ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第34卷 第1期
2013年1月15日

目 次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 …… 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)
厦门城区大气颗粒物 PM_{10} 中有机酸源谱特征分析 …… 杨冰玉,黄星星,郑桉,刘碧莲,吴水平(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 …… 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO_2 和 NO_x 的影响 …… 王鸿,朱天乐,王美艳(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 …… 汪军,王德建,张刚,王远(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 …… 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垛,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)
碱改性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 …… 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 …… 王敏,张洪海,杨桂朋(45)
2010年秋季长江口口外海域CDOM的三维荧光光谱-平行因子分析 …… 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素a浓度估算与预测 … 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)
基于HJ1A-CCD数据的高光谱影像重构研究 …… 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 …… 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 …… 陈丁江,孙嗣旸,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 …… 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)
湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 …… 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 …… 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 …… 李晋昌,张红,石伟(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 …… 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 …… 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 …… 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)
海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 …… 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 …… 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 …… 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 …… 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 …… 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 …… 徐慧纬,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 …… 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)
负载型 TiO_2 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 …… 张小娜,周少奇,周晓(188)
污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 …… 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 …… 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N_2O 产生量的影响 …… 韩雪,高大文(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 …… 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 …… 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立椿,何宝燕,李跃鹏(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 …… 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 …… 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 …… 杨维,赵文吉,宫兆宁,赵文慧,唐涛(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 …… 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评价 …… 于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 …… 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)
利用DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 …… 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 …… 孟瑶,梁红,高大文(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 …… 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 …… 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 …… 董洪芳,于君宝,管博(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 …… 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 …… 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)
无定形 $Fe(OH)_3$ 和 Fe_3O_4 共沉淀态 As 的化学提取 …… 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 …… 李华,黄建国,袁玲(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 …… 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 …… 李坤权,李烨,郑正,桑大志(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 …… 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 …… 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 …… 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 …… 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 …… 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 …… 庞博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)
低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析 …… 施晓清,李笑诺,杨建新(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 …… 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 …… 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)
《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析

庞博[1,2], 王铁宇[2*], 吕永龙[2], 杜立宇[1], 罗维[2]

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 洋河流域是官厅水库的重要入库水源, 而官厅水库一度承担着北京市生活饮用水、生产用水及景观用水的供给任务, 是北京市经济社会发展的重要保障. 本研究以 1992 ~ 2009 年洋河流域张家口段水质监测数据为基础, 选取 11 类影响水质的污染因子, 利用综合指数法和灰色关联度法等评价手段, 分析流域水质演化态势, 筛选出主要污染因子并对水质演化的驱动因子进行解析. 结果表明, 1992 ~ 1996 年, 张家口段流域水质污染严重, 但呈快速恢复态势; 1997 ~ 2009 年, 水体趋于轻度污染, 并保持在稳定状态, 但污染因子仍有超标情况. 主要污染物包括氨氮、石油类、高锰酸盐指数、BOD_5, 重金属 Cr^{6+} 和 Cd 对水质影响也较大. 水质演化的驱动因子主要是土地利用类型的改变, 工业用地对水质影响较大, 农业用地对水质影响较小.

关键词: 水质演化; 土地利用; 污染指数; 灰色关联度; 洋河流域

中图分类号: X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)01-0379-06

Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou

PANG Bo[1,2], WANG Tie-yu[2], LÜ Yong-long[2], DU Li-yu[1], LUO Wei[2]

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Yanghe is an important water source for Guanting Reservoir, which once supplied the Beijing city with drinking water, industrial process water and water-use in landscape. Based on the data of water quality monitored by Yanghe watershed monitoring stations from 1992 to 2009, 11 pollutants were selected for analysis. The trends of changes in water quality were figured out, and the major pollutants and driving factors were measured by the integrated standard index and grey correlation analytical methods. The results showed that there were two stages of water quality change in Yanghe watershed of Zhangjiakou. Firstly, the water was polluted seriously but recovered rapidly from 1992 to 1996. Secondly, although light pollution occurred in the watershed from 1997 to 2009, the pollution factors were still above the limits. The main pollution factors are ammonia nitrogen, petroleum, permanganate index, BOD_5, Cr^{6+} and Cd. The main driving factor of water quality is the change of land use type, and the agricultural land showed less impact on water quality than the industrial land.

Key words: variation of water quality; land use; pollution index; grey correlation analysis; Yanghe watershed

官厅水库是北京市两个重要水源地之一, 1997 年因污染退出首都饮用水供水系统. 近年来围绕库区水体质量开展了大量研究[1~5]. 洋河、桑干河、妫水河是汇入官厅水库的 3 条主要河流, 其中, 洋河发源于内蒙古自治区兴和县和山西省阳高县, 于怀安县柴沟堡附近汇合为洋河, 流经宣化、下花园等地, 进入官厅水库, 是官厅水库的重要补给水源. 洋河流域张家口段分布有钢铁、热电、制药、印染、酿造等工业企业, 是张家口市重要的经济发展中心[6]. 洋河流域河道接纳的大量工业废水和生活污水, 是造成官厅水库持续污染、治理缓慢的关键原因[7,8]. 本研究利用 2009 年流域实地监测结果, 结合张家口市环保局 1992 年以来的张家口段水质监测数据. 选取 11 类经典的污染因子, 利用单因子评价、综合污染指数评价以及灰色关联度分析方法对洋河污染情况进行分析, 并结合洋河的降水量和土地利用类型的变化, 研究洋河流域 17 年的水质演化态势及驱动因子, 以期为洋河流域综合治理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区数据获取和分析

本研究于 2009 年对洋河流域张家口段进行了水环境调查, 水质监测项目包括高锰酸盐指数、BOD_5、氨氮、挥发酚、氰化物、As、Hg、Pb、Cr^{6+}、

收稿日期: 2012-04-24; **修订日期**: 2012-06-29
基金项目: 国家自然科学基金项目(41171394); 环境保护公益性行业科研专项经费项目(201009032)
作者简介: 庞博(1988 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为区域水环境质量评价与管理对策, E-mail: 13998363945@163.com
* 通讯联系人, E-mail: wangty@rcees.ac.cn

Cd、石油类主要环境指标[9]. 结合 1992 年以来张家口市环境监测站对洋河干流响水铺、鸡鸣驿、八号桥、左卫这 4 个断面的历年水质监测数据,分析洋河流域张家口段的水质演化过程及驱动因子. 其中,左卫为对照断面,响水铺、鸡鸣驿为控制断面,八号桥为削减断面(图 1).

洋河流域 1990、1995、2000 和 2005 年 4 期土地利用图采用 ERDAS IMAGINE 10.0 进行卫星影像的判读,并划分成耕地、林地、草地、水体、城镇用地和未利用土地等 6 种土地利用类型,解译过程中对精度进行逐级检验,保证解译结果的准确性[10]. 解译结果以矢量格式转入地理信息系统软件 ARC/INFO 中进行空间叠置分析,探讨洋河流域不同河段土地利用与水质环境因子的关系.

图 1 洋河流域水质监测断面分布示意

Fig. 1 Water quality monitoring station along Yanghe watershed

1.2 研究方法

1.2.1 标准污染指数法

单项污染指数法是各指标标准化浓度与该指标在达到国家相应水质标准下的标准化浓度之比[11],计算见式(1).

$$P_i = c_i / c_{si} \tag{1}$$

式中, P_i 为第 i 个水质因子标准指数; c_i 为第 i 个水质因子的监测浓度值; c_{si} 为第 i 个水质因子的标准浓度值,采用国家地面水环境质量标准(GB 3838-2002)中的Ⅲ类水质标准作为标准值. $P_i > 1$,表明该因子浓度超标; $P_i < 1$,表明该因子符合标准.

综合污染指数是在获得单项污染指数的基础上,对单项污染指数的综合处理. 综合污染指数的计算方法有很多,本研究采用较为经典的算术平均法,即综合污染指数 P 等于所有检测项目污染因子标准指数总和与监测项目的比值. 评价方法为: $P \leqslant 1$ 为未污染, $P \leqslant 2$ 为轻度污染, $P \leqslant 3$ 为中度污染, $P > 3$ 为重度污染, P 值越大污染越严重.

1.2.2 灰色关联度法

灰色关联度法主要是通过对灰色系统中不同事物间的相关分析,根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,衡量因素间关联程度的一种方法[12]. 灰色关联度分析法实质上是用几个数列曲线间几何形状的差别判断关联程度,因此以曲线间差值的大小作为关联的衡量尺度[12,13].

1.2.3 土地解译方法

ERDAS IMAGINE 是美国 ERDAS 公司开发的专业遥感处理与地理信息系统软件,它具有先进的图像处理技术,灵活的用户界面和操作方式,与高度的 RS/GIS(遥感处理和地理信息系统)集成功能,内容丰富而功能强大的处理图像[14,15]. 本研究采用 ERDAS IMAGINE 10.0 进行卫星影响的判读和解译,解译结果以矢量格式转入地理信息系统软件 ARC/INFO 中进行空间叠置分析.

2 结果与讨论

2.1 流域水量变化

洋河流域降水量年内分配不均匀,年降水量的 75% ~80% 集中在 6 ~9 月. 洋河流域暴雨主要特点是覆盖面积小、强度大、历时短,多集中在 7 ~8 月. 由表 1 洋河流域 1956 ~2002 年这 47 a 径流系列可知,控制站响水堡站实测多年平均年径流为 3.716 亿 m^3. 1956 ~1959 年为 7.477 亿 m^3,60 ~70 年代为 4.977 ~4.551 亿 m^3,90 年代降雨量比 70 年代少了近 27.0 mm,但年径流却相差 2.328 亿 m^3,减少了 51.2%. 90 年代降雨量接近多年平均值,但年径流比多年平均值少了 1.483 亿 m^3.

前期降水量的大小对流域径流量有一定影响,流域降水量的多少是产生径流量大小的主要因素,然而人类活动影响亦是不可忽视的因素. 进入 70 年代后,由于洋河受人类活动和气候变化影响,区域降雨径流情势发生很大变化,地表水径流发生了明显改变. 从 80 年代开始明显衰减,年径流量一直呈减少趋势. 以清水河张家口站为例分析,因该流域受人类活动影响很少,上游没有大的水利工程设施,径流量主要受天然降水影响. 降水量多少是产生径流量大小的决定因素,降水量大时,径流量就大,降水量小时,径流量就小. 由于 80 年代降水偏少为枯水期,下垫面未得到充足补给,土壤含水率较低,因此 90 年代产生的径流量要相对小一些. 其他各站年径流量变化见表 1.

2.2 流域水质演化

2.2.1 水质综合污染指数分析

表 1　洋河各监测站年径流量统计 $\times 10^8/m^3$

Table 1　Annual runoff at Yanghe monitoring stations $\times 10^8/m^3$

组别	柴沟堡	左卫	张家口	宣化	响水堡
1956 ~ 1959 年平均	0.450 9	1.667 0	1.959 0	1.602 0	7.477 0
20 世纪 60 年代平均	0.232 1	1.156 0	0.869 4	1.124 0	4.977 0
20 世纪 70 年代平均	0.301 7	0.955 7	0.983 6	1.674 0	4.550 1
20 世纪 80 年代平均	0.172 9	0.582 2	0.360 9	0.973 5	2.603 0
20 世纪 90 年代平均	0.230 4	0.482 8	0.748 4	0.995 1	2.223 0
2000 ~ 2002 年平均	0.203 2	0.184 0	0.160 0	0.458 4	0.959 2
多年平均	0.250 7	0.829 5	0.807 2	1.229 0	3.716 0

洋河水质的污染因子主要包括高锰酸盐指数、BOD_5、氨氮、挥发酚、氰化物、As、Hg、Pb、Cr^{6+}、Cd、石油类. 对洋河流域左卫、响水铺、鸡鸣驿和八号桥数据进行综合处理,利用水质综合污染指数进行分析[16,17],按年份绘出水质污染变化趋势图(图 2).

由图 2 可以看出,洋河流域张家口段水质近 17 年来的变化可分为 2 个阶段. 第一阶段, 1992 ~ 1996 年,水体污染严重. 其中响水铺在 1992、1994、1995 年水质综合污染指数均超过 3.0,属于重度污染; 鸡鸣驿在 1994 年为 2.5,水体发生中度污染; 左卫在 1996 年超过 3.0,水体发生重度污染; 八号桥的水质总体情况较好,未受污染或轻度污染. 第二阶段, 1997 ~ 2009 年,综合污染指数趋势线在 1.0 上下波动,表明水体维持在未受或轻度污染状态. 其中, 1997 ~ 2004 年, 4 个断面的综合污染指数都有一个缓慢升高的态势,2004 年出现峰值,随后综合污染指数开始降低,水质情况有所好转,说明洋河在 2004 年出现了水质恶化的情况,但随后得到有效治理,水质有比较明显的改观[18].

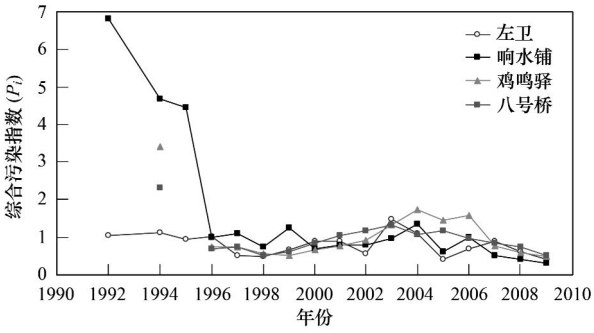

图 2　洋河流域水质综合污染指数年度分布态势

Fig. 2　Annual distribution trend of water pollution index at Yanghe watershed

2.2.2　水质主要污染因子分析

应用灰色关联度的分析方法,对各污染因子在不同河段的灰色关联度作表,进而得出不同断面的主要污染因子,筛选出对洋河流域内水质影响相对较大的污染因子. 关联度越大,表明该污染因子对水质的影响程度也就越高.

由表 2 中灰色关联度值可以直观体现出, 洋河流域不同监测断面主要污染物也不同,在上游左卫地区 Cd 的关联度较高 0.883,是上游的主要污染因子. 中游 Cr^{6+} 和 BOD_5 两项关联度相对较高,分别是 0.885 和 0.876,则中游的主要污染因子是 Cr^{6+} 和 BOD_5. 而在下游的八号桥则是氨氮关联度较高 0.916,氨氮是下游的主要污染因子. 由此可见,洋河中对水质污染影响较大的是 Cd、Cr^{6+}、BOD_5 和氨氮.

表 2　各污染物对水质影响排序

Table 2　Order of the pollutants affecting the water quality

名称	Cd	Pb	高锰酸盐指数	BOD_5	挥发酚	氰化物	氨氮	Hg	石油类	Cr^{6+}	As
左卫	0.883	0.876	0.854	0.839	0.832	0.826	0.820	0.815	0.809	0.807	0.797
响水铺	0.750	0.854	0.866	0.873	0.837	0.824	0.882	0.778	0.836	0.885	0.842
鸡鸣驿	0.833	0.802	0.851	0.876	0.853	0.768	0.858	0.830	0.808	0.834	0.726
八号桥	0.868	0.904	0.893	0.896	0.883	0.859	0.916	0.845	0.852	0.874	0.776

2.3　土地利用变化与水质演化分析

土地利用类型与流域水质存在一定的相关关系[19,20]. 虽然流域植被覆盖变化对水文的影响因流域面积、气候和植被类型等因素的不同而有差异,但就流域内(由不合理的土地利用引起的)植被减少而造成的河流沉积物增加、流域蓄水能力下降、水质下降、水处理成本增加,以及对水生生物危害等具有相关性. 从全球来看, 1965 年以来人口的急剧增长、过度放牧、垦荒、樵采等不合理的土地利用方式,已带来植被严重破坏、土地退化与耕地丧失、地下水位下降与人畜饮水短缺,成为区域社会经济可持续发展的羁绊[21~23].

根据洋河流域的自然、社会及区域功能特征,将其分为上中下游分别讨论土地利用变化对河流水质退化的影响,各段划分为:上游是穿越张家口市和联接宣化的河道,以左卫为代表; 中游为宣化至涿鹿之间,以响水铺和鸡鸣驿为代表; 下游是涿鹿至官厅水库之间,以八号桥为代表(见图 1). 利用氨

氮、高锰酸盐指数、石油类、BOD_5 这 4 项污染因子的单项污染指数,绘制洋河流域单项污染指数年度分布趋势(图 3),结合上中下游地区土地利用情况,对洋河上中下游地区河流退化关系进行解析[24].

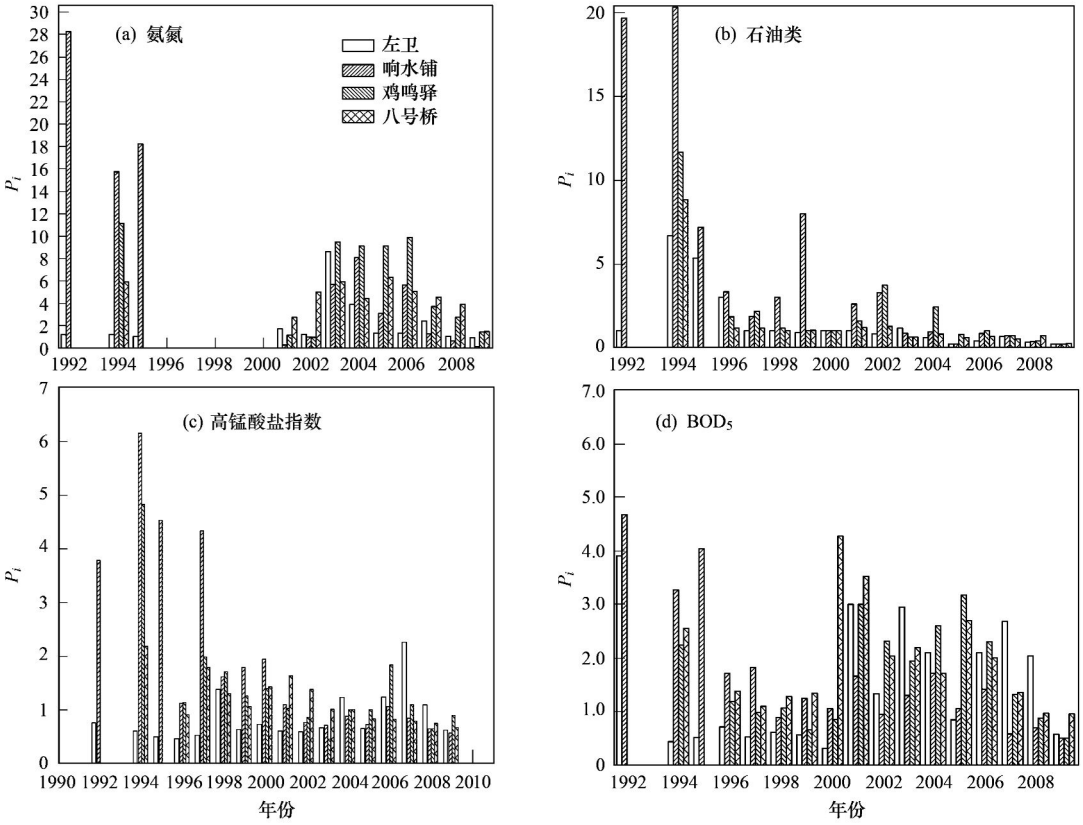

图 3 洋河流域单项污染指数年度分布趋势

Fig. 3 Annual distribution trend of pollution index at Yanghe

2.3.1 上游地区的土地利用变化与水质演化关系

上游地区主要以农业为主,随着近几年地方农业经济的迅速发展,农田施用大量化肥及农药,残留于土壤中的部分随农田排水和地表径流进入河道水体,近几年河道氨氮对水体的污染呈上升趋势. 随着流域内社会经济的发展,中、小企业的不断开办,1990 ~ 2005 年耕地、草地和水域面积减少,林地和城镇用地变化较小.

由于土地利用的变化,耕地、草地和水域面积减少,加剧了水土流失[25],同时降低了地表径流的调节能力. 洋河属于降水补给型的河流,根据观测资料显示,洋河上游径流年际变化较大,1951 ~ 2001 年 51 a 实测平均值为 5.209 亿 m^3, 20 世纪 60 年代比 50 年代减少了 32.5%,70 年代虽然流域降水量比 60 年代大,但年径流比 60 年代减少 51.1%,80、90 年代径流一直处于下降趋势(表 1). 森林面积的减少和耕地的增加,加大了下游洪水泛滥的频率和强度,使得降水再分配不均,致使径流系数、径流模数和径流深度都有所下降.

左卫位于洋河上游,远离城市和工业区,从单项污染指数的分析结果可以看出(图 3),主要污染因子是高锰酸盐指数和 BOD_5. 综合污染指数一直处于比较低的水平,在 1.0 左右波动,1992 ~ 1996 年间有轻度污染的迹象,但 1996 年以后波动下降,在 2003 年出现骤然增高的现象,达到最高值 1.49,之后一直较为平稳且降至 0.4 ~ 0.6 之间的较低水平(图 2). 由此可得,上游土地利用主要为耕地和林地,污染企业较少,多为面源污染. 通过植物吸收、土壤滞留、微生物降解等综合作用,减少和截留了部分有机污染物,从而抵销了农用土地上化肥、农药流失造成的污染,有利于改善河流水质.

2.3.2 中游地区的土地利用变化与水质演化关系

中游地区主要以工业为主,途经张家口市、宣化县,两岸集中张家口市大部分工矿企业,入河排污量较大,污染较严重,多为点源污染, 近 10 年来均为超Ⅴ类水质. 1990 ~ 2005 年,耕地、草地和水域面积变化不大,林地和城镇用地变化逐渐增多.

1951 ~ 2001 年洋河控制站响水铺年径流实测

多年平均值3.993 亿 m^3. 50 ~ 70 年代年径流虽较多,年平均值大,但呈减少趋势. 90 年代降雨比 70 年代少 27.0mm,年径流相差 2.340 亿 m^3,减少了 51.4% ,90 年代降雨量接近多年平均值,但年径流比多年平均值少了 1.722 亿 m^3,减少了 43.8%.

响水铺和鸡鸣驿位于洋河中游,距离排污口较近的 500 ~ 1 000 m处,污染较为严重. 根据响水铺和鸡鸣驿各污染因子的单项污染指数可知(图 3),氨氮、高锰酸盐指数和 BOD_5 值均高于 2.0,严重污染,只有石油类污染相对较轻. 其中,响水铺 1992、1994、1995 年度水质综合污染指数均超过 3.0(图 2), 1992 年污染程度最高,高达 6.83,属于重度污染. 1996 年之后综合污染指数呈下降趋势,降至轻度污染水平. 鸡鸣驿在 1994 年达到 3.42 峰值,趋于重度污染,但在 1996 年之后综合污染指数处于 1.0 ~ 2.0 之间,波动性较强,随后开始下降到 1.0 左右,处于轻度污染. 与洋河上游相比,中游河段河流水质出现恶化现象,这与中游地区的土地利用形式有直接关系,上游农用地较多,而中游偏重于工业用地[26]. 1972 ~ 1983 年,由于行政干预,政府投入资金使污染水体自 1979 年得到改善,并保持到 1983 年. 1984 ~ 1997 年,由于张家口市、宣化区迅速发展,工业用地急剧增多,污染治理工作严重滞后,使洋河水质恶化,处于严重污染状态. 1997 年官厅水库因上游给水河道洋河和桑干河污染,退出北京市饮用水源供给后,北京市和河北张家口市相继采取了一系列调控和整治措施,使得洋河水质开始趋于好转.

2.3.3　下游地区的土地利用变化与水质演化关系

以八号桥为代表的洋河下游地区,远离排污口,位于官厅水库的上游. 而官厅水库承担着北京市 1/4人口的生活饮用水、京西地区 13 个大中型企业生产用水及城近郊区 23 个湖泊公园景观用水的供给任务,所以该河段的水环境保护是该区域环境保护的重中之重.

由图 3 可以看出,八号桥的重要污染因子是氨氮 和 BOD_5. 综合污染指数一直比较平稳(见图2),维持 在 1.0 左右,只有 1994 年的综合污染指数为 2.3,属于中度污染,1996 ~ 2000 年逐渐降低,并都小于 1.0,直到 2001 年超过 1.0,并在 2003 年达到 1.3,此后又逐年降低至 1.0 左右. 该河段污染型工业企业较少,用地类型多为耕地和林地,水质相对较好.

3　结论

(1)洋河流域张家口段水体 1992 ~ 2009 年间,经历了污染严重到轻微污染的演化过程, 水体上游污染较轻,中游污染较重,下游水质较好. 氨氮、高锰酸盐指数、BOD_5、石油是主要的污染物,重金属 Cr^{6+} 和 Cd 也是对水质影响较大的污染因子,这与该地工业结构有关,该区域主要为化工厂、钢铁厂、肥料厂等.

(2)水质演化的驱动因子主要是土地利用类型,中游污染较重是由于该区域集中了较多的化工厂、农药厂、钢铁厂等,造成严重污染; 而上游和下游多为耕地、林地,远离城市和工业区,水质相对较好. 考虑到洋河流域张家口段是海河流域中污染较严重的河段,且负担着为北京供水的重任,该河段的水环境保护应是未来一段时间区域甚至全流域环境保护的重点.

参考文献:

[1] Luo W, Lu Y L, Giesy J P, *et al*. Effects of land use on concentrations of metals in surface soils and ecological risk around Guanting Reservoir, China[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2007, **29**(6): 459-471.

[2] Wang T Y, Lu Y L, Shi Y J, *et al*. Organochlorine pesticides in soils around guanting reservoir, China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2007, **29**(6): 491-501.

[3] Xue N D, Xu X B, Jin Z L. Screening 31 endocrine-disrupting pesticides in water and surface sediment samples from Beijing Guanting reservoir[J]. Chemosphere, 2005, **61**(11): 1594-1606.

[4] 金广远, 王铁宇, 颜丽, 等. 北京官厅水库周边土壤 DDTs 和 HCHs 暴露特征与风险评价[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 1359-1364.

[5] 康跃惠, 宫正宇, 王子健, 等. 官厅水库及永定河水中挥发性有机物分布规律[J]. 环境科学学报, 2001, **21**(3): 338-343.

[6] 陈伟. 官厅水库流域上游张家口市点源污染调查分析[J]. 水资源保护, 2004, **20**(1): 46-48, 62.

[7] 梁涛, 王浩, 丁士明, 等. 官厅水库近三十年的水质演变时序特征[J]. 地理科学进展, 2003, **22**(1): 38-44.

[8] 李俊杰, 李静洁. 张家口市洋河、桑干河流域水环境健康风险评价[J]. 中国环境监测, 2008, **24**(5): 92-95.

[9] 李一平, 逄勇, 吕俊, 等. 太湖富营养化的驱动因子分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, **32**(6): 644-647.

[10] 王博, 杨志强, 李慧颖, 等. 基于模糊数学和 GIS 的松花江流域水环境质量评价研究[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(6): 124-129.

[11] HJ/T 2.3, 环境影响评价技术导则[S].

[12] 朱永兰. 灰色系统在地表水水质评价及预测中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2008. 8-13.

[13] 罗海江, 朱建平, 蒋火华. 我国河流水质评价污染因子选择方案探讨[J]. 中国环境监测, 2002, **18**(4): 51-54.

[14] 官云兰, 周世健, 鲁铁定. 基于 ERDAS IMAGINE 的数字正射影像图的制作[J]. 测绘通报, 2005, (12): 31-33.

[15] 韩晓庆, 高伟明. 基于 ERDAS IMAGINE 的扫描地形图的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2007, **22**(6): 748-752.

[16] 邓聚龙. 灰色系统理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002. 124-125.

[17] 安乐生, 赵全升, 刘贯群, 等. 代表性水质评价的方法比较研究[J]. 中国环境监测, 2010, **26**(5): 47-51.

[18] 李思悦, 张全发. 运用水质指数法评价南水北调中线水源地丹江口水库水质[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(3): 61-68. .

[19] 郭青海, 马克明, 杨柳. 城市非点源污染的主要来源及分类控制对策[J]. 环境科学, 2006, **27**(11): 2170-2175.

[20] Rhodes A L, Newton R M, Pufall A. Influences of land use on water quality of a diverse New England watershed [J]. Environmental Science & Technology, 2001, **35**(18): 3640-3645.

[21] Fisher D S, Steiner D M, Endale D M, *et al*. The relationship of landuse practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia [J]. Forest Ecology and Management, 2000, **128** (1): 39-48.

[22] Ahearn D S, Sheibley R W, Dahlgren R A. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California [J]. Journal of Hydrology, 2005, **313**(3-4): 234-247.

[23] Lisa M G, Carolyn W B. Linking land-use, water body type and water quality in southern New Zealand[J]. Landscape Ecology, 2007, **22**(2): 231-241.

[24] 胡成, 苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(1): 186-192.

[25] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2008, **28**(12): 6305-6311.

[26] 宏哲, 武海俊, 高永华, 等. 张家口市水体污染现状分析及控制对策[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2010, **20**(1): 75-79.

HUANJING KEXUE Vol. 34 No. 1
Environmental Science (monthly) Jan. 15, 2013

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China ····· DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, *et al.* (1)
Compositions of Organic Acids in PM_{10} Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere ····· YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, *et al.* (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong ····· LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, *et al.* (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO_x and SO_2 from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption ····· WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region ····· WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, *et al.* (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer ····· CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, *et al.* (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane ····· ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, *et al.* (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea ····· WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010 ····· YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, *et al.* (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters ····· LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, *et al.* (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data ····· GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, *et al.* (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave ····· XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, *et al.* (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources ····· CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, *et al.* (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River ····· LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, *et al.* (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River ····· JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, *et al.* (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir ····· ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, *et al.* (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir ····· LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River ··· ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, *et al.* (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay ····· LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, *et al.* (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin ····· LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, *et al.* (137)
Isolation and Identification of *Marinobacter adhaerens* HY-3 and Its Allelopathy on *Skeletonema costatum* ····· WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, *et al.* (145)
Effects of the Rice Straw on *Microcystis aeruginosa* Analyzed by Different Physiological Parameters ····· SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, *et al.* (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of *Chlorella pyrenoidosa* ····· GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, *et al.* (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility ····· WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, *et al.* (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process ····· HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, *et al.* (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors ····· XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, *et al.* (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron ····· ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO_2 on Malachite Green ····· ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant ····· WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, *et al.* (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge ····· LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, *et al.* (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N_2O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge ····· HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of *Acidithiobacillus ferrooxidans* ····· XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, *et al.* (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu^{2+} and Cd^{2+} Biosorption by *Stenotrophomonas maltophilia* ····· BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, *et al.* (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides ····· XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, *et al.* (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina ····· MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, *et al.* (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City ····· YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, *et al.* (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing ····· QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, *et al.* (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment ····· YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, *et al.* (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA) ····· HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, *et al.* (257)
Isolation of Quizalofop-*p*-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony *in situ* Hybridization ····· LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, *et al.* (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions ····· MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon ····· ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, *et al.* (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC ····· HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, *et al.* (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in *Suaeda salsa* Wetland in the Yellow River Delta ····· DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland ····· FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, *et al.* (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil ····· CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, *et al.* (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous $Fe(OH)_3$ and Fe_3O_4 ····· CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi ····· LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions ····· DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, *et al.* (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons ····· LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, *et al.* (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis ····· TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, *et al.* (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor ····· HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, *et al.* (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing ····· HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, *et al.* (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient ····· TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, *et al.* (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City ····· REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, *et al.* (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou ····· PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, *et al.* (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors ····· SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing ····· DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands ····· HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军
朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明
欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞
黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环境科学

（HUANJING KEXUE）

（月刊　1976 年 8 月创刊）

2013 年 1 月 15 日　34 卷　第 1 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 1　Jan. 15, 2013

主　管	中国科学院	**Superintended** by	Chinese Academy of Sciences
主　办	中国科学院生态环境研究中心	**Sponsored** by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协　办	（以参加先后为序） 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	**Co-Sponsored** by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主　编	欧阳自远	**Editor-in -Chief**	OUYANG Zi-yuan
编　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn	**Edited** by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel：010-62941102, 010-62849343; Fax：010-62849343 E-mail：hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出　版	科学出版社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	**Published** by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	**Printed** by	Beijing Bei Lin Printing House
发　行	科学出版社 电话：010-64017032 E-mail：journal@mail.sciencep.com	**Distributed** by	Science Press Tel：010-64017032 E-mail：journal@mail.sciencep.com
订 购 处	全国各地邮电局	**Domestic**	All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	**Foreign**	China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian）, P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN 0250-3301 / CN 11-1895/X　　**国内邮发代号**：2-821

国 内 定 价：90.00 元　　**国外发行代号**：M 205

国内外公开发行