

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山铈矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭氧污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铈在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究

徐志伟^{1,2,3}, 张心昱^{2*}, 任玉芬^{1*}, 孙晓敏², 王效科¹, 王升忠³

(1. 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; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要: 利用2009~2010年北京城市生态系统地表水10处监测点水环境监测数据, 评价了北京城市生态系统地表水硝酸盐污染状况及其空间分布, 结合水化学因子相关关系分析了硝酸盐的主要来源。结果表明, 北京城市生态系统地表水硝态氮(NO_3^- -N)质量浓度为 $0.7 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中, 位于北京市东南部的地表水监测点(东便门和通惠河)水体 NO_3^- -N质量浓度为 $7.0 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著高于上游8个监测点 NO_3^- -N质量浓度($P < 0.01$); Cl^- 质量浓度为 $14.8 \sim 86.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 东便门、通惠河地表水监测点水体 Cl^- 质量浓度为 $81.5 \sim 85.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 约为上游其他8个监测点的2.3~5.8倍。东便门、通惠河地表水监测点水体电导率(EC)、 SO_4^{2-} 质量浓度也表现出同 NO_3^- -N、 Cl^- 相似的变化规律, 表明东便门、通惠河两处地表水监测点附近存在明显的污染源。相关分析表明, 地表水 Cl^-/Na^+ 和 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 呈明显的线性相关, 说明地表水 NO_3^- -N污染来源比较单一; 水体中 NO_3^- -N/ Cl^- 及 NO_3^- -N的质量浓度状况说明北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N污染来源主要是城市污水, 包括污水处理厂的废水、垃圾沥出液及生活污水。未来北京市地表水治理应重点关注东便门、通惠河等东南部下游水体污染治理。

关键词: 城市生态系统; 地表水; 硝酸盐; 水化学因子; 污水

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2569-05

Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water

XU Zhi-wei^{1,2,3}, ZHANG Xin-yu², REN Yu-fen¹, SUN Xiao-min², WANG Xiao-ke¹, WANG Sheng-zhong³

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The spatial variation in nitrate-nitrogen (NO_3^- -N) concentrations in surface water of ten sampling sites in the Beijing urban ecosystem from Kunminghu Lake to Tonghui River were assessed using monitoring data from 2009 to 2010. Nitrogen sources were examined using a hydro-chemical method. The results showed that the average nitrate-N concentrations of surface water in the Beijing urban ecosystem ranged from $0.7 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, with concentrations at all sites affected by human activities to a varying degree. The nitrate-N concentrations in the Dongbianmen and Tonghui River located in the southeastern of Beijing ranged from $7.0 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and were significantly higher than those in the upper reaches ($P < 0.01$). For all sampling sites, the chloride concentrations fell between $14.8 \sim 86.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The chloride concentrations at the furthest downstream sites, in the Dongbianmen and Tonghui River, ranged from $81.5 \sim 85.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and were 2.3~5.8 times higher than those in the upper reaches. This indicates that the surface water in Dongbianmen and Tonghui River is clearly affected by human activities and that there are outfalls or pollutant sources near these two sampling sites. Further, the Cl^-/Na^+ , $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ ratios showed that the majority of nitrate-N came from a single source. The information given by the nitrate-N concentrations combined with the NO_3^- -N/ Cl^- ratio implied that sewage effluent, including industrial waste water, leakage from solid waste disposal and domestic wastewater mainly controlled nitrate distribution in the Beijing urban surface water. The results from this study suggest that surface water management should focus on downstream sites located in the southeastern region of Beijing such as the Dongbianmen and Tonghui River in the future.

Key words: urban ecosystem; surface water; nitrate; hydro-chemical indicators; sewage

硝酸盐(NO_3^-)是地表水常见的污染物之一, 水体过量的 NO_3^- -N不但会引起水体富营养化、厌氧及生物多样性丧失^[1], 而且饮用水 NO_3^- 含量过高还会引起婴儿及牲畜的健康问题^[2]。美国环保署(EPA)、中国对水体硝酸盐规定的标准均为

收稿日期: 2011-10-11; 修订日期: 2012-02-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-310); 国家自然科学基金面上项目(41171153); 国家自然科学基金青年科学基金项目(40901265)

作者简介: 徐志伟(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为湿地环境变化及环境地球化学, E-mail: xuzw389@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangxy@igsrr.ac.cn, yfren@cees.ac.cn

$\leq 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[3,4], 而世界卫生组织 (WHO) 规定的水体硝酸盐标准为 $\leq 11.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 有研究发现北京市超过 60% 的河流、湖泊和水库水体富营养化较为严重, 主要指标即为氮^[5]. 目前, 对城市水体 NO_3^- 来源的研究多数集中于地下水^[6~8], 而对于地表水更多的是利用水质评价模型对主要河湖整体水质进行评价^[9~11], 对地表水 NO_3^- 污染来源的研究较少. 确定城市生态系统水体 NO_3^- -N 主要污染来源是改善城市生态系统水环境质量的首要解决的问题, 对城市景观生态建设、工业发展及居民生活有重要意义.

快速的城市化进程、不够完善的排污设施加剧了污染物向城市河流廊道及湖泊的排放. 城市生态系统水体 NO_3^- -N 是各种点源、面源污染综合作用的结果, 这其中包括污水处理厂排污、垃圾填埋场的沥出液、工厂排污、排水管道渗漏、大气沉降、建筑垃圾及游乐场排污等^[12]. 因距居民区、工业排污点的远近及氮的形态转化等因素的差异会引起一定区域内水体硝酸盐污染的空间差异. 岳甫均等^[13]对天津市氮污染研究发现水体 NO_3^- 污染也存在明显差异; 肖智毅^[14]利用 STATA 4.0 统计软件结合单因素方差分析对 1990 ~ 2000 年北京市海淀区地下水 NO_3^- 污染状况及影响因素进行分析, 发现水体 NO_3^- 超标率为 8.5%, 且地下水 NO_3^- 污染有明显的空间差异.

水化学方法是判别水体 NO_3^- -N 污染来源的一种传统方法. 一种是利用不同污染源的排放数据及 NO_3^- 质量浓度来分析水体 NO_3^- 的污染来源, 通过对天津、苏州、广州、辽宁海城等地区地表水 NO_3^- 污染研究发现生活污水及工业废水为城市生态系统地表水 NO_3^- 主要污染来源^[15~19]; 另一种是利用水中其他离子进行研究, 因不同污染来源中离子成分存在差异, 如生活污水中氯离子 (Cl^-) 质量浓度较高, 而建筑垃圾及污水处理厂排放的废水中硫酸根离子 (SO_4^{2-}) 较高, 这种方法也同样被诸多学者应用于不同生态系统地表水、地下水氮循环及 NO_3^- -N 的污染来源的研究^[20~22].

本研究利用北京城市生态系统 10 个典型地表水监测点 2009 ~ 2010 年地表水水环境指标监测数据, 对北京城市生态系统典型地表水 NO_3^- -N 污染状况、空间差异进行分析, 并通过水化学分析方法研究其 NO_3^- -N 主要污染来源, 以期北京市地表水 NO_3^- -N 污染治理提供科学依据.

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

研究区昆明湖至通惠河段, 从北京市西北郊颐和园附近流向北京市东南, 最终经河北、天津流向渤海, 涉及到的河流主要有长河、转河、北护城河、菖蒲河及通惠河, 均属于通惠河水系, 总流域面积 250 km^2 , 各地表水采样点分布情况如图 1 所示. 昆明湖为一半自然、半人工的湖泊, 原为众多泉水汇聚成的天然湖泊. 长河最初经金代开挖, 元代加以扩建并完善, 成为北京城区水源的重要通道, 全长 5.5 km. 转河为北京北环水系中长河的一部分, 西起北京展览馆, 东到新街口北护城河, 全长 3.7 km. 北护城河起自西直门北三叉河口, 向东流经德胜门、安定门至东北城角, 与东护城河相接, 宽 26 m, 全长 6.9 km. 菖蒲河位于天安门东, 河道全长 510 m, 水面宽 9 m, 水深 1.5 ~ 2 m, 河道两岸为 20 m 宽的绿地. 通惠河全长 22 km, 位于北京市东郊, 曾为著名的南北大运河的北段. 在本研究中, 采样点昆明湖位于昆明湖出口处, 长春桥、图书馆、动物园、转河均分布在长河, 前海、护城河分布在北护城河, 东便门、通惠河分布于通惠河.



图 1 地表水采样点分布示意

Fig. 1 Location of the surface water sampling sites

1.2 监测、分析方法与数据处理

利用中国生态系统网络北京城市生态站 10 个典型地表水监测点 2009 ~ 2010 年 2 次/月监测数据, 对北京市地表水 NO_3^- -N 空间分布、来源进行了分析.

地表水昆明湖至通惠河段 10 个采样点的 pH、电导率、各种阴、阳离子监测数据, 结合水化学方法分析北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N 污染来源. 其中 pH、电导率分别用 pH 计和电导率仪进行测定. NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的测定水样先用

0.45 μm 聚碳酸酯滤膜过滤后,用 ICS-1000 离子色谱分析(美国戴安公司).所有监测数据在 Excel 2003 中处理,用 SPSS 进行统计分析.

2 结果与讨论

2.1 硝酸盐及其他水化学指标空间变化

表 1 为北京城市生态系统地表水化学要素指标.各样点地表水 pH 平均大于 7.5,呈弱碱性,其中前海和菖蒲河 pH>8.0.昆明湖至菖蒲河 EC 在 450~600 μS·cm⁻¹ 之间,东便门及通惠河 EC>900 μS·cm⁻¹.Cl⁻ 质量浓度为 14.8~86.0 mg·L⁻¹,从上游至下游呈逐渐升高趋势,不同监测点 Cl⁻ 质量浓度差异达到极显著水平($P<0.01$),下游东便门、通惠河 Cl⁻ 质量浓度约为上游监测点的 2.3~5.8 倍.地表水 NO₃⁻-N 质量浓度变化范围为 0.7~7.6

mg·L⁻¹,流域上游昆明湖至菖蒲河地表水监测点 NO₃⁻-N 质量浓度较低,其平均值变化范围为 0.7~3.4 mg·L⁻¹.下游东便门和通惠河地表水 NO₃⁻-N 质量浓度为 7.6 mg·L⁻¹、7.0 mg·L⁻¹,且显著高于上游监测点($P<0.01$).根据 WHO 规定的饮用水 NO₃⁻-N 的标准 10 mg·L⁻¹,东便门和通惠河地表水 NO₃⁻-N 质量浓度超标率分别为 36%、23%.研究认为水体 NO₃⁻-N 地球化学背景值为 2.0 mg·L⁻¹[23],北京市地表水均有不同程度的 NO₃⁻-N 污染现象,以下游的东便门和通惠河尤为严重.

北京市地表水 10 个监测点中,东便门和通惠河监测点地表水 NO₃⁻-N、Cl⁻ 质量浓度均显著高于上游的 8 个监测点地表水,水体污染较为严重.地表水 NO₃⁻-N、Cl⁻ 质量浓度明显的空间差异说明在下游东便门和通惠河监测点附近存在污染源.

表 1 北京城市生态系统地表水水化学要素组成 (Mean±S.E.)(n=38)¹⁾
Table 1 Hydro-chemical compositions of Beijing urban ecosystem surface water

采样点名称	pH	EC/μS·cm ⁻¹	Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/mg·L ⁻¹
昆明湖	8.0±0.04(c)	469±18(a)	14.8±1.09(a)	71.3±6.18(a)	1.8±0.13(a)
长春桥	7.7±0.04(a)	548±20(a)	20.7±1.27(b)	78.3±4.19(b)	3.0±0.22(b)
图书馆	7.6±0.03(a)	588±19(b)	24.4±1.47(b)	82.3±5.09(b)	3.4±0.25(b)
动物园	7.6±0.03(a)	593±21(b)	25.5±1.56(b)	81.6±3.75(b)	3.3±0.29(b)
转河	7.7±0.03(a)	592±22(b)	25.7±1.39(b)	77.1±3.64(a)	3.0±0.26(b)
护城河	7.8±0.04(b)	577±21(b)	28.8±1.74(b)	81.4±5.64(b)	2.5±0.23(b)
前海	8.1±0.07(c)	541±16(a)	28.1±1.31(b)	84.5±5.54(b)	2.0±0.20(a)
菖蒲河	8.3±0.06(c)	562±24(a)	36.2±1.23(c)	99.1±5.95(c)	0.7±0.11(a)
东便门	8.0±0.09(c)	931±45(c)	81.5±5.27(d)	92.5±4.22(c)	7.6±1.49(c)
通惠河	7.8±0.10(b)	943±45(c)	86.0±5.54(d)	99.2±4.88(c)	7.0±0.88(c)

1) 每列中不同的字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 应用水化学指标示踪 NO₃⁻-N 污染源

地表水 NO₃⁻-N 的可能污染源有大气沉降、工厂废水、动物粪便、生活污水及土壤微生物氮等,而城市生态系统地表水污染源主要是大气沉降、工厂废水、生活污水^[12]、园林、建筑用的肥料、垃圾渗漏液等.由于受各种物理、化学、生物过程的影响,使得单靠对地表水 NO₃⁻-N 质量浓度及变化趋势的监测不能有效地分辨水体硝酸盐的污染源.

图 2 为北京市地表水 Cl⁻/Na⁺ 和 SO₄²⁻/Ca²⁺ 变化关系图.从图 2(a)中看出北京市地表水 Cl⁻/Na⁺ 比值接近 1:1,二者相关性达到极显著水平($r=0.928$, $P<0.01$).城市生态系统中地表水潜在的 Cl⁻ 污染源主要是污水及融雪剂,其中融雪剂中使用最为普遍的是 NaCl.从昆明湖到下游东便门地表水 Cl⁻/Na⁺ 比值有显著的上升趋势($P<0.01$),昆

明湖 Cl⁻/Na⁺ 比值为 1.08±0.06,而在下游通惠河和东便门 Cl⁻/Na⁺ 比值升高到 1.42±0.06,说明下游地表水 NO₃⁻-N 可能主要受污水影响,使得 Cl⁻/Na⁺ 比值高于上游地表水.图 2(b)为北京市地表水 SO₄²⁻/Ca²⁺ 变化关系,可以看出北京市地表水 10 个监测点 SO₄²⁻/Ca²⁺ 比值在 1:1~2:1 之间,变化趋势相似($r=0.490$, $P<0.01$),且东便门监测点地表水 SO₄²⁻ 质量浓度相对于其它 10 个监测点地表水更高.城市生态系统地表水 SO₄²⁻ 的主要污染来源为建筑及工业生产中使用的石膏以及污水处理过程中为防止藻类生长而使用的 CuSO₄^[24].地表水 Cl⁻/Na⁺ 和 SO₄²⁻/Ca²⁺ 变化趋势表明下游的东便门和通惠河地表水主要受城市生活污水影响.此外,从图 2 还可以看出,10 个监测点地表水 Cl⁻/Na⁺ 和 SO₄²⁻/Ca²⁺ 变化趋势均基本一致,说明影响这 10 个监测点

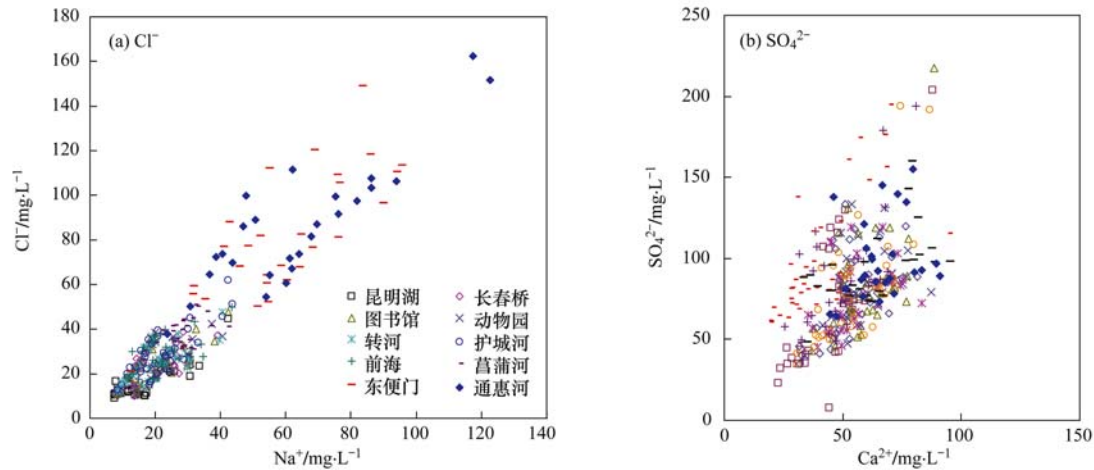


图2 北京城市生态系统地表水 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 和 Cl^-/Na^+ 变化关系

Fig. 2 Relationship between SO_4^{2-} and Ca^{2+} , Na^+ and Cl^- concentration of the surface water in Beijing urban ecosystem

地表水 NO_3^- -N 的污染来源较为单一^[24].

一般城市生活污水及工业废水中 Cl^- 质量浓度较高, Cl^- 因不受水中各种物理、化学及微生物过程的影响, 是污水的主要水化学指示因子. 利用 NO_3^- -N/ Cl^- 方法能够为水体 NO_3^- -N 污染来源提供更有效的信息^[25,26]. 近几年有很多学者利用 NO_3^- -N/ Cl^- 开展有关水体 NO_3^- -N 的污染来源研究^[27~29].

图3为北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N/ Cl^- 变化关系. 可以看出, 北京市地表水上游昆明湖至菖蒲河地表水 NO_3^- -N/ Cl^- 比值较低, 分布较为集中; 东便门及通惠河监测点地表水 NO_3^- -N、 Cl^- 质量浓度高于上游监测点, 且 NO_3^- -N 质量浓度随着 Cl^- 质量浓度的升高而迅速升高, 二者之间存在显著相关性 ($P < 0.01$). 城市污水中 Cl^- 离子质量浓度较高,

说明北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N 的主要污染源可能是污水, 这与 Wakida 等^[12] 对城市生态系统水体 NO_3^- -N 污染来源的研究结果一致, 污水可能主要是废水处理厂排放、垃圾沥出液及生活污水等. 经调查发现高碑店污水处理厂位于下游通惠河监测点南端, 因通惠河本身没有补水系统, 其蓄水主要靠高碑店污水处理厂. 尽管污水经污水处理厂处理后才排入通惠河, 但依旧会对河道水体产生影响. 研究表明未经处理的工厂废水及生活污水对地表水 NO_3^- -N 质量浓度有严重影响^[30], 即使是根据二级污水处理技术所能达到的程度, 最后排放的污水也会含有一定数量的污染物质 (有机质、氮、磷等), 同样会造成水体富营养化和水华现象. 此外, 也有学者提出路面尘埃对地表水 NO_3^- -N 的贡献也不容忽视^[31].

3 结论

(1) 2009 ~ 2010 年北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N 质量浓度为 $0.7 \sim 7.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中北京市西北部、市中心监测点水体污染不明显, 东南部的水体 NO_3^- -N 质量浓度显著高于其他监测点 NO_3^- -N 质量浓度 ($P < 0.01$), Cl^- 、 SO_4^{2-} 、EC 质量浓度也存在同样的变化规律, 表明北京市地表水污染主要发生在市区的东南部.

(2) 地表水 Cl^-/Na^+ 和 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ 呈明显的线性相关, 各监测点变化趋势相似, 说明地表水 NO_3^- -N 污染来源比较单一. 水体中 NO_3^- -N/ Cl^- 及水体 NO_3^- -N 的质量浓度状况说明北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N 污染来源主要是城市污水, 以下游的东便门、通惠河污染最为严重.

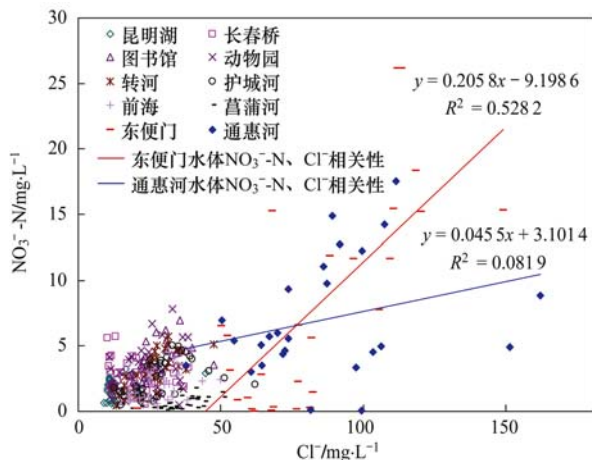


图3 北京城市生态系统地表水 NO_3^- -N/ Cl^- 变化关系

Fig. 3 Relationship between NO_3^- -N and Cl^- concentration of the surface water in Beijing urban ecosystem

致谢:感谢中国生态系统研究网络北京城市生态站王华峰、王巧环等对样品的采集和分析工作。

参考文献:

- [1] Galloway J N, Aber J D, Erisman J W, *et al.* The nitrogen cascade[J]. *Bioscience*, 2003, **53**(4): 341-356.
- [2] Fennessy M S, Cronk J K. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1997, **27**(4): 285-317.
- [3] Nolan B T, Hitt K J. Vulnerability of shallow groundwater and drinking-water wells to nitrate in the United States[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, **40**(24): 7834-7840.
- [4] GB 3838-2002. 中华人民共和国环境质量标准[S].
- [5] 荆红卫. 北京市地表水污染原因分析与防治对策[J]. *城市环境与城市生态*, 2006, **19**(4): 17-19.
- [6] 李春萍, 李国学, 罗一鸣, 等. 北京市6座垃圾填埋场地下水环境质量的模糊评价[J]. *环境科学*, 2008, **29**(10): 2729-2735.
- [7] 刘宏斌, 雷宝坤, 张云贵, 等. 北京市顺义区地下水硝态氮污染的现状与评价[J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, **7**(4): 385-390.
- [8] 徐志伟, 张心昱, 孙晓敏, 等. 2004~2009年我国典型陆地生态系统地下水硝态氮评价[J]. *环境科学*, 2011, **32**(10): 2827-2833.
- [9] 荆红卫, 华蕾, 孙成华, 等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. *湖泊科学*, 2008, **20**(3): 357-363.
- [10] 李婷, 武晓峰. 基于PPI的河段水体潜在污染研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2619-2626.
- [11] 张微微, 孙丹峰, 李红, 等. 北京密云水库流域1980~2003年地表水质评价[J]. *环境科学*, 2010, **31**(7): 1483-1491.
- [12] Wakida F T, Lerner D N. Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study[J]. *Water Research*, 2005, **39**(1): 3-16.
- [13] 岳甫均, 李军, 刘小龙, 等. 利用氮同位素技术探讨天津地表水氮污染[J]. *生态学杂志*, 2010, **29**(7): 1403-1408.
- [14] 肖智毅. 海淀区地下水硝酸盐污染及其影响因素[J]. *环境与健康杂志*, 2003, **20**(3): 158-160.
- [15] 秦保平, 房玉梅, 高翔, 等. 天津市地表水环境氮污染特征及来源解析[J]. *城市环境与城市生态*, 2009, **22**(4): 37-40.
- [16] 刑光熹, 施书莲, 杜丽娟, 等. 苏州地区水体氮污染状况[J]. *土壤学报*, 2001, **38**(4): 540-546.
- [17] 俞盈. 广州城市水体氮污染研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007.
- [18] 徐宁, 段舜山, 林秋奇, 等. 广东大中型供水水库的氮污染与富营养化分析[J]. *生态学杂志*, 2004, **23**(3): 63-67.
- [19] Bu H M, Meng W, Zhang Y. Nitrogen pollution and source identification in the Haicheng River basin in Northeast China[J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(18): 3394-3402.
- [20] Petitta M, Fracchiolla D, Aravena R, *et al.* Application of isotopic and geochemical tools for the evaluation of nitrogen cycling in an agricultural basin, the Fucino Plain, Central Italy[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, **372**(1-4): 124-135.
- [21] Katz B, Copeland R, Greenhalgh T, *et al.* Using multiple chemical indicators to assess sources of nitrate and age of groundwater in a karstic spring basin[J]. *Environmental & Engineering Geoscience*, 2005, **11**(4): 333-346.
- [22] Andrade A I A S S, Stigter T Y. Multi-method assessment of nitrate and pesticide contamination in shallow alluvial groundwater as a function of hydrogeological setting and land use[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, **96**(12): 1751-1765.
- [23] Muller D K, Helsel D R. Nutrients in the nations water-too much of a good thing? [R]. USGS National Water-Quality Assessment Program Circular, 1996. 1136.
- [24] Panno S V, Hackley K C, Hwang H H, *et al.* Determination of the sources of nitrate contamination in karst springs using isotopic and chemical indicators[J]. *Chemical Geology*, 2001, **179**(1-4): 113-128.
- [25] Widory D, Kloppmann W, Chery L, *et al.* Nitrate in groundwater: An isotopic multi-tracer approach[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2004, **72**(1-4): 165-188.
- [26] Widory D, Petelet-Giraud E, Négrel P, *et al.* Tracking the sources of nitrate in groundwater using coupled nitrogen and boron isotopes: A synthesis[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(2): 539-548.
- [27] Lee K S, Bong Y S, Lee D, *et al.* Tracing the sources of nitrate in the Han River watershed in Korea, using $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ values[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **395**(2-3): 117-124.
- [28] Li S L, Liu C Q, Li J, *et al.* Assessment of the sources of nitrate in the Changjiang River, China using a nitrogen and oxygen isotopic approach[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(5): 1573-1578.
- [29] Katza B G, Chelette A R, Pratt T R. Use of chemical and isotopic tracers to assess nitrate contamination and ground-water age, Woodville Karst Plain, USA[J]. *Journal of Hydrology*, 2004, **289**(1-4): 36-61.
- [30] Xie Y X, Xiong Z Q, Xing G X, *et al.* Assessment of nitrogen pollutant sources in surface waters of Taihu Lake region[J]. *Journal of Environmental Science*, 2007, **17**(2): 200-208.
- [31] Kojima K, Murakami M, Yoshimizu C, *et al.* Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition[J]. *Chemosphere*, 2011, **84**(11): 1716-1722.

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-jiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《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)

2012年8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行