

## 内蒙古典型草原区地表径流的分布格局与动态<sup>\*</sup>

王永利<sup>1,3</sup>, 云文丽<sup>2</sup>, 苗百岭<sup>2</sup>, 梁存柱<sup>4</sup>, 王 炜<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 内蒙古气象局 气象科研所, 呼和浩特 010051;  
3. 首都师范大学 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100037; 4. 内蒙古大学 生态与环境科学系, 呼和浩特 010021)

**摘 要:**通过定点径流测定区域植被和生境调查, 结合遥感与地理信息系统技术和水文分析方法, 将小尺度测定的生态水文参数与区域生态环境变化研究相整合, 确定了从 20 世纪 70 年代末到 21 世纪初内蒙古典型草原区地表径流的分布格局与动态。通过该方法的应用, 初步得出以下结论: (1) 20 世纪 70、80 年代末的大部分区域的地表径流深在 0~1 mm 之间, 21 世纪初的地表径流深在 1~2 mm 之间, 3 个时期出现径流最大的区域都在阿巴嘎旗的西南部, 最小的区域在中蒙边界附近和灰腾梁。(2) 30 年来平均径流总量在不断增加, 70 年代末平均总径流量是  $4.22 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 80 年代末的平均总径流量是  $4.87 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 到 21 世纪初平均径流总量猛增到  $7.46 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

**关键词:**典型草原; 地表径流; 格局; 动态

中图分类号: S157; S812

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0114-04

## The Pattern and Dynamics of Surface Runoff in the Typical Steppe of Inner Mongolia

WANG Yong-li<sup>1,3</sup>, YUN Wen-li<sup>2</sup>, MIAO Bai-ling<sup>2</sup>, LIANG Cun-zhu<sup>4</sup>, WANG Wei<sup>4</sup>

(1. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science, Changchun 130012, China*; 2. *Institute of Meteorological Science of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China*; 3. *Capital Normal University 3D Information Access and Application of Laboratories, Beijing 100037, China*; 4. *Inner Mongolia University Ecology and Environmental Sciences Department, Hohhot 010021, China*)

**Abstract:** By runoff determination, the regional vegetation and habitat survey, we integrate ecohydrological parameters measured in a small scale and ecological changes in environment. We used the RS and GIS technology and hydrological analysis methods in the research. We reveal the distribute pattern and change of the surface runoff in typical steppe of Inner Mongolia from the late 1970s to the beginning of 21th century. Resorting to this method, preliminary conclusions are as follows: (1) The surface runoff is between 0~1 mm in late 1970s and late 1980s and is between 1~2 mm in the beginning of 21th century in most of the study area. The largest area of surface runoff all appear in the southwest of Abaga Banner in three periods, and the minimum area appear in the near the border and Huitengliang. (2) The total volume of the average runoff of study area increases continually in the growing season in nearly 30 years. The total volume of the average runoff is  $4.22 \times 10^7 \text{ m}^3$  and  $4.87 \times 10^7 \text{ m}^3$  in late 1970s and late 1980s respectively and increases significantly to  $7.46 \times 10^7 \text{ m}^3$  in the beginning of 21th century.

**Key words:** typical steppe; surface runoff; pattern; dynamics

内蒙古草原是我国北方草原的主体, 然而, 近几十年由于过度利用, 这片昔日“天苍苍, 野茫茫”的草原正面临着严重的退化问题。植被的退化深刻改变了该地区的生态水文过程, 大大增加了地表径流, 使本来水资源紧缺的草原白白丧失宝贵的天然降水, 加速了环境进一步恶化。水分因素作为温带干旱半干旱地区生物生产的限制因素, 势必成为人与自然生态系统和协共处的最为活跃和最具决定性的纽带。

在草原植被持续退化的背景下, 草原区水文过程的响应机制就成为亟待研究的命题。目前, 对水文过程的研究大多集中在黄土丘陵区 and 南方山地以及河流流域水文的变化<sup>[1-2]</sup>, 其中报道更多的是草地和森林对水文过程的影响<sup>[3-9]</sup>, 对我国北方草原的区域生态水文研究目前文献较少。但是, 植被对径流的影响极其复杂, 不同自然地理环境植被对地表径流产生的影响不尽相同, 从而造成了水分的时空格局与过程的差

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-10-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30330120)

作者简介: 王永利(1977-), 男, 汉族, 内蒙人, 博士研究生, 主要从事植被生态、遥感及地理信息系统研究。E-mail: wangyongli526@gmail.com

异。同时,由于试验条件与野外自然状况的差异较大,试验结果也相差较大<sup>[10]</sup>。必须根据具体地区,揭示植被对流域径流影响及其产生的生态后果。本研究立足于内蒙古典型草原区植被退化引起的水文过程中地表径流的分布格局与动态研究,旨在增加对草原生境和水文过程分配的充分理解并更好地评价和利用它们,预测水文过程变化可能带来的后果,为良性水文的维持和恢复提供理论依据。

1 研究区概况

研究区为我国北方典型草原,位于内蒙古自治区锡林郭勒盟中部,行政区划属锡林浩特市和阿巴嘎旗。地理坐标为东经 113°30′–117°00′,北纬 43°20′–45°25′ 的范围,面积为 42 276 km<sup>2</sup>。该区属典型的温带大陆性季风气候,多年平均气温 0~1℃;降雨量在 300~450 mm 之间,降水大多集中在夏秋季节的 7–9 月,年蒸发量整个区域在 1 600~2 200 mm 之间。地貌以缓丘陵和漫岗为主,但发育着大面积的第三纪末到第四纪初期的由玄武岩组成的熔岩台地<sup>[11]</sup>。在该地形条件下,整个区域被分割为大小不一的汇水浅盆地,虽然高差不大,但各个盆地却形成一个相对独立的地貌单元。组成了一个特殊的复合丘陵–盆地地貌系统,是该地区地表生态水文格局与过程的地貌基础。地带性土壤为栗钙土,研究区南部的浑善达克沙地,以风沙土为主<sup>[12]</sup>。地带性植被的主要群落类型是羊草(*Leymus chinensis* Tzvel.)草原、大针茅(*Stipa grandis* P. Smirn)草原。

2 研究方法

通过定点径流测定,区域植被和生境调查,结合遥感与地理信息系统技术和水文分析方法,将小尺度测定的生态水文参数与区域生态环境变化研究相整合,确定区域地表径流的分布格局与动态。具体研究方法如下:

利用 1977 年 MSS,1987 年、1988 年 TM,2004 年 TM 陆地资源卫星遥感影像数据及国家 1:25 万数字地形图为信息源,借助遥感软件 PCI,将对植被敏感的 4、3、2、5 波段进行假彩色合成及几何精校正,生成不同年份的遥感地图。在遥感地图的基础上,应用 ERDAS 结合 2004 年、2005 年生长季的野外调查,借助 GPS 对研究区的植被类型进行解译。生成研究区的植被类型矢量图层,在 ARC GIS 软件的支持下,进行拓扑,完成 2004 年草原区的植被图及其相应的数据库。对于 20 世纪 70–80 年代的植被类型图,主要依据遥感影像结合以前的样方数据和研究资料进行制图。依据草原植被的退化演替模式及生物量变化为标准,确定不同时期植被图中不同植被类型所处的未退化、轻度、中度、重度 4 个退化等级。

同时,在内蒙古锡林郭勒盟中国科学院草原生态定位研究站的退化恢复演替研究围栏样地及其相邻区域进行了水文试验的具体观测研究。将 1983 年围封的退化样地在经过 22 a 的恢复以后代表未退化群落类型,该类型植被组成以羊草+大针茅为主;将 1996 年围封的样地代表轻度退化类型,该类型植被组成以羊草+大针茅+克氏针茅(*Stipa krylovii*

Roshev.) 为主;选择以米氏冰草(*Agropyron michnoi* Roshev.)+羊草+克氏针茅为主的群落代表中度退化类型;围栏外为严重退化了的群落类型,主要以冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* Keng)为主要优势种,代表重度退化类型。为了在以上退化梯度上测得地表径流,在四个退化等级上分别设立一个径流场。它们都为 10 m×10 m 的正方形,用经纬仪沿着对角线测定坡度,边缘用 PVC 板封闭,在最低处设置了接水装置。同时,在退外的径流场边放置了一个雨量筒,测得每次降雨量。最后用径流量除以降雨量得到 4 个退化等级上的径流系数(表 1)。

表 1 径流场参数表

代表退化等级	坡度/(°)	生长季总径流系数
未退化	3.88	0.00046
轻度退化	6.50	0.00349
中度退化	3.58	0.00465
重度退化	1.85	0.01969

在试验场坡度范围内,通过每次所接的径流量和坡度做相关分析发现,二者的相关性不是很高,径流量的大小可能受植被、土壤粗糙度、土壤含水量、枯落物等因素的影响。因此,在坡度较小的情况下坡度不是影响径流的主要因子。同时由研究区 DEM 生成的坡度分布图,经过统计分析后得到坡度在 0~5° 的土地面积占到了整个研究区的 97.2%,而 10° 以上的土地面积只占了 0.3%。可见研究区内绝大部分区域的坡度范围都在试验坡度范围之内,所以我们可以将试验区在每个退化等级上得出的总径流系数整合到整个研究区域。

大区域的降水数据采用的是 1971–2000 年内蒙古自治区锡林郭勒盟境内的 16 个气象站逐月平均降水数据,由于生长季(5–10 月)的降雨量占全年降雨量的 80%,而且定点观测的也是生长季的地表径流,所以选取该时段的平均降雨量数据。以 10 a 为一个阶段求得每个台站的生长季平均降雨量,据此在 ARC MAP 下进行 Spline 空间插值,得到 1971–2000 年 3 个时期的研究区生长季平均降雨量空间分布图。

最后,依据该研究区域 1:25 万数字地形图生成的 DEM,在 ARC GIS 软件的支持下生成研究区的水文分区,结合水文试验在典型草原区测得的不同退化等级的径流系数,将径流系数推广到整个研究区域,最后与研究区 1979–2000 年间 3 个时段的平均降雨量相乘,得到空间上不同水文分区的地表径流量。最终做出了研究区地表径流分布图,获得了生长季地表径流的空间分布,并且在 ARC MAP 下进行空间分布格局变化分析,得到 3 个时期之间的地表径流量变化图。

3 结果与分析

3.1 径流分布格局

将径流场中测得的不同退化等级的生长季总径流系数和 3 期的植被图以及对应的平均降雨量图叠加分析,得到研究区 3 个不同时段的地表径流空间分布图(图 1–3)。在径流量的计算当中,由于沙地通常情况下不产生明显可见的径流,

所以径流量为 0; 湿地是亚流域径流的集水区, 所以湿地相对于大尺度的径流而言, 是径流的汇集区, 没有径流的分布, 径流量也为 0; 径流量的最大值出现在城市和乡镇, 地面基本以不透水层组成, 所以径流量就是该时段的降雨量, 径流量的分布格局图和变化图中出现的特殊值, 就是受该因素的影响, 以下对不同时段径流分析中不具体的分析。

从 20 世纪 70 年代末径流量分布图中可以计算出该时段的总径流量是  $4.22 \times 10^7 \text{ m}^3$  (图 4), 由于植被退化等级和对应该点的降雨量不同, 径流量不是在空间上平均分配的。阿巴

嘎旗的中部和北部以及锡林浩特的灰腾梁径流量最小, 在  $0 \sim 1 \text{ mm}$  之间; 在阿巴嘎旗的西部和锡林浩特市的周围径流量在  $1 \sim 2 \text{ mm}$ ; 整个区域草原植被的径流最大值是在阿巴嘎旗政府所在地的西南端, 径流量在  $3 \sim 4 \text{ mm}$  (图 1)。

20 世纪 80 年代末的平均总径流量是  $4.87 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 径流的空间分布特点是: 区域的大部分径流量在  $0 \sim 1 \text{ mm}$  的范围之内, 只有在研究区的中部径流量主要在  $1 \sim 2 \text{ mm}$  之间, 径流较大的区域在阿巴嘎旗的西南端, 径流量  $3 \sim 4 \text{ mm}$ , 个别的地方几乎是  $5 \text{ mm}$  (图 2)。

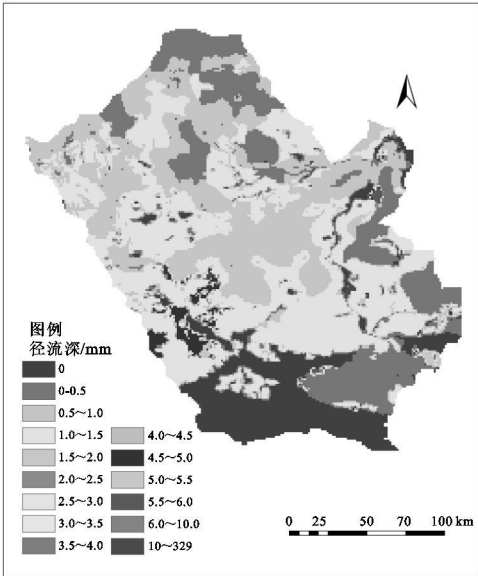


图 1 研究区 70 年代径流量空间分布图

21 世纪初的平均径流总量较大, 达到  $7.46 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。从图中可以看到, 大部分地区的径流量在  $1 \sim 2 \text{ mm}$ ,  $0 \sim 1 \text{ mm}$  只有在阿巴嘎旗的北部边界和锡林浩特的东部, 该时期径流较大的区域面积也有所增加主要分布在阿巴嘎旗的西部, 径流量在  $4 \sim 5 \text{ mm}$  之间, 以及锡林浩特的北部, 径流量竟达到  $5 \sim 6 \text{ mm}$  (图 3)。

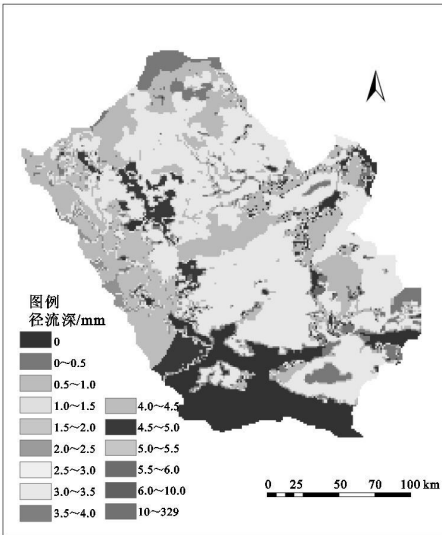


图 3 研究区 90 年代径流量空间分布图

3.2 径流动态

通过对 3 个时期的径流量变化 (图 5, 6) 和总径流量统

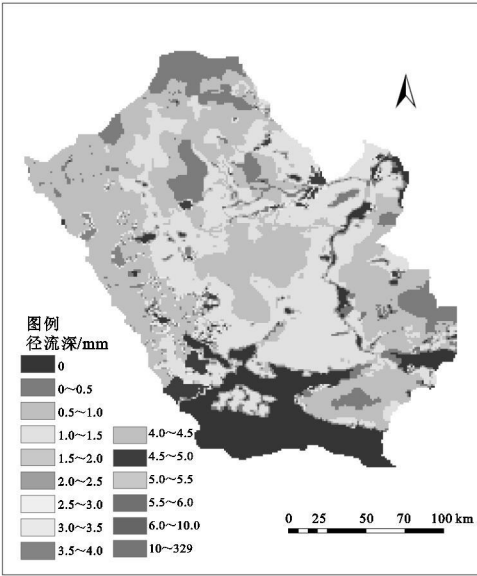


图 2 研究区 80 年代径流量空间分布图  
计 (图 4) 比较发现, 30 a 来平均径流总量在不断增加。

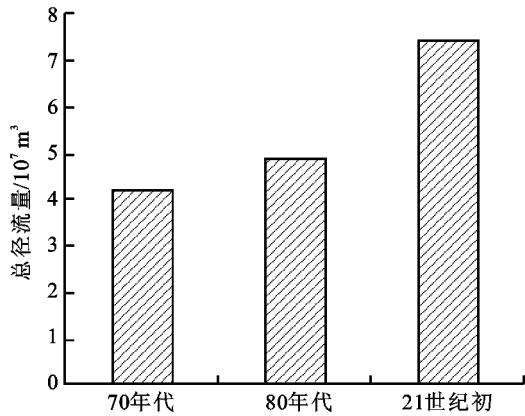


图 4 3 个时期的总径流量

20 世纪从 70 年代末到 80 年代末的径流量变化来看, 大部分区域的径流量在减少, 减少量以  $0 \sim 0.25 \text{ mm}$  占的比重最大。径流变化较大的区域主要发生在研究区的东西两侧, 增减在此区域都发生, 减少的地方较大部分区域的减少量大, 在  $0.25 \sim 1 \text{ mm}$ ; 增加的地方径流值主要是在  $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ , 增加量在  $3 \sim 5 \text{ mm}$  的区域也占一定的比例。从整个区域大部分地方的径流变化可以看到, 尽管 20 世纪 80 年代末的径流量较 70 年代末有所减少, 但径流减少区域的减少值小于径流增加区域的增加值, 所以最终得到整个区域的总径流量在增加, 增加值是  $0.65 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

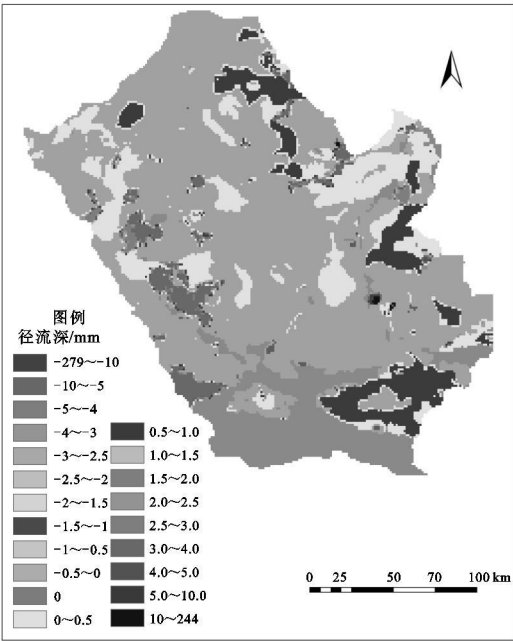


图 5 70–80 年代研究区径流量变化图

4 结论与讨论

通过草原植被生态水文特征的观测, 结合 30 a 的降水资料分析了整个研究区的径流分布及动态。结果表明: (1) 20 世纪 70, 80 年代末的大部分区域的径流在 0~1 mm 之间, 本世纪初的径流在 1~2 mm 之间, 3 个时期径流最大的区域都出现在阿巴嘎旗的西南部, 最小的区域在边界附近和灰腾梁。(2) 30 a 来平均径流总量在不断增加, 70 年代末平均总径流量是  $4.22 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 80 年代末的平均总径流量是  $4.87 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 到 21 世纪初平均径流总量猛增到  $7.46 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

地表径流总量的增加是大面积植被退化的明显环境效应之一: 导致原本干旱的草原生态系统可获得水资源量减少, 使得生态系统处于水分胁迫之中; 同时还导致大量径流涌向低地、河谷, 形成开阔自由水面, 在蒸发量极大的研究区很快将这些积水蒸发到大气中。结果是使水在生态系统中停留的时间很短, 在生态系统中运动的路径也很短, 从而大大降低了水资源的利用率。由此可知区域性的地表径流增加所引发的环境效应必然是使生态系统服务功能衰退。

上述研究结果显示: 典型草原植被发生退化前后, 地表径流系数在 0.000 46~0.019 69 之间变动, 表明即使典型草原植被处于重度退化的阶段, 通过地表径流损失的水分也不到降水总量的 2%, 这似乎暗示, 植被退化引起的地表径流损失对生态系统的影响有限。其实不然, 占降水总量 2% 的地表径流, 是本应该完全进入土壤供植物吸收利用的有效水分。这对地处半干旱地区的草原生态系统而言, 可能是一个较大的损失。更何况, 在草原区不形成径流的降水, 除个别雨强小持续时间长的降雨外, 大部分是雨量较小的降雨, 入渗土壤较浅, 在草原区强烈的蒸发作用下, 很快散失, 难以形成有效降水。而能够产生径流的降水主要是降雨量较大的阵雨, 在生长季一般每年不超过 10 次, 如果这部分降水因地表径流白白散失而不能进入土壤形成有效降水, 那么这个损

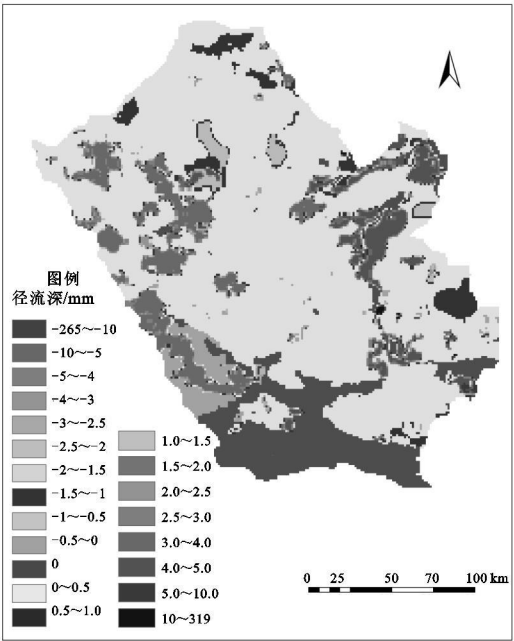


图 6 80–90 年代研究区径流量变化图

失可能是巨大的。从国内外的研究结果可以看出, 植被变化对流域径流影响在不同水文生态区差别很大, 一般认为, 针叶林、阔叶林、灌木林、草本植物对流域产水量影响呈递减趋势。植被对径流的影响极其复杂, 不同自然地理环境植被对大气降水的截留、地表径流、地下径流以及对蒸发产生的影响不尽相同, 从而造成了水分大循环、小循环和水量平衡的时空格局与过程的差异。由于试验条件与野外自然状况的差异较大, 试验结果相差较大<sup>[10]</sup>。必须根据具体地区, 揭示植被对流域径流影响及其产生的生态后果。此外, 就局部一个流域单元而言, 通过坡长汇流的累积效应, 径流系数的微小变化会在整个汇水区域得到累积放大, 对生态系统的作用也会随之增强。

生态水文过程的研究涉及到大气降水、蒸散发、土壤入渗、地表径流、地下水运动、积雪融雪等过程, 是各个过程综合作用的结果, 但本研究仅专注于草原植被退化后, 地表径流的变化趋势以及脱离草地生态系统的径流变化量, 同时仅仅测定了缓坡地形条件下的植被序列, 对于较大坡度对地表径流的影响不能正确估算, 不能全面地描述草原区的水文过程动态。目前, 草原区的生态水文研究工作很少, 降水、地貌、土壤等自然环境因子如何影响水文过程? 植被的组成与结构如何影响水文过程? 以及由自然环境与植被共同组成的局部地段的产流过程、小区域产流过程及更大区域产流过程和运行过程如何等研究工作还很不完善。而如何将不同尺度的研究成果进行整合, 目前也无成熟的方法。这诸多的研究领域, 需要进行深入的探索和研究, 以便取得进一步突破。

参考文献:

[1] 卞建民, 王世杰, 林年丰, 等. 半干旱地区霍林河流域径流演变及其影响机制研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 105–108.

大量白色建筑废料,而且河面上也漂浮一些生活垃圾无人清理。这些垃圾污物分解既消耗了水中的溶解氧,还增加了水中氮的含量,造成水体污染,所以该监测断面氨氮浓度高而溶解氧浓度相对较低。

4 结 论

村民利用雁栖河(含河岸)的方式有捕捞、耕作、村庄、养殖、修拦水坝、引水灌溉和近自然状态 7 种方式,其中修拦水坝以发展旅游业的河段为 12 个,占了总数的 70%,被村民利用以排污浆洗、倾倒垃圾废物的河段为 8 个,占 47%,为河溪利用的两种主要方式。各种利用方式的主次排列顺序为:修拦水坝> 村庄> 养殖> 捕捞> 引水灌溉> 耕作。

旅游区内拦水河段的溶解氧水平介于地表水Ⅱ类标准与Ⅴ类标准之间,而有村庄河段溶解氧水平较好,高于 GHZB1-1999《地表水环境质量标准》中Ⅱ类水质 DO 标准,有村庄河段溶解氧污染较轻。两河段溶解氧浓度平均相差程度为 45.2%,说明溶解氧对不同河溪利用方式响应程度明显。

旅游区内拦水河段的氨氮水平与有村庄河段氨氮平均相差程度为 27.2%,小于溶解氧的相差程度,即氨氮对不同河溪利用方式的响应程度低于溶解氧对不同河溪利用方式的响应程度。但由于村民的环保意识不强,沿河倾倒垃圾污物的情况时有发生,会导致个别河段氨氮浓度突然变高,水体受污染。

水体中溶解氧和氨氮的浓度直接或间接地受河溪(含河岸)各种利用方式的影响和制约,它们对河溪利用方式的响应程度是河溪开发程度和人为干扰综合作用的结果,因而调整河溪利用方式、规范居民活动、加强污水无害化处理是最终实现河流生态恢复和水资源可持续利用的重要保证。

参考文献:

[ 1 ] Allan J D, LANDSCAPES AND RIVERSCAPES: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems, Annu[ J ] . Rev. Evol. Syst, 2004, 35: 257- 284.

[ 2 ] Baina M B, Harigb A L, Louckse D P, et al. Aquatic

ecosystem protection and reatoration: advances in methods for assessment and evalution[ J ] . Environment Science & Policy, 2000( 3 ) : 89- 98.

[ 3 ] Bennett J. Investing in ecosystem health: using rivers as a case study[ J ] . Ecological Management & Restoration, 2002, 3( 2 ) : 104- 107.

[ 4 ] Huang H Q, Nanson G C. Vegetation and channel variation: A case study of four small streams in southeastern Australia[ J ] . Geomorphology, 1997, 18: 237- 249.

[ 5 ] 黄震, 余静. 长江芜湖段水体中溶解氧现状及其影响因素[ J ] . 安徽师范大学学报, 2005, 9( 28 ) : 349.

[ 6 ] 王沛芳, 王超, 等. 自然水塘湿地系统对农业非点源氮的净化截留效应研究[ J ] . 农业环境科学学报, 2006, 25( 3 ) : 782- 785.

[ 7 ] 刘晓萌, 侯瑾, 等. 怀柔区雁栖镇与渤海镇民俗旅游发展比较研究[ J ] . 首都师范大学学报, 2007, 28( 1 ) : 60- 65.

[ 8 ] 高甲荣, 肖斌, 牛健植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限[ J ] . 水土保持学报, 2002, 16( 6 ) : 84- 91.

[ 9 ] 高甲荣, 近自然治理: 以景观生态学为基础的治理工程[ J ] . 北京林业大学学报, 1999, 20( 1 ) : 78- 82.

[ 10 ] 吴兆录, 西双版纳乡村河溪利用方式及变化研究[ J ] . 生态学杂志, 2002, 21( 3 ) : 29- 32.

[ 11 ] 国家地表水环境质量标准( GH ZB1- 1999 ) [ S ] .

[ 12 ] 许东方, 于艳霞, 等. 浅谈溶解氧污染指数评价[ J ] . 黑龙江环境通报, 2004, 28( 1 ) : 52- 53.

[ 13 ] 丁波. 2007 年 1 季度市区饮用水质量报告[ J ] . 镇江市环境质量月报, 2007, 5( 4 ) : 20- 23.

[ 14 ] 陈景山, 区域环境水量分析及水质现状评价[ J ] . 华东师范大学学报, 1999( 4 ) : 74- 78.

[ 15 ] 王超, 王沛芳, 等. 河道沿岸芦苇带对氮氮的削减特性研究[ J ] . 水科学进展, 2003, 14( 3 ) : 311- 316.

[ 16 ] 李文红, 陈英旭, 等. 不同溶解氧水平对控制底泥向上覆水体释放污染物的影响研究[ J ] . 农业环境科学学报, 2003, 22( 2 ) : 170- 173.

( 上接第 117 页 )

[ 2 ] 金博文, 康尔泗, 宋克超, 等. 黑河流域山区植被生态水文功能的研究[ J ] . 冰川冻土, 2003, 25( 5 ) : 580- 584.

[ 3 ] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[ J ] . 自然资源学报, 1999, 14( 3 ) : 226- 231.

[ 4 ] 徐学选, 张北赢, 琚彤军. 黄土丘陵区降雨、径流、土壤水分的时空分布与利用对策[ J ] . 生态环境, 2005, 14( 6 ) : 890- 893.

[ 5 ] 李勉, 姚文艺, 陈江南, 等. 草被覆盖对坡面流流速影响的人工模拟试验研究[ J ] . 农业工程学报, 2005, 21( 12 ) : 43- 47.

[ 6 ] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域植被生态用水评价[ J ] . 水土保持学报, 2005, 19( 2 ) : 152- 156.

[ 7 ] 陈奇伯, 寸玉康, 刘芝芹, 等. 滇西高原不同地类坡面产流产沙规律研究[ J ] . 水土保持研究, 2005, 12( 2 ) : 71- 73.

[ 8 ] 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地雨水地表径流及其侵蚀[ J ] . 农业环境科学学报, 2004, 23( 5 ) : 839- 844.

[ 9 ] 鲍文, 何丙辉, 包维楷, 等. 森林植被对降水的截留效应研究[ J ] . 水土保持研究, 2004, 11( 1 ) : 193- 197.

[ 10 ] 刘新仁. 山坡水文学[ M ] . 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1989: 48- 49.

[ 11 ] 中国科学院内蒙宁夏综合考察队. 内蒙古自治区及东北西部地区地貌[ M ] . 北京: 科学出版社, 1980: 137- 141.

[ 12 ] 中国科学院内蒙宁夏综合考察队, 中科院南京土壤研究所. 内蒙古自治区与东北西部地区土壤地理[ M ] . 北京: 科学出版社, 1978: 195- 200.