

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

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

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)

南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)

青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)

城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析 李雪丁 (2210)

HSPF 水文水质模型应用研究综述 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)

城市降雨径流模拟的参数不确定性分析 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)

利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)

嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)

重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张焯 (2251)

南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)

影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)

大型底栖动物生物评价指数比较与应用 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)

青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)

用物理-生态集成技术局部控制富营养化 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)

太湖氮素出入湖通量与自净能力研究 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)

富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)

巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)

南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)

东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)

电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)

基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)

渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)

崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)

白洋淀底泥重金属形态及竖向分布 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)

西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)

氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)

Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)

声电氧化处理扑热息痛的研究 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)

粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)

利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究 王小蓉, 吴平霄 (2432)

核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究 武国正, 徐宗学 (2438)

A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)

系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)

氧化还原介体催化强化 *Paracoccus versutus* 菌株 GW1 反硝化特性研究 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)

1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)

蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)

双季稻田 CH₄ 和 N₂O 排放特征及品种筛选研究 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄璜 (2475)

闽江河口短叶茳芰湿地 CH₄ 和 N₂O 排放对氮输入的短期响应 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)

不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)

土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)

多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)

不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)

废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究 伊元荣, 韩敏芳 (2522)

中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析 卢愿清, 史军 (2528)

《环境科学》征稿简则(2431) 《环境科学》征订启事(2532) 信息(2157, 2271, 2367, 2418)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征

王康^{1,3}, 康世昌^{1,2}, 郭军明^{1,3}, 张强弓¹, 黄杰¹, 郑伟⁴

(1. 中国科学院青藏高原研究所青藏高原环境变化与地表过程重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要: 为研究青藏高原纳木错流域水体中总汞的时空分布特征, 于 2007~2010 年对纳木错湖表层水及入湖河水进行了采样, 检测了其总汞浓度, 并分析了总汞浓度与降水量、河水径流量等的关系. 结果表明, 纳木错表层湖水和河水中的总汞质量浓度均值分别为 $(1.09 \pm 0.73) \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(2.87 \pm 2.59) \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著低于受到汞污染的水体. 近岸带湖水的总汞浓度在季风期远大于非季风期, 而其浓度水平和空间变化明显大于湖心区. 河水的总汞浓度季节变化明显, 表现为季风盛期最高且波动最大, 而季风期后最低, 这与降水量变化趋势基本一致. 对你亚曲的定点观测表明, 河水总汞浓度的时间变化与径流量一致. 入湖河流总汞浓度的空间分布特征在不同的时间表现不同, 这可能是由河流的流域面积、流域内土壤汞本底值及补给方式的差异引起的.

关键词: 青藏高原; 纳木错; 总汞; 水体; 时空分布

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2288-07

Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau

WANG Kang^{1,3}, KANG Shi-chang^{1,2}, GUO Jun-ming^{1,3}, ZHANG Qiang-gong¹, HUANG Jie¹, ZHENG Wei⁴

(1. Key Laboratory of Tibetan Environment Change and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: To investigate the tempo-spatial distribution of total mercury (T-Hg) concentration in water bodies in the Nam Co basin on the Tibetan Plateau, inflowing river water and surface lake water samples were collected from 2007 to 2010. The T-Hg concentration and its relationship with precipitation and river runoff were analyzed. The results showed that the average T-Hg concentration was $(1.09 \pm 0.73) \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ and $(2.87 \pm 2.59) \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ for surface lake water and river water, respectively, both of which were significantly lower than those of Hg contaminated waters. T-Hg concentration in off-shore lake water was much higher during the monsoon season than in the non-monsoon season, and its level and spatial variation were significantly greater than those in central lake water. T-Hg concentration in river water showed significant seasonal variations with the highest values during the monsoon season and the lowest during the post-monsoon season, which were in accordance with the variations of precipitation. A fixed point observation at Niyaqu River indicated that the temporal changes of the T-Hg concentrations in river water were in accordance with those of the runoff. The spatial distribution features of T-Hg concentrations in inflowing river water varied in different periods, possibly resulting from the differences in drainage areas, background mercury levels in soils, and water supplies for rivers at different locations of the Nam Co basin.

Key words: Tibetan Plateau; Nam Co; total mercury; water body; temporal and spatial distribution

汞是一种毒性极强的元素. 早在 20 世纪 50 年代, 日本发生的“水俣病”事件引发了世界对水生生态环境中汞污染的关注^[1~4]; 其后在 80 年代末和 90 年代, 科学家发现北欧和北美偏远地区的湖泊中鱼体汞浓度超过了世界卫生组织建议的食用水产品标准, 并证实人类活动排放的汞经大气长距离传输后沉降进入陆表生态系统是产生此类汞污染的主要原因^[5~7]. 这一发现使得远离污染源的水生生态环境中汞的生物地球化学循环得到了重视^[8~10].

为揭示水生生态环境中汞的生物地球化学循环

规律, 必须对其时空分布特征进行调查研究. 目前我国在这方面已经开展了一些研究^[11~18], 如丁振华等^[12]发现黄浦江水中汞以溶解态为主, 其空间分布与沿江工农业布局一致, 李宏伟等^[14]分析认为松花江水中总汞的时空分布变化主要是受控于沉积物再悬浮作用及其向水中释放汞, 苏秋克等^[15]对武汉的不同湖泊的研究表明郊区的湖水总汞浓度低于市

收稿日期: 2011-09-11; 修订日期: 2011-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40830743, 40903050, 41101064)

作者简介: 王康(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为青藏高原水体中汞的时空分布, E-mail: xhjwangkang@126.com

区. 需要注意的是, 这些研究均是在受到直接污染的地区进行的, 研究结果也表明汞的时空分布受到了人类活动的影响, 而目前对未受直接污染的天然水环境开展的工作十分有限^[19]. 青藏高原湖泊众多, 且远离汞的人为释放源, 地表生态系统脆弱, 研究青藏高原湖泊汞的生物地球化学循环意义重大, 但受采样条件与分析技术的局限其境内湖泊一直缺乏系统性汞观测. 本研究选择青藏高原第二大湖, 也是世界上海拔最高的大湖纳木错作为调查区域, 探讨了纳木错湖和入湖河水中总汞浓度的时空分布特征, 以期为我国水环境汞研究提供新的知识积累, 为进一步研究汞的全球生物地球化学循环演化规律提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

纳木错(东经 $90^{\circ}16' \sim 91^{\circ}03'$, 北纬 $30^{\circ}30' \sim 30^{\circ}55'$) 位于藏北高原东南部(图 1). 湖面海拔 4 718 m, 水域面积 2 015.38 km², 整个湖泊流域面积达 10 610 km², 是一个封闭的湖盆, 东南侧为平均海拔约 5 500 m 的念青唐古拉山脉, 北侧和西北侧为灰岩、页岩组成起伏平缓的低山丘陵, 平均海拔 5 000 m^[20]. 纳木错处于高寒半湿润气候-半干旱气候过渡区, 每年 6~9 月为季风期, 受西南季风的影响, 相对温暖湿润, 其他月份为非季风期, 降水较少^[21].

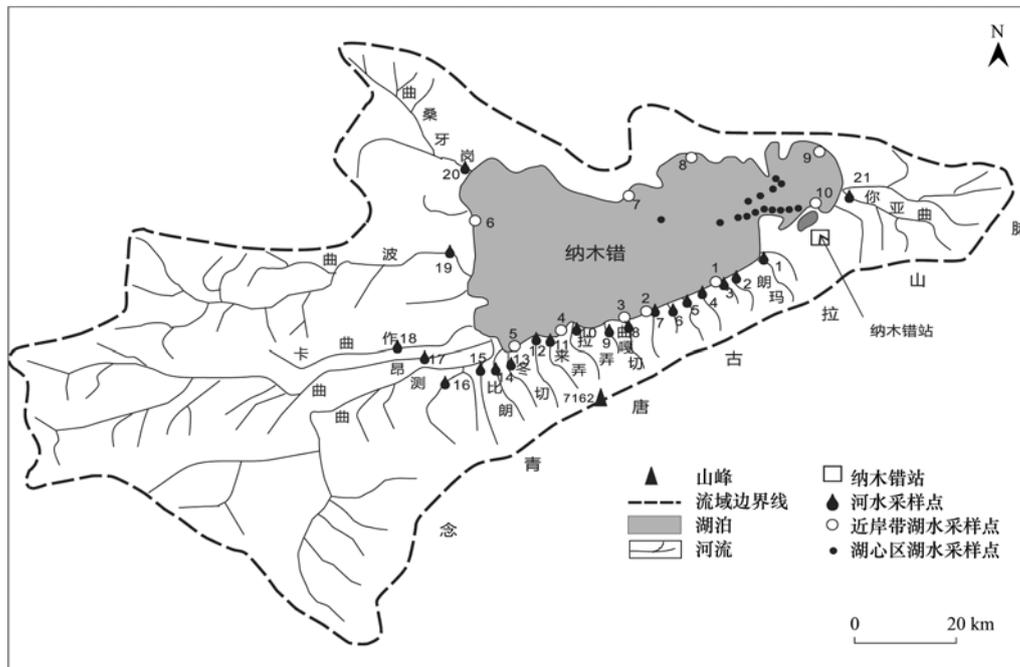


图 1 纳木错流域及采样点分布示意

Fig. 1 Locations of water sampling sites in the Nam Co basin

纳木错湖的主要补给源为降水及其产生的陆面径流, 冰川融水的补给相对较少^[23], 湖泊在季风期得到的水量补给远大于非季风期. 流域内发育了众多河流^[24, 25], 其中位于西岸的波曲、昂曲、测曲、岗牙桑曲和东岸的你亚曲流域面积广大, 以降水补给为主, 地下水补给为辅, 同时也受到一部分积雪和冰川融水补给, 产水量较大, 是纳木错的主要补给河流; 而南岸的河流众多, 但流域面积较小, 这些河流均发源于念青唐古拉山脉的冰川末端, 在季风期主要依靠高山积雪和冰川融水以及降水补给, 而非季风期径流量很小, 主要靠地下水补给^[26].

1.2 样品采集

于 2007~2010 年对纳木错表层湖水和河水进行了采样观测(采样点见图 1), 具体的采样信息见表 1. 先后于 2007 年 7 月、10 月, 2009 年 5 月, 2010 年 8 月、9 月, 进行了 5 次环湖考察, 采集了近岸带表层湖水和河水样品, 各次考察采集样品的数量和点位并不完全一致; 并于 2010 年定点采样观测了近岸带表层湖水(点 10)和河水(点 21), 同年还乘船进入纳木错湖采集了湖心区表层水样品. 河水和近岸带湖水采样点布设在近岸水域, 湖心区的采样点主要分布于纳木错东部. 样品采集的深度为 0~20 cm, 采集样品时戴一次性手套, 面对水流动方向, 且保证不扰动水流与底部沉积物; 并严格遵循

“clean hands-dirty hands”的操作规范^[27],即担任“clean hand”的采样者除汞样品之外,不得碰触任何其他环境介质和工具.采集到的水样盛放在规格为50 mL的Falcon聚丙烯离心管中,并加入0.4%的MOS级盐酸进行酸化.野外空白样品的收集过程与

实验样品相同.采样所用的Falcon聚丙烯离心管是全新的,并随机抽取测试空白,实验结果表明本底值均低于仪器检测限($<0.20 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$).所有样品在采集后即迅速运抵实验室进行测定,样品的运输、储存过程均在冷藏状态下进行.

表1 纳木错流域河、湖水样品采集信息¹⁾

Table 1 Water sampling information in the Nam Co basin

| 采样方式 | 定点采样 | | | 环湖采样 | | | | 湖心区采样 |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------|---------|---------|---------|------------|
| 采样地点 | 近岸带湖水 采样点 10 | 河水 采样点 21 | | 近岸带湖水采样点 河水采样点 | | | | 东部 湖心区 |
| 采样时间 (年-月-日) | 2010-04-15 ~ 2010-08-15 | 2010-06-13 ~ 2010-10-10 | 2007-07 | 2007-10 | 2009-05 | 2010-08 | 2010-09 | 2010-10-01 |
| 样品数量 | 表层湖水 8 | — | 7 | 7 | 5 | 7 | 5 | 15 |
| | 河水 | — | 9 | 6 | 16 | 19 | 20 | — |

1) “—”表示未采样

另外,你亚曲河水固定采样点(河水采样点 21)设立了水文断面,使用LS1206B型旋桨式流速仪和HOBO水位计监测河水的流速和水位,进而可获得你亚曲的径流量.

1.3 样品分析

所有样品的总汞均依照美国EPA推荐的标准方法^[28],采用BrCl氧化-SnCl₂还原-金管富集-冷原子荧光结合法进行了分析测试,2009年和2010年的样品在中国科学院青藏高原环境变化与地表过程重点实验室(拉萨部)使用Analytik-Jena mercury analyzer测汞仪测定,2007年的样品在中国科学院环境地球化学国家重点实验室使用Tekran 2500测汞仪测定,仪器的检测限均小于 $0.20 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$.为控制数据质量,以10%的比例插入总汞质量浓度为5

$\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标溶液,结果表明其回收率在95%~105%之间;按样品总数的15%插入仪器空白,结果显示其值 $<0.20 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$;此外,还测试了野外空白样和采样容器(Falcon聚丙烯离心管)空白样,实验结果表明其值 $<0.20 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$.

2 结果与讨论

2.1 纳木错表层湖水中总汞的时空分布特征

2.1.1 纳木错表层湖水中总汞的浓度水平

对纳木错表层湖水所有样品的总汞质量浓度值进行了算术平均,结果表明其值为 $(1.09 \pm 0.73) \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=46$),与美国的Lake Spring相当,低于某些偏远地区和未受直接污染的湖泊,更显著低于受到人类活动影响和遭受污染的湖泊(表2).

表2 纳木错表层湖水中总汞浓度与其他湖泊的比较

Table 2 Comparison of T-Hg concentrations in the surface water of Lake Nam Co and some other lakes

| 地点 | 时间 | 总汞质量浓度/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ | 主要污染源 | 文献 |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|---------|------|
| 纳木错, 西藏 | 2007~2010年 | 1.09 ± 0.73 | 无 | 本研究 |
| 百花湖, 贵州 | 2003~2004年 | 75.48 ± 67.60 | 工矿企业废水 | [11] |
| 中国 阿哈湖, 贵州 | 2005年 | 5.70 | 矿井废水 | [13] |
| 东湖, 湖北 | 2002年 | 81 | 工业及生活污水 | [15] |
| 草海, 贵州 | 2005~2006年 | 5.30 | 大气汞沉降 | [17] |
| Lake Gordon/Lake Pedder, 澳大利亚 | 1996~1997年 | $2.3 \pm 0.4/2.3 \pm 0.3$ | 无 | [8] |
| 全球 Lake Spring, 美国 | 2000~2003年 | 1.43 ± 1.10 | 无 | [29] |
| Lake Balaton, 匈牙利 | 2000~2002年 | $1.45 \sim 6.48$ | 低污染区域 | [30] |
| Kodai, 印度 | 2004年 | 356~465 | 温度计工厂排放 | [31] |

2.1.2 纳木错表层湖水中总汞的时间变化特征

为较好地认识纳木错湖水中总汞的时间变化特征,于2010-04-15~2010-08-15在近岸带湖水采样点10进行了定点观测(图2).该采样点湖水较深,且风浪较小,不易受湖底沉积物扰动的影响.

该点湖水在季风期总汞质量浓度的算术平均值

为 $(1.87 \pm 0.76) \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=4$),非季风期为 $(0.83 \pm 0.25) \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=4$),单因素方差分析表明,季风期湖水总汞浓度显著高于非季风期($P=0.039$).黄杰^[32]的研究表明,纳木错降水的总汞平均质量浓度达到了 $7.16 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,降水可能对湖水中的汞浓度产生了影响;而季风期降水总汞质量浓度(5.84

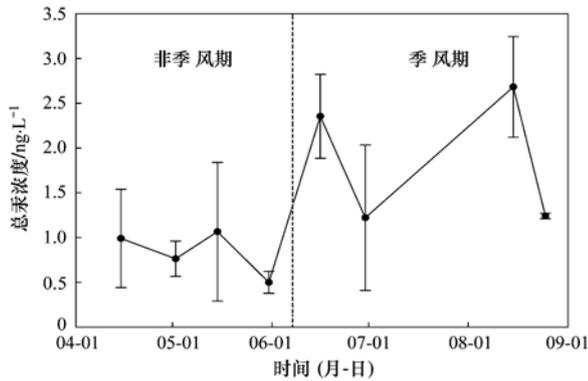


图2 纳木错湖固定采样点(点10)总汞浓度的时间变化

Fig. 2 Temporal changes of T-Hg concentrations in the fixed sampling site of Lake Nam Co

$\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)明显低于非季风期($10.60\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$),郑伟等^[33]发现纳木错河流沿岸表层土壤总汞含量平均值达 $0.018\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,这表明湖水总汞在季风期的高值更有可能是由于该时期较大的地表径流携带较多的颗粒物进入湖泊,贡献了较多的颗粒态汞。

2.1.3 纳木错表层湖水中总汞的空间分布特征

图3为2009年5月、2010年8月和2010年9月近岸带湖水总汞浓度的空间分布,近岸带表层湖水总汞浓度的空间差异并不显著($P=0.393$,单因素方差分析)。大体上,西岸(采样点6)和东岸(采样点9、10)偏低,南岸(采样点1~5)和北岸(采样点8)时空变化较大。

郑伟等^[33]对2007年7月和10月采集的近岸带湖水的汞浓度进行了研究,结果也表明近岸带湖水的总汞浓度空间差异不显著。与本研究结果不尽相同的是,其空间分布大体上表现为南高北低、东西相当;同时,近岸带湖水中总汞浓度的时空分布与颗粒态汞一致,并主要受控于湖水的总悬浮颗粒物。野外观察表明,风浪对纳木错岸边湖水中总悬浮颗粒物含量的影响明显,这一影响在分布浅沙滩的近岸湖区表现尤为明显,而纳木错的近岸带湖区浅沙

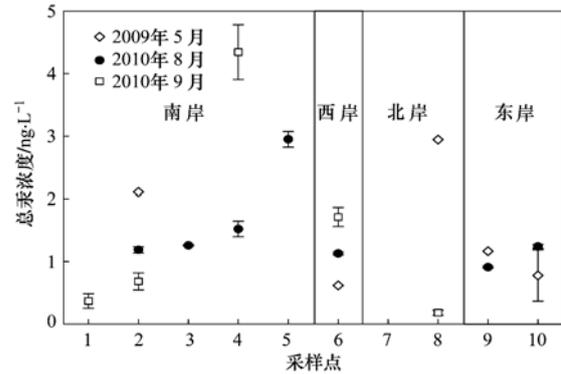


图3 纳木错近岸带表层水总汞浓度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of T-Hg concentrations in the off-shore surface water of Lake Nam Co

滩分布很广。

选取2010年9月采集的近岸带和同年10月1日采集的湖心区湖水样品总汞浓度数据进行了分析,发现湖心区表层湖水总汞质量浓度和变化($0.74\pm 0.12\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=15$))均低于近岸带表层湖水($1.46\pm 1.72\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=5$)),可能的原因在于湖心区水体颗粒物的含量较低,水动力条件较强,水体混合均匀。

2.2 纳木错河水中总汞的时空分布特征

2.2.1 纳木错河水中总汞的浓度水平

在5次环湖考察采样中,均采集样品的河流共5条(点9、16、17、20、21),分布于纳木错湖的不同方位,样品的时间范围较全,涵盖了季风期前(5月)、季风期(7月、8月和9月)和季风期后(10月),因而可以较好的反映纳木错河水中总汞的浓度水平。这些河水中总汞质量浓度水平和波动都明显大于纳木错表层湖水,其算术平均值为($2.87\pm 2.59\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=25$)),与偏远地区和未受直接污染的河流相当,低于全球天然河流 $5.0\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 的平均水平^[34],显著低于受到人类活动影响和遭受污染的河流(表3)。

表3 纳木错河水中总汞浓度与其他河流的比较

Table 3 Comparison of T-Hg concentrations in the river water of Nam Co basin and other regions

| 地点 | 时间 | 总汞质量浓度/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ | 主要污染源 | 文献 |
|-----------------------|------------------|---------------------------------------|-----------|------|
| 纳木错入湖河流,西藏 | 2007年及2009~2010年 | 2.87 ± 2.59 | 无 | 本研究 |
| 黄浦江,上海 | 2002年 | 400 ± 44 | 工业废水及生活污水 | [12] |
| 松花江,吉林和黑龙江 | 2005年 | 96 | 历史乙醛生产 | [14] |
| 阿哈湖入湖河流,贵州 | 2005年 | 19.6 | 矿井废水 | [16] |
| 红枫湖出入库河流,贵州 | 2004年及2006年 | 51 | 工业废水 | [18] |
| 雅鲁藏布江,西藏 | 2007年 | 2.79 ± 1.05 | 无 | [19] |
| Savannah River,美国 | 2000~2002年 | 2.59 | 无 | [9] |
| Upper von Guerard,南极洲 | 1994年 | 2.7 | 无 | [10] |
| Pra River Basin,迦纳 | 2002~2003年 | $28.70\sim 462.10$ | 金矿开采 | [35] |
| Ganga River,印度 | 2001年 | 230 ± 480 | 工业废水及宗教活动 | [36] |

2.2.2 纳木错河水中总汞的时间变化特征

为认识纳木错河水总汞的时间变化,选取各次环湖考察均采集样品的5条河流(点9、16、17、20、21)的总汞浓度数据,并与采样当年的月降水量进行比较(图4). 纳木错河水的总汞浓度存在明显的月际变化,大体上表现为8月>5月>9月>7月>10月,与各月的降水量变化对应较好:季风盛期的8月降水最为丰沛,河水总汞波动较大,其浓度值明显高于同属季风期的9月和7月,更高于非季风期的10月和5月.

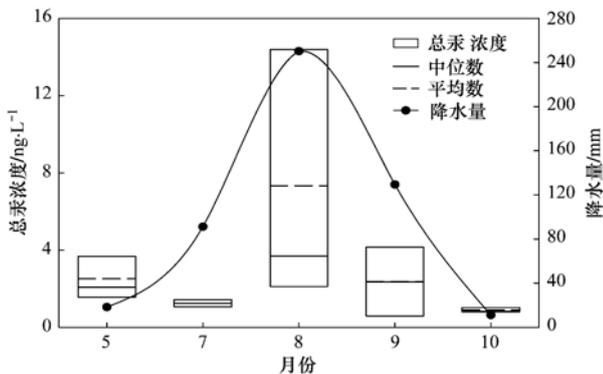


图4 纳木错河水总汞各月浓度及其与降水量比较

Fig. 4 Monthly T-Hg concentrations in water of Nam Co rivers and its comparison with precipitation

同属西藏地区的雅鲁藏布江表层水中颗粒态汞是总汞的主要存在形式^[19],其比例达到了69%,这暗示纳木错入湖河水总汞的主要形态可能是颗粒态汞. 对纳木错河水总汞浓度时间变化特征的分析认为:鉴于纳木错地区降水和雪坑的总汞质量浓度较高^[32],分别达到了 $7.16 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $8.1 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,其对河流的补给可能对河水总汞有所贡献;与河水不同的是,季风期降水总汞浓度明显低于非季风期,而纳木错河流沿岸表层土壤总汞含量达到了 $0.018 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,这表明河水总汞浓度在季风期的高值更有可能是较大的径流携带了较多的颗粒态汞. 需要指出的是,季风期较大的径流量主要受降水补给,但也有冰雪融水的贡献.

5月的河水总汞质量浓度较高,达到了 $2.51 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=5$),仅次于8月,与9月相当,这可能与5月气温回升,流域内季节性积雪和冻土融水及地下水向河流输入汞有关. 8月的总汞平均质量浓度达到 $7.33 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=5$),可能是由于降水和冰雪融水较多,携带较多含汞颗粒物进入河流;同时,较大的河水径流量使水流冲刷河床能力增强,使较多的含汞沉积物悬浮到水中,河水中总汞浓度随之剧

增. 10月,季风期结束,气温下降,降水和冰雪融水锐减,河水总汞质量浓度降到最低,仅为 $0.90 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=5$).

为更好地认识纳木错河水总汞浓度的时间变化,于2010-06-13~2010-10-10对你亚曲(河水采样点21)进行了定点观测. 该阶段你亚曲河水总汞浓度与径流量具有较为一致的变化(图5):6~7月,你亚曲的径流量处于低值期,总汞浓度也偏低,平均质量浓度仅为 $2.10 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=3$);而8月中旬以后,你亚曲的径流量剧增,总汞浓度也显著增加,平均质量浓度达到了 $3.85 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=6$). 这与前文的推测一致:径流通过对土壤的侵蚀和对河床的冲刷等作用,控制着河水中的悬浮颗粒物含量,进而控制颗粒态汞含量,在很大程度上决定了河水中总汞浓度.

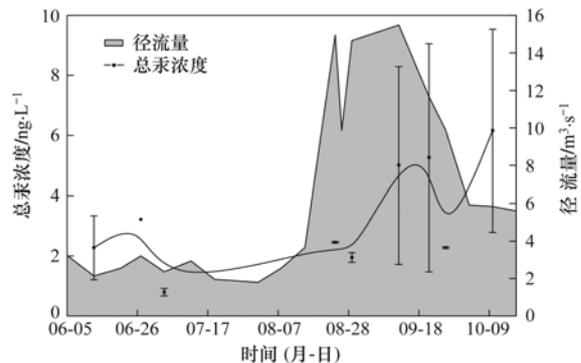


图5 你亚曲固定观测点总汞浓度的时间变化及其与径流量的对比

Fig. 5 Temporal changes of T-Hg concentrations and its comparison with the runoff at the fixed observation point of Niyacu River

2.2.3 纳木错河水中总汞的空间分布特征

为研究纳木错河水中总汞的空间分布特征,选取采样点较多的3次环湖考察(2009年5月、2010年8月和2010年9月)获得的河水的总汞数据进行了分析. 为便于讨论河水总汞浓度的空间分布(图6),将各条河流按区域分为如下几类:东南岸河流(河水采样点1~6)、西南岸河流(河水采样点7~16)、西岸河流(河水采样点17~20)和东岸河流(河水采样点21).

5月纳木错河水的总汞质量浓度相对偏高,空间差异不显著,大体上南岸河流(3.75 ± 2.31) $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=11$)略高于西岸与东岸(2.49 ± 1.27) $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=5$). 8月纳木错河水的总汞质量浓度空间分异明显,西岸入湖河流(15.47 ± 11.28) $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=4$)明显高于东南岸(6.73 ± 6.00) $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n=$

6), 更高于西南岸(1.61 ± 0.08) $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ($n = 8$), 东岸($2.46 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)亦略高于西南岸; 尽管同属南岸河流, 但东南岸河水总汞质量浓度明显高于西南岸. 9月西岸和东岸河水总汞质量浓度显著高于南岸($P = 0.021$, T 检验), 其平均值分别为(3.11 ± 1.66) $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ($n = 5$)和(0.37 ± 0.15) $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ($n = 15$).

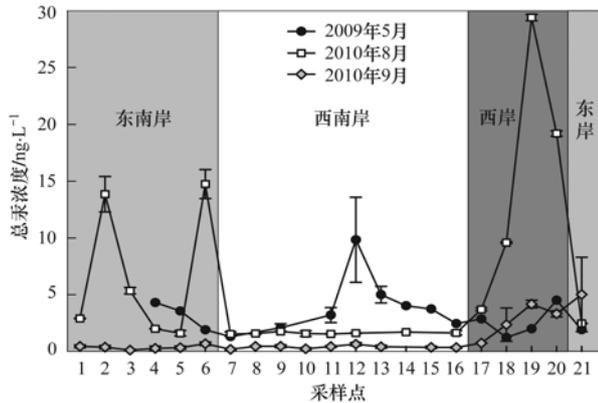


图6 纳木错河水的总汞浓度空间变化

Fig. 6 Spatial changes of T-Hg concentrations in water of Nam Co rivers

5月降水很少, 且几乎没有冰川融水. 南岸河流径流量极小, 很多河流甚至处于断流状态, 主要靠季节性积雪融水和地下水补给; 西岸和东岸河流的径流量也较小, 主要依靠地下水补给. 而地下水可能具有较高的总汞浓度, 其对河流的补给使河水总汞浓度处于较高的水平. 8月降水充沛(图4), 向西岸和东岸河流输入了较多的汞, 同时这些流域面积广大的河流径流量剧增(图5), 通过土壤侵蚀及河床冲刷等作用获得了大量含汞颗粒物, 总汞浓度明显升高; 而由冰雪融水和降水补给的南岸河流, 其总汞浓度虽也受同样的作用而有所增加, 但由于流域面积狭小, 获得的水量补给较小, 总汞浓度明显低于西岸河流. 需要注意的是, 同属南岸河流的东南岸河流总汞浓度要高于西南岸河流, 这可能与这些河流流域内土壤含汞量本底值的差异有关. 9月气温降低, 冰雪融水锐减, 降水也有所减少, 带入河水的汞减少, 而径流量的显著降低, 也使河水中颗粒态汞浓度减少, 总汞浓度随之降低; 由于补给方式的不同, 南岸河流径流量的降低更甚于西岸和东岸河流, 故当西岸和东岸河流总汞浓度相对较高时, 南岸河流总汞浓度已降到最低水平. 同时8月总汞浓度明显高于西南岸河流的东南岸河流, 由于径流量的锐减而较难获得颗粒态汞的输入, 其总汞浓度降低到与西南河流同一水平.

3 结论

(1) 纳木错河、湖水的总汞浓度与一些偏远地区的水体相当或者更低, 显著低于受到污染的水体; 但河水总汞浓度明显大于表层湖水.

(2) 纳木错近岸带湖水的总汞浓度在季风期显著高于非季风期, 这可能与季风期降水和径流向湖泊输入汞有关; 近岸带和湖心区湖水的总汞均没有明显的空间变化规律, 但近岸带湖水的总汞浓度和空间变化明显大于湖心区.

(3) 纳木错河水的总汞浓度时间变化明显, 大体上表现为: 8月 > 5月 > 9月 > 7月 > 10月, 该变化趋势与降水量和径流量基本一致. 可以推测, 降水的补给对河水的汞有所贡献, 而降水量会影响河流径流量及其携带的悬浮颗粒物, 进而影响了颗粒态汞的含量, 由此决定了河水的总汞浓度. 此外, 冰雪融水也可通过这种机制影响河水总汞浓度.

(4) 纳木错河水总汞浓度的空间变化在不同月份略有差异, 总体上, 东岸和西岸河流由于集水面积大, 径流量大, 在不同的月份均出现高值; 而由冰川消融补给较大的南岸河水总汞浓度偏低. 纳木错不同区域河流的流域面积、流域内土壤汞本底值及补给方式等可能是造成河水总汞浓度空间差异的原因.

致谢: 本研究的样品采集及其他野外观测任务由中国科学院纳木错圈层相互作用综合观测研究站进行, 在此向观测站工作人员多杰、杨晓东、王忠表示感谢!

参考文献:

- [1] Matida Y, Kumada H. Distribution of mercury in water, bottom mud and aquatic organisms of Minamata Bay, the River Agano and other water bodies in Japan [J]. Bulletin of Freshwater Fisheries Research Laboratory, 1969, 19(2): 73-93.
- [2] Ackefors H, Lofroth G, Rosen C G. A survey of the mercury pollution problem in Sweden with special reference to fish [J]. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 1970, 8: 203-224.
- [3] USGS. Mercury in the environment [M]. Washington: Government Printing Office, 1970. 29-34.
- [4] Ui J, Kitamura S. Mercury pollution of sea and fresh water: its accumulation into water biomass [J]. Revue Internationale D'océanographie Médicale, 1971, 22-23: 79-128.
- [5] Håkanson L, Andersson T, Nilsson Å. Mercury in fish in Swedish lakes-Linkages to domestic and European sources of emission [J]. Water Air and Soil Pollution, 1990, 50(1-2): 171-191.
- [6] Lindqvist O, Johansson K, Aastrup M, et al. Mercury in the

- Swedish environment-Recent research on causes, consequences and corrective methods[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1991, **55**(1-2): 1-261.
- [7] Swain E B, Engstrom D R, Brigham M E, *et al.* Increasing rates of atmospheric mercury deposition in midcontinental North America[J]. *Science*, 1992, **257**(5071): 784-787.
- [8] Bowles K C, Apte S C, Maher W A, *et al.* Mercury cycling in Lake Gordon and Lake Pedder, Tasmania (Australia). I: In-lake processes[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2003, **147**(1-4): 3-23.
- [9] Paller M H, Jagoe C H, Bennett H, *et al.* Influence of methylmercury from tributary streams on mercury levels in Savannah River Asiatic clams [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **325**(1-3): 209-219.
- [10] Vandal G M, Mason R P, Mcknight D, *et al.* Mercury speciation and distribution in a polar desert lake (Lake Hoare, Antarctica) and two glacial meltwater streams [J]. *Science of the Total Environment*, 1998, **213**(1-3): 229-237.
- [11] 侯亚敏, 冯新斌, 仇广乐, 等. 贵州百花湖表层水中不同形态汞的分布规律[J]. *湖泊科学*, 2004, **16**(2): 125-132.
- [12] 丁振华, 王文华, 刘彩娥, 等. 黄浦江江水和沉积物中汞的分布和形态特征[J]. *环境科学*, 2005, **26**(5): 62-66.
- [13] 白薇扬, 冯新斌, 孙力, 等. 贵阳市阿哈湖水体和沉积物间隙水中汞的含量和形态分布初步研究[J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(1): 91-98.
- [14] 李宏伟, 阎百兴, 徐治国, 等. 松花江水中总汞的时空分布研究[J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(5): 840-845.
- [15] 苏秋克, 祁士华, 蒋敬业, 等. 武汉城市湖泊汞的环境地球化学评价[J]. *地球化学*, 2006, **35**(3): 265-270.
- [16] 白薇扬, 冯新斌, 金志升, 等. 河流对阿哈水库汞迁移转化过程的影响[J]. *矿物学报*, 2007, **27**(2): 218-224.
- [17] 钱晓莉, 冯新斌, 闭向阳, 等. 贵州省草海表层水体和沉积物间隙水中汞的含量和形态分布初步研究[J]. *湖泊科学*, 2008, **20**(5): 563-570.
- [18] 何天容, 冯新斌. 红枫湖出入库河流汞浓度分布特征及影响因素分析[J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(7): 138-141.
- [19] 郑伟, 康世昌, 冯新斌, 等. 西藏雅鲁藏布江表层水中汞的形态与空间分布特征[J]. *科学通报*, 2010, **55**(20): 2026-2032.
- [20] 康世昌, 杨永平, 朱立平, 等. 青藏高原纳木错流域现代环境过程及其变化[M]. 北京: 气象出版社, 2011. 185-196.
- [21] 游庆龙, 康世昌, 田克明, 等. 青藏高原念青唐古拉峰地区气候特征初步分析[J]. *山地学报*, 2007, **25**(4): 497-504.
- [22] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 176-182.
- [23] 朱立平, 谢曼平, 吴艳红. 西藏纳木错 1971~2004 年湖泊面积变化及其原因的定量分析[J]. *科学通报*, 2010, **55**(18): 1789-1798.
- [24] 王荣, 羊向东, 朱立平. 西藏纳木错过去 200 年来的环境变化[J]. *第四纪研究*, 2006, **26**(5): 791-798.
- [25] 朱立平, 王君波, 林晓, 等. 西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4ka 以来气候环境变化[J]. *第四纪研究*, 2007, **27**(4): 588-597.
- [26] 高坛光, 康世昌, 张强弓, 等. 青藏高原纳木错流域河水主要离子化学特征及来源[J]. *环境科学*, 2008, **29**(11): 3009-3016.
- [27] Davidson C I. Clean hands: patterson's crusade against lead contamination in the environment [M]. New York: Nova Scientific Publishers, 1999. 119-137.
- [28] EPA-821-R-02-19. Method 1631, revision E; mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry. [S].
- [29] Hines N A, Brezonik P L. Mercury inputs and outputs at a small lake in northern Minnesota[J]. *Biogeochemistry*, 2007, **84**(3): 265-284.
- [30] Nguyen H L, Leermakers M, Kurunzi S, *et al.* Mercury distribution and speciation in Lake Balaton, Hungary [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **340**(1-3): 231-246.
- [31] Karunasagar D, Krishna M V B, Anjaneyulu Y, *et al.* Studies of mercury pollution in a lake due to a thermometer factory situated in a tourist resort; Kodaikkanal, India [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **143**(1): 153-158.
- [32] 黄杰. 青藏高原及其毗邻地区大气降水中不同形态汞的时空分布研究[D]. 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2011. 23-86.
- [33] 郑伟. 西藏典型流域汞的生物地球化学循环[R]. 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2009. 23-25.
- [34] Mason R P, Fitzgerald W F, Morel F M M. The biogeochemical cycling of elemental mercury: anthropogenic influences [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, **58**(15): 3191-3198.
- [35] Donkor A K, Bonzongo J C, Nartey V K, *et al.* Mercury in different environmental compartments of the Pra River Basin, Ghana[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **368**(1): 164-176.
- [36] Sinha R K, Sinha S K, Kedia D K, *et al.* A holistic study on mercury pollution in the Ganga River system at Varanasi, India [J]. *Current Science*, 2007, **92**(9): 1223-1228.

CONTENTS

| | |
|--|--|
| Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China | WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145) |
| Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring | YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151) |
| Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements | RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158) |
| Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai | XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165) |
| Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China | ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172) |
| Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao | LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180) |
| Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant | QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191) |
| Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model | CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197) |
| Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i> | GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204) |
| Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years | LI Xue-ding (2210) |
| Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes | LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217) |
| Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling | HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224) |
| Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake | JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235) |
| Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan | XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244) |
| Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing | ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251) |
| Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China | HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259) |
| Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake | QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265) |
| Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales | DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272) |
| Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment | GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281) |
| Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau | WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288) |
| Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau | GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295) |
| Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering | LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303) |
| Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu | CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309) |
| Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate | YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315) |
| Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake | WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322) |
| Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing | FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330) |
| Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants | LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335) |
| Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing | CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341) |
| Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area | WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347) |
| Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study | LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352) |
| Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay | QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359) |
| Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming | LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368) |
| Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake | LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376) |
| AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors | LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384) |
| Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter | LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394) |
| Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane | ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403) |
| Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation | DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410) |
| Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration | BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419) |
| Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater | ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427) |
| Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN | WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432) |
| Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body | WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438) |
| Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process | ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444) |
| Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System | JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451) |
| Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1 | LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458) |
| Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production | LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464) |
| Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i> | QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470) |
| Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields | FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475) |
| Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary | MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482) |
| Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province | PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490) |
| Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition | WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497) |
| Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils | WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503) |
| <i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial | PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510) |
| Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops | LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516) |
| Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid | YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522) |
| Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China | LU Yuan-qing, SHI Jun (2528) |

《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7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 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