

# 基于水资源和气候系统影响下的 黑河流域生态环境变迁研究

张 凯<sup>1</sup>, 韩永翔<sup>1</sup>, 张 勃<sup>2</sup>, 郝建秀<sup>2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 分析了黑河流域生态环境恶化的现状和主要特征, 主要表现为沙化加剧, 绿洲萎缩; 河水断流, 湖泊干涸; 地下水位下降, 水质恶化等。在此基础上分析认为: 水分条件是导致生态系统状态变化的主要驱动力, 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。因此, 保护黑河流域本已非常脆弱的生态环境主要从研究水问题入手。除了调整种植业结构, 大力发展节水农业; 加强水资源管理以及普及节水意识等方面外, 更重要的是要创新水问题研究思路, 实行虚拟水战略。

**关键词:** 生态恶化; 水资源系统; 气候系统; 虚拟水战略; 黑河流域

**中图分类号:** X171.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-7601(2006)02-0159-06

## 1 黑河流域生态环境劣变分析

地处祁连山和河西走廊中段的黑河流域, 是我国典型的干旱内陆河流域, 长期以来生态环境呈总体退化的趋势, 特别是近 50 年来其退化速度和程度明显加大。

### 1.1 沙化加剧, 绿洲萎缩

以土壤盐碱化和土地沙化为主要形式的土地资源退化在黑河流域表现得已十分突出, 其中土地沙化是该区面积最大的退化类型之一, 并多年呈增加

趋势。据 1993 年张掖市沙漠化普查对全市各县(区)的调查统计显示<sup>[1]</sup>: 解放前全市沙漠化面积 321 755  $\text{hm}^2$ , 普查时沙漠化面积 334 638  $\text{hm}^2$ , 40 多年中增加了 128 83  $\text{hm}^2$ , 年递增率约为 0.1%。而在 1999~2000 最近 2 年间, 增加了 64 217  $\text{hm}^2$ , 其中临泽、山丹、民乐和肃南 4 县的沙漠化土地面积增加了 71 485  $\text{hm}^2$ , 甘州区和高台县沙漠化土地面积减少了 7 268  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>。沙化加剧的直接后果是使得具有保护人工绿洲的天然绿洲、特别是绿洲荒漠交错过渡带大幅度萎缩, 人工绿洲的生态基础更加脆弱、受到荒漠化的潜在威胁日益增加(图 1)。



图 1 黑河流域中下游绿洲萎缩和土地荒漠化

Fig. 1 The shrink of oasis and desertification of ground in the middle and lower reaches of Heihe River Basin

收稿日期: 2005-10-11

基金项目: 西部开发科技行动重大项目(2004BA901A16); 中国气象局兰州干旱气象研究所科研启动项目

作者简介: 张 凯(1976—), 男, 甘肃甘谷人, 助理研究员, 主要从事旱区水土资源利用与环境演变研究。

### 1.2 河水断流, 湖泊干涸

20世纪50年代以前, 正义峡断面行水期一般在10个月左右, 若遇到丰水年, 常流不断。然而, 自50年代后, 因上、中游截流、扩灌而用水量逐年加大, 正义峡断面径流量大为减少, 断流日数不断增加(图2), 相应地额济纳河也基本变成一条干涸的沙沟。

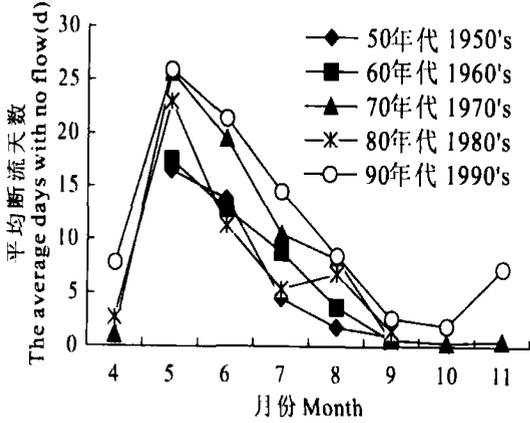


图2 50年代以来正义峡断面断流日数分布

Fig. 2 The days with no flow at Zhengyixia station since 1950s

据测定, 20世纪40年代年均进入额济纳旗的水量为 $10.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 50年代为 $8.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 70年代减少到 $4.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 进入90年代, 入旗水量锐减, 年均均为 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3$  [3]。居延海是额济纳河末端的集水区, 古代曾是一个多湖组成的湖群。上个世纪40年代, 西居延海水深2.9 m, 水域面积为 $190 \text{ km}^2$ , 东居延海水深4.1 m, 湖水面积 $35.5 \text{ km}^2$ ; 60年代由于河水锐减, 西居延海干涸, 东居延海成为水量波动性湖泊; 至80年代初, 湖面缩小到 $23.65$

$\text{km}^2$ , 水深仅1.8 m, 并遭受数次涸底, 1999年则完全干涸。

### 1.3 区域地下水位持续下降, 水质恶化

随着地表水补给的减少, 黑河流域地区地下水位均处于持续下降过程。据观测资料, 在中游地区下降幅度自南部山前向北部细土平原逐步递减, 即越靠近上游地下水位下降幅度越大(图3-a、图3-b、图3-c), 南部山前地带地下水位下降速度大于 $0.5 \text{ m/a}$ , 局部地带大于 $1.0 \text{ m/a}$ (如民乐三堡); 中部砾石平原为 $0.5 \sim 0.3 \text{ m/a}$ ; 北部细土平原为 $0.3 \sim 0.1 \text{ m/a}$  [4~5]。在下游地下水位下降幅度最大的是策克和吉日格朗图地区(图4), 水位下降了1.5 m, 其次是狼心山和赛汗陶来, 水位下降均超过1 m [6]。由于地下水资源不断减少引起的泉水资源的大幅度削减, 致使主要有泉水组成进入下游的地表水量逐年减少, 在强烈的蒸发浓缩作用下, 地表水及浅层地下水均表现出随流程增加而水质盐化的现象。如下游额济纳绿洲潜水TDS普遍上升 $0.8 \sim 0.5 \text{ g/L}$ , 个别地段(如桃来三达)增高至 $2 \text{ g/L}$ 以上而趋于盐化, 居延海附近民井中砷的含量超过 $0.04 \text{ mg/L}$ , 超出国际标准5~10倍 [7]。

## 2 水分条件是导致生态环境恶化的主要驱动力

水是干旱区绿洲形成发展和稳定的基础, 是干旱自然环境中最活跃的因素之一。人类控制和利用水资源的方法和手段都在一定程度上改变了水循环自然变化的空间格局和过程, 加剧了水资源形成与变化的复杂性, 最终影响到整个荒漠绿洲生态系统的演替和平衡, 以及干旱荒漠绿洲景观格局。

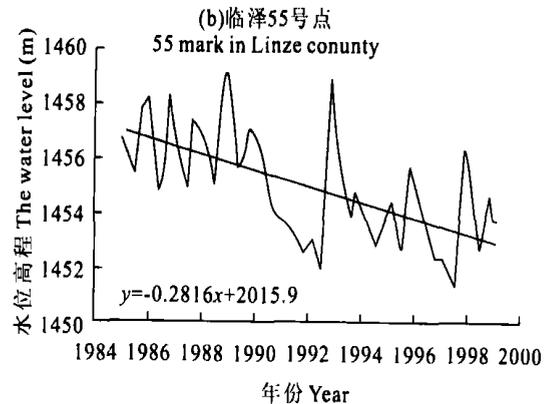
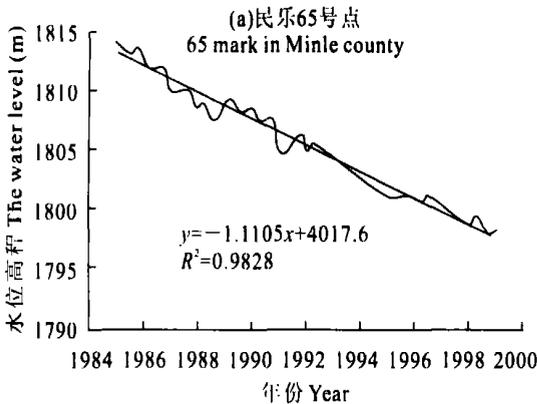


图3-a 民乐65号点地下水动态曲线

Fig. 3-a The dynamic curve of ground water at No. 65 site in Minle County

图3-b 临泽55号点地下水动态曲线

Fig. 3-b The dynamic curve of ground water at No. 55 site in Linze County

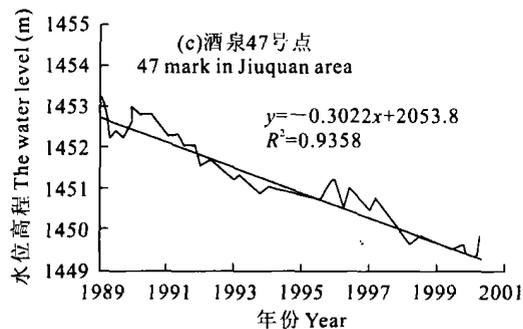


图 3-c 酒泉 47 号点地下水动态曲线

Fig. 3-c The dynamic curve of ground water at No. 47 site

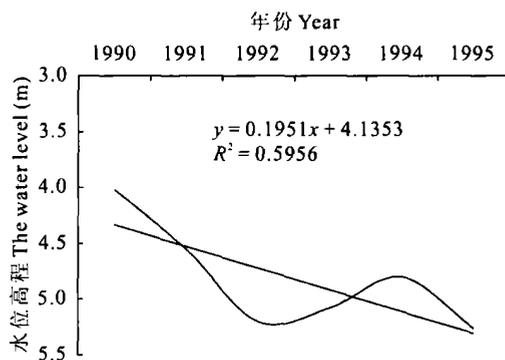


图 4 策克地区地下水埋深变化曲线

Fig. 4 The change of ground water depth in Cekein Jiuquan

作为我国典型的干旱内陆河流域,农业一直是黑河流域的主导产业,“非灌不殖”,“地尽水耕”是黑河流域最显著的特点,水资源的开发利用主要是通过农业灌溉来实现的。由于历史的原因,黑河流域农业生产中存在严重的产业结构缺陷,片面追求规模,生产性低耗水而结构性高耗水,水分消耗大而经济效益低。不仅灌溉面积大,而且高耗水作物种植面积大;

不仅灌溉用水量大,而且用水集中。目前在中游地区有灌溉耕地面积  $233.79 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,在现状用水结构中,农田灌溉用水占到了全社会总用水量的 87.2% (表1)。值得一提的是,在农田灌溉中,水资源使用粗放,相当一部分灌区仍沿用大水漫灌的方式,造成水资源严重浪费,利用效率低,平均单方水 GDP 产出仅为 2.81 元,是全国平均水平的 1/6<sup>[8]</sup>

表 1 2002 年黑河流域中游地区国民经济各部门用水结构

Table 1 Water consumption structure of different national

economy departments in the middle reaches of Heihe River Basin in 2002(  $10^8 \text{ m}^3$  )

部门 Department	农业 Agriculture		工业 Industry	生活 Life		合计 Total
	农田灌溉 Irrigation	林牧业 Forestry and animal husbandry		城镇生活 Urban	农村生活 Rural	
所用地表水 Surface water consumption	18.34	1.78	0.39	0.17	0.24	20.91
所用地下水 Underground water consumption	1.82	—	0.28	0.06	0.05	2.21
合计 Total	20.16	—	0.67	0.23	0.29	23.12
占总用水量 Percentage (%)	87.2	1.78	2.86	0.99	1.25	100

随着近年来人口和耕地面积的快速增长以及社会经济的不断发展,黑河中游地区灌溉用水量持续增加,相对耗水影响指数明显有一个逐步增加的变化趋势(图5),而这种趋势正反映了人类活动影响的增加。目前,中游地区已成为黑河流域的主要用水区和耗水区,区域用水量占全流域用水量的 82.6%,耗水量占 76%<sup>[9]</sup>。这样使得进入下游的水量在上游来水量基本保持不变的情况下,由上个世纪 40 年代的  $10.17 \times 10^8 \text{ m}^3$  减少到 90 年代的  $7.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[10]</sup>。

同时,从季节性分配来看,下游水量完全受中游农事活动的影响,尤其是在 4~9 月和 10~11 月中游进入农业用水高峰时,正义峡及以下河道地表径流处于最低值,而且这种现象近年来越来越严重(图

6),进而引起下游河道断流,河湖干涸,地下水位下降,植被大片死亡,沙漠化面积不断扩张。所以说这种用水现状在造就了黑河中游高效和集约化农业经济格局的同时,对生态环境也造成了巨大的负面影响。

### 3 气候变化加剧了生态环境恶化的进程和严重程度

自 1960 年以来,黑河流域经历了由冷期向暖期转变的过程。1970~1985 年间为冷期,1985 年以后为暖期。与此相适应,从上世纪 60 年代以来,黑河流域气温逐渐上升,其上升幅度也逐渐加大(图 7)。90 年代比 80 年代上升了 0.4~0.6℃,比 60 年代上

升了 0.7~ 1.2℃。在 1998~2002 年期间平均气温升高了 1.4℃<sup>[11]</sup>, 增温幅度之大是几十年来罕见的。同时, 对流域内各年代降水资料进行分析, 发现虽然

黑河流域上、中、下游的降水年际变化不是很一致, 但从 80 年代以来, 降水量增多的总的趋势是一致的 (图 8)<sup>[12]</sup>。

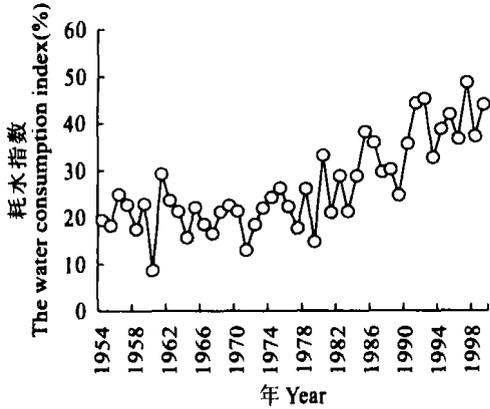


图5 黑河流域中游地区相对耗水指数  
Fig.5 The water consumption index in the middle reaches of Heihe River Basin

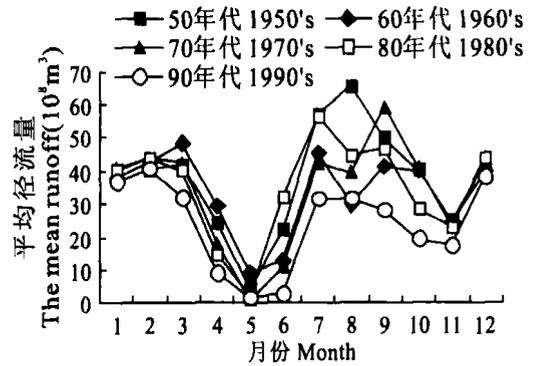


图6 人类活动影响下的正义峡站不同年代年径流量年内分配状况  
Fig.6 The monthly distribution of runoff in Zhengyixia station affected by human activities

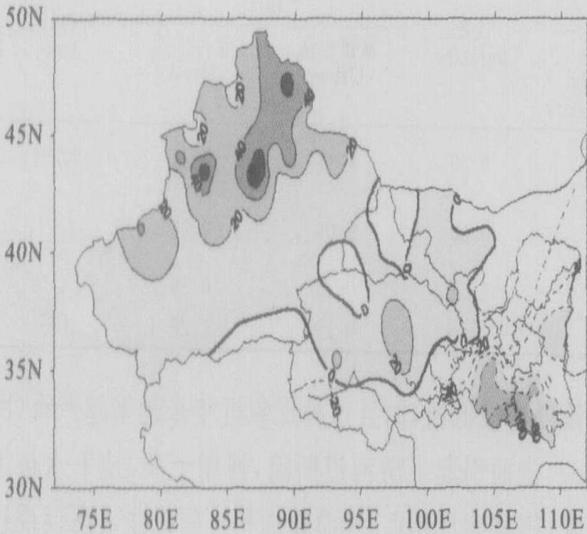


图7 1987~2000 年与 1961~1986 年西北地区平均气温之差  
Fig.7 Difference of average temperature between the years of 1987~2000 and 1961~1986 in Northwest China

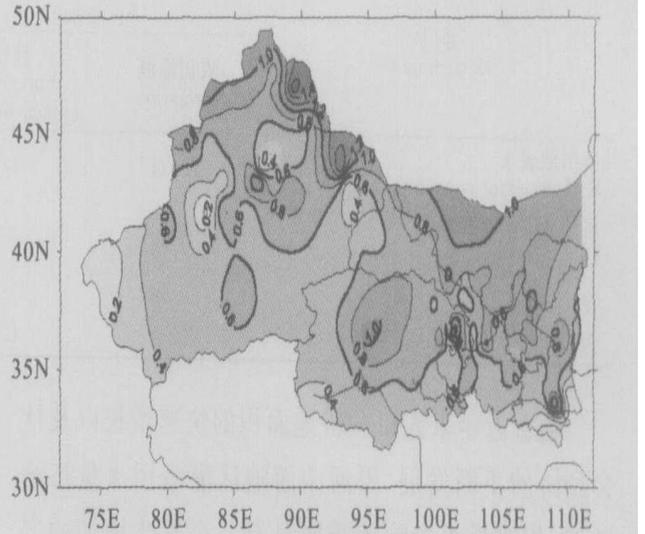


图8 1987~2000 年与 1961~1986 年西北地区年降水量之差  
Fig.8 Difference of annual precipitation between the years of 1987~2000 and 1961~1986 in Northwest China

研究表明, 尽管黑河流域的年平均气温有所上升, 且变暖幅度高于全国平均水平, 但该地区的蒸发潜力, 并没有随气温的升高而增大, 如莺落峡站实测的陆面蒸发量 1993、1994、1995、1996 年(8 月) 分别为 168.8、152.6、61.1、72.0 mm<sup>[13]</sup>。因此, 在黑河流域, 气候不能成为导致生态环境恶化的主要因

子, 而恰恰是由于人类活动导致水资源系统的变化, 才是促使生态环境恶化的真正元凶。但黑河流域属于干旱地区, 而干旱地区是气候敏感区和生态脆弱区, 在人类活动超过自然承载力的背景下, 气候上的微小波动可能引起环境的极大变化。这种变化至少在一段时间内以不显眼的方式改变着环境, 并且有

负面效应与累积效应。因此,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。

#### 4 创新思路,实行虚拟水战略

不少报道认为,水资源锐减,沙漠化加剧等环境恶化是全球变暖的结果。不可否认,上个世纪90年代是近百年来最暖的10年,但是否是黑河流域生态环境恶化的主要原因,还需进一步研究。生态环境是一个有机巨系统,系统间和系统内各层次的相互作用十分错综复杂,具有牵一发而动全身的效应。作为一个干旱内陆河流域,黑河流域水资源与生态环境有着相当密切的耦合关系,流域水系是整个生态环境体系孕育形成与发展的物质能量的传输载体,是生态系统赖以存在与变化的纽带。所有的生态环境问题都是以水资源为核心要素的生态问题。笔者认为,正是由于人类活动影响了水资源在区域间的重新分配,改变绿洲内部的水分循环,破坏了水资源可持续的地域耦合空间结构和流域和谐的生态水文过程,才导致了黑河流域生态环境的严重恶化。因此,保护黑河流域本已非常脆弱的生态环境必须从研究水问题入手。除了调整种植业结构,大力发展节水农业;加强水资源管理以及普及节水意识等方面外,更重要的是要创新水问题研究思路,实行虚拟水战略。

我们知道,生产商品或服务通常都需要水资源,如生产1 kg的粮食、奶酪、牛肉分别需要1~2t、5~5.5t、16t的水资源<sup>[14]</sup>,生产重量2 g的32兆计算机芯片需要消耗32 kg的水资源<sup>[15]</sup>。虚拟水(Virtual Water)概念是由英国人Tony Allan<sup>[16,17]</sup>教授于1993年提出的,是指生产商品和服务过程中消费的所有水资源数量。虚拟水不是真实意义上的水,而是以“虚拟”的形式包含在产品中的“看不见”的水,因此也被称为“嵌入水”和“外生水”<sup>[17]</sup>。虚拟水战略是指缺水国家或地区通过贸易的方式从富水国家或地区购买水密集型农产品(尤其是粮食)来获得水和粮食的安全。传统上,人们对水和粮食安全都习惯于在问题发生的区域范围内寻求解决问题的方案。虚拟水战略则从系统的角度出发,运用系统思考的方法找寻与问题相关的各种各样的影响因素,从问题发生的范围之外找寻解决区域内部问题的应对策略,通过进口本地没有足够水资源生产的粮食等产品来最终解决水资源短缺的问题。可见,虚拟水贸易提供了水资源的一种替代供应方式,能更好地解决干旱缺水地区水资源短缺的问题,以减轻局地水资源紧

缺的压力。黑河流域要实现水资源可持续利用,维护本区的生态安全和水安全,虚拟水战略可以说是一项非常现实的战略选择。

#### 参考文献:

- [1] 金博文,赵军,周天赞.张掖地区沙漠化与可持续发展问题探讨[J].甘肃农业大学学报,2001,36(2):215-220.
- [2] 齐善忠,王涛,罗芳,等.黑河流域环境退化特征分析及防治研究[J].地理科学进展,2004,23(1):30-37.
- [3] 中国环境科学研究院.黑河流域生态可持续发展规划研究(1995~2010)[R].1997,31-35.
- [4] 丁宏伟,张举.干旱区内陆平原地下水持续下降及引起的环境问题[J].水文地质工程地质,2002,(3):71-75.
- [5] 刘少玉,卢耀如,程旭学,等.黑河中、下游盆地地下水系统与水资源开发的资源环境效应[J].地理学与国土研究,2002,18(4):90-96.
- [6] 苏永红,冯起,吕世华,等.额济纳生态环境退化及成因分析[J].高原气象,2004,23(2):264-270.
- [7] 丁宏伟,张荷生.近50年来河西走廊地下水资源变化及对生态环境的影响[J].自然资源学报,2002,17(6):692-697.
- [8] 王浩,王建华,陈明.我国北方干旱地区节水型社会建设的实践探索[J].中国水利,2002,(10):140-143.
- [10] 任建华,李万寿,张捷.黑河干流中游地区耗水量变化的历史分析[J].干旱区研究,2002,19(1):18-22.
- [11] 曹玲,窦永祥,张德玉.气候变化对黑河流域的影响[J].干旱气象,2003,21(4):45-49.
- [12] 张存杰,高学杰,赵红岩.全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J].冰川冻土,2003,25(2):157-164.
- [13] 杨针娘,刘新仁,曾群柱,等.中国寒区水文[M].北京:科学出版社,2000.20-28.
- [14] Hoekstra A Y. Virtual water trade: An introduction[A]. Hoekstra A Y. Virtual Water Trade: Proceeding of International Expert Meeting on Virtual water trade[C]. Value of Water Research Report Series IHE Delft, 2003. 13-23.
- [15] Williams E D, Ayres R U, Heller M. The 1.7 kilogram microchip: Energy and material use in the production of semiconductor devices[J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(24):5504-5510.
- [16] Allan J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible[A]. ODA. Priorities for Water Resources Allocation and Management[C]. ODA, Londa, 1993. 13-26.
- [17] Allan J A. Overall perspectives on countries and regions[A]. Rogers p, Lydon p. Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses[C]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1994. 65-100.

(英文摘要下转第173页)

## A study of wheat resources and its integrated throughputs in China

XING Su-li<sup>1</sup>, LIU Meng-chao<sup>1</sup>, PENG Qing-wei<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>. *Institute of Agricultural Resources and Environment,*

*Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China;*

*2. Survey Office of the National Bureau of Statistics in Hebei, Shijiazhuang 050081, China)*

**Abstract:** Based on the analysis of wheat production resources in China, by using factor loading matrix theory, this paper builds the factor analysis models and ascertains the factors that influence the general output of wheat and their effect weight. It is discovered that the first factor impacting wheat output in all is resources factor, including science and technology development level, agricultural resources, etc.; the second factor is input and output factor, including price and revenue; the third factor is policy factor, including subjunctive policy variables and the price rate of industrial commodities to agricultural commodities; the fourth factor is climate factor, especially the disaster-suffered proportion. Therefore, to improve the integrated throughputs of wheat, it is necessary to follow the principia of "policy the first, science and technology the second and investment the third".

**Key words:** wheat resource; integrated throughput; factor analysis

(上接第163页)

## Research on ecological environment deterioration based on changes of water resources and climate system in Heihe River Basin

ZHANG Kai<sup>1</sup>, HAN Yong-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>2</sup>, HAO Jian-xiu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>. *Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;* <sup>2</sup>. *Department of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)*

**Abstract:** The ecological environment is deteriorating in the arid areas of northwest China. However, the speed and degree of ecological environment deterioration in Heihe River Basin are particularly obvious. The paper analyzes the present status and main characteristics of ecological environment deterioration in Heihe River Basin, that is, the desertification of land is aggravating, the oasis is shrinking, the rivers and lakes are drying up; the underground water table becomes lowered, the water quality becomes worsened, etc. It is suggested that water condition is the major driving factor of causing ecosystem change in Heihe River Basin, and simultaneously, the climate changes aggravate the process and severity of ecological environment deterioration to some extent. Therefore, in order to protect the fragile eco-environment in Heihe River Basin, more attentions should be paid to the research of water problems. The most important aspect is to bring forth new ideas of solving water problems and implement virtual water strategy besides adjusting the planting structure, vigorously developing water-saving agriculture, enhancing the management of water resources, popularizing water-saving awareness and so on.

**Key words:** ecological environment deterioration; water resources system; climate system; virtual water strategy; Heihe River Basin