 从而提

收稿日期: 2009-11-20

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010510613); 内蒙古自治区教育厅自然科学重点项目(NJ09169)

作者简介: 陈凤臻(1965-), 女, 内蒙古通辽人, 教授, 工学博士, 从事国土资源遥感研究。E-mail: cfz668@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高对未来环境变化及其对人类社会影响影响的预测和评估能力^[1]。全球变化研究最初是针对一些关键的全球变化问题或过程提出来的, 是一个庞大的计划体系^[2], 20 世纪 90 年代以来, 全球变化研究进入一个以交叉集成为特点的新时期, 其研究方向发生了重大调整, 环境与发展、自然科学与人文科学、科学与政策的跨学科交叉研究受到空前重视^[3]。

全球变化的适应是指人类社会面对预期或实际发生的全球变化而采取的一种有目的的响应行为, 这种响应行为是指生态、社会和经济系统对现实和预期的气候变化驱动进行的调整, 即主动协调, 也是人类面临全球变化、规避风险的认识过程和实践行为。适应的关键是适应能力问题, 所谓适应能力是指社会生态系统中成员(人类和非人类物种)应对异常情况而不至于丧失未来机会的能力, 适应性强的系统能够重新自我组织而使初级生产力、水循环、社会关系和经济繁荣等关键功能不发生显著变化。

全球变化下区域的适应能力, 与该区域自然生态禀赋和人类应变能力有关, 是人地相互作用研究的重要组成部分。20 世纪后期以来, 全球变化的进程中, 人的因素起着越来越重要的作用, 人类活动及其所导致的全球环境变化成为全球生态系统格局、结构和过程变化的主要驱动力^[4]。因此, 地理过程的研究正经历着从自然向自然与人文结合方向发展, 从无机向无机与有机结合方向发展, 从单一要素与单个过程向多要素、多过程耦合方向发展, 从宏观到宏观与微观结合方向发展^[5]。随着人地相互作用研究的重大转折, 全球变化区域研究也从传统的区域性和综合性研究, 拓展到脆弱性、风险性、恢复性与适应性集成研究^[67]。

区域适应能力和是区域研究的新课题, 研究成果尚不多见。本研究以 2006 年全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议精神为理论依据, 参考前人生态环境评价框架和指标组合, 建立适合北方农牧交错地带特点的区域适应能力评价模型(PSRRAD)及其指标体系框架, 以期为后人在全球变化区域适应能力研究方面提供参考。

1 区域适应能力评价模型

1.1 评价体系框架

指标体系指为完成特定研究目的而由若干个相互联系的指标组成的指标群。如果将指标体系

视为一个信息系统, 那么, 该系统的构成要件是系统元素(指标, 包括指标的概念、计算范围、计量单位等)的配置和系统结构(指标之间的相互关系)的安排^[8-9]。指标体系一般有 4 种模式: 多个指标的集合体系、树形结构、从型结构和矩阵结构等指标体系^[10]。指标体系的建立主要包括对指标的选取和对指标之间关系的确定, 复杂指标体系的构建应当建立在定性分析与定量研究相结合的基础上。定性分析主要从评价的目的原则出发, 考虑评价指标的必要性、充分性、可能性、稳定性、可获取性、可操作性以及指标与评价方法的协调性等, 这是由一个系统分析人员和决策者主观确定指标与指标结构的过程, 而定量研究则是通过一系列筛选、检验, 使指标体系更加科学的必经之路^[11-12]。

前人设计了很多概念模型或研究框架(表 1)。在所有的系统框架模型中 PSR 应用最为广泛, DP-SIR 框架模型内容比较全面(涵盖人口、经济、社会、环境四大要素)。DPSIR 各字母含义^[13]: D (Drive force)指规模较大的社会经济活动和产业的发展趋势, 是造成环境变化的潜在原因; P (Pressure)指人类活动对其紧邻的环境以及自然生态的影响, 是环境的直接压力因子; S (State)是描述可见的区域环境动态变化和可持续发展能力的因子; I (Impact)指人地系统所处的状态对人类健康、自然生态和经济结构的影响, 它是前 3 个因子作用的必然结果; R (Response)指系统变化的响应措施, 如相关法律的制定、环保条例的颁布及其配套政策的实施等。DPSIR 模型分析包括两部分: 一是问题的阐述, 也就是论证 D、P、S 和 I 之间的内在联系, 预知人类生存的现状即外界对其自身的影响, 应先了解和人密切相关的环境状态, 若环境状态不好, 就寻找造成这种状态的原因即驱动力和压力; 二是问题的解决, 也就是响应, 通过第一部分的分析知道环

表 1 指标体系框架

Tab. 1 Index System Framework	
设计框架的组织或个人	框架模型
加拿大统计学家 Rapport	压力—响应(SR)
国际经济合作与发展组织	压力—状态—响应(PSR)
联合国	驱动力—状态—响应(DSR)
联合国可持续发展委员会	压力—状态—响应—潜力(PSRP)
欧洲环境局	驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)

境与人类的相互影响,然后通过措施来调整、改变人类和环境的状态,使它们趋向好的方面发展。DPSIR 模型的目的是提供 DPSIR 因果链中所有不同要素的信息,论证各要素之间的相互关系,评估响应的效果^[14]。

1.2 区域适应能力评价模型构建思想

本研究承继 DPSIR 模型的原理,吸收全球化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议关于人地相互作用系统研究的新成果,从人地系统的脆弱性、风险性、恢复性与适应性角度,对 DPSIR 模型进行拓展和补充,构建区域适应能力多元数据、多时空尺度集成研究模型——区域适应能力评价模型(PSRRAD)(图 1)。

1.3 模型参数释义及其相互关系

PSRRAD 模型中各字母的意义是: P、S 从压力、状态两方面诠释全球化下区域生态环境的脆弱性特点,给出区域生态环境脆弱程度评价,这是研究的基础; R、R 分别从区域对生态环境变迁的恢复性和风险性角度测度区域适应能力,恢复性是适应性的一种具体途径和手段; A 是人类对环境变迁的适应性测度,这是区域对全球化下环境变迁适应能力评价的关键和灵魂; D 是在集成分析区域脆

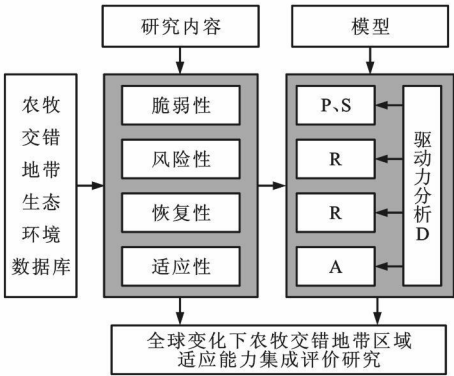


图 1 区域适应能力评价体系框架构成

Fig. 1 Structure of Regional Adaptability Evaluation System Framework

弱性、风险性、恢复性、适应性的基础上,分析形成区域适应能力差异的驱动力,进而对区域适应能力障碍因子进行诊断分析。

2 PSRRAD 模型指标体系

2.1 PSRRAD 模型指标体系构成

参考前人的区域研究指标评价体系^[15-21],筛选出 PSRRAD 模型评价指标,构成全球化下北方农牧交错地带区域适应能力模型指标体系(表 2)。

表 2 PSRRAD 模型指标体系

Tab. 2 Index System of PSRRAD Model

目标层		准则层	指标层	要素层
脆弱性	P	农村压力	耕地开垦率	区域耕地/区域土地面积
			地农牧业生产量指数	区域肉、蛋、奶产值/区域土地面积
		综合压力	地国民生产总值	区域国民生产总值/区域土地面积
		城市压力	城市化率	城市人口/区域人口
		环境先天压力	第四纪地质脆弱指数	区域风积、湖沼积、湖积母质面积/土地面积
	S	组分	气候湿润度指数	区域气候湿润度指数均值
			湿地指数	湿地面积/区域土地面积
			地形粗糙度指数	区域内地形粗糙度分级面积比例
			环境问题指数	沙化、盐化面积/区域土地面积
		格局分布	景观格局指数	斑块密度、最大斑块指数、景观均匀度
		活力	植被归一化指数	植被指数
恢复性	R	恢复力	生态弹性度	土地利用面积、土地利用类型弹性分值、土地利用类型多样性指数
风险性	R	风险力	洪涝风险度	降水距平百分率、河网湖泊密度、植被覆盖度
			干旱风险度	
			地震风险度	断裂带等级/区域土地面积
			人为干扰风险度	二氧化硫排放达标率、废水处理率、噪声达标率、化肥施用率
适应性	A	适应力	人类适应性指数	人均国民生产总值、教育投入比例、金融机构存款余额、邮电业务总量产值
驱动力	D	区域适应能力集成分析		

2.2 PSRRAD 模型指标释义

2.2.1 压力指标

生态系统所承受的压力(干扰)类型较多,按照

干扰的来源分为自然胁迫(干扰)和人类压力(干扰)。鉴于目前生态环境恶化的主要原因是人类的强干扰活动造成的,自然干扰造成的生态退化所占

比例相对较少;因此,本研究构建压力指标时,自然压力(第四纪地质脆弱度指数)占压力总额的1/4,人类对环境的胁迫力(城市压力—城市化率、农村压力—地农牧业生产量指数和人类综合压力—地国民生产总值)占压力份额的3/4。

笔者选择第四纪地质脆弱指数表达自然压力,理由如下:第四纪是地球历史上最短、最新、环境变化最剧烈的历史时期^[22],就地貌发展的继承性而言,第四纪地质基础对现代环境和人类活动产生影响是最直接的。第四纪沉积物主要有陆相和海相两大类,由于形成时间很短或正处于形成之中,普遍呈松散和半固结状态。在北方农牧交错地带半干旱、半湿润气候条件下,风积、冲湖积、湖沼积等第四纪沉积物在干旱、多风季节是沙尘的主要来源;在地形低洼处,地下水迟滞的内流区域,由于地下水位高,蒸发强烈,NaCl、Na₂CO₃等盐类易向地表积聚,成为盐碱化的潜伏区。笔者参考前人关于沙质荒漠化、盐碱化成因分析,通过沙质荒漠化、盐碱化遥感解译数据与第四纪地质解译数据的耦合计算,选取风积、冲湖积、湖积湖沼积等沉积物作为第四纪地质脆弱指数计算基础。

人类对环境的压力指标中,城市化率、地国民生产总值是普遍采用的指标,而地农牧业生产量指数,是笔者根据农牧交错地带农牧业相辅相成的实际情况提出的新概念。此概念的提出基于以下几点考虑:一是农牧交错地带的畜牧业是从游牧继承而来,既不同于纯粹的放牧业,也不同于舍饲养畜业,在保留了免费利用草场、劳动力投入为主的生产特点的同时,农业副产品和季节性剩余劳动力的投入是提高草场放牧规模和利用强度的有效补充。这种农牧结合的现状决定了区域畜牧业有诸多资源利用的特性。相关研究表明^[23],农业副产品和经济产品所提供的能量和蛋白质均占畜群可消耗量的50%以上,而草地提供的能量和蛋白质只占总量的36.6%、41.6%。可见区域畜牧业的饲草供应主要来源于农田,而非草地。尤其在长达8个月的冬春枯草期,畜群只能依靠秸秆和糠谷等农副产品维持。因此,农牧交错区的畜牧业居于“因农而牧”的“残屑食物链”地位,农业和畜牧业的关系是“因农而牧”、“以牧促农”的关系。显然,只用草场生产能力、面积来衡量区域载畜量的合理与否过于武断;二是农牧交错地带畜牧业的特点是基础母畜数量大,繁殖率低,而传统的年度畜牧业产值统计方法

将越冬母畜存栏数计算在内,掩盖了畜牧业生产的实际情况,得出的结论不真实。为此,笔者借鉴“有效产值”的畜牧业计算方法,把畜牧业和农业以整体形式来进行比较,提出了计算简便、数据可获取性强、更能准确说明农牧交错地带农牧业对环境的真实压力的指标——“地农牧业生产量指数”。该指标在松辽平原生态环境评价中开始运用,评价结果符合实际情况^[24]。

2.2.2 状态指标

状态(State)指物质系统所处的状况,从组分、格局、活力3个方面描述,生态环境组分指标包括气候湿润度指数、地形粗糙度指数、环境问题指数、湿地指数等;区域生态环境活力指标由区域植被指数(NDVI)来表达;区域生态环境格局由景观格局指数来表达,具体选择斑块水平的斑块数、斑块占景观比例、最大斑块指数和景观水平的景观多样性、景观均匀度指数作为景观格局指数的表达。采用景观格局指数的差分变异系数表达景观格局过程变化方向。

2.2.3 风险性指标

北方农牧交错地带系统风险性主要包括自然灾害风险和人为干扰风险。比较而言,研究区自然灾害危害和发生频率比较大的有洪涝、干旱(由降水距平百分率、河网湖泊密度、植被覆盖度来体现)和地震(由区域断裂带等级和长度计算),而人为干扰风险则主要有城市干扰和农村干扰风险构成,分别由城市环境污染指数、农村环境污染指数表达。

2.2.4 恢复性指标

在无外力干扰的情况下,自然生态环境是遵循自身规律正向演替的,即使遭受一定物理的、人类的干扰,只要在生态容量许可范围内,自然生态环境的自净能力亦可消化这种干扰,不会改变其演替方向;但是,一旦干扰强度超过生态系统的承载能力,就会抑制甚至终止生态环境的演替过程,改变生态系统演替方向,使生态系统发生退化。生态系统健康与否是自身的自维持能力和外在的干扰力(压力)共轭的结果。生态环境可恢复性,主要指受损的生态环境修复、恢复的能力,可采用生态系统弹性度来度量。参照前人生态系统弹性度计算公式^[25],用呼伦贝尔市做生态系统弹性度试验计算,结合农牧交错地带特点,修正原生态系统弹性度度量相关因子,选择土地利用类型的弹性分值、多样性指数、覆盖面积与土地总面积之比来表达区域生

态系统弹性度。

2.2.5 区域人类适应性指标

人类社会系统适应和应付全球变化依赖于财富、技术、教育、信息、技能、基础设施、获取资源的途径以及管理能力^[26]。对全球变化适应性的测度也必然偏重人类经营、管理资源、创造财富的能力。本研究选择人均国民生产总值、教育投入比例、邮电业务总量产值、金融机构存款余额来表达社会系统对全球变化的适应能力。

2.2.6 全球变化下研究区适应能力驱动力

指标体系中的指标因子从不同角度、不同层次对区域生态环境产生影响,但在影响过程中各因子信息存在重叠。为选取区域主导驱动力,本研究运用主成分分析方法,在 SPSS 软件支持下实现区域适应能力驱动力分析。

首先将指标因子数值标准化,输入 SPSS 软件,进行主成分提取。选取特征值大于 1 的因子,累积方差贡献率大于 80%,表明这些因子涵盖了驱动因子中 80% 以上的信息,能够基本反映研究区实际情况,可视为主成分提取达到了主成分分析的基本要求;其次进行主成分解释。主成分系数绝对值大小代表变量载荷信息的大小,正号表示变量与主成分作用方向一致,负号表示变量与主成分作用方向相反。如果变量分组较有规则,则从特征向量各分量数值做出组内对比分析,若主成分系数大致相同,则考虑是否有一般性的影响因素存在^[27]。比如第一主成分中气候湿润度指数、洪涝、干旱、植被和环境问题指数等变量的系数相对较大,故把第一主成分解释为自然综合响应因子;第二主成分中金融机构存款余额、邮电业务总量产值等变量的系数相对较大,将第二主成分解释为财富与信息技术因子,即财富与信息响应度,以此类推。之后,将主成分数值空间化到每个研究区域中,计算区域驱动力值,从而确定区域适应能力的主要驱动力因子。

3 结语

(1)北方农牧交错地带区域适应能力模型,着眼于以国内外前沿研究的新视角(生态环境脆弱性、风险性、恢复性和适应性),统揽生态景观格局、状态、组分、过程等多个层次,集成多源数据、多时间序列,是全球变化下农牧交错地带区域适应能力集成研究的一个尝试。

(2)地农牧生产量指数概念符合北方农牧交错

地带农牧业相辅相成的实际情况,是准确表达农牧交错地带农牧业对环境真实压力的有益探索。

(3)北方农牧交错地区特有的沙质荒漠化、盐碱化景观格局的构成,是在第四纪地质地貌基础上发育和演化而来的。在第四纪地质地貌对农牧交错地带环境形成和演变中的先天胁迫研究方面,提出了“第四纪地质脆弱度指数”。

(4)任何一个评价指标体系,都是评价者主观思想对客观评价对象的一种理解和描述,是评价者理论素养和实践经验的集中反映。不同的评价者看问题的视角和理解力不同,构建的指标体系也会各有特色,即任何评价没有绝对的准确性,只有相对的合理性。PSRRAD 模型的指标体系是研究者在区域适应能力评价方面的一个探索和尝试,在以后的学习和研究中有待于进一步完善。

参考文献:

- [1] IGBP. The International Geosphere-biosphere Programme: a Study of Global Change [R]. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1990.
- [2] 孙成权, 张志强. 国际全球变化研究计划综览 [J]. 地球科学进展, 1994, 9(3): 53-70.
- [3] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 467-469.
- [4] Margaret A P, Emily S B, Elizabeth A G, et al. 21st Century Vision and Action Plan for the Ecological Society of America [R]. Washington: Ecological Society of America, 2004.
- [5] 冷疏影, 宋长青. 陆地表层系统地理过程研究回顾与展望 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(6): 600-606.
- [6] 葛全胜, 陈泮勤, 张雪芹. 全球变化的集成研究 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 461-466.
- [7] 史培军, 王静爱, 陈 婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向——全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议透视 [J]. 地理学报, 2006, 61(2): 115-126.
- [8] 赵国浩, 王浣尘, 陈 忠, 等. 可持续发展系统要素分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 1998(2): 18-20.
- [9] 袁少军, 范山鹰. 浅谈确定判别可持续发展的指标体系和标准体系的原则 [J]. 中国环境管理, 1996(5): 24-25.
- [10] 晏路明. 地理信息系统在农业经济发展综合评价中的应用——原理。方法。模型。实证 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [11] 邱 东. 多指标综合评价方法的系统分析 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.
- [12] 薛沛丰. 可持续发展评估系统研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 1998(2): 15-17.
- [13] EU. Towards Environmental Pressure Indicators for the EU [R]. Brussels: European Commission, 1999.

(下转第 323 页)

下,完全可以满足。

(4)由于S变换中的基本小波函数形态固定,使得其在实际应用中受到限制,建议进行广义S变换提取瑞利面波频散曲线的研究。

参考文献:

- [1] Rayleigh L. On Waves Propagated Along the Plane Surface of an Elastic Solid[J]. Proceedings of the London Mathematical Society, 1887(17): 4-11.
- [2] Haskell N A. The Dispersion of Surface Waves on Multilayered Media[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1953, 43(1): 17-34.
- [3] Knopoff L. A Matrix Method for Elastic Wave Problems[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1964, 54(1): 431-438.
- [4] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 李庆春, 邵广周, 刘金兰, 等. 瑞雷面波勘探的过去、现在和未来[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 74-77.
- [6] Garbo D. Theory of Communication[J]. Journal of Institute for Electrical Engineering, 1946, 93(3): 429-457.
- [7] Gressmann A, Morlet J. Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape[J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1984, 15(4): 723-736.
- [8] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the Complex Spectrum; the S Transform[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(4): 998-1001.
- [9] 胡建平, 包乾宗, 陈亚东, 等. 时频分析在实测瞬态瑞雷波相速度提取中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(6): 53-55.
- [10] 孙党生, 李国占, 焦凯英, 等. 基于时频分析的瑞雷波相速度提取及其应用[J]. 勘察科学技术, 2003(3): 58-60.
- [11] 彭文, 王亮. 瑞雷面波频散特征的时频分析方法及应用[J]. 物探化探计算技术, 2006, 28(3): 233-237.
- [12] 孔令召, 侯兴民, 陈建立. 基于时频分析方法提取瞬态瑞利波频散曲线[J]. 地震工程与工程振动, 2008, 28(6): 8-13.
- [13] 田仁飞, 张固澜. 基于时频误差分析法的随机介质波场特征分析[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(6): 29-32.
- [14] 陈亚东. 时频分析在瑞雷面波相速度提取中的应用[D]. 西安: 长安大学, 2003.
- [15] 王运生, 王家映, 郭玉松, 等. 实测面波频散曲线计算方法研究与应用实例[J]. 工程勘察, 2004(6): 60-63.
- (上接第296页)
- [14] Svarstad H, Petersen L K, Rothman D, et al. Discursive Biases of the Environmental Research Framework DPSIR[J]. Land Use Policy, 2008, 25(1): 116-125.
- [15] 王娟. RS-GIS-EIS技术支持下的吉林西部生态环境集成研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [16] 谭克龙, 高会军. 中国半干旱生态脆弱带遥感理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [17] 王让会. 遥感及GIS的理论与实践——干旱内陆河流域脆弱生态环境研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [18] 孟庆香. 基于遥感、GIS和模型的黄土高原生态环境质量综合评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [19] 王开运, 邹春静, 张桂莲, 等. 生态承载力复合模型系统与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [20] 王静. 土地资源遥感监测与评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [21] 洪增林, 薛惠锋. 城市土地集约利用潜力评价指标体系[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 106-110.
- [22] 李秉成. 第四纪与环境[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 63-64.
- [23] 杜雄. 华北农牧交错区农业资源适度开发与农牧业可持续发展研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2008.
- [24] 陈凤臻. 全球变化下松辽平原生态环境变迁研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [25] 左伟. 基于RS、GIS的区域生态安全综合评价研究——以长江三峡库区忠县为例[M]. 北京: 测绘出版社, 2004.
- [26] 杨达源, 姜彤. 全球变化与区域响应[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [27] 卢文岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.