

雁栖河溶解氧和氨氮对不同河溪利用方式的响应^{*}

冯泽深¹, 高甲荣¹, 吕 晶¹, 段红祥²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083; 2. 北京市 怀柔区 水土保持监测总站, 北京 100083)

摘 要: 河溪是北京郊区居民生产生活的重要场所, 在发展农村经济和保护环境中具有重要的地位。通过实地调查北京郊区雁栖河边村民利用河溪(含河岸)的各种活动, 分析了近些年来河溪利用方式变化的原因和驱动力。分别选取旅游区河段和村庄区河段作为试验河段, 分析水体中溶解氧和氨氮对不同河溪利用方式的响应。结果表明, 雁栖河上主要河溪利用方式为筑坝壅水发展民俗旅游业, 各种河溪利用方式的主次顺序为: 修拦水坝 > 村庄 > 养殖 > 捕捞 > 引水灌溉 > 耕作。溶解氧对河溪不同利用方式的响应程度高于氨氮对不同河溪利用方式的响应程度, 而有村庄区河段的氨氮浓度容易受村民生活方式的影响。

关键词: 雁栖河; 溶解氧; 氨氮; 河溪利用

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0118-05

Responses of Dissolved Oxygen and $\text{NH}_3 - \text{N}$ to Different River Uses in Yanqi River

FENG Ze-shen¹, GAO Jia-rong¹, LÜ Jing¹, DUAN Hong-xiang²

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Soil and Water Conservation Monitoring Station of Huairou District, Beijing 10083, China)

Abstract: River as an important place used by the residents for production and living in the suburb of Beijing plays an important role in developing rural economy and environment protection. According to the investigation on the river use by residents living along the Yanqi River in the suburb of Beijing, the paper analyzes the reasons and driving force of river use changes in recent years. Choosing river reaches in tourist areas and village areas as the test reaches, we analyzed the response of dissolved oxygen (DO) and $\text{NH}_3 - \text{N}$ in river on different river use models. The results showed that the development of folk custom traveling is the primary river use model of Yanqi River. The order of river use models is: small dams > villages > aquaculture and poultry > fishing > irrigation > cultivation. The response degree of DO on the river use is greater than $\text{NH}_3 - \text{N}$, but the $\text{NH}_3 - \text{N}$ is easily influenced by the river use of residents living along the river.

Key words: Yanqi river; dissolved oxygen; $\text{NH}_3 - \text{N}$; river use

人类活动强烈影响着河溪生态环境,尤其是改变河溪利用方式,成为了河溪水生生态环境改变的加速器,也是导致水体水质变化的直接原因^[1-4]。溶解氧是标志水体清洁程度的重要指标,它主要来自大气中的氧,与大气中的氧分压成正比。当水体受无机和有机还原物质污染、或其氧化分解的耗氧速度超过从空气中补充氧的速度时,水体中溶解氧将减少,这时有有机物在缺氧条件下分解、厌氧细菌繁殖,有机物发生腐败作用,会使水源发生臭气^[5]。氨是评价水质清洁程度的另一指标,它是引起湖泊水体富营养化的主要因素之一,河流中的非点源氮污染占到水体中氮总负荷量的 50% 左右^[6]。河溪(含河岸)利用方式的不同,会影响河溪的生态完

整性,造成对水体的破坏和污染。例如发展民俗旅游、修拦水坝、发展养殖业、更改河道、或河边耕作,都会影响水体中溶解氧和氨氮的浓度平衡,造成水体污染。在调查雁栖河不同河溪利用方式的基础上,研究溶解氧和氨氮对不同河溪利用方式的响应,旨在为河流管理及河流健康评价提供理论依据,对河流生态恢复措施的制定具有重要的实践应用价值。

1 研究区概况

雁栖河位于北京市怀柔区境内,全长 42.1 km,流域面积 411.7 km²,上游分东、西两支,东支长 33.4 km,源于八道河村;西支长 11 km,源于莲花池村,至石梯子与东支汇流,

^{*} 收稿日期: 2007-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40771128); 北京市自然科学基金项目 (8062022) 资助

作者简介: 冯泽深(1985-),女,重庆人,硕士研究生,研究方向: 水土保持与流域管理。E-mail: fengweibc@126.com

通信作者: 高甲荣(1963-),男,陕西人,副教授,研究方向: 流域管理及生态环境建设。E-mail: jiaronggao@sohu.com

注入北上台水库,沿途流经石片村、五道河村等多个村庄,为典型的乡村河流。由于雁栖河流经神堂峪自然风景区,因而其沿岸民俗旅游业十分发达。当地农民收入的 50 % 以上来自旅游,仅 2003 年就接待游客 78 万人次,旅游综合收入达 9 600 万元^[7]。但旅游业在开发和经营过程中,如果污水废弃物处理不当,就会造成旅游区水体的污染和破坏。例如,旅游区内的宾馆、饭店在洗涤衣物、餐具后,产生大量的含磷、氮的污水如不经科学处理便排入水体,会导致溶解氧浓度降低,水质恶化。资料表明,怀柔区全区的污水处理率不足 40 %,许多民俗旅游项目建设不规范,缺乏环境保护设施,各旅游区排放的污水也没有完全实现资源化,部分生产、生活污水没有经过处理就排放到河道中,导致营养盐在底泥中蓄积,水质变差,影响了水体中溶解氧和氨氮的含量。目前,怀柔区水务局正在加大投资力度,努力实现雁栖河上旅游区河段沿线旅游餐饮点排放的污水无害化处理,以期能利用处理后的中水营造河段水体景观,提升民俗旅游档次。

2 研究方法

2.1 试验河段选择及简介

在了解河溪各种功能的基础上^[8-10],实地沿河踏查和记录了雁栖河边农民利用河溪的各种活动。通过统计和分析各种河溪利用方式的种类和数量,分别选取雁栖河上旅游区河段和有村庄区河段进行观测对比试验研究,对比两河段水体中溶解氧和氨氮对不同河溪利用方式的响应程度。两河

段现状如图 1 所示。由图 1(a)可以看出,河水被水坝拦截,水中无水生植物生长,水面清洁,河右岸修有亭台楼阁等娱乐休闲设施,水面平均宽度为 20 m,断面形式为矩形。试验河段长取 1 km,中间无任何排污口、入河支流及引水口,河道断面流量基本相等。由图 1(b)知,河道两岸芦苇和杂草生长茂密,水面上漂浮着枯枝落叶和垃圾,无任何拦水措施,水面平均宽度为 18 m,无任何护岸措施,河道断面形式不规则。试验河段长取 1 km,中间无任何排污口、入河支流及引水口,试验区河段各断面流量基本相等。

2.2 观测试验方案

在两个试验河段内,每隔 200 m 设一监测断面,包括上、下游的起、止断面共 6 个监测断面。旅游区河段的 6 个监测断面分别位于神堂峪度假村拦水坝、山天聚友农家拦水坝上游、山野度假村拦水坝上游、仙翁垂钓园拦河坝上游、河峰峪度假村拦河坝上游和康裕垂钓园拦河坝上游。有村庄河段监测断面从下官地村村头河段开始,每 200 m 设置一个,分别编号为 1 #、2 #、3 #、4 #、5 #、6 # (图 2)。上游断面和下游断面各设置 2 个监测垂线,分别位于河道两侧离岸 3.0 m 的距离,其余 4 个监测垂线设在距离左岸 3.0 m 位置。每个观测垂线上布设 3 个取样点位,分别位于水面下 0.5 m,水深 1/2 处,以及河床上 0.5 m,每期同步取样 3 次,取平均值。主要监测因子为溶解氧、氨氮浓度、pH 值和水深。水样分析化验采用科技部技术创新基金立项产品——便携式水质测量试剂盒,进行现场比色分析。



(a) 雁栖河旅游区试验河段现状



(b) 雁栖河村庄区试验河段现状

图 1 雁栖河现场观测试验研究河段现状图

3 结果与分析

3.1 河溪利用方式与驱动力分析

3.1.1 河溪利用方式现状

雁栖河是京郊重要的休闲旅游目的地之一,民俗旅游业的发展在当地农民走向致富的道路上起着重要的作用。因此当地农户除了进行一些基本的农业耕作以外,均以发展民俗旅游为主,对雁栖河的开发利用也主要为旅游业服务。在雁栖河旅游区河段,各度假村既筑坝壅水发展水上娱乐活动,也有开辟河岸带进行沿河休闲活动;在流经村庄河段,村民既挖渠引河水灌溉农田,也在河内进行浆洗和倾倒垃圾废弃物;在沿河调查的基础上,结合当地各种河溪利用方式的历史渊源

和总体规划,将雁期河利用方式分为捕捞、耕作、村庄、养殖、修拦水坝、引水灌溉和近自然河段 7 种方式。在调查所经过的 17 个河流断面中,被大坝截流以发展民俗旅游业的河段为 12 个,占了总数的 70 %,被村民用以排污、浆洗和倾倒垃圾废弃物的河段为 8 个,也占 47 %,而未被开发利用的河段仅为 2 个,占总数的 11 %。很多河段的河溪利用方式不止一种,例如一些度假村在筑坝壅水营造水体景观的基础上,建设一些小型的养鱼场,经营冷水鱼烧烤等餐饮业。

3.1.2 原因分析

随着生态休闲旅游的不断升温,乡村旅游渐渐成为京郊周围农村发展自身经济的最佳选择。特别是在怀柔区雁栖镇官地村,全村约 80 % 的农户搞起了民俗接待,将小山村带

上了致富的道路。为了实施雁栖“不夜谷”建设,雁栖镇计划推出游神堂峪、观明古长城、赏雁栖夜景、吃虹鳟冷鱼、品不夜美酒等特色项目吸引时尚游客,从而促进当地旅游业的发

展,增加农民收入。资料表明,雁栖“虹鳟鱼不夜谷”在“五一”黄金周 7 d 内,综合收入 1 600 多万元。目前,旅游经济已经成为雁栖河沿线农民致富的一条新路。

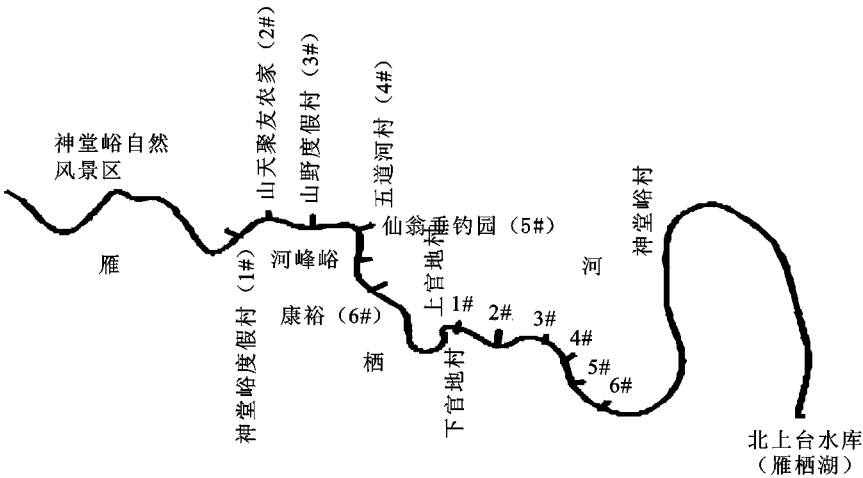


图 2 两试验河段监测点分布图

表 1 雁栖河利用方式现状

断面 编号	捕捞	耕作	村庄	养殖	修拦 水坝	引水 灌溉	近自然 状态	合计
1 #								2
2 #								3
3 #								1
4 #								1
5 #								2
6 #								1
7 #								2
8 #								2
9 #								2
10 #								3
11 #								2
12 #								1
13 #								3
14 #								3
15 #								1
16 #								2
17 #								3
合计	4	2	8	5	12	3	2	

3.2 溶解氧(DO)和氨氮对不同河溪利用方式的响应

3.2.1 各监测因子现状

由表 2 可知,在旅游区河段 6 个监测断面中,石片村拦

水坝上游断面和官地村拦水坝上游断面的 DO 值最高,为 5.0 mg/L,达到地表Ⅲ类水质标准^[11];最低 DO 浓度为 2.5 mg/L,略好于地表Ⅲ类水质标准。而有村庄河段的最高溶解氧浓度为 8 mg/L,高于地表Ⅲ类水质 DO 标准,最低溶解氧浓度为 6.5 mg/L,也高于地表Ⅲ类水质 DO 标准。两段河道的氨氮浓度平均值均小于 0.5 mg/L,达到地表Ⅰ类水质标准。筑坝雍水河段各监测断面的氨氮值浮动范围在 21 % ~ 37 % 之间,相差不大。但有村庄河段的氨氮含量不稳定,在 4 # 监测断面上出现了氨氮含量达 0.6 mg/L 的情况,劣于地表Ⅲ类水质标准。

有村庄河段各监测断面的 pH 值在 5.5 ~ 8.5 之间,优于地表水Ⅲ类水质标准,而筑坝雍水河段的 pH 值属 6.0 ~ 9.0 之间,为Ⅲ类水质。

3.2.2 溶解氧对不同河溪利用方式的响应

根据溶解氧的特点,采用蔡墨罗^[12](N. L. Nemerow)的指数公式计算溶解氧污染指数,即

$$P_i = \frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - C_{io}}$$

式中: P_i ——溶解氧的污染指数; C_i ——溶解氧的实测值; C_{io} ——溶解氧的评价标准; C_{im} ——本次调查中溶解氧的最大值。

表 2 试验河段各监测因子现状

筑坝雍水河段						有村庄河段				
断面 编号	距上游 距离/ m	水深/ cm	溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	pH	距上游 距离/ m	水深/ cm	溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	pH
1 #	0	68	3.0	0.26	6.5	0	22	8.0	0.23	6.6
2 #	100	66	2.5	0.20	6.4	100	23	8.0	0.20	5.9
3 #	200	59	4.0	0.22	6.5	200	42	7.0	0.20	5.5
4 #	300	62	5.0	0.20	6.5	300	12	6.5	0.60	6.8
5 #	400	64	4.5	0.30	6.1	400	26	7.0	0.20	6.8
6 #	500	62	5.0	0.35	6.5	500	16	8.0	0.20	7.0

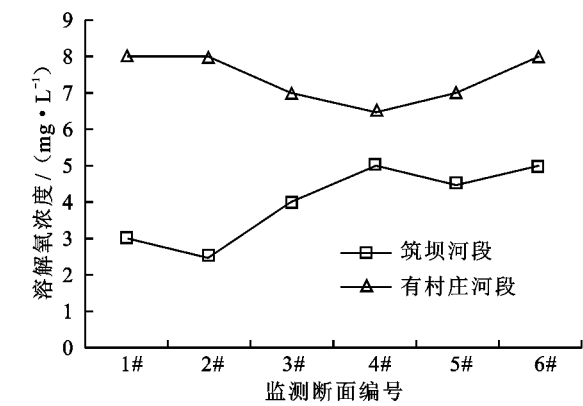


图 3 两试验河段溶解氧浓度对比

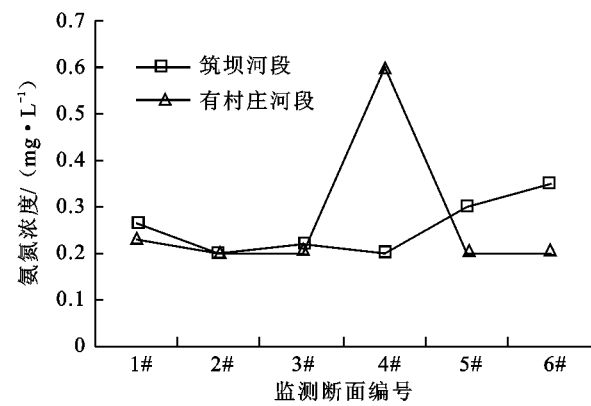


图 4 两试验河段氨氮浓度对比

表 3 两种河溪利用方式河段溶解氧污染指数对比

修坝壅水河段溶解氧污染指数								有村庄河段溶解氧污染指数							
编号	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	均值	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	均值	
P_i	0.67	0.82	0.33	0	0.17	0	0.33	0	0	0.33	0.17	0.33	0	0.14	

两河段各监测断面溶解氧浓度相差较大(见图 3),分别相差 62.5 % ,69.7 % ,42.9 % ,23.1 % ,35.7 % 和 37.5 % ,平均相差程度为 45.2 % 。村庄区河段各监测断面溶解氧浓度平均值 7.4 mg/L ,属于高溶解氧状态,高于地表 类水质 DO 标准,而旅游区修坝壅水河段各监测断面溶解氧的平均值仅为 4.0 mg/L ,属低溶解氧状态,低于地表 类水质 DO 标准,溶解氧对不同河溪利用方式的响应明显。究其原因,石片村大坝上游周围无度假村和村民居住,左岸为岩石,右岸为公路,河底水草丰富,鱼、虾等水生动物数量较多,河床底质为石块和细沙,水草光合作用产生的氧气可以及时补给水中溶解氧的消耗量。官地村拦河坝将河流造就为宽阔水面,河底水草与水生动物种类丰富,水面无漂浮物,水体透明度较高,加之人为饲养一些鱼类,增加了水生生物的多样性,使得水体溶解氧水平较高。该河段右岸为浆砌石护岸,草皮护坡,岸边设置

了一些石桌石椅和健身器材,成为供游人憩息和垂钓的场所。神堂峪自然风景区出口河段的溶解氧只有 3 mg/L ,劣于地表 类水质 DO 标准,主要是由于该河段位于风景区下游,河水流速缓慢,水体呈黄绿色,有臭味,河岸有村民的卫生设施和小菜园,水面上也漂浮一些垃圾和污染物,它们分解会消耗水中大量的溶解氧,使河水处于厌氧状态,水生生物减少。从表 3 可以看出旅游区河段和有村庄区河段水体中溶解氧污染指数均低于 1,未出现超标现象^[13]。

3.2.3 氨氮对不同河溪利用方式的响应

根据单因子污染指数评价法^[14],氨氮污染指数采用公式 $P_i = \frac{C_i}{C_{io}}$ 计算。

式中: C_i ——实测各断面氨氮的平均浓度; C_{io} ——氨氮的评价标准。

表 4 两种河溪利用方式河段氨氮污染指数对比

修坝壅水河段溶解氧污染指数								有村庄河段溶解氧污染指数							
编号	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	均值	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	均值	
P_i	0.33	0.25	0.28	0.25	0.38	0.44	0.32	0.29	0.25	0.25	0.75	0.25	0.25	0.34	

两试验河段氨氮均有不同程度的污染(见表 4)。除了有村庄河段中的 4 # 断面氨氮污染指数偏高以外,其余断面氨氮污染指数均小于 1,未出现超标现象。由图 4 可以看出,两试验河段各监测断面氨氮浓度分别相差 11.5 % ,0 ,9.1 % ,66.7 % ,33.3 % 和 42.8 % ,平均相差程度为 27.2 % ,低于溶解氧的平均相差程度。并且两试验河段在各自的 2 # 断面处出现了氨氮浓度相同的情况,说明在本次调查时间段内,氨氮对两种河溪利用方式的响应不如溶解氧对两种河溪利用方式的响应程度明显。主要原因是由于本次调查时河流水量为全年的平水期,地表径流较难形成,农田非点源污染基本不能入河,况且河道两岸的芦苇和河中生水植物还未完全枯萎,对水中的氨氮尚有截流作用^[15]。而旅游区筑坝拦水河段两岸大多为砌石护坡,河中生水植物生长较少,河岸也无农田造成非点源污染,因而两段河道氨氮含量相差程度不大。但由于河水被各种大坝拦截,水流速度缓慢,河水

与底泥不能同下一河段及时进行交流,因此,当河水开始受到污染时,污染物浓度通量向下,污染物汇集到河溪底泥中;当外界污染受到控制后,底泥中的污染物浓度通量向上,污染物将从底泥释放到上覆水体中,成为水体的内污染源,而这些污染物的释放与上覆水体中的溶解氧含量密切相关。当水体处于高溶解氧水平下(DO > 5.0 mg/L)时^[16],水体中的硝化细菌能够进行硝化作用,将水体中大部分的氨氮转化为硝态氮,会抑制底泥向上覆水体释放氨氮,使水体中的氨氮浓度升高不明显,而在低溶解氧水平下,底泥向上覆水体释放氨氮的作用未能被抑制,水体中氨氮浓度会升高,从而增加水体中的总氮浓度。因此,水体中含高浓度的溶解氧会抑制内源污染向上覆水体释放污染物,并且能因为好氧细菌的分解速度快而提高水体的透明度。低溶解氧状态会增加水体中污染物的浓度,使得水质变差。在 4 # 断面内出现了氨氮浓度过高的现象,达 0.6 mg/L ,主要原因是河边堆积了

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 类标准与类标准之间,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 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, Loucksc D P, et al. Aquatic ecosystem protection and reatoration: advances in methods for assessment and evaluation[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 (GHZB1 - 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.河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[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.
- [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, Loucksc D P, et al. Aquatic ecosystem protection and reatoration: advances in methods for assessment and evaluation[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 (GHZB1 - 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.河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[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.