

# 干旱区石羊河流域水资源研究进展

李丽娜, 石培基, 董翰蓉, 魏 伟

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘 要:**水资源是干旱区石羊河流域生态环境最重要的限制性因子和主要组成部分。随着经济和人口的迅速增长, 石羊河流域生产生活用水不断占用生态环境用水, 大部分地区水资源利用已经超过了极限, 导致生态环境不断恶化。该文按照“产生的问题—影响机制—过程模拟和情景预测—提出对策”这一思路总结了国内近 30 a 的研究成果, 研究结果发现: 石羊河流域水资源开发利用对生态环境的影响机制研究较少, 在实践中仍然面临着许多问题。因此, 今后的重点应以机制为基础, 从流域的宏观角度, 过程模拟和情景预测为突破口, 综合开展石羊河流域水资源开发利用对生态环境影响问题的研究。

**关键词:**干旱区; 石羊河流域; 水资源; 研究进展

**中图分类号:**TV213.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2012)02-0280-05

## Progress on Water Resources Research in Shiyang River Basin

LI Li-na, SHI Pei-ji, DONG Han-rong, WEI Wei

(Institute of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The water resources are the most limiting factors and one of the important factors on ecological environment in Shiyang River Basin. Shiyang River Basin is one of the important water administrative research units in cold and arid region. With the growth of population and economy, the water used as production and living in Shiyang River Basin constantly takes up the ecological environment water in most areas, the utilization of water resources is more than a maximum limit, which worsened ecological environment. According to the idea of ‘the cause of the problem—impact mechanism—process simulation and forecast—putting forward countermeasures’, this paper summarizes the domestic research results of recent 30 years. Research shows that: the influence mechanism development and utilization of water resources on the ecological environment are weak and theoretical, and face many problems. Therefore, in the future, from the macroscopic angle, we should put the mechanism as base, process simulation and forecast scene as the breakthrough, improve the research for the environment problems on development and utilization of water resources in Shiyang River Basin.

**Key words:** arid area; Shiyang River Basin; water resources; research progress

石羊河流域是西北干旱区水资源可持续发展研究中的重点区域之一。由于水资源短缺, 生态环境脆弱, 石羊河水资源开发利用引起的生态环境问题十分普遍, 一直为国内学者所关注。石羊河流域大致介于  $36^{\circ}29'—39^{\circ}27'N$ ,  $101^{\circ}41'—104^{\circ}16'E$ , 流域面积 4.16 万  $km^2$ <sup>[1]</sup>。东起乌鞘岭, 西止大黄山, 北与巴丹吉林沙漠和腾格尔沙漠相接。自西向东主要由大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河 8 条河流组成<sup>[2]</sup>。从南到北大体分为 3 个地貌单

元, 南部祁连山地、中部走廊平原、北部阿拉善高原。石羊河流域干流上游杂木河, 源于祁连山东段大雪山, 东北流域山谷, 自塔儿庄出山, 入河西走廊东段为中游, 红崖山以北为下游。上游祁连山和中部走廊区年降水量分别为 300~600 mm 和 150~300 mm, 下游民勤地区极其干旱, 年降水量小于 150 mm。现拥有耕地面积 2 676  $km^2$ , 农田灌溉面积 929  $km^2$ 。该区域降水量小、蒸发量大等恶劣的自然条件加之人类不合理的开发利用活动, 导致生态环境问题十分严

收稿日期: 2011-07-16

修回日期: 2011-09-28

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41061017, 40971078); 甘肃省青年科技基金计划项目 (1107RJYA077); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目 (SKQNYB10034)

作者简介: 李丽娜 (1984—), 女, 河北省鹿泉市人, 硕士研究生, 研究方向: 城市与区域发展。E-mail: lilinazcyx@163.com

通信作者: 石培基 (1961—), 男, 甘肃省临洮县人, 教授, 主要从事城市与区域发展工作。E-mail: shipj@nwnu.edu.cn

峻<sup>[3]</sup>。因此本文系统整理和总结国内石羊河流域水资源开发利用对生态环境影响的相关研究进展,并探讨目前该领域研究的不足与展望,旨在为石羊河流域水资源可持续开发利用提供有益的借鉴<sup>[4]</sup>。

## 1 现状研究

### 1.1 径流量模拟和预测

随着石羊河流域气候变暖,径流也发生了相应的变化,学者对此进行了大量的研究。灰色关联分析、分布式水文模型、Mann—Kendall 与 Mornet 小波变换等数学模拟得到了应用,效果明显。比如,马宏伟等<sup>[5]</sup>以杂木河为代表,采用 50 a 的数据建立了径流和气候之间的多元回归模型,并用灰色关联分析要素和径流之间的相关度;李舟等<sup>[6]</sup>构建整个流域的分布式水文模型,论述了地形坡向、太阳辐射、融雪流出三者之间的递进关系,使融雪过程的计算得到了细化,更加贴近实际;丁宏伟等<sup>[7]</sup>以红崖山为例,分析了水库径流量不断减少引起的一系列生态环境问题;马岚等<sup>[8]</sup>利用重新标度极差分析法,对红崖山水库入库径流系列进行了分析,研究结果表明自然条件不是影响径流变化的主要因素,上中游人类活动对径流起着非常重要的影响;丁贞玉等<sup>[9]</sup>采用 Mann—Kendall 与 Mornet 小波变换对石羊河流域出山 50 a 的径流量进行周期分析,结果表明总体呈现平稳波动走势,对工农业生产和生态建设管理模式有一定的影响。

### 1.2 承载力研究

水资源作为影响石羊河流域的关键因子,在一定的限制条件下,通过不同模型分析和预测特定区域水资源合理利用方案有着重大的现实意义。苏永红<sup>[10]</sup>应用模糊综合评判方法探讨了石羊河流域水资源的开发潜力,结果认为该区域水资源开发程度接近于饱和值,承载力相当脆弱,并对区域水管理提出了三点对策;赵建世<sup>[11]</sup>利用双要素水资源承载能力计算模型分别对现状和未来水资源能力进行分析和预测,认为 2000 年石羊河流域水资源超载度为 2.25,超载人口 124 万,并预测到该流域水资源承载能力将不断得到提高,主要原因是流域人均耗水量的不断下降,最后提出了提高承载能力的途径;冯绍元<sup>[12]</sup>运用系统动力学方法建立水资源承载力系统动力学模型,并设计了 4 种方案,其中以方案三的农业节水力度,通过水资源承载力系统动力学模型反算规划年水资源承载力的灌溉面积等数据。结果认为 2010 年可承载总人口 184.81 万人,工业增加值 40.91 亿元,水浇地灌溉面积 10.20 万  $\text{hm}^2$ ,实际中难以实现,近期仍然需要开采地下水来维持社会经济的发展;2020 年可承

载总人口 202.11 万人,工业增加值 85.74 亿元,水浇地灌溉面积 13.88 万  $\text{hm}^2$ ,此时生态环境将得到有效的改善。

### 1.3 生态环境效应研究

水资源开发利用所引起的生态环境问题在国内已经进行了大量的研究。具体体现在降水、蒸发、地下水、排灌、城市等对生态环境的影响。比如,陈贺等<sup>[13]</sup>以数字高程模型为出发点描述了地形因素对降水分布影响的研究;任建民等<sup>[14]</sup>在人类活动对内陆河石羊河流域水资源转化的影响中分析了人类盲目扩大灌溉面积而引起水资源过度利用,导致生态环境恶化的情况;李宝兴<sup>[15]</sup>阐述了地下水资源过度开发引发的生态环境问题;钱云平<sup>[16]</sup>分析了石羊河流域水循环模式的改变对生态环境造成的影响;魏晓妹等<sup>[17]</sup>分析了绿洲农业对水资源的开发利用引发的生态环境问题;苏国波<sup>[18]</sup>分析了机井数量过多,地下水开采过度引起了一系列的环境问题;周建<sup>[19]</sup>分析了城市规模的扩大对生态环境造成的影响。由于石羊河流域水资源的开发利用一般经历了“先开发地表水、后开发地下水,先开发农业用水,后开发工业和城市用水,因此农业和地下水开采等对生态环境造成的影响越来越受到学者的关注。

### 1.4 过程模拟与情景预测研究

目前,学者不单是简单的研究水资源开发引起的生态环境影响,而是开始运用计算机模拟方法进一步探讨水资源和生态环境之间的耦合关系,以期水资源的可持续利用政策制定提供技术支持。该领域已经取得了一些进展。比如,乔平林等<sup>[20]</sup>利用 GIS、RS 技术建立了水资源定量反演模型,分析了石羊河水资源动态演化的规律;王琪等<sup>[21]</sup>运用计算模型技术分析了地下水地球化学特征;李元红等<sup>[22]</sup>以民勤为例,将水资源调度管理模型与 FEFLOW 5.4 模型进行耦合,通过地下水预测各方案对地下水位和生态环境的影响,评价了调度方案的准确性;刘杰等<sup>[23]</sup>介绍了石羊河流域水资源管理信息系统建立的必要性和初步设计方案;石敏俊等<sup>[24]</sup>构建了基于 GBEM 模型的分布式水资源管理模型,并研究了该流域水资源空间配置优化方案和实现途径;吕胜利等<sup>[25]</sup>应用系统动力学模型,以武威平原区为例,根据水资源阿赫经济两个子系统相互作用形成了一个更大的系统,定量分析了经济系统和水资源系统之间的相互作用机制及动态变化关系。但是,实际中水资源与生态环境之间的相互作用关系及其复杂,通过墨迹和情景预测来动态预测水资源开发利用对生态环境的影响仍然困难重重,有待于进一步探索。

## 2 驱动机制研究

在石羊河流域出现土壤污染、地下水位下降、土壤沙漠化等一系列生态问题后,学者们在对石羊河流域生态环境变化进行动态研究的基础上,主要从区域气候变化及人类活动对水资源开发两个方面对生态环境的驱动机制进行了研究。目前大部分学者认为人类活动是导致生态环境恶化的主要因素,因此加强了水资源开发对生态驱动机制的研究,主要包括以下几个方面:

(1) 水资源过度开发对生态环境的影响机制。主要是从基于地表水与地下水之间的关系、水循环模式、水资源供需平衡、人类—径流—生态环境间的相互关系、生态风险等层面出发,讨论水资源过度开发对生态环境的不利影响。比如钱云平<sup>[16]</sup>等阐述了人类活动对水循环模式的不利影响,使以前的地表水—地下水复杂转换模式转变为地表水—地下水的单一模式,并探讨了由此引起的生态环境和水资源危机问题;张同泽等<sup>[26]</sup>分析了近期水资源的供需平衡问题,并探讨了该流域缺水的程度,从生态风险的角度分析了水资源短缺的各方面原因;宁立波等<sup>[27]</sup>指出过低的水价是造成用水效率低下、水资源浪费的主要原因;魏晓妹等<sup>[17]</sup>分析了人类活动对地表水、地下水转换关系的影响;王乃昂等<sup>[28]</sup>分析了气候与人类活动间的关系影响;王宝鉴等<sup>[29]</sup>阐述了人类—径流—生态环境间的相互关系,从宏观系统的角度研究了石羊河流域短缺的根本原因,推动了驱动机制的快速发展。

(2) 水资源开发对生态环境修复的影响机制。由于以前学者更多关心的是石羊河流域水资源与生态环境的影响因素分析,所以阐述生态环境修复的研究就比较少。随着利用水资源技术手段的提高,部分区域已经得到了一定的恢复,于是学者开始重视生态环境的修复问题。比如,顾自福<sup>[30]</sup>提出了应加大对石羊河上游环境恢复建设的投入力度,并提出了修复生态建设的对策;马金宝等<sup>[31]</sup>提出了运用农业技术恢复重建乔、灌、草复合植被群落,提高林草覆盖率,提高生态服务功能的建议;唐国玺<sup>[32]</sup>分析了石羊河流域水资源紧缺、生态恶劣、修复生态任务的艰巨性,并提出了解决环境问题的主要措施;窦明等<sup>[33]</sup>运用模型模拟出方案实施后地下水位的变化过程,进而分析节水措施对地下水恢复的效果。但是目前人们主要集中精力研究水资源过度开发利用区的影响机制问题,对未开发利用区研究甚少,应加大从微观、中观、宏观层面量化人口、生态、环境系统及其各要素之间相互影响机制问题的研究。

## 3 响应对策研究

在对石羊河流域水资源开发利用引起的生态效应、水资源对生态环境影响机制、水资源承载力研究,以及水资源过程模拟和情景预测研究之后,人们最终关心的是如何制定合理的对策来环境水资源开发对生态环境的影响,如何从数量和质量上来保障生态和生活用水问题。目前众多学者已经从节水社会建设、政策、市场、制度等角度提出了水资源开发利用对生态环境影响的响应对策,研究的进展主要分为以下几个方面:

(1) 强调流域水资源通过立法、制度的建设。虽然人们可以通过跨流域调水、修建沟渠等一系列措施调节水资源在空间的分布不均问题,但是实践证明以有限的水资源供给来满足无限的用水增长需求,这样只能导致社会经济的扩张带来更大的生态破坏和水资源污染问题,因此人们认识到水资源管理制度的重要。马平<sup>[34]</sup>在谈农业法律措施对加快石羊河流域生态发展的影响中强调农业法律措施的调整,比如包括水费征收制度调整、农业灌溉方式制度的制定等;杜群<sup>[35]</sup>认为应从建立资源可持续利用承载力的法律体系、改革水资源管理制度、加强对荒地的行政管理、建立跨部门协调制度等几方面增强综合决策能力,他们都强调水资源管理制度的改革。从目前实践来看,虽然给水资源流域综合管理提出了一种新观点,但是同样也面临着许多挑战。尤其是关系到干旱区生态系统健康的生态用水补偿制度及中水利用制度,有待于进一步研究。

(2) 强调技术手段的运用。提高水资源利用率的技术层面的措施,包括调整产业结构、加强工程建设等。比如齐典辉<sup>[36]</sup>认为应该加强黄羊灌区灌水技术的提高,提高水资源利用率;王雄师<sup>[37]</sup>认为为了确保水资源最大限度地应用于生活、生产和生态,必须合理确定产业结构的调整方向;苏国波<sup>[18]</sup>在石羊河流域机井工程建设管理存在的问题与对策中分析了加强机井建设管理对开采地下水有着重要的经济、社会效益;苗慧珊<sup>[38]</sup>选取榆树、刺槐为研究对象进行造林,以蓄水渗膜材料处理作为试验组,进行试验,结果表明蓄水渗膜具有显著的节水增效作用,为石羊河水资源综合治理探索了一条新的途径。但实践证明,人类简单通过水利建设和供水技术来改善水资源管理,只能导致社会经济系统在扩张型道路上越走越远,这样又带来了新的水环境污染与生态破坏,它要求将流域上、中、下游作为一个有机整体,在保持生态系统完整的前提下,综合考虑水资源的供给与需求。

(3) 强调节水型社会的建设。石羊河流域经济发展水平很低,大部分地区农业用水比重较大。效益较低,发展循环经济、推行绿色生产,转变经济增长方式是解决石羊河流域生态环境问题和实现可持续发展的重要途径。其中,节水型社会的建设是当前实践中的重点。节水型社会要求现有水资源使用量不断增加,维持并不断改善水环境质量的前提下,保证生产生活用水,提高水资源的利用率,实现经济、社会的可持续发展。2002年甘肃省张掖市成为全国第一个建设节水型社会的试点建设区,并在运转过程中取得了明显的效果。许多学者对此也做了许多研究,比如臧广鹏<sup>[39]</sup>分析了石羊河流域农业用水的现状和建设节水型农业的必要性,从工程节水、管理节水等方面提出了农业节水应采取的措施;2000年钱云平、杨东<sup>[40]</sup>在凉州区节水增效项目的示范效益中分析了节水措施对社会、经济的效益问题。但是节水型试点在实践中仍然存在着许多困难,有待于进一步的实践和研究。

## 4 小结与展望

综上所述,水资源作为石羊河流域社会经济环境的主要影响因子,在近50a来受到研究者的广泛关注,并在径流量模拟和预测、承载力研究、生态环境效应研究、过程模拟与情景预测研究、驱动机制研究、响应对策研究方面获得了一定进展,为石羊河流域水资源的可持续发展提供了科学依据。

从水资源研究方法层面分析,2010年段春青<sup>[41]</sup>等人在区域水资源承载力概念及研究方法的讨论文中,重新定义了水资源承载力的概念,并从“社会经济—水资源—生态环境”复合系统的角度,提出了基于现代进化算法思想的水资源承载力计算思路,这无疑给石羊河流域水资源的研究方法提供了一种新的研究思路。

从水资源研究内容层面分析,通过统计、描述或GIS等手段对石羊河流域水资源开发利用所引起的生态环境问题研究相对较多,对水资源及生态环境相互关系的影响机制、水资源承载力、水量变化与生态环境间定量关系等研究较少,再加上关于水资源开发利用中的研究方法和标准完全不一致,导致水资源的开发利用对生态环境的影响程度等问题如何将难以进行动态的过程模拟和情景预测。应利用GIS、RS、ANNs等先进的技术手段,对石羊河流域水资源与生态环境系统及其内部各要素之间的关系变化进行动态的模拟和情景预测,从微观、中观、宏观层面量化人口—生态—环境系统及其各要素之间的相互作用机制问题,为今后的水资源研究指明了方向。

从水资源管理层面分析,2003年程国栋<sup>[42]</sup>在虚拟水——中国水资源安全战略的新思路文章中引入了虚拟水的概念,将虚拟水分为供给管理、需求管理、内部结构性管理和社会管理4个层次,从理论角度分析了社会化管理与水资源恢复重建的关系。认为西部区除青海外水资源开发利用超过了40%国际警戒线的标准,应逐步应用虚拟水解决区域粮食和农产品供应,平衡水资源利用赤字,将节约剩下的水转向低耗水高效益产业,逐步增加农民收入渠道,将是石羊河流域水资源可持续发展的理论解析化的有益尝试。笔者认为,在保证石羊河流域经济快速发展的同时,应加强水污染问题的相关研究,以保护有限且缺乏的水资源,从而实现石羊河流域水资源的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 胡建勋. 基于GIS技术的石羊河流域地下水资源时空格局分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 781-786.
- [2] 于保静, 王开录, 石培泽. 石羊河流域水资源可持续利用对策探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2005, 41(1): 7-8.
- [3] 宁宝英, 何元庆, 何献中, 等. 黑河流域水资源研究进展[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1181-1184.
- [4] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源开发利用对生态环境影响的研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 38-45.
- [5] 马宏伟, 王乃昂. 近50年来石羊河出山口径流对气候变化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(1): 113-117.
- [6] 李舟, 董增川. 基于坡向判断的分布式水文模型研究应用[J]. 水利水电技术, 2007, 38(9): 1-4.
- [7] 丁宏伟, 王贵玲, 黄晓辉. 红崖山水库径流量减少与民勤绿洲水资源危机分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 24(1): 13-17.
- [8] 马岚, 魏晓妹. 石羊河下游年径流序列的变异点分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 1743-177.
- [9] 丁贞玉, 马金珠. 石羊河流域出山口径流特征及其与山区气候变化相关关系分析[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 53-58.
- [10] 苏永红, 冯起, 刘蔚. 应用模糊综合评判方法评价石羊河流域水资源承载力[J]. 干旱区研究, 2009, 26(2): 69-175.
- [11] 赵建世, 王忠静, 甘鸿. 双要素水资源承载能力计算模型及其应用[J]. 水利发电学报, 2009, 28(3): 176-180.
- [12] 冯绍元, 陈绍军, 霍再林. 基于SD模型的石羊河流域中下游水资源承载力初步研究[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 2009, 32(4): 301-306.
- [13] 陈贺, 李原园, 杨志峰. 地形因素对降水分布影响的研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 119-122.
- [14] 任建民, 张香台, 俞兆权. 干旱区非地带性植被生态蓄水量的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007(3): 383-386.
- [15] 李宝兴. 石羊河地下水盆地的水资源构成及其合理利用

- 用问题[J]. 中国沙漠, 1983, 8(4): 1-10.
- [16] 钱云平, 王双合, 高亚军, 等. 石羊河流域水资源开发对水资源模式的改变[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 38-41.
- [17] 魏晓妹, 唐绍忠, 粟晓玲, 等. 石羊河流域绿洲农业对地表水和地下水转化关系的影响[J]. 人民黄河, 2006, 28(6): 40-41.
- [18] 苏国波. 石羊河流域机井工程建设管理存在的问题与对策[J]. 农业科技与信息, 2007, 14(1): 19-22.
- [19] 周建. 基于生态承载力的石羊河流域城市规模研究: 以良州区为例[J]. 广东农业科学, 2010(5): 162-163.
- [20] 乔平林, 张继贤, 燕琴. 石羊河流域水资源遥感定量测算方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(4): 217-220.
- [21] 王琪, 史基安, 赵兴东, 等. 石羊河流域地下水地球化学特征演化的计算机模拟研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 160-164.
- [22] 李元红, 胡想全, 王军德. 石羊河流域民勤县生态安全评价研究[J]. 人民黄河, 2010(10): 9-13.
- [23] 刘杰, 康绍忠. 基于 VB 的甘肃石羊河流域水资源管理信息系统设计[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 177-182.
- [24] 石敏俊, 陶卫春, 赵学涛. 生态重建目标下石羊河流域水资源空间配置优化: 基于分布式水资源管理模式[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1133-1145.
- [25] 吕胜利, 宋秉芳, 王建武. 石羊河流域武威平原区水资源与工农业协调发展的动力学模型[J]. 开发研究, 1994, 24(2): 53-55.
- [26] 张同泽, 刘翰朝. 石羊河流域武威区域水资源供需平衡分析[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 139-143.
- [27] 宁立波, 楼建东. 石羊河流域水利工程供水的边际机会成本分析[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2004, 19(3): 85-88.
- [28] 王乃昂, 张建明, 高翔, 等. 石羊河下游湖泊退缩: 气候变化和人类活动的影响[C]. 中国地理学会 2008 年学术年会论文摘要. 北京, 2008.
- [29] 王宝鉴, 宋连春, 张强, 等. 石羊河流域水资源对气候变暖的响应及对生态环境的影响[J]. 地球科学进展, 2004, 22(7): 730-737.
- [30] 顾自福. 对石羊河流域上游恢复生态环境建设的对策与建议[J]. 甘肃农业, 2008, 262(23): 33-34, 22.
- [31] 马金宝, 罗永寿, 王英成, 等. 石羊河上游水源涵养型流域植被恢复重建试验示范[J]. 林业科技, 2009(5): 21-24.
- [32] 唐国玺. 石羊河流域生态修复与环境治理的探讨[J]. 中国水利, 2005, 23(8): 30-34.
- [33] 窦明, 孙雪涛, 左其亭. 石羊河流域水资源转化模型及其应用研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2005, 26(3): 109-112.
- [34] 马平. 谈农业法律措施对加快石羊河流域生态发展的影响[J]. 甘肃农业, 2008(7): 58-59.
- [35] 杜群. 防治土地沙漠化的资源法律问题及其对策: 以甘肃省石羊河流域为例[J]. 法学评论, 2004(1): 91-97.
- [36] 齐典辉. 加强黄羊灌区工程建设与管理的对策和建议[J]. 甘肃水利水电技术, 2009, 45(9): 6-7.
- [37] 王雄师. 石羊河流域产业结构的现在分析与调整方向[J]. 甘肃农业, 2003(12): 30-31.
- [38] 苗慧珊. 蓄水渗膜在石羊河流域综合治理中的应用[J]. 农业科技与信息, 2010(14): 18-18.
- [39] 臧广鹏. 石羊河流域节水农业建设探讨[J]. 现代农业科技, 2008(14): 340-343.
- [40] 杨东. 加强节水型社会建设推进石羊河流域重点治理[J]. 中国水利, 2008(22): 61-62.
- [41] 段青春, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90.
- [42] 程国栋. 虚拟水: 中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003(4): 260-265.

(上接第 279 页)

- [19] Blume H P, Eger H, Fleischhauer E, et al. Towards Sustainable Land Use[M]. Germany: GeoScience Publisher, 1998: 8-231.
- [20] 王楠君, 吴群, 陈成. 城市化进程中土地资源安全评价指标体系研究[J]. 国土资源科技管理, 2006, 23(2): 28-31.
- [21] 朱洪波. 中国耕地资源安全研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [22] 于兴修, 杨桂山, 王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 627-633.
- [23] 黄方, 刘湘南, 张养贞. GIS 支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 95-100.
- [24] 陈百明. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [25] 高雅. 我国城市化进程中土地非农化问题研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [26] Jeffrey A L. Agriculture and biodiversity: Finding our place in this world[J]. Agriculture and Human Values, 1999, 16(4): 365-379.
- [27] Emdad H C. Risk assessment, emergency preparedness and response to hazards: The case of the 1997 Red River Valley Flood, Canada[J]. Natural Hazards, 2000, 21(2/3): 225-245.
- [28] Josephine P M. Land degradation management in Southern Africa[C]// Climate and Land Degradation. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [29] 吴文盛, 朱军, 郝志军. 耕地资源的安全评价与预警[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(5): 46-49.
- [30] 刘钟龄, 朱宗元, 郝敦元. 黑河流域地域系统的下游绿洲带资源—环境安全[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 286-293.
- [31] 李秀彬. 中国近 20 年耕地面积的变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329-333.