

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铨, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圻, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征

赵钰^{1,2}, 单保庆^{1*}, 张文强^{1,2}, 王超^{1,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 选取海河流域子牙河水系典型污染河流为研究对象, 对河流水体与沉积物中氮素组成及空间污染特征进行了研究。结果表明, 子牙河水系各河流为高 NH_4^+ -N污染, TN 浓度均值为 $31.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过国家地表水 V 类标准 15 倍, NH_4^+ -N 浓度最高, 占 TN 的质量分数为 79%, 总有机氮 (TON) 次之; 表层沉积物中含氮物质主要以有机氮形式存在, 平均含量为 $3.290 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 约为 NH_4^+ -N 的 4.5 倍; 子牙河水系水体中 NH_4^+ -N 与 TON、 NH_4^+ -N 与 t 存在显著正相关 ($P < 0.01$), 表层沉积物中 NH_4^+ -N、有机氮 (SON) 与 TOC 之间存在显著正相关 ($P < 0.01$); 子牙河水系河流表层沉积物普遍处于有机污染状态, 根据有机污染评价结果显示有机氮污染造成的影响要略高于有机碳, 北澧河沉积物污染最为严重。

关键词: 水; 沉积物; 氮素; 有机氮; 子牙河水系

中图分类号: X131.2; X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0143-07

Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin

ZHAO Yu^{1,2}, SHAN Bao-qing¹, ZHANG Wen-qiang^{1,2}, WANG Chao^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to research the spatial distribution characteristics and pollution condition of nitrogen in water and sediment, the Ziya River Basin was selected as the study area. The results showed: the average TN concentration of all water body samples was $31.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, which was 15 times higher than the V-class standard of national surface water, where the NH_4^+ -N accounted for about 79% of TN ratio, followed by total organic nitrogen (TON). The organic nitrogen was the major form to exist in nitrogenous substances of surface sediment; and the average concentration was $3.290 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, which was 4.5 times higher of NH_4^+ -N's. In the waters of Ziya River Basin, NH_4^+ -N had a significantly positive correlation with TON and t , respectively ($P < 0.01$); as well as both NH_4^+ -N and sediment organic nitrogen (SON) were significantly positively correlated to TOC ($P < 0.01$) in the surface precipitation. The surface sediment of Ziya River Basin was in the state of organic pollution, and Beili River was in the most serious status. It was worth mentioning that the influence of organic nitrogen pollution was just above the organic carbon's.

Key words: water; sediment; nitrogen; organic nitrogen; Ziya River Basin

河流是陆地水文循环的重要途径, 是水资源的重要来源^[1]。随着经济的发展, 人类活动的加剧使得河流水环境过程变得越来越复杂。一方面工农业污染物持续地输入河流; 另一方面水库、闸坝等水利设施的修建改变了河流的水文过程, 使得河流自净能力下降, 污染加剧^[2]。河流污染及保护已成为我国河流面临的重要问题。氮素是造成河流水环境问题的重要因素之一, 而氮素在河流生态系统中的生物地球化学行为将影响到河流水体氮素增加、去除等环境效应^[3]。受流域特征、污染物来源、水文过程等自然社会要素影响, 我国河流水体及沉积物中氮素空间分布存在明显差异^[4]。因此, 实地调查河流水环境中氮素的组成及空间差异有助于了解河流氮素迁移转化规律及对污染物来源的准确分析。

我国长江流域以北地区占国土面积 63.5%, 水资源占有量约 19%^[5]。海河流域为我国北方典型缺水区域, 水资源短缺问题尤为突出。海河流域多

年缺水率达 21%, 河北省缺水率最高, 达 27%^[6]。子牙河水系作为海河流域九大水系之一, 上游水库蓄积的河流水资源主要供应石家庄市、邯郸市、邢台市与衡水市经济社会发展, 下泄自然水量极少, 导致中下游部分河流断流或常年无水。子牙河水系洺河、白马河、李阳河等河流现已常年断流, 部分河道已消失; 有自然来水的河流现仅存滏阳河与南澧河及其上游河流沙河。滏阳河沿途有来自邯郸、邢台及石家庄市的处理达标或未达标的生活污水与工业废水汇入河流, 成为子牙河水系补给河流的重要水源之一。子牙河水系上游水库的修建、水资源的过度利用、人类活动的干扰及自然气候等因素导致子牙河水系中下游河流无水或污染严重^[7]。因此基

收稿日期: 2013-01-29; 修订日期: 2013-06-22

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07203-003, 2012ZX07203-006)

作者简介: 赵钰 (1984 ~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为氮素的生物地球化学循环过程, E-mail: zhaoyugreen@163.com

* 通讯联系人, E-mail: bqshan@cees.ac.cn

于流域经济发展水平、污染特征和水专项对海河流域治理需求,选取典型污染区域子牙河水系作为研究区域,分析子牙河水系河流氮素空间分布特征及污染状况. 这有助于了解流域水环境特征及污染成因,以期制定合理的环境治理政策提供支持.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

海河流域是我国七大流域之一,东临渤海,西倚太行,南界黄河,北接蒙古高原. 流域总面积 31.82 万 km^2 , 占全国总面积的 3.3%, 流域内共有九大水系. 子牙河水系位于大清河水系以南,漳卫南运河水系以北,有滹沱河、滏阳河两支,跨越山西、河北、天津,流域面积 46 868 km^2 ,属北温带大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春秋多风沙,平均气温 13.4 $^{\circ}\text{C}$; 年均降雨量 550 mm,集中于 7~9 月,占年降雨量 70%. 其中滏阳河发源于太行山南段东麓邯郸市峰峰矿区,自东武仕水库流经磁县、邯郸等县市,于艾辛庄与滏阳新河汇合,艾辛庄以下经滏阳河及滏阳新河东北流经至献县,与滹沱河汇合后称子牙河^[8]. 子牙河水系主要有洺河、留垒河、顺水河、北澧河等支流,为扇形水系,沿线有永年洼、大陆泽、宁晋泊等滞洪洼地. 子牙河水系组成详见图 1.

1.2 采样方法

2011 年 8 月针对子牙河水系进行水样与沉积物样品采集,调查河流包括滏阳河、滏阳新河、子牙河、子牙新河、留垒河、牛尾河、顺水河、南澧河、北澧河、洺河、汪洋沟、邵村排干共计 12 条河流. 共设置监测断面 35 个,各河流按照上游至下游编号,其中滏阳河上游(a01~a05);滏阳河下游(a06~a10)子牙河(a11);留垒河(b01);汪洋沟(c01~c04);邵村排干(d02~d04);南澧河(e01);北澧河(e02~e04);滏阳河与北澧河等汇合段(e05);滏阳新河(e06~e10);子牙新河(e11);牛尾河(f01、f02);洺河(g01~g03). 除滏阳河(a02)、滏阳河(a07)、滏阳河(a10)、留垒河(b01)、滏阳新河(e04~e09)未采到表层沉积物外,其他均采集到水样与沉积物样品. 为方便分析,按照河流的空间分布特征将子牙河水系河流分为滏阳河上游、滏阳河下游、南澧河、北澧河、滏阳新河、子牙河、牛尾河、洺河、汪洋沟和邵村排干共计 10 个河段. 所有采样点均采用 GPS 定位,采样点分布图运用 Arcgis10.0 绘制(见图 1).

其中采集水样 35 个,沉积物表层样 22 个. 水样为河流表层水样(10~30 cm),水样采集后,盛于 100 mL 聚乙烯小方瓶,共采集两瓶,根据测定需要对水样进行预处理. 利用水质分析仪(YSI Professional Plus)现场测定水样温度(t)、pH、溶解氧(DO)、氧化还原电位(ORP). 水样在 0~8 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏箱保存运输. 沉积物采取表层 10 cm 样品,盛于 7 号聚乙烯自封袋,在 -18 $^{\circ}\text{C}$ 车载冰箱保存运输. 其他样品理化指标带回实验室进行分析测定.

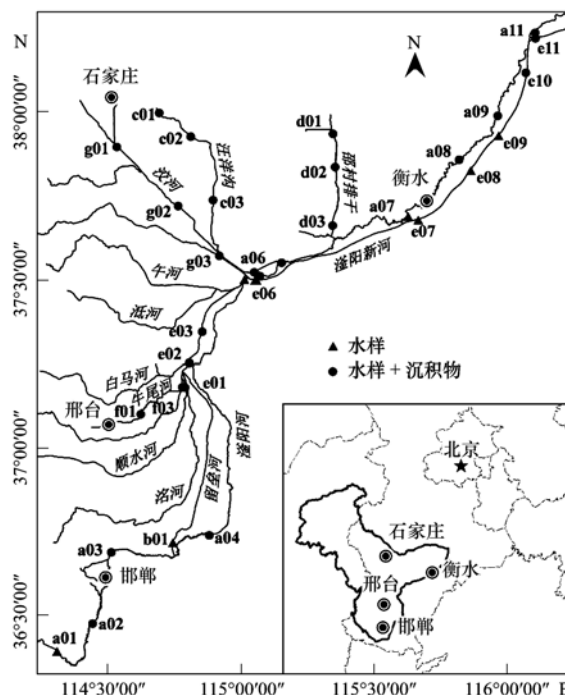


图 1 子牙河水系采样点分布

Fig. 1 Sampling sites of the Ziya River Basin

1.3 分析方法

1.3.1 样品分析方法

按照《水和废水监测分析方法》(第四版)测定水样中氨氮(NH_4^+-N)、硝氮(NO_3^--N)、亚硝氮(NO_2^--N)、溶解性总氮(DTN)和总氮(TN). 水体中有机氮(TON)为 TN 减去溶解性无机氮 DIN(NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 之和)^[9]. 沉积物样品经冷冻干燥后,研磨后过 100 目尼龙筛. 沉积物中总凯氮(TKN)按照《土壤农化分析》中半微量定氮蒸馏法测定. 沉积物中氨氮(NH_4^+-N)用 MgO 蒸馏法测定. 沉积物中有机氮(SON)为 TKN 减去 NH_4^+-N . 沉积物中硝氮(NO_3^--N)、亚硝氮(NO_2^--N)用 2 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液振荡提取 1 h(水土比为 10:1),离心分离后样液定容至 50 mL,提取液中 NO_3^--N 、 NO_2^--N 测定同水样. 其他理化指标如 t 、pH 用多参

数水质分析仪(美国 YSI professional plus)在原位进行测定.

采用 Origin 8.5 及 IBM SPSS 20.0 进行数据处理及图表绘制.

1.3.2 沉积物有机污染评价方法

本研究采用有机指数评价方法、有机氮污染评价方法以及有机碳与总凯氮生源要素评价标准对子牙河水系河流表层沉积物进行有机污染评价^[10, 11]. 有机指

数通常作为水域沉积物环境状况的指标;有机指数(organic index) = $\omega(\text{TOC}) \times \omega(\text{ON})$; 式中 $\omega(\text{TOC})$ 为有机碳质量分数(%); $\omega(\text{ON})$ 为有机氮质量分数(%). 有机指数及有机氮评价方法分为四级(如表1). 生源要素评价根据各要素含量分为三级:一类标准,在水生生物中未发现中毒效应;二类标准,此时沉积物已受污染,但多数底栖生物可以承受;三类标准,此时底栖生物群落已遭受明显的损害^[12].

表1 沉积物有机污染评价标准

Table 1 Sediment evaluation standards by organic index and biogenic elements

等级	I (清洁)	II (较清洁)	III (尚清洁)	IV (有机污染)
有机指数	<0.05	0.05 ~ 0.20	0.20 ~ 0.50	>0.50
$\omega(\text{ON})/\%$	<0.033	0.033 ~ 0.066	0.066 ~ 0.133	>0.133
生源要素	I	II	III	
$\omega(\text{TOC})/\%$	<1	1 ~ 10	>10	
$\omega(\text{TKN})/\%$	<0.055	0.055 ~ 0.480	>0.480	

2 结果与讨论

2.1 河流氮素组成及空间分布

子牙河水系河流整体氮污染严重,以 NH_4^+-N 为特征污染物(见图2). 35个监测断面的 TN 浓度均值为 $31.28 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超过国家地表水 V 类标准 15 倍. 子牙河水系水体中 DIN 占 TN 比例为 71% ~ 99%, 均值为 91%, 说明 DIN 是子牙河水系水体中氮营养盐的主要成分. 各河段 NH_4^+-N 除滏阳河源头、汪洋沟上游 c01 外,均高于国家地表水 V 类标准,均值为 $24.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 占 TN 比例为 79%; 子牙河水系 NO_3^--N 浓度均值为 $2.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 占 TN 的 7.48%; NO_2^--N 浓度均值为 $0.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 占 TN 的 1.10%. TON 作为水体中氮的另一重要形态,均值为 $5.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 约占 TN 的 17.42%. 表明 NH_4^+-N

为氮的主要存在形态,其次为 TON.

子牙河水系河流水体氮素质量浓度空间分布在较大差异(见图3和表2),上游水质优于下游水质. 10条河流中水体 TN 最低的3条河流分别为滏阳河上游、南澧河与留垒河,均位于上游,超过国家地表水 V 类标准,其中 NH_4^+-N 为 TN 的主要形态,主要是上游河流接收城市污水中 NH_4^+-N 的含量较高所致;北澧河较南澧河变化明显, TN 由 $4.90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 骤升至 $33.61 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NH_4^+-N 较其他形态氮变化明显,在北澧河向下游流动过程中存在点源或面源污染;汪洋沟与邵村排干水体 TN 最高,均超过 $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 汪洋沟以 NH_4^+-N 与 TON 为主要氮形态,邵村排干以 NH_4^+-N 为主要氮形态. 子牙河水系

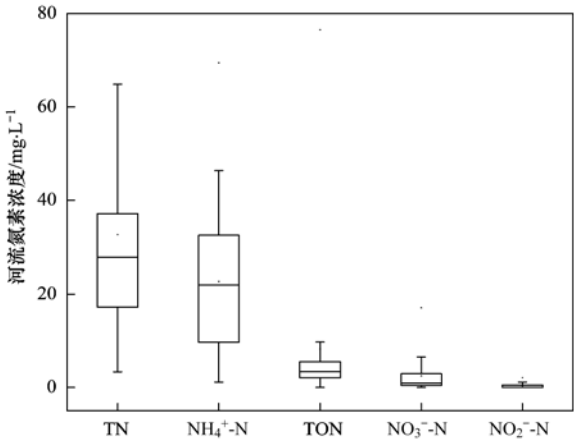


图2 子牙河水系河流氮素总体特征

Fig. 2 Water characteristics of nitrogen in the Ziya River Basin

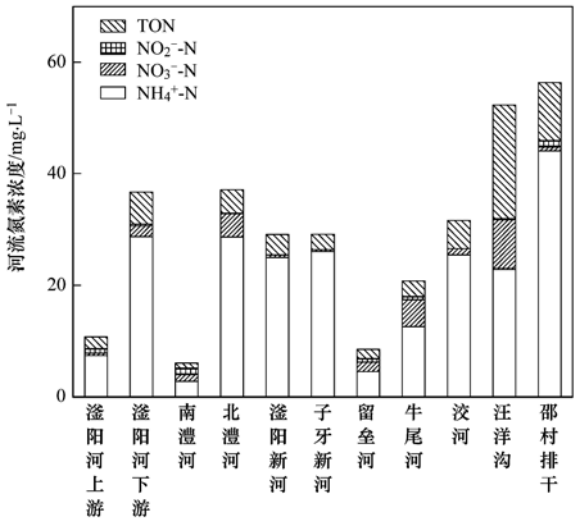


图3 子牙河水系河流氮素空间分布特征

Fig. 3 Spatial distribution characteristics of nitrogen in water samples of the Ziya River Basin

各河流水体氮素含量空间上存在明显差异且水体中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 为主要氮形态,均超过了国家地表水 V 类标准,这与沿途径流输入或废污水排入有关^[13]. 与国内其他河流比较,子牙河水系河流水体中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$

($24.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 为最高,略高于北方严重污染河流(白洋淀府河 $18.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[14]、西安市皂河 $16.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[15]),远高于巢湖柘皋河($1.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[4]、天津市永定新河($2.77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[16].

表 2 子牙河水系河流水体不同形态氮浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 2 Concentration of nitrogen fractions in water samples of Ziya River Basin/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

河流名称	TN	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	TON
滏阳河上游	10.59	7.37	0.43	0.82	2.13
滏阳河下游	35.24	28.66	1.90	0.39	5.75
南澧河	4.90	2.76	1.21	1.11	0.95
北澧河	33.61	28.60	4.16	0.07	4.26
滏阳新河	35.79	24.89	0.49	0.01	3.67
子牙新河	29.08	25.98	0.32	0.01	2.77
留垒河	8.48	4.50	1.67	0.67	1.63
牛尾河	19.28	12.56	4.88	0.57	2.78
洹河	37.99	25.36	1.09	0.07	5.04
汪洋沟	52.01	22.91	8.78	0.16	20.50
邵村排干	54.49	44.07	0.67	1.19	10.46

2.2 表层沉积物氮素形态及空间分布特征

子牙河水系表层沉积物中含氮物质主要以有机氮形式存在,氨氮则为无机氮的主要形态(见图 4). 表层沉积物中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的变化范围为 $218.4 \sim 1511.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $744.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量范围为 $7.1 \sim 80.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为 $17.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 含量范围为 $0.017 \sim 0.300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $0.133 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 子牙河水系沉积物中氨氮是无机氮的主要存在形态,平均含量占无机氮的质量分数为 97.2%. 而子牙河水系沉积物中 SON 平均含量为 $3.290 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围为 $1.101 \sim 8.951 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 沉积物中 SON 含量约为 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的 4.5 倍.

子牙河水系表层沉积物同表层水具有相似规

律,空间差异性明显(见图 5). 各河流表层沉积物 TN 含量变化趋势:子牙新河 < 滏阳新河 < 南澧河 < 滏阳河上游 < 牛尾河 < 邵村排干 < 洹河 < 滏阳河下游 < 汪洋沟 < 北澧河. 滏阳河沉积物中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 平均含量为 $569.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 南澧河、北澧河、滏阳新河沉积物中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 平均含量为 467.6、1428.2、579.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 牛尾河沉积物中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量为 $649.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 洹河沉积物从上游至下游 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量依次为 581.9、963.2、669.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 汪洋沟沉积物中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 平均含量为 $801.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 邵村排干上游至下游 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量分别为 $542.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1038.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 综上表明,子牙河水系各河流沉积物中氨氮均为无机氮的主要存在形态.

滏阳河各河流表层沉积物中 SON 从上游至下游存在明显差异,这与不同类型污染物输入有关. 其中北澧河沉积物 SON 最高,平均含量为 $6.395 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 牛尾河沉积物中 SON 含量为 $2.370 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 洹河沉积物中 SON 含量从上游至下游逐渐升高; 汪洋沟沉积物中 SON 含量为 $3.561 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 邵村排干沉积物 SON 含量为 $2.238 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

有机氮是子牙河水系表层沉积物中氮素的主要存在形式(表 3). 对比岳维忠等^[17]研究珠江口沉积物有机氮含量为 $1.119 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与张彦等^[18]对太湖北部湖区沉积物有机氮含量 $1.028 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,子牙河水系河流表层沉积物有机氮含量为最高,受污染程度最高. 自然状态下,沉积物中有机氮的来源为浮游植物、细菌、陆生高等植物等. 受人类活动影响,

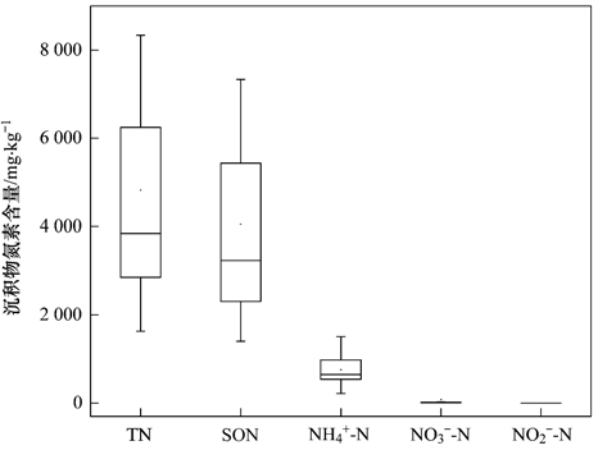


图 4 子牙河表层沉积物氮素总体特征

Fig. 4 Surface sediment characteristics of nitrogen in the Ziya River Basin

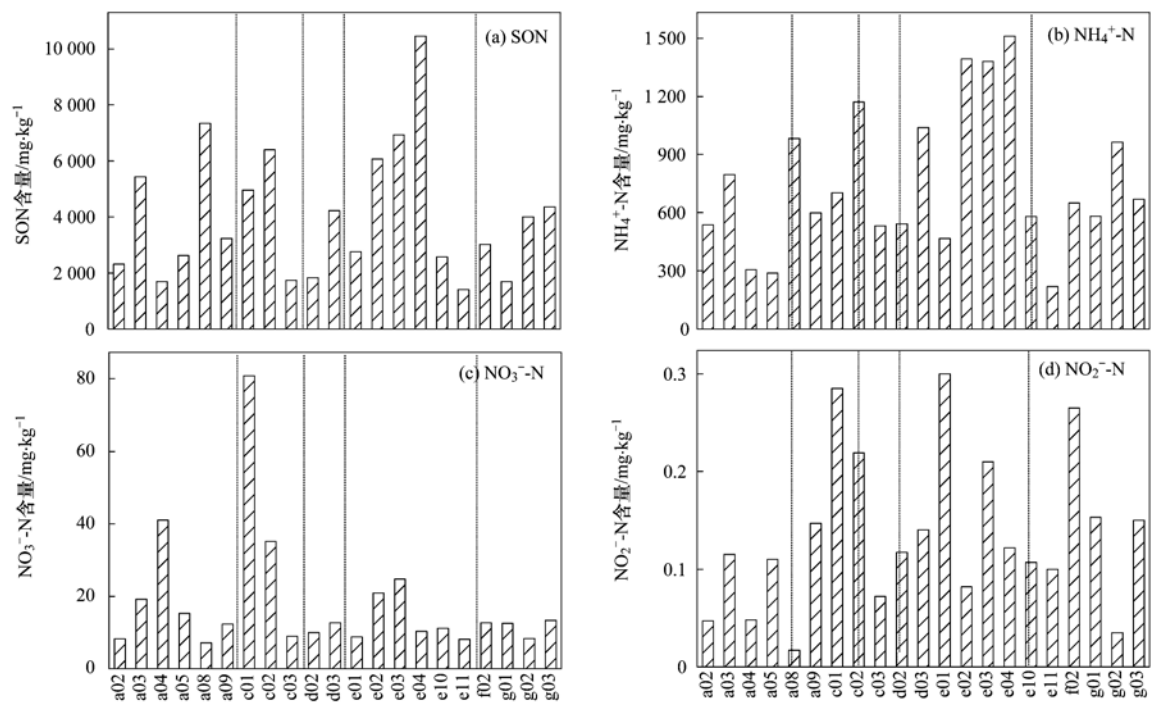


图5 子牙河水系河流沉积物氮素空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution characteristics of nitrogen in sediments of the Ziya River Basin

表3 子牙河水系河流沉积物中不同形态氮含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 3 Concentrations of nitrogen fractions in sediment samples of Ziya River Basin/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

河流名称	SON	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$
滏阳河上游	3 141. 98	545. 98	22. 81	0. 07
滏阳河下游	4 400. 11	623. 29	11. 55	0. 09
南澧河	2 746. 75	467. 59	8. 72	0. 30
北澧河	7 823. 14	1 428. 19	18. 61	0. 14
滏阳新河	2 571. 94	579. 25	11. 10	0. 11
子牙新河	1 404. 76	218. 40	8. 15	0. 10
牛尾河	3 020. 21	649. 80	12. 66	0. 26
洹河	3 347. 71	738. 11	11. 40	0. 11
汪洋沟	4 362. 35	801. 35	41. 63	0. 19
邵村排干	3 029. 25	790. 84	11. 33	0. 13

大量含有机氮高的生活污水、工农业废水与通过地表径流带来的污染物进入河流导致了沉积物中有机氮含量增高. 氨氮作为子牙河水系沉积物中氮素的另一主要形态,平均含量为 $744.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占无机氮的 97.2%,远高于太湖沉积物的 $199.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[18],略高于小清河河口内表层沉积物的 $656.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[19],可见子牙河水系河流沉积物氨氮污染严重. 沉积物氨氮的来源一方面是表层沉积物中有机氮在微生物的作用下矿化形成,而后被吸附在沉积物或进入孔隙水;另一方面来自上层水体中氨氮的输入. 有研究表明^[20],还原条件有利于沉

积物向上层水体释放 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,子牙河水系沉积物处于极度厌氧状态(ORP 均值为 -88.4 mV),沉积物中高有机氮及高氨氮在微生物、扩散及水流作用下重新释放至水体,将成为河流水体重要的氮源.

2.3 表层水-沉积物氮素与理化指标相关性

从表 4 可以看出,沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 SON、SON 与 TOC 及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TOC 的相关性最为明显($P < 0.01$);水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TON, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 t 相关性最为明显($P < 0.01$);水体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 与沉积物中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 有显著正相关($P < 0.05$),与水体中的 TON 有显著负相关($P < 0.05$);其他影响因素之间相关性不明显. 沉积物中氨氮主要来源于沉积物中有机氮的矿化,而沉积物中有机碳主要以有机氮形式存在. 随着有机氮矿化、有机碳的分解及沉积物中有机物质的增加,造成河流底部缺氧区形成^[21]. 河流底部缺氧区的形成阻碍了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 被氧化,进而导致河流沉积物中 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量偏低^[22]. 水体中氨氮与有机氮显著相关,表明水体中氨氮亦可能来源于有机氮的矿化,而温度同样是影响有机氮矿化的重要因素. 温度的提高促进了有机氮的矿化,进而导致 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的累积. 沉积物中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 则可能来源于水体中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 吸附于沉积物,而沉积物的还原环境促进了反硝化反应使部分

表 4 子牙河水系表层水-沉积物氮素与理化特征相关性分析($n=21$)¹⁾

	S-ON	S-NH ₄ ⁺ N	S-NO ₂ N	S-NO ₃ N	S-TOC	W-TON	W-NH ₄ ⁺ N	W-NO ₂ N	W-NO ₃ N	W-TOC	<i>t</i>	pH
S-ON	1.000	0.883 **	0.192	0.290	0.905 **	0.277	0.195	-0.180	0.178	0.340	0.083	-0.218
S-NH ₄ ⁺ N		1.000	0.160	0.292	0.816 **	0.297	0.258	-0.085	0.251	0.347	-0.048	-0.300
S-NO ₂ N			1.000	0.440 *	0.192	-0.200	-0.318	0.241	0.490 *	0.278	0.039	-0.010
S-NO ₃ N				1.000	0.196	-0.138	-0.197	0.144	0.455 *	0.308	0.031	0.025
S-TOC					1.000	0.101	0.061	0.021	0.220	0.168	0.035	-0.347
W-TON						1.000	0.788 **	-0.384	-0.521 *	0.242	0.226	-0.008
W-NH ₄ ⁺ N							1.000	-0.270	-0.359	0.219	0.566 **	-0.118
W-NO ₂ N								1.000	0.184	-0.425	0.125	-0.047
W-NO ₃ N									1.000	0.263	0.095	-0.205
W-TOC										1.000	-0.033	0.252
<i>t</i>											1.000	-0.258
pH												1.000

1) * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$; 样本数为 21

NO₃⁻-N 转换为 NO₂⁻-N.

2.4 河流表层沉积物有机污染评价

子牙河水系河流沉积物整体处于有机污染状态,其中有机氮污染造成的影响要略高于有机碳(见表 5). 结果表明,子牙河水系有机指数均值为 1.493,处于有机污染状态; $\omega(\text{ON})$ 的均值为 0.360%,属于有机氮污染. 以 TOC 与 TKN 生源要素评价, $\omega(\text{TOC})$ 均值为 3.199%,说明子牙河水系河流沉积物已受到 TOC 污染但多数底栖生物可以承受; $\omega(\text{TKN})$ 均值为 0.372%,表明子牙河水系河流沉积物受 TKN 污染严重,已影响到底栖生物生存.

从各河段有机指数评价来看,除子牙新河、滏阳新河外,其余 8 条河流均高于 0.500,处于有机污染状态,其中北澧河最高达到 5.161;从有机氮污染评价结果来看,10 条河流 $\omega(\text{ON})$ 均超过 0.133%,属于有机氮污染,北澧河亦为最高. 生源要素评价中, $\omega(\text{TOC})$ 除子牙新河外,各河流介于 1.713%~6.532%之间,说明各河流沉积物已受到有机碳污染,底栖生物已受影响; $\omega(\text{TKN})$ 介于 0.141%~0.782%之间,其中北澧河与汪洋沟分别为 0.782%、0.568%,说明各河流存在有机氮污染,沉积物高有机氮含量已使得北澧河与汪洋沟的底栖生物群落受到严重破坏.

表 5 子牙河水系河流表层沉积物有机污染评价结果

河流名称	有机指数评价		有机氮污染评价		有机碳生源要素		TKN 生源要素	
	有机指数	等级	ON/%	等级	TOC/%	等级	TKN/%	等级
滏阳河上游	1.352	IV	0.314	IV	3.215	II	0.314	II
滏阳河下游	1.994	IV	0.440	IV	3.236	II	0.440	II
南澧河	1.441	IV	0.275	IV	4.154	II	0.275	II
北澧河	5.161	IV	0.782	IV	6.532	II	0.782	III
滏阳新河	0.491	III	0.275	IV	1.911	II	0.257	II
子牙新河	0.135	II	0.140	IV	0.960	I	0.141	II
牛尾河	0.820	IV	0.302	IV	2.716	II	0.302	II
洹河	0.829	IV	0.335	IV	2.098	II	0.335	II
汪洋沟	2.112	IV	0.436	IV	5.452	II	0.568	III
邵村排干	0.596	IV	0.303	IV	1.713	II	0.303	II
全流域	1.493	IV	0.360	IV	3.199	II	0.372	II

3 结论

(1) 子牙河水系各河流水体中 NH₄⁺-N 为氮的主要存在形态,均值为 24.87 mg·L⁻¹,占 TN 的质量分数为 79%;其次为 TON. 表层沉积物中含氮物质主要以有机氮形式存在,平均含量为 3.290 g·kg⁻¹,而

氨氮为无机氮的主要形态,SON 含量约为 NH₄⁺-N 的 4.5 倍.

(2) 子牙河水系水体中 NH₄⁺-N 与 TON、NH₄⁺-N 与 *t* 存在显著正相关关系($P<0.01$);沉积物中 NH₄⁺-N、SON 与 TOC 之间存在显著正相关关系($P<0.01$). 有机氮矿化在水-沉积物界面中对氨氮有

一定的贡献。

(3)子牙河水系河流表层沉积物处于有机污染状态,其中有机氮污染现象尤为明显,各河流沉积物中北澧河、汪洋沟有机污染尤其是有机氮污染最为严重。

参考文献:

- [1] 王巧平,王建成.海河流域人类活动对径流的影响分析[J].海河水利,2009,(1):4-6.
- [2] 李文赞,李叙勇,王慧亮,等.滏阳河主要水环境污染物空间分布特性研究[J].环境科学学报,2012,32(11):2814-2819.
- [3] 马严,黎晓,严炎杰,等.平原河网河流氮素的环境生物-地球化学行为定量关系及水环境效应[J].三峡环境与生态,2011,33(3):10-14.
- [4] 储茵,朱江,夏守先,等.巢湖典型支流柘皋河水质污染时空变化特征[J].水土保持学报,2011,25(4):243-248.
- [5] 钱文婧,贺灿飞.中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(2):54-60.
- [6] 刘德民,罗先武,许洪元.海河流域水资源利用与管理探析[J].中国农村水利水电,2011,(1):4-8.
- [7] 杨守勇,周润健.子牙河水系:有水皆污[J].环境经济,2006,(12):22-24.
- [8] 熊洋,李文体.对子牙河水系水资源保护的思考[J].海河水利,2007,(1):16-17.
- [9] 黎文,白英臣,王立英,等.淡水湖泊水体中溶解有机氮测定方法的对比[J].湖泊科学,2006,18(1):63-68.
- [10] 李卫平,李畅游,张晓晶,等.内蒙古呼伦湖沉积物营养元素分布及环境污染评价[J].干旱区资源与环境,2010,(6):159-163.
- [11] 余辉,张文斌,卢少勇,等.洪泽湖表层底质营养盐的形态分布特征与评价[J].环境科学,2010,31(4):961-968.
- [12] MacDonald D D, Ingersoll C, Berger T A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 39(1): 20-31.
- [13] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等.三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J].环境科学,2008,29(1):1-6.
- [14] 王珺,高高,裴元生,等.白洋淀府河中氮的来源与迁移转化研究[J].环境科学,2010,31(12):2905-2910.
- [15] 董雯,李怀恩,李家科.西安市皂河氨氮污染特征分析[J].城市环境与城市生态,2011,24(6):22-24.
- [16] 高翔,蒙海涛,易晓娟.天津市主要水体的氮污染特征分析[J].中国给水排水,2011,27(15):51-55.
- [17] 岳维忠,黄小平.珠江口柱状沉积物中氮的形态分布特征及来源探讨[J].环境科学,2005,26(2):195-199.
- [18] 张彦,张远,于涛,等.太湖沉积物及孔隙水中氮的时空分布特征[J].环境科学研究,2010,23(11):1333-1342.
- [19] 高元鹏,姚鹏,米铁柱,等.小清河口的叶绿素 a 及理化环境因子的分布特征和统计分析[J].海洋科学,2011,35(7):71-81.
- [20] Henriksen K, Hansen J I, Blackburn T H. Rates of nitrification, distribution of nitrifying bacteria, and nitrate fluxes in different types of sediment from Danish waters[J]. Marine Biology, 1981, 61(4): 299-304.
- [21] Stockenberg A, Johnstone R W. Benthic denitrification in the Gulf of Bothnia [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1997, 45(6): 835-843.
- [22] 吕晓霞,宋金明.海洋沉积物中氮的形态及其生态学意义[J].海洋科学集刊,2003,(1):101-111.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, ZHANG Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

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