

# 黑河流域生态环境演变研究综述<sup>\*</sup>

李 静<sup>1</sup>, 桑广书<sup>1</sup>, 刘小艳<sup>2</sup>

(1. 浙江师范大学 旅游与资源管理学院, 浙江 金华 321004; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘 要:**随着生态环境问题的日益突出,区域生态环境演变研究成为生态环境研究领域的热点。黑河流域位于河西走廊农牧交错带上,是典型的生态敏感区。近年来流域生态环境严重退化,成为我国区域生态环境演变研究的重点地区之一。分别从黑河流域生态环境退化状况、生态环境演变及驱动力等方面对已有的研究成果进行总结:在气候变化与人类活动的共同作用下,黑河流域生态环境以不同的时间尺度在发展演变。近年来,人类不合理的活动导致一系列生态环境问题的出现。指出当前研究中存在的不足:主要集中于黑河流域生态环境现状研究,缺乏历史时期流域生态环境演变研究。期望为今后黑河流域及其他内陆流域生态环境演变研究的深入提供参考。

**关键词:**黑河流域;生态环境;演变;驱动力

中图分类号:X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)06-0210-05

## Review of the Evolution of Ecological Environment in the Heihe River Basin

LI Jing<sup>1</sup>, SANG Guang-shu<sup>1</sup>, LIU Xiao-yan<sup>2</sup>

(1. College of Tourism & Resources Management, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China; 2. College of Tourism & Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** With the eco-environmental problems have become increasingly prominent, the regional research on the evolution of ecological environment is increasingly becoming a hot spot. The Heihe River Basin located in the farming-pastoral belt in Hexi Corridor is a typical example of ecologically sensitive areas. In recent years, the ecological environment in Heihe River Basin degraded seriously. It attracts the attention of many researchers. The paper summarizes the existing research results in the evolution of ecological environment, the status of ecological environment and the driving force of the evolution of the ecological environment: with the climate change and the human activities, the ecological environment in Heihe River Basin developed and evolved with different time scales. In recent years, human unreasonable activities lead to a number of eco-environment problems. The paper pointed out that the current research focuses on the status of ecological environment and lacks the ecological environment changes in the historical period, in order to provide a reference for the future research on the evolution of the ecological environment in Heihe River Basin and other inland river basins.

**Key words:** Heihe River Basin; ecological environment; evolution; the driving force

生态环境是由生物群落及非生物自然因素组成的各种生态系统所构成的整体。以人类为主体,生态环境是“对人类生存和发展有影响的自然因子的综合”,它以人与自然界的关系为基本出发点,强调人与自然相互依赖和相互作用的整体性,主张人与自然和谐相处,从而实现人类社会的可持续发展<sup>[1]</sup>。

长期以来,在自然因素与人为因素的共同作用下,生态环境以不同的时间尺度在发展演变。科技的进步和经济的发展使人类面临严重的生态环境问题,要实现人类与自然的协调,不仅需要认识生态环境的现状,还必须掌握生态环境演变的规律。随着全球生态环境问题的日益突出,全球环境变化研究成为

\* 收稿日期:2009-06-22

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“西北地区城乡市场发展的历史进程与环境基础”[07JJD770108]

作者简介:李静(1984-),女,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为环境演变。E-mail:2007210614@zjnu.net

通信作者:桑广书(1963-),男,陕西陇县人,教授,主要研究方向为地貌学,土壤侵蚀与水土保持。E-mail:sgs63@163.com

20 世纪 80 年代以来国际学术界关注的热点问题之一,国际科学联合会理事会(ICSU)等国际性科学组织先后组织了“世界气候研究计划”(WCRP,1980 年)、“国际地圈生物圈计划”(IGBP,1987 年)、“生物多样性计划”(DIVERSITAS,1991 年)、“国际全球环境变化的人文因素计划”(HDP,1996 年)四大全球环境变化研究计划,并于 2001 年联合组建了地球系统科学联盟(ESSP),从地球系统的全方位审视和研究全球环境变化问题及其影响,促进人类社会的可持续发展<sup>[2-3]</sup>。

在全球变化研究中,选择典型研究区开展全球变化的区域响应研究是重要的研究方向,我国学者在青藏高原、农牧交错带、海岸带、干旱区绿洲等生态脆弱区、生态敏感区进行了大量的研究。

黑河流域是我国西北干旱区第二大内陆河流域,大致介于  $98^{\circ}00' - 101^{\circ}30' E, 38^{\circ} - 42^{\circ} N$ ,发源于祁连山北麓,流经甘肃省张掖盆地,下游进入内蒙古额济纳旗境内。跨越青海、甘肃和内蒙古 3 个省区,总面积  $13.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。西汉开拓河西以后,黑河流域一直是河西走廊重要的灌溉农业区,在自然和人为因素的共同作用下,黑河流域生态环境变化显著,是典型的生态敏感区。建国以后,特别是改革开放以来,随着流域经济发展、人口增长、资源开发和城市化进程的加快,流域内有限的水资源承受着过度利用、无限开采等人为施加的压力,从而引起水资源短缺、下游生态环境恶化、绿洲面积缩小、沙漠化土地面积扩大等一系列生态环境问题,引起了众多学者的关注。本文就近年来各学者对黑河流域生态环境变化研究进展进行综述,以期对黑河流域及其他内陆河流域环境演变研究提供参考。

## 1 黑河流域生态环境退化研究

黑河流域作为我国第二大内陆河流域,建国以来,随着大规模的垦殖和开发,生态环境问题日趋突出。20 世纪 80 年代以来,随着人口的增加和社会经济的迅速发展,人类对流域有限的水资源进行无节制的开采和利用,同时人类不合理的生产活动加剧,导致流域生态环境严重退化。众学者主要针对流域上游林地锐减、水资源短缺、草场退化、土地沙漠化、盐碱化、下游河水断流、湖泊干涸等方面对黑河流域生态环境退化状况进行了研究。

### 1.1 上游林地锐减,水源涵养区功能下降

黑河流域上游在祁连山北坡,是流域的水源涵养区,由于人类的盲目开荒造地和滥伐滥樵,使得黑河流域森林资源破坏严重,水源涵养功能下降。郑

丙辉等通过流域上游的土地覆盖变化分析了上游生态环境的动态变化,指出上游的主要生态环境退化表现在林地锐减、草场退化、土地覆盖率下降等方面<sup>[4]</sup>。郭锐、王根绪等通过遥感监测对近年来黑河流域上游地区的植被变化进行了分析,结果表明上游植被在退化<sup>[5-6]</sup>。齐善忠等根据最新的野外调查数据,分析了黑河流域上游植被退化的现状<sup>[7]</sup>。20 世纪 90 年代末黑河上游仅保存森林面积约  $6.67 \text{ 万 hm}^2$ ,与 1949 年相比减少约 16.5%,森林带下限由海拔 1 900 m 退缩到 2 300 m,在浅山几十公里范围的森林已完全消失,演变为荒秃群山。植被覆盖率锐减加快了水土流失,同时也降低了河川径流的调节能力。遥感调查表明,1988 - 2000 年流域上游水域面积缩减  $24\,941.2 \text{ hm}^2$ ,比 1988 年减少了 30%。

### 1.2 水资源短缺

水资源短缺是黑河流域生态环境退化的核心问题,肖洪浪等从流域水资源量及变化趋势、存在的水问题及流域水资源的开发利用现状等方面,指出流域水资源短缺的现状其原因<sup>[8-10]</sup>。王根绪对比分析了 20 世纪 40 年代以来不同时期的流域水资源开发利用规模及出山径流的变化,表明 40 年代以来流域地表水利用量增加了 19 倍,使流域 33 条支流相继断流,水资源出现短缺<sup>[11]</sup>。齐善忠等分别从地表水径流量变化、地下水位下降等方面对流域水资源现状进行了分析<sup>[7]</sup>。黑河流域的用水总量由 1949 年的约  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  增加到目前的  $26.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,仅中游地区的用水量就高达  $24.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,而整个黑河干流的可供水量只有  $16.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。下游正义峡年径流量占莺落峡年径流量的比例从 20 世纪 70 年代的 73.3% 减少到 21 世纪初的 45.8%,这种径流量锐减趋势是中游水资源过度开发导致的。

### 1.3 下游河水断流、湖泊干涸

黑河下游额济纳绿洲的水资源量不仅决定于上游的来水量,更主要决定于中游的用水量。由于上中游用水量不断增加,下游水量逐年减少,额济纳河断流期不断延长,基本变成了一条干涸的沙沟。李森、龚家栋、胡春元等分别从不同侧面对黑河流域下游的生态环境退化进行了研究,指出河水断流、湖泊干涸是下游生态环境退化的主要表现<sup>[12-14]</sup>。黑河下游狼心山水文断面来水呈逐年减少趋势,断流时间愈来愈长,由 20 世纪 50 年代的 2~4 个月延长到现在的 8~10 个月,而且河道尾闾干枯的长度也逐年增加,下游河道萎缩率超过 1/3。20 世纪 50 年代西居延海和东居延海水面面积分别为  $267 \text{ km}^2$  和  $35 \text{ km}^2$ ,两湖先后于 1961 年和 1992 年干枯,同时多数

泉眼和沼泽地消失。

#### 1.4 土地沙漠化、盐碱化严重

舒俭民探讨了黑河流域环境恶化现状,指出土地沙漠化、盐碱化是黑河流域最突出的生态环境退化特征<sup>[15]</sup>。王根绪等就黑河流域沙漠化现状、发展历程与变化趋势及其与可持续发展的关系进行了分析探讨,揭示了流域不同地区的土地沙漠化、盐碱化状况<sup>[16-17]</sup>。中游地区,水资源的大规模不合理利用导致沙漠化迅速发展,沙漠化土地面积约 25 168.8 km<sup>2</sup>,占土地总面积的 9.32%。据调查,中游河西走廊绿洲边缘有正在发展的沙漠化土地 560 km<sup>2</sup>,强烈发展中的沙漠化土地 2 272 km<sup>2</sup>,严重沙漠化土地 1 824 km<sup>2</sup>。中游现有盐碱荒地 1.02 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,盐碱化危害的耕地 7.09 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,其中轻度盐碱化 1.32 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,中度盐碱化 2.02 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,重度盐碱化 3.70 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。

李森等对黑河下游的土地沙漠化、盐碱化进行研究<sup>[12-13]</sup>,指出黑河下游因下泄水量锐减,东西河诸多支流断流,造成林木草本植被严重退化,风沙步步紧逼居延绿洲,可利用土地沙化、盐碱化面积不断扩张。近几十年来下游 35.1 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup> 的水域、农田和林木草场退化成盐碱滩和沙漠化土地,年均沙化、盐碱化面积 1.05 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占绿洲利用土地面积的 54%。

#### 1.5 自然植被减少、草场退化严重

王根绪等通过对比遥感影像资料,研究了 20 世纪 80 年代以来黑河流域草地生态系统的变化,认为流域中、下游地区草地生态面积大幅度减少,减少最显著的区域是下游额济纳旗<sup>[6]</sup>。白福等通过调查资料分析了黑河流域植被退化的分布与特征,并分析了植被退化的原因<sup>[18]</sup>。龚家栋、郑丙辉等通过流域土地覆盖变化深入探讨了黑河流域尤其是下游额济纳旗的草场退化现状<sup>[4,13]</sup>。目前,黑河中游草地退化总面积达可利用草地面积的 52%。下游额济纳绿洲部分地区近年来地下水位已下降至生态水位以下,地表天然植被严重退化。20 世纪 50 年代前额济纳绿洲区广泛分布着连片茂密的胡杨、沙枣、红柳、梭梭、芦苇及芨芨草等乔灌木植被,现在区内 19 条支流上曾广为分布的河岸林大都衰亡,仅剩零星孤林和残次林。建国以来,额济纳绿洲区植被覆盖度大于 70% 的林灌草甸草地减少了 78.26%,覆盖度介于 30% ~ 70% 之间的湖盆、洼地、沼泽草甸草地以及产量较高的草地减少了 40% 左右,草地总面积减少了近 50%,相反,覆盖度介于 10% ~ 30% 和小于 10% 的戈壁、沙漠面积扩大了 67%。

## 2 黑河流域生态环境演变研究

20 世纪 80 年代以后,众多学者开展了黑河流域生态环境变化研究,研究主要针对流域内水资源的利用变化、绿洲荒漠化及流域城镇发展等方面。

### 2.1 黑河流域水资源演变

水资源是黑河流域人类生存和发展的决定性条件,由于人类过度开发、开采流域内有限的水资源,导致在水资源利用方面,人类活动与区域生态环境之间的矛盾更为尖锐,突出表现在水资源利用失衡、水资源利用效率低、水资源短缺问题突出等方面。

针对水资源不合理利用引发的流域生态环境变化问题,众多学者进行了系统性的研究。肖生春、肖洪浪研究了黑河流域水环境的演变及演变过程中人类活动的影响,总结了流域上游山区成水环境、中游绿洲用水环境和下游荒漠、天然绿洲水环境在不同时间尺度上的演变过程,指出气候变化和人类活动是水环境演变的驱动力,尤其强调了近百年来人类活动的主导作用<sup>[19-20]</sup>。刘普幸对流域中游水环境演变对下游生态环境的影响作了研究,认为下游额济纳绿洲生态环境退化严重是由于中游经济用水挤占了下游的生态用水<sup>[21]</sup>。王根绪等人对黑河流域水资源开发利用的生态环境效应做了系统研究,指出水资源过度开发利用是导致河道断流加剧、湖泊干涸、地下水位下降、土地沙漠化等一系列环境问题的根本原因<sup>[11,22-23]</sup>。

### 2.2 黑河流域绿洲演变

绿洲是干旱区独特的生态系统,是流域人类生存和发展的场所。黑河流域沿河分布有一系列的绿洲,这些绿洲区使人类在黑河流域获得生存、生活空间,文明得以繁衍延续 2 000 多年。随着人类活动影响方式和强弱的不同,黑河流域绿洲在进行着增大或缩小的演变过程。近年来,由于人口的增加和社会经济的快速发展,黑河流域绿洲正面临着沙漠化的威胁。

目前,对黑河流域绿洲演变的研究,主要集中在绿洲演变原因分析、绿洲生态环境退化两方面。肖生春等研究了黑河流域绿洲环境演变的原因,总结了绿洲演变的自然和人文因素,认为人文因素自人类社会形成后愈来愈强烈,在一定时空条件下甚至可以掩盖自然因素对绿洲的作用<sup>[12,24-25]</sup>。张宏等对全球变化下的绿洲生态学进行了研究<sup>[26]</sup>。程国栋等对水资源动态变化下的绿洲生态环境变化做了研究,阐明了绿洲演变与水资源动态变化的独特关系,认为流域内有限的水土资源及其动态变化是制约绿

洲发育变化的关键<sup>[27-28]</sup>。李并成等运用考古学、历史地理学的方法,对黑河流域古绿洲荒漠化特征进行了研究,探讨了荒漠化的形成过程和机制<sup>[29-31]</sup>。

### 2.3 黑河流域城镇变化研究

黑河流域以张掖市为核心的城镇区近年来城镇化水平不断提升,城镇规模日渐扩大,由此引发的对生态脆弱敏感的流域绿洲的影响以及区域生态环境的响应问题成为当前乃至未来一段时间内流域生态环境可持续发展研究的焦点问题之一。

王录仓等从历史发展的人文、自然等角度分析了黑河流域城镇发展的历史过程及其机制,认为黑河流域的城市大致经历了秦汉以前、两汉、隋唐、宋以后以及明清以后五个发展阶段,并指出城镇发展的动力机制<sup>[32]</sup>。宋先松、龙爱华探讨了水资源制约下的黑河流域产业结构与城市化的协调,分析了流域中游张掖市产业结构现状与水资源短缺的矛盾,指出产业结构调整与加速城市化的互动关系<sup>[33-34]</sup>。马国霞等探讨了水资源约束下黑河流域城镇发展的模式,指出水资源是绿洲城镇存在和发展的重要约束因子,合理的城镇发展模式可以促进水资源的持续利用和城镇的快速发展<sup>[35]</sup>。

## 3 黑河流域生态环境演变驱动力研究

黑河流域生态环境的演变是在自然和人为两大驱动力的共同作用下发生的。自然驱动力以历史时期气候的波动变化为主,人为驱动力即人类的各种生产活动。各驱动力在黑河流域生态环境演变过程中的不同时段所起的作用不同。

### 3.1 自然驱动力

历史时期人类生产活动较弱,主要依赖于自然界,对环境的影响微弱,生态环境的演变主要受制于自然环境的变化,其中最重要的是气候变化引起的气温和降水的波动变化。王乃昂等对历史时期河西走廊土地沙漠化的气候背景进行了研究,认为历史时期河西走廊的3次沙漠化大发展时期均对应于2 ka以来的气候干冷阶段<sup>[25]</sup>。樊自立等对历史时期黑河流域生态环境变化的因素进行了探讨,认为气候变化是历史时期流域生态环境演变最主要的因素<sup>[36-37]</sup>。张凯等分析了建国以来黑河流域生态环境恶化的现状,并探讨了其恶化原因,认为水分条件是导致流域生态系统变化的主要驱动力,但气候变化在一定程度上加剧了生态环境恶化的进程和严重程度<sup>[38]</sup>。曹玲等研究了气候变化对黑河流域生态环境的影响,认为生态环境受气候变暖的影响明显<sup>[39]</sup>。马燕等分别从黑河流域生态环境变化的气

候因素、全球气候变暖情景下黑河流域山区水资源的变化以及黑河上游地区气候变化对径流量的影响等方面研究了气候变化对黑河流域生态环境变化的影响,认为气候变化是流域生态环境变化的主要自然驱动力<sup>[40-43]</sup>。

### 3.2 人为驱动力

明清以来人类活动对黑河流域生态环境的影响逐渐增强,建国以后人类活动对生态环境的影响开始占据主导地位,尤其是改革开放以来,随着人口的增加和社会经济活动的增强,流域内有限的水土资源受到无节制的开发利用,导致一系列生态环境问题的出现。王乃昂等研究了近2 000 a来人类活动对西北干旱区生态环境变化的影响,认为清代中期以后西北干旱区生态环境变化的主要原因是人口密度突破了干旱地带人口压力的“临界指标”<sup>[44]</sup>。蓝永超等对黑河流域生态环境变化的影响因素进行了分析,认为人类对流域水土资源的不合理开发是造成流域生态环境问题出现的主要因素<sup>[41]</sup>。马燕等研究了建国以后黑河下游额济纳地区生态环境演变的驱动力,认为过度的人类活动导致下泄水量减少是造成黑河下游生态环境退化的根本原因<sup>[12,14,40]</sup>。肖生春等研究了人类活动对黑河流域水资源变化的影响,认为近50年来在人类活动的影响下,下游正义峡的径流量出现了明显的减少过程<sup>[20,45]</sup>。

## 4 结语

黑河流域作为我国第二大内陆河流域,长期以来,其生态环境以不同的时间尺度在发展演变。水资源作为黑河流域人类生存和发展的决定性条件,其演变过程对流域生态环境演变具有很大的影响,水资源的过度开发是流域一系列生态环境问题出现的根本原因。绿洲是流域人类生存和发展的场所,在不同时间尺度上,黑河流域绿洲在进行着荒漠化和绿洲化的演变过程,表现为绿洲面积的缩小与增大。城镇是人类社会发展的产物,其演变过程受流域水资源演变的约束,黑河流域的城市大致经历了秦汉以前、两汉、隋唐、宋以后以及明清以后五个发展阶段。促使流域生态环境演变的驱动力主要是以气候波动变化为主的自然驱动力和以人类活动为主的人为驱动力,各驱动力在生态环境演变的不同时段所起的作用不同。明清以前以气候变化作用为主,明清以后人类活动逐渐占据了主导地位,甚至覆盖了气候变化对生态环境变化的影响。建国以来,随着人口的增加和社会经济的迅速发展,人类不合理的生产活动加剧,导致流域出现林地锐减、水资源

短缺、草场退化、土地沙漠化、盐碱化、下游河水断流、湖泊干涸等一系列生态环境问题。

众多学者对黑河流域生态环境演变、演变因素及近年来人类不合理的经济活动所引起的生态环境退化等方面进行的有意义的探讨,为今后研究黑河流域及其他内陆河流域生态环境变化提供了大量的基础资料。但是,当前研究主要集中于流域生态环境现状研究,按照历史脉络对黑河流域生态环境演变进行的系统研究不多,仅有极少数的学者对流域土地沙漠化情况作了定性描述。因此,在黑河流域历史时期生态环境的演变方面,尚需研究。通过研究黑河流域历史时期水资源、绿洲、城镇人口等的演变过程,揭示流域生态环境演变规律,对于治理黑河流域生态环境退化问题及实现流域人类社会的可持续发展具有重要的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 王孟本. “生态环境”概念的起源与内涵[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1919-1924.
- [2] 张志强, 王雪梅. 国际全球变化研究发展态势文献计量评价[J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 760-765.
- [3] 张平宇. 全球环境变化研究与人文地理学的参与问题[J]. 世界地理研究, 2007, 16(4): 76-81.
- [4] 郑丙辉, 田自强, 李子成. 黑河流域土地覆盖变化与生态环境退化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 62-66.
- [5] 郭铤, 杨兰芳, 王涓力. 黑河流域生态环境气象卫星遥感监测研究[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 267-273.
- [6] 王根绪, 王建, 仵彦卿. 近 10 年来黑河流域生态环境变化特征分析[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 527-534.
- [7] 齐善忠, 王涛, 罗芳. 黑河流域环境退化特征及防治研究[J]. 地理科学进展, 2004, 23(1): 30-37.
- [8] 肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水问题与水管理的初步探究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 1-5.
- [9] 蓝永超, 康尔泗, 张济世, 等. 黑河流域水资源开发利用现状及存在的问题分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 34-39.
- [10] 张济世, 康尔泗, 赵爱芬, 等. 黑河中游水土资源开发利用现状及水资源生态环境安全分析[J]. 地球科学进展, 2003, 18(2): 207-213.
- [11] 王根绪, 程国栋. 近 50a 来黑河流域水文及生态环境的变化[J]. 中国沙漠, 1998, 18(3): 233-238.
- [12] 李森, 李凡, 孙武, 等. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 61-67.
- [13] 龚家栋, 董光荣, 李森, 等. 黑河下游额济纳绿洲环境退化及综合治理[J]. 中国沙漠, 1998, 18(1): 44-50.
- [14] 胡春元, 李玉宝, 高永, 等. 黑河下游生态环境变化及其与人类活动的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(增刊): 10-14.
- [15] 舒俭民, 王家骥, 郑丙辉, 等. 黑河流域生态环境恶化状况与治理建议[J]. 环境科学研究, 1998, 11(4): 55-61.
- [16] 王根绪, 程国栋. 黑河流域土地荒漠化及其变化趋势[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 368-374.
- [17] 齐善忠, 王涛, 罗芳, 等. 黑河流域土地沙漠化与区域可持续发展[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 94-96.
- [18] 白福, 李文鹏, 黎志恒. 黑河流域植被退化的主要原因分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(2): 220-224.
- [19] 肖生春, 肖洪浪. 黑河流域水环境演变及其驱动机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 748-755.
- [20] 肖生春, 肖洪浪. 近百年来人类活动对黑河流域水环境的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 57-62.
- [21] 刘普幸, 王志敏. 张掖市水环境演化对黑河下游绿洲生态的影响与对策[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 68-72.
- [22] 王根绪, 曲耀光, 程国栋. 黑河流域水资源开发的环境效应分析[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(4): 8-14.
- [23] 张武文, 史生胜. 额济纳绿洲地下水动态与植被退化关系的研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 421-425.
- [24] 肖生春, 肖洪浪. 黑河流域绿洲环境演变因素研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 385-390.
- [25] 王乃昂, 赵强, 胡刚, 等. 近 2ka 河西走廊及毗邻地区沙漠化过程的气候与人文背景[J]. 中国沙漠, 2003, 23(1): 95-100.
- [26] 张宏, 樊自立. 全球变化下的绿洲生态学研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(1): 43-48.
- [27] 程国栋, 沈永平. 干旱区受水资源胁迫的下游绿洲动态变化趋势分析: 以黑河流域额济纳绿洲为例[J]. 应用生态学报, 2002, 20(5): 564-568.
- [28] 李启森, 赵文智, 冯起. 黑河流域水资源动态变化与绿洲发育及发展演变的关系[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 21-28.
- [29] 朱震达. 内蒙古西部古居延 - 黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程[J]. 中国沙漠, 1983, 3(2): 1-8.
- [30] 李并成. 河西走廊汉唐古绿洲沙漠化的调查研究[J]. 地理学报, 1998, 53(2): 106-115.
- [31] 黄海胜, 白福, 张长江. 黑河流域土地沙漠化特征及变化趋势分析[J]. 甘肃科技, 2007, 24(5): 89-91.
- [32] 王录仓, 程国栋, 赵雪雁. 内陆河流域城镇发展的历史过程与机制: 以黑河流域为例[J]. 冰川冻土, 2005, 27(4): 598-607.
- [33] 宋先松. 黑河流域水资源约束下的产业结构调整研究: 以张掖市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(5): 81-84.

(下转第 219 页)

## 参考文献:

- [1] 李敏,赵小敏,龚绍琦.提高土地开发整理项目经济效益的途径[J].农业工程学报,2004,20(3):262-265.
- [2] 邱林,马建琴.区域灌溉水资源优化分配模型及其应用[J].人民黄河,1998,20(9):15-18.
- [3] 马建琴.区域农业水资源优化模糊集分析及其应用研究[D].大连:大连理工大学,2003.
- [4] 陈守煜,马建琴,张振伟.作物种植结构多目标模糊优化模型与方法[J].大连理工大学学报,2003,43(1):12-15.
- [5] 周惠成,彭慧,张弛,等.基于水资源合理利用的多目标农作物种植结构调整与评价[J].农业工程学报,2007,23(9):45-49.
- [6] 高明杰,罗其友.水资源约束地区种植结构优化研究:以华北地区为例[J].自然资源学报,2008,23(2):204-209.
- [7] 高波,徐建新,班培莉.基于模糊优选模型的水资源配置方案评价[J].灌溉排水学报,2008,27(6):58-60.
- [8] 张礼兵,程吉林,金菊良.农业灌溉水质评价的投影寻踪模型[J].农业工程学报,2006,22(4):15-18.
- [9] 赵小勇,付强,邢贞相,等.投影寻踪模型的改进及其在生态农业建设综合评价中的应用[J].农业工程学报,2006,22(5):222-225.
- [10] 杨晓华,杨志峰,酆建强.区域水资源潜力综合评价的遗传投影寻踪方法[J].自然科学进展,2003,13(5):554-557.
- [11] 宫飞.华北地区结构型节水种植业模式及途经[D].北京:中国农业大学,2003.
- [12] 高明杰.区域节水型种植结构优化研究[D].北京:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,2005.
- [13] 石玉林,卢良恕.中国工程院重大咨询项目:中国农业需水与节水高效农业建设[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [14] 封志明,郑海霞,刘宝勤.基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J].农业工程学报,2005,21(3):66-70.
- [15] 刘迪,胡彩虹,吴泽宁.基于定额定量分析的农业用水需求预测研究[J].灌溉排水学报,2008,27(6):88-91.
- [16] 贺延国,付强,邢贞相,等.东北半干旱抗旱灌溉区水资源可持续利用综合评价[J].东北农业大学学报,2005,36(4):498-502.
- (上接第 214 页)
- [34] 龙爱华,徐中民,程国栋.河西走廊城市化与产业结构调整协调研究[J].中国软科学,2002(2):98-101.
- [35] 马国霞,甘国辉,田玉军.水资源约束下的张掖绿洲城镇发展模式初步研究[J].中国沙漠,2006(3):426-431.
- [36] 樊自立,徐曼,马英杰,等.历史时期西北干旱区生态环境演变规律和驱动力[J].干旱区地理,2005,28(6):723-728.
- [37] 刘蔚,王涛,郑航,等.黑河流域不同类型土地沙漠化驱动力分析[J].中国沙漠,2008,28(4):634-641.
- [38] 张凯,韩永翔,张勃,等.基于水资源和气候系统变化影响下的黑河流域生态环境变迁研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):159-163.
- [39] 曹玲,窦永祥,张德玉.气候变化对黑河流域生态环境的影响[J].干旱气象,2003,21(4):45-49.
- [40] 马燕,曹希强,李志萍.黑河下游额济纳地区环境演变及其驱动机制[J].气象与环境科学,2008,31(3):43-47.
- [41] 蓝永超,孙保沐,丁永健,等.黑河流域生态环境变化及其影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2004,18(2):74-77.
- [42] 蓝永超,丁永健,刘进琪,等.全球气候变暖情景下黑河山区流域水资源的变化[J].中国沙漠,2005,25(6):863-868.
- [43] 李林,王振宇,汪青春.黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[J].地理科学,2006,26(1):40-46.
- [44] 王乃昂,颜耀文,薛祥燕.近 2000 年来人类活动对我国西部生态环境变化的影响[J].中国历史地理论丛,2002,17(9):12-19.
- [45] 刘少玉,张光辉,张翠云,等.黑河流域水资源系统演变和人类活动影响[J].吉林大学学报:地球科学版,2008,38(5):806-819.