

# 遥感和 GIS 支持下的黄河源区土地沙漠化研究

封建民<sup>1</sup>, 王涛<sup>2</sup>

(1. 咸阳师范学院 资源环境与城市科学系, 陕西 咸阳 712000;

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 黄河源区是黄河重要的水源涵养地, 其生态功能对黄河的安危有直接的影响。近年来, 在自然因素和人为因素的共同作用下, 区内的生态环境急剧退化, 表现为土地沙漠化、草场退化和水土流失加剧过程。黄河源区土地沙漠化不但影响该区经济的可持续发展, 而且对中下游地区的生态环境和水文条件构成很大威胁。在收集区内现有研究成果的基础上, 通过对 2005 年 TM 影像的解译, 对黄河源区沙漠化现状和特征进行了全面系统的研究。研究结果表明, 2005 年黄河源区沙漠化土地总面积为 13 434.8 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 14.56%。

**关键词:** 黄河源区; 遥感; 沙漠化; 青藏高原东北部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0116-05

中图分类号: S288, P208

## Remote Sensing and GIS Analyses of Sand Desertification in the Source Region of the Yellow River

FENG Jianmin<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>2</sup>

(1. College of Resource, Environment and Urban Sciences, Xi'an Normal University,

Xi'an, Shaanxi 712100, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental

and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** The source region of the Yellow River is located in the northeast of Qinghai-Tibet Plateau, and its eco-environment becomes very fragile for the especial geographic location in recent years. Influenced by natural factors together with human being factor in these years, eco-environment in the region degrades very quickly, and desertification is the major problem. Supported by GIS and RS, as well as field investigation and indoor analyses, an eco-environmental information system in the region is worked out. A classification is performed, multi-source data are gathered, and the present status, classification and spatial distribution of land desertification in the whole region are showed based on the data obtained from field investigations and Landsat TM images (4, 3 and 2 bands) of September 2005. The result indicates that the desertified land in the study area is mainly concentrated in Gonghe Basin and upland plain area. The total area of desertification land is 13434.8 km<sup>2</sup>, 14.65% of the entire land in the aim region. There are many reasons responsible for the desertification process, of which the main reasons are the geological environmental evolution, regional climate change, and human irrational activities.

**Keywords:** source region of the Yellow River; GIS and RS; land desertification; the Northeast Qinghai-Tibet Plateau

沙漠化系指干旱半干旱和部分半湿润地区在干旱多风和疏松沙质地表条件下, 由于人为强度土地利

用等因素, 破坏了脆弱的生态平衡, 使原非沙质荒漠的地区出现了以风沙活动为主要标志的土地退化过

收稿日期: 2006-01-23 修回日期: 2006-11-20

资助项目: 国家重点基础研究发展规划 973 项目“中国北方沙漠化过程及其防治研究”(G2005048705); 学校重点支持项目(05XSJK101)

作者简介: 封建民(1972-), 男(汉族), 陕西省凤翔县人, 博士研究生, 现主要从事沙漠化过程及遥感监测等方面研究。E-mail: Feng\_jianmin@yahoo.com.cn

程<sup>[1-2]</sup>。土地沙漠化过程伴随着土壤有机物的损失、土壤物化性质的改变、植被盖度和生物多样性的降低,进而降低土地潜在生产力和利用价值。土地沙漠化不仅是一个环境问题,而且是一个严重的社会经济问题。由于沙漠化的迅速扩展造成环境恶化和巨大的经济损失,使之成为全球广泛关注的热点<sup>[3-5]</sup>。

黄河源区是黄河重要的产流区,对黄河流域起着重要的水量调节作用,其径流模数高于全流域平均径流模数的 2 倍多<sup>[6]</sup>。近些年来,在自然因素和人为因素的共同作用下,源区土地沙漠化日益严重,这不仅会影响到源区本身,而且对整个黄河流域的生态环境构成威胁。特别是 20 世纪 90 年代以来,黄河下游的频繁断流,引起众多学者和决策部门对黄河上游及源区生态环境退化的注意,也由此引发了对黄河中下游生态环境更加深入的研究。但以往的研究主要集中在黄河源区水资源的利用和土壤侵蚀上,关于源区土地沙漠化的研究相对较少<sup>[7-8]</sup>。研究整个源区沙漠化现状,不仅是沙漠化防治和区域经济可持续发展的需要,而且对整个流域的综合治理有很重要的意义。

## 1 研究区概况

出于不同的研究目的,关于黄河源区的范围界定存在不同的观点。考虑到行政、地貌的完整性以及流域管理和治理的便利性,本文沿用 1983 年国家计委下达的“黄土高原水土保持专项规划”中所界定的范围,以日月山、龙羊峡以上流域作为黄河源区。其地理范围介于  $96^{\circ}-101^{\circ}30'E$  and  $33^{\circ}45'-37^{\circ}05'N$  之间,面积  $9.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,包括共和、贵南、兴海、同德、玛沁、甘德、玛多 7 县的全部和曲麻莱县的一部分,属青海省管辖。地势西高北低,从南向北有三个大的地貌类型:南部高平原地区、中部阿尼玛卿山区及北部的共和盆地。高平原地区的海拔多在 4 300 m 左右,地势西高东低,主要由低山、湖泊和宽阔的山谷组成。年降雨量 400 mm,年均温  $-2.3^{\circ}\text{C}$ ,气候寒冷干旱。一年中 6—10 月份为暖季,10—次年 5 月份为冷季。中部山区海拔 4 500~5 600 m,气候寒冷,降雨稀少。北部的共和盆地地形波状起伏,最低处(龙羊峡周边)海拔 2 650~2 800 m。年均温为  $2.0^{\circ}\text{C}$ ~ $3.3^{\circ}\text{C}$ ,年均降雨 295 mm,潜在蒸发量 1 558.2~1 841.2 mm。共和盆地土壤风蚀严重,特别是近些年来由于不合理的土地利用,土壤风蚀仍在加速,在遥感影像上沿主风向(西北—东南)显示出明显的条带状风蚀痕迹。

研究区人口 40 余万,以藏族为主,在城镇及共和

盆地也有大量的汉族、回族等。由于本地区复杂的地形、地貌、气候、海拔高度等特征,生物物种和植被类型非常丰富,既有温带山地森林、温带草原、温带荒漠,也有高寒气候条件下形成的高寒灌丛、高寒草甸、高寒荒漠及湿地等。其中以耐低温、旱生多年草本和小灌木组成的草原分布最为广泛。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源及预处理

众多的研究表明<sup>[10]</sup>,根据瞬时状态下最大限度地使图像上尽可能丰富地反映地表信息的原则,沙漠化土地监测的最佳遥感数据季相应为秋季,而与 NOAA, MSS, SPOT 相比, TM 影像具有更好的几何保真度,更高的辐射准确度和较高的空间分辨率,以及较长时间的历史记录和较大范围的空间覆盖,并且可同时感测 7 个不同波段的特点,因而本次研究的数据源为 2005 年 9 月 LandSat TM 遥感影像。采用标准的假彩色合成(TM 4, 3, 2 波段分别赋予红、绿、蓝 3 种颜色),这种波段组合对植被生长状况反映最好。TM 4 反映不同沙漠化程度的土地上的植被特点, TM 3 波段反映沙质土壤的较高亮度和盐渍化土地的白化现象, TM 2 对植被的反射敏感<sup>[11]</sup>。行政界线来自于 1999 年公布的国家基础地理数据(中国科学院电子学研究所网站)。对于遥感影像和行政界线分别在 ERDAS 8.4 和 ArcGIS 8.3 软件中转换为等面积圆锥投影。为了更为便利地按行政区域来解译,在 ERDAS 8.4 软件中进行切割和拼接处理。

### 2.2 沙漠化等级划分及解译标志

参考已有的划分标准<sup>[12-13]</sup>,结合源区的实际情况,以风成地表形态为主,结合植被、土壤、景观、地貌等环境要素为指标,将研究区内沙漠化土地分为 4 个等级 8 个类别,即轻度沙漠化草地、轻度沙漠化耕地、中度沙漠化草地、中度沙漠化耕地、重度沙漠化草地、重度沙漠化耕地、严重沙漠化草地和严重沙漠化耕地。

(1) 轻度沙漠化。地表形态基本保持原生草地的初始状态,只有很轻微的风蚀或均匀分布的微薄粉尘和微至极细沙层,相当于固定沙地和沙黄土丘陵以及轻度沙化的草场和耕地。沙丘迎风坡出现风蚀坑;灌丛生长茂盛,灌丛下出现不明显的流沙堆积,形成各种形态的沙嘴;流沙呈斑点状分布,流沙面积 5%~20%;多数地方的植被以原生植物为主要建群种,植被盖度 60%~70%,土壤有机物含量  $> 0.25\%$ ,土

地生产力(鲜草) > 300 000 kg/(km<sup>2</sup>·a)。TM 影像上呈块状不规则形, 浅红色或浅红色基调上有红色斑点; 轻度沙漠化耕地有明显规则的边界线, 由于作物不同, 色调为暗红色或蓝绿色, 其上有黄白色斑点。

(2) 中度沙漠化。原始景观已轻度破坏, 植被退化严重。局部地区风蚀起沙, 但强度不是很大, 地面以面状风蚀为主, 深度几到十几厘米。在风蚀地的下风方向出现大小不等的条块状积沙带, 其厚度一般小于平均草层高度; 沙丘显现明显的风蚀坡和落沙坡分异; 灌丛沙堆迎风侧显现流沙; 灌丛有叶期仍不能覆盖整个沙堆; 沙堆间平地有浮沙或开始出现砾质化, 流沙面积 25%~50%。大部分地区原生植被的主要建群种退居次要地位, 以沙生植物沙蒿、固沙草、川青锦鸡儿、白刺等群丛为主。植被盖度 35%~60%, 土地生产力 150 000~290 000 kg/(km<sup>2</sup>·a)。TM 影像上呈不规则块状, 灰黄色, 地面不平, 有沙丘分布, 中度沙漠化耕地有明显规则的边界线, 红或灰绿色, 地面有粗糙感。

(3) 重度沙漠化。原始地表形态严重破坏, 相当于半流动沙丘和平沙地, 大部分地区已存在明显的风力侵蚀地形, 地表风蚀强烈, 出现数量较多深度大于 0.3~1 m 的风蚀坑、槽、残墩以及较密集的蚀余堆积。风蚀地下风向普遍积沙, 厚度超出平均草丛高度, 沙地成为半流动状态, 灌丛开始大片死亡, 流沙面积超过 50%。风沙流活动频繁, 在强风期间沙丘脊部往往可以前移。整个原生植被不存在或很少, 以赖草、沙竹、沙米、虫实、沙蒿等为主的沙生草灌丛占绝对优势, 植被盖度 10%~35%, 土壤有机质含量极低, 土地生产力 100 000~140 000 kg/(km<sup>2</sup>·a)。TM 影像上呈不规则斑状, 柠黄—黄白色, 沙丘形态明显, 有红色灌丛分布的斑点, 耕地边界隐约可见, 基本弃耕, 因而耕作痕迹不明显, 黄白色底子上有红色斑点, 沙丘明显。

(4) 严重沙漠化。原始地表形态已完全破坏。相当于流动沙丘地。风蚀、风沙流和沙丘前移过程强烈进行, 地表风蚀地大片出现, 风蚀沟槽和残墩已不明显, 地表往往出现蚀余堆积。原始耕地已成为平沙地或砾石地。没有或只有少量沙生植物沙蓬、棉蓬、沙蒿等。植被盖度小于 10%, 土壤有机质含量极低, 土地生产力小于 50 000 kg/(km<sup>2</sup>·a)。TM 影像上呈黄白—灰白色, 沙丘、沙垅等地貌形态明显。耕地边界已极其模糊, 黄白—灰白色, 沙丘形态清晰可见。

根据上面的分类指标和影像特征, 在 Arc

View3.2 软件中以县为单位在 1:5~7 万的比例尺下进行目视解译, 解译的最小斑块为 50 个像元。为了提高解译速度, 斑块边界用线性层, 属性用点性层。

### 2.3 数据处理及图件生成

对以上解译数据在 ArcInfo 软件中进行处理, 包括拓扑关系的建立, 属性数据的叠加和各个县数据的拼接合并, 利用 GIS 的统计与分析功能计算对各类沙漠化土地的面积。最后运用 ArcView 软件做出了黄河源区 1:200 000 沙漠化图。

## 3 黄河源区土地沙漠化现状

通过研究, 2005 年黄河源区沙漠化土地总面积为 4 170.8 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 8.43%, 以草场沙漠化为主, 耕地沙漠化面积极少。沙漠化程度以轻度为主, 中度次之, 重度和严重沙漠化最少。其中轻度沙漠化土地 2 215.3 km<sup>2</sup>, 中度沙漠化土地 1 129 km<sup>2</sup>, 重度沙漠化土地 574.5 km<sup>2</sup>, 严重沙漠化土地 262 km<sup>2</sup>, 分别占沙漠化土地总面积的 53.11%, 27.07%, 13.57% 和 6.25%。

沙漠化最为严重的是玛多县和曲麻莱县, 沙漠化面积分别达到 2 389 km<sup>2</sup> 和 1 098.2 km<sup>2</sup> (表 1), 土地沙漠化率(即沙漠化土地面积占全县土地面积之百分比)分别为 9.17% 和 13.95% (图 1)。玛沁县虽然沙漠化面积只有 687.6 km<sup>2</sup>, 但却占到该县监测面积的 15.39%。同时玛沁县、曲麻莱县和玛多县也是近年来黄河源区沙漠化发展最为强烈的地区, 近年来沙漠化迅速扩展, 沙漠化土地已由点状扩展到大范围的面状分布。其它如同德县沙漠化面积很少, 不到全县面积的 1%。鉴于沙漠化的这些特征, 在黄河源区今后的沙漠化防治过程中, 沙漠化快速发展的玛多县和曲麻莱县应为综合治理的重点区, 同时应采取必要的措施, 以使条件较好的地区沙漠化能得到逆转, 其它如同德县沙漠化不严重的地区则应以保护为主。

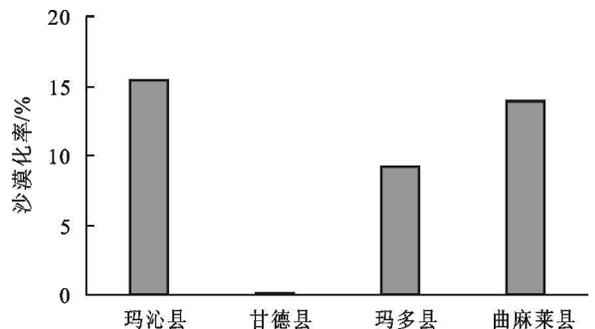


图 1 2005 年黄河源区典型的土地沙漠化率

表 1 黄河源区沙漠化统计结果

地 区	沙漠化总面积/km <sup>2</sup>	沙漠化比例/ %	轻度沙漠化面积/ km <sup>2</sup>	中度沙漠化 面积/km <sup>2</sup>	重度沙漠化 面积/km <sup>2</sup>	严重沙漠化 面积/km <sup>2</sup>
玛沁县(部分)	687.6	15.39	289.1	153.5	152.0	93
甘德县(部分)	6.0	0.15	—	4.5	1.5	—
玛多县	2 389.0	9.17	828.0	971.0	421.0	169
曲麻莱县(部分)	1 098.2	13.95	1 098.2	—	—	—
总计	4 170.8	8.43	2 215.3	1 129	574.5	262

## 4 黄河源区土地沙漠化的特征

### 4.1 各种沙漠化土地交错镶嵌分布于区内

黄河源区沙漠化土地主要集中呈条带状分布在黄河沿岸地区,这与这些地区具有丰富的疏松沙质沉积物的地质构造因素有密切关系<sup>[14]</sup>。

由于特殊的地形、地貌、气候以及较大的高差等原因,黄河源区土地沙漠化过程的发生、发展在空间上是很复杂的。轻度沙漠化土地、中度沙漠化土地、重度沙漠化土地和严重沙漠化土地,以及风蚀区、流沙区、黄土堆积区和河湖滩地区等呈条带状、斑块状交错分布,甚至彼此叠覆,很难严格划分出明确界线。尽管如此,由于沙漠化过程是由风力作用于沙质地表的风沙活动引起的,无论是在影像上还是野外仍可看出现代沙漠化过程的区域差异。在高平原地区现代沙漠化过程是以湖泊干涸后大量水下细粒沉积物近距离搬运堆积、沙丘活化和鼠害造成的“黑土滩型”退化草场为主,这与源区以下共和盆地的沙漠化是不同的。在源区以下的共和盆地,沙漠化主要是以盆地西北部的风蚀和东南部的风积为主要特征,具体来说,大致上在塘格木、沙珠玉和英德尔乡以上的盆地西北部以风蚀为主,地表多戈壁劣地,流沙堆积极少,特别是在切吉至扎布达之间的沙珠玉河谷两岸地带,发育着大量风蚀雅丹地形,是目前盆地风蚀起沙最为强烈的地区,在遥感影像上沿主风向(西北—东南)显示出明显的条带状风蚀痕迹;自此以下的塔拉滩和木格滩虽然也存在大量的风蚀沟槽,但现代流沙主要分布于这一地区,所以是现代流沙的堆积区,在遥感影像上沙丘形态清晰可辨,分布广泛。

### 4.2 沙漠化的发生是自然因素和人为因素共同作用的结果

对于源区来说自然因素中气候变化是土地沙漠化最重要的因素之一。气候变化的两个主要方面一是气温升高,二是降雨。根据黄河源区 7 个气象站近 40 a 的气象资料,源区年平均降水量在 305 mm 左右,虽然年际变化很大,最大可达 300 mm 多(204~485.6 mm 之间),但近年来并没有减少的趋势,甚至

有些县还有增加的趋势。相比而言,同期区内气温升高则是很明显的。自 20 世纪 50 年代中期以来,黄河源区年平均气温每年大约升高了 0.05 °C,而同期青藏高原大约每年均温升高 0.02 °C~0.04 °C<sup>[15-16]</sup>。区内气候变化的后果是冻土环境和水环境的变化。黄河源区属多年冻土区,多年冻土层对于高寒草甸植被的生长有重要的作用。一方面冻土层能有效防止地表水分和土壤水分的下渗,从而增加植物根区的水分含量。另一方面冻土层有集聚上层养分的功能,更低的土壤温度有利于有机物的积累。众多的研究已经表明,在过去的 30 a 以来,随着气候变暖上层冻土的温度平均升高了 0.2 °C~0.3 °C,这导致了多年冻土的大面积解冻,甚至局部地区多年冻土的消失,由此而引发了植物根区水份减少,沼泽、湖泊干涸,土壤结构和组成变化,最终导致高寒草地和湿地植被退化甚至沙漠化<sup>[17]</sup>。从人为因素来看,夏季牧场和冬季牧场比例失衡以及广泛存在的超载过牧现象是沙漠化最主要的原因。高平原地区冬季牧场的理论承载力与实际承载力的比值大约为 0.25~0.76。例如,玛多县、玛沁县和曲麻莱县冬季牧场的理论承载量分别为 66.7, 46.16 和 70.12 万羊单位,夏季牧场理论承载量分别为 304.89, 49.97 和 98.46 万羊单位,而这 3 个县的实际牲畜分别为 87.5, 183.04 和 142.58 万羊单位。可以看出黄河源区各县草场不同程度存在超载过牧现象,特别是冬季牧场超载尤为严重。这是造成源区土地沙漠化的最根本原因。

## 5 结论

(1) 黄河源区是近年来沙漠化发展较快的地区之一,2005 年源区沙漠化土地已达 4 170.8 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 8.43%,以草场沙漠化为主。

(2) 在空间分布上,土地沙漠化主要发生在玛沁县、玛多县和曲麻莱县。同时玛沁县(部分)、玛多县和曲麻莱县(部分)也是区内近年来沙漠化扩展最为强烈的地区,其沙漠化面积分别占到该县监测面积的 15.39%, 9.17% 和 13.95%。其它如同德县沙漠化面积则极少,不到监测面积的 1%。

(3) 黄河源区土地沙漠化是自然因素和人为因素共同作用的结果。导致区内沙漠化扩展的最主要原因是气温升高和超载过牧。

(4) 鉴于源区沙漠化的现状及近年来的扩展趋势,在黄河源区今后的沙漠化防治过程中,沙漠化快速发展的玛沁县、玛多县和曲麻莱县应为综合治理的重点区,其它如同德县沙漠化不严重的地区则应以保护为主。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 朱震达,陈广庭.中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.16—19.
- [ 2 ] 王涛,赵哈林,肖洪浪.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1999,19(4):299—311.
- [ 3 ] Abubakar S M. Monitoring land degradation in the semiarid tropics using an inferential approach: The Kabomo Basin case study, Nigeria[J]. Land Degradation and Development, 1997, 8: 311—323.
- [ 4 ] Al Dousari A M, Misak R, Shahid S. Soil compaction and sealing in Al Salmi area, Western Kuwait[J]. Land Degradation and Development, 2005(11): 401—418.
- [ 5 ] Warren A. Land degradation is contextual[J]. Land Degradation and Development, 2002(13): 449—459.
- [ 6 ] 谢昌卫,丁永建,刘时银,等.长江—黄河源区径流时空变化特征对比[J].冰川冻土,2003,25(4):414—422.
- [ 7 ] 沙占江,曾永年,马海洲,等.遥感和GIS支持下的龙羊峡库区土地沙漠化动态研究[J].中国沙漠,2000,20(1):51—54.
- [ 8 ] 李凤霞,唐红玉,苏文将,等.青海省龙羊峡库区沙漠化遥感监测[J].中国沙漠,2003,23(6):686—690.
- [ 9 ] 丁永建,杨建平,刘时银,等.长江黄河源区生态环境范围的探讨[J].地理学报,2003,58(4):519—526.
- [ 10 ] 张玉贵.三北防护林及荒漠化遥感监测[M].北京:中国林业出版社,1999.
- [ 11 ] 吴薇.土地沙漠化监测中TM影像的利用[J].遥感技术与应用,2001,16(2):86—90.
- [ 12 ] 沙占江,曾永年,李玲琴,等.土地沙漠化动态监测的遥感和GIS一体化探讨:以龙羊峡库区为例[J].干旱区地理,2005,23(2):274—278.
- [ 13 ] 赵元杰,王让会.塔里木河中游土地沙漠化与环境因子关系研究[J].干旱区地理,1999,22(3):57—63.
- [ 14 ] 魏振铎.黄河源区沙漠化现状与防治意见[J].青海环境,1998,8(2):64—67.
- [ 15 ] 朱文琴,陈隆勋,周自江.现代青藏高原气候变化的几个特征[J].中国科学(D辑),2001,31(B12):327—334.
- [ 16 ] 姚莉,吴庆梅.青藏高原气候变化特征[J].气象科技,2002,30(3):163—165.
- [ 17 ] Wang Genxu, Qian J V, Cheng Guodong, et al. Eco-environmental degradation and causal analysis in the source region of the Yellow River[J]. Environmental Geology, 2001(40):884—890.
- (上接第62页)
- [ 6 ] 李晓文,方精云,朴世龙.近10年来长江下游地区土地利用变化及其生态环境效应[J].地理学报,2003,58(5):659—667.
- [ 7 ] 陈利顶,傅伯杰.黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析:以山东省东营市为例[J].生态学报,1996,16(4):337—344.
- [ 8 ] 陈建军,张树文,郑冬梅.景观格局定量分析中的不确定性[J].干旱区研究,2005,22(1):63—67.
- [ 9 ] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶.关于景观格局演变研究的几个问题[J].地理科学,2003,23(3):264—270.
- [ 10 ] 穆兴民,李靖,王飞,等.基于水土保持的流域降水—径流统计模型及其应用[J].水利学报,2004(5):122—128.
- [ 11 ] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1981:1—67.
- [ 12 ] 夏军.灰色系统理论在水科学领域的应用与展望[M].成都:成都科技大学出版社,1995:1—56.
- [ 13 ] 李景保,王克林,秦建新,等.洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因素[J].地理学报,2005,60(3):503—510.
- [ 14 ] 陈意平,曲谦龙.灰色系统理论在水利工程中的应用[M].太原:山西科技出版社,1993:1—27.
- [ 15 ] 彭赤彬.湖南省年降水及径流水文系列代表性研究[J].湖南水利水电,2002(4):24—25.
- [ 16 ] 金升高,江世荣.洞庭湖湖口水文特征浅析[J].水利水电快报,2001,22(18):24—26.
- [ 17 ] 宁迈进,周北达.20世纪90年代湖南省洪灾原因分析及减灾对策[J].水文,2002,22(2):47—50.
- [ 18 ] 粟泽毅,陈阿林.独立分量分析方法及其在地理与环境科学中的应用[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2005,22(4):16—20.
- [ 19 ] Balestra P, Melrose M. Pooling cross-section and time series data in the estimation of a dynamic economic model: the demand for natural gas[J]. Econometric, 1966, 34: 585—612.
- [ 20 ] 汪涛,饶海斌,王丽娟. Panel Data 分析和应用发展综述[OL]. <http://www.applstats.org/advanced/papers/Panel%20Data.doc>. 20070206.
- [ 21 ] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学(D辑),2002,32(2):1031—1040.
- [ 22 ] 吴玉鸣,徐建华.中国区域经济增长集聚的空间统计分析[J].地理科学,2004,24(6):654—659.