

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第6期

Vol.35 No.6

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

北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析..... 廖晓农, 张小玲, 王迎春, 刘伟东, 杜佳, 赵玲慧 (2031)

阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究 苗红妍, 温天雪, 王跃思, 刘子锐, 王丽, 兰中东 (2045)

上海地铁站台大气颗粒物中过渡金属研究 包良满, 雷前涛, 谈明光, 李晓林, 张桂林, 刘卫, 李燕 (2052)

七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究 马娟娟, 李真 (2060)

冬季东海、南黄海中 DMS 和 DMSP 浓度分布及影响因素研究 宋以柱, 张洪海, 杨桂朋 (2067)

大亚湾石化排污海域重金属污染及生态风险评价 徐姗姗, 李纯厚, 徐娇娇, 肖雅元, 林琳, 黄小平 (2075)

深圳水库群表层水中全氟化合物的分布特征 王鑫璇, 张鸿, 何龙, 沈金灿, 柴之芳, 杨波, 王艳萍 (2085)

表层岩溶泉水中多环芳烃污染特征及来源解析 孙玉川, 沈立成, 袁道先 (2091)

桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程 唐文魁, 陶贞, 高全洲, 毛海若, 姜光辉, 焦树林, 郑雄波, 张乾柱, 马赞文 (2099)

汾河源区不同景观带水文过程研究 杨永刚, 李彩梅, 秦作栋, 邹松兵 (2108)

北京市通州区地下水分层质量评价及水化学特征 郭高轩, 琚宜文, 翟航, 许亮, 沈媛媛, 纪轶群 (2114)

光透法定量两相流中流体饱和度的模型及其应用 章艳红, 叶淑君, 吴吉春 (2120)

紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应 陈维梁, 高扬, 林勇明, 朱波, 徐亚娟, 于贵瑞, 吴承祯 (2129)

基于非点源溶解态氮负荷估算的率水流域土地利用结构优化研究 陆宇超, 毕孟飞, 李泽利, 沙健, 王玉秋, 钱丽萍 (2139)

镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价 周晓红, 李义敏, 周艺, 卫安平, 周广顺, 肖思思 (2148)

两种沉水植物对上覆水和间隙水中可溶性无机氮的影响 杨文斌, 李阳, 孙共献 (2156)

湖泊沉积物短时间反复扰动下悬浮物上生物有效磷的动态变化 武晓飞, 李大鹏 (2164)

不同扰动强度下城市重污染河道底泥对磷吸收和固定的影响 王尚, 李大鹏 (2171)

池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究 吕元蛟, 李瑞娇, 张念, 赵峰, 谢从新, 张敏 (2178)

再悬浮过程中河流底泥 PAHs 的迁移与释放 王晓慧, 毕春娟, 韩景超 (2185)

低分子有机酸对汞氧化还原反应的影响 赵士波, 孙荣国, 王定勇, 王小文, 张成 (2193)

活性炭催化过氧化氢去除荧光增白剂 刘海龙, 张忠民, 赵霞, 焦茹媛 (2201)

准分子灯光照降解水中烷基酚的动力学 刘玉海, 叶招莲, 文颖频, 毕承路 (2209)

AF + BAF 用于处理树脂化工集中区废水厂尾水的研究 涂勇, 刘伟京, 张耀辉, 徐军, 唐敏, 陈勇, 白永刚 (2216)

镉(II)-8-羟基喹啉分子印迹聚合物微球的合成及吸附性能研究 杨春艳, 陈复彬, 赵慧, 常自强, 章竹君 (2223)

微气泡曝气生物膜反应器同步硝化反硝化研究 刘春, 年永嘉, 张静, 张明, 张磊, 龚鹏飞, 肖太民, 李星 (2230)

聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究 唐丹琦, 王娟, 郑天龙, 刘建国, 汪群慧 (2236)

丝状菌膨胀对无纺布生物反应器处理效果及膜污染特征的影响 侍宽, 薛罡, 高品, 吴凡 (2241)

聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化 周振, 胡大龙, 乔卫敏, 陈冠翰, 蒋玲燕, 李震, 麦穗海 (2249)

鄱阳湖持久性有机污染物 (POPs) 长距离传输潜力模拟 弓晓峰, 向洪锐, 陈春丽, 周文斌, 王佳佳, 刘春英, 曾艳 (2256)

基于不确定性分析的垃圾焚烧烟气中重金属的土壤沉积及生态风险评估 廖志恒, 孙家仁, 吴兑, 范绍佳, 任明忠, 吕家扬 (2264)

农药企业场地土壤中苯系物污染风险及管理对策 谭冰, 王铁宇, 李奇锋, 张海燕, 庞博, 朱朝云, 王道涵, 吕永龙 (2272)

渤海湾海域 10 种鱼类中二噁英类及指示性多氯联苯的污染特征研究及风险评价 王莎莎, 高丽荣, 田益玲, 朱帅, 张芹 (2281)

基于荧光传感器 F_{rex} 的特性检测水质环境中生物毒性物质 赵巍, 汪钊, 蔡强, 欧文斌, 孟凡国 (2287)

对苯二酚抑制铜绿微囊藻生长下藻毒素的产生与释放 张元春, 梁文艳, 赵远, 李飞贞, 曹敬灿, 胡绍杰 (2294)

基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育 赵凤敏, 梅帅, 曹有福, 丁进锋, 徐嘉杰, 李树君 (2300)

酸性矿山废水库周边土壤微生物多样性及氨氧化菌群落研究 刘莹, 王丽华, 郝春博, 李璐, 李思远, 冯传平 (2305)

河蚬 (*Corbicula fluminea*) 扰动对表层沉积物中氨氧化菌群落结构和丰度的影响 王雪, 赵大勇, 曾巾, 余多慰, 吴庆龙 (2314)

海洋油气田沉积物产甲烷活性及微生物生态 田琪, 王佳, 范晓蕾, 罗生军, 郭荣波, 邱艳玲 (2322)

DGGE 及 T-RFLP 分析光照下电位对细菌群落的影响 吴义诚, 邓欢, 肖勇, 赵峰 (2328)

重金属抗性解磷细菌的磷溶解特性研究 田江, 彭霞薇, 李霞, 孙雅君, 冯红梅, 江泽平 (2334)

1 株耐冷兼性嗜碱好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性 王兆阳, 陈国耀, 姜珂, 许培雅 (2341)

黑麦草-丛枝菌根对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响 江玲, 杨芸, 徐卫红, 王崇力, 陈蓉, 熊仕娟, 谢文文, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (2349)

黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应 李玲, 仇少君, 陈印平, 赵西梅, 刘京涛, 陆兆华 (2358)

宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 黄懿梅 (2365)

长期施用四环素残留猪粪对土壤中耐药菌及抗性基因形成的影响 张俊, 杨晓洪, 葛峰, 王娜, 焦少俊, 叶波平 (2374)

长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响 常同举, 崔孝强, 阮震, 赵秀兰 (2381)

伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价 赵新儒, 特拉津·那斯尔, 程永毅, 詹江渝, 杨剑虹 (2392)

江苏如东互花米草盐沼湿地重金属分布及其污染评价 张龙辉, 杜永芬, 王丹丹, 高抒, 高文华 (2401)

小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析 欧阳威, 蔡冠清, 黄浩波, 耿晓君 (2411)

保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究 张赛, 王龙昌, 黄召存, 贾会娟, 冉春燕 (2419)

米楮天然林和人工林土壤呼吸的比较研究 吴君君, 杨智杰, 翁发进, 刘小飞, 陈朝琪, 林伟盛, 王小红, 陈坦 (2426)

水力停留时间对复合式厌氧折流板反应器乙醇型发酵制氢系统的影响 刘晓烨, 张洪, 李永峰 (2433)

《环境科学》征订启事 (2208) 《环境科学》征稿简则 (2400) 信息 (2084, 2200, 2229, 2391)

七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究

马娟娟^{1,2}, 李真^{1*}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 为了研究七一冰川地区大气重金属污染状况, 基于 2009 年 7~9 月野外考察采样与实验室分析测试, 测定了苔藓中 Cr、Fe、Cu、Zn、As、Cd、Pb 和稀土元素 La 的含量, 并对七一冰川地区苔藓中 Cr、Fe、Cu、Zn、As、Cd、Pb 的含量特征及可能的来源进行了分析。结果表明, 七一冰川地区苔藓中重金属含量较高; Fe 含量最高, 为 15 160.00 ~ 34 960.00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 其次是 Zn、Cu、Cr、Pb、As, 含量依次为 169.56、134.81、34.52、26.16、9.15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。富集系数表明 Fe 和 Cr 主要源自地壳尘埃物质, Cu、Pb、Zn 和 Cd 在一定程度上受到人为活动干扰, As 则中度富集, 明显受到人为活动的影响。Hysplit v4.9 轨迹模式模拟七一冰川区域气团三维后向轨迹显示, 七一冰川区域大气输送季节性明显, 春秋两季大气输送源较多; 冬夏两季大气主要输送源较少, 酒泉嘉峪关等地是七一冰川地区大气污染物的主要输送源。

关键词: 苔藓; 重金属; 富集系数; Hysplit v4.9; 大气污染

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)06-2060-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.06.004

Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiyi Glacier Region

MA Juan-juan^{1,2}, LI Zhen¹

(1. State Key Laboratory of Cryosphere Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Heavy metal (Cr, Fe, Cu, Zn, As, Cd and Pb) concentrations were measured in 17 moss samples which were collected at Qiyi Glacier Region in July, August and September, 2009 in a preliminary investigation of heavy metal pollution situation in this area. The results indicated that heavy metal concentrations in mosses were relatively high and concentrations of Fe were at the highest level (varied between 15 160.00 and 34 960.00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), followed by Zn, Cu, Cr, Pb, As, with average concentrations of 169.56, 134.81, 34.52, 26.16, 9.15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Enrichment factor analysis and correlation analysis indicated that Fe and Cr in mosses mainly stemmed from crustal dust, and concentrations of Cu, Pb, Zn and Cd were influenced by human activities; As was moderately enriched which means As in mosses was mainly originated from anthropogenic pollution. According to the Global Data Assimilation System (GDAS) meteorological data from the National Center for Environmental Prediction (NCEP) of 2009 and the simulation of the HYSPLIT v4.9 Model on 3-dimension back trajectories of air mass at Qiyi glacier district, several trajectories reflecting the main characteristics of air flow were obtained based on the classification of cluster analysis on the hundreds of back trajectories. The back trajectories revealed that atmospheric transport characteristics in the study area changed obviously by season. Compared to Spring and Autumn, atmospheric transmission sources were relatively more in Winter and Summer. The main sources of atmospheric pollutants in Qiyi Glacier region were transported from Jiuquan and Jiayuguan regions.

Key words: moss; heavy metals; enrichment factor; Hysplit v4.9; atmospheric pollution

受人类活动排放的影响, 当前大气环境中许多重金属元素的含量已经远远超过其自然本底值^[1,2]。用于监测大气中重金属元素含量短期变化的环境媒介主要有气溶胶颗粒、大气降水、表层土壤、天然水体、附生植物如苔藓、地衣以及各种动植物器官组织等^[3~6]。其中, 苔藓植物生长所需要的营养物质全部来自大气所含成分^[7], 通过测定苔藓体内微量元素含量, 可以判断其中特征元素受人类活动影响的程度及其可能来源, 从而反映区域大气污染状况。Rühling 等^[8~10]于 20 世纪 60 年代后期首先开发了苔藓监测大气重金属污染技术, 此后 1987 年成立的 ICP-Vegetation 对苔藓中重金属的研

究做了大量的工作^[11]。国内苔藓中重金属含量的研究主要集中在中东部地区^[12~14], 而青藏高原地区的研究开展较少, 仅金艳霞等^[15]对青藏高原海北和果洛地区不同草地类型苔藓植物化学元素特征作了研究。青藏高原在亚洲乃至全球大气环流系统中具有独特地位, 再加上高原本身人口稀少, 工农业活动极为微弱, 因而在青藏高原开展大气污染研究有助

收稿日期: 2013-10-22; 修订日期: 2014-01-08

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2010CB951404); 国家自然科学基金项目(40601021)

作者简介: 马娟娟(1988~), 女, 硕士, 主要研究方向为微量元素与环境污染, E-mail: majuanjuan@lzb.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: lizhen@lzb.ac.cn

于了解偏远地区大气环境本底状况,为中国乃至世界制定大气环境保护标准和政策提供有益参考^[16]. 本研究对青藏高原祁连山七一冰川地区苔藓中重金属的含量进行了分析,并对其含量特征及可能来源进行了讨论,以期后续进一步研究青藏高原大气重金属污染奠定基础.

1 材料与方法

1.1 区域概况

祁连山是青藏高原东北部的一组边缘山系,东起乌鞘岭的松山,西到当金山口,东西长 800 km;北临河西走廊,南靠柴达木盆地,南北宽 200 ~ 400 km,由一系列平行排列的山岭和谷地组成. 七一冰川位于祁连山中段,托赖山北坡^[17,18],为典型大陆性气候控制,风速在冬季和春季较大,夏季较小. 夏季降水主要是西风小波动和西南气流带来的水汽产生的系统性降水^[19~21]. 七一冰川于 1992 年被开发为旅游景区,旅游区域约 4 km².

1.2 样品采集

苔藓样品选择了七一冰川地区比较常见的葫芦藓(*Funaria hygrometrica*),隶属于藓纲(Musci)葫芦藓科(Funariaceae)葫芦藓属(*Funaria*),植物茎长 1 ~ 3 cm. 叶往往在茎先端簇生,蒴柄细长,约 2 ~ 5 cm,孢蒴梨形,不对称,具明显台部,为世界广布种^[22]. 葫芦藓于 2009 年 7 ~ 9 月(7 月 15 日 ~ 8 月 12 日)采自七一冰川末端景区. 采样时戴 PE 手套,用塑料镊子拔取岩石或杂草周围的苔藓,做相应的编号放入自封袋保存. 采样海拔最低为 3 379 m,最高为 3 954 m,共采集样品 17 个,经鉴定所采苔藓均为葫芦藓;七一冰川地理位置及样点分布如图 1 所示.

1.3 实验方法

1.3.1 仪器与试剂

仪器:MARS X-press 微波消解仪(美国 CEM 公司),X Series 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo 公司).

试剂:硝酸,ACS 级(CNW 公司),氢氟酸,BV III 级(北京化学试剂研究所),双氧水,ACS 级(J. T. Baker 公司),盐酸,ACS 级(J. T. Baker 公司),水为 18.2 M Ω ·cm 高纯水(MiliQA10, Milipore, USA),AGV-2(美国地质调查局国际标准参考物质),柑橘叶成分分析标准物质-GBW10020(GSB-11)(国家标准物质研究中心).

1.3.2 样品处理

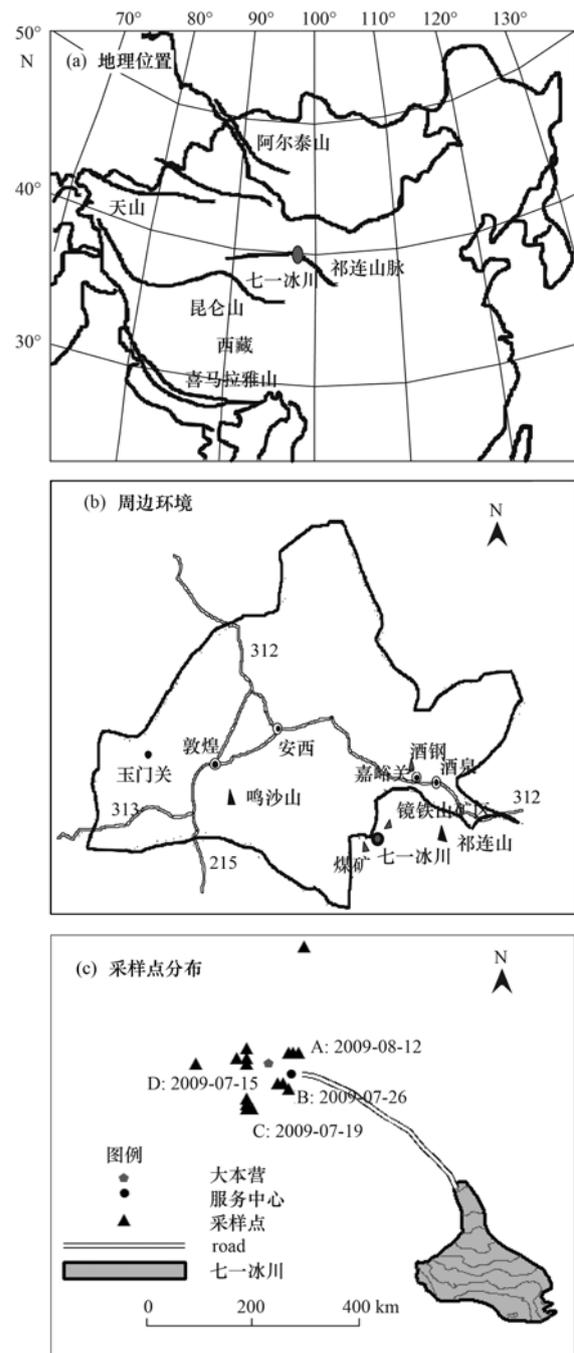


图 1 七一冰川地理位置、周边环境及样点分布示意

Fig. 1 Location and surrounding environment of Qiyi Glacier, and distribution of the sampling sites

苔藓样品采用微波消解法处理^[23]. 首先用自来水把采集的新鲜苔藓冲洗 4 ~ 5 次,洗去苔藓上的泥沙及浮尘,再用超纯水冲洗,直至洗液澄清,然后把样品置于超净化实验室中晾干,放在干燥箱内 80 ~ 120 $^{\circ}$ C 下烘 8 ~ 10 h;将烘干的样品置于干燥器中至冷却,放入石英研钵中磨碎至 80 目左右,装入干燥洁净的自封袋中标记密封保存,待用. 消解时,准确称取苔藓样品 0.500 0 g 于消解罐中,加入 6 mL 高

纯硝酸, 3 mL 高纯盐酸和 0.25 mL 双氧水, 密封后放入微波消解仪中, 消解过程如表 1. 消解完成待冷却后取出, 置于 50 mL 容量瓶中, 定容至 50 mL, 静置 12 h 后, 取上清液 5 mL, 定容至 15 mL 后用于元素含量测定. 标准参考物质柑橘叶样品的消解过程与苔藓样品一致. 测试工作在中国科学院青藏高原研究所环境变化与地表过程重点实验室完成, 测定元素包括 Cr、Fe、Cu、Zn、As、Cd、Pb 和 La 等重金属元素.

表 1 苔藓样品微波消解过程

最大功率/W	升温时间/min	温度/°C	保持时间/min
1 600	5	120	5
1 600	5	160	5
1 600	5	190	20

表 2 柑橘叶标准物质重金属测定结果/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

元素	标准值	测量平均值	RSD/%	元素	标准值	测量平均值	RSD/%
Cr	1.25	1.876	1.444	Pb	9.70	9.371	0.344
Fe	480	578.8	0.883	Cd	0.17	0.179	1.759
Cu	6.6	5.942	0.793	As	1.10	1.185	4.73
Zn	18	16.16	1.063	La	0.57	0.473	0.811

表 3 七一冰川地区苔藓体内重金属的含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

样品编号	Cr	Zn	Cu	As	Fe	Pb	Cd
最大值	53.56	1 311.00	703.60	13.70	34 960.00	60.73	0.31
最小值	20.78	47.17	4.22	5.52	15 160.00	12.35	0.11
平均值	34.52	169.56	134.81	9.15	23 237.06	26.16	0.23

发现该苔藓样品生长在裸岩上, 周围植被稀疏. 因此, 考虑该苔藓样品中 Cu、Zn 的含量可能受到了其生长基质岩石中重金属含量的影响.

与国内其他地区苔藓中重金属含量相比(如表 4), 七一冰川地区苔藓中重金属元素的含量远高于贡嘎山原始森林地区和青海海北和果洛等内陆地区, 是靠近人类活动较为集中的北京灵山地区的 2~4 倍. 长江三角洲是中国重金属污染较为严重的地区^[24], 相比之下, 七一冰川地区苔藓中 Cd、Pb 和

2 结果与讨论

2.1 苔藓植物体内的元素含量

表 2 是标准物质柑橘叶中重金属元素含量的实测值. 与标准含量相比, 元素含量实测值的相对标准偏差(RSD)均小于 5%, 精密度良好.

七一冰川地区苔藓中重金属含量水平差异十分明显(如表 3). 所测元素中, Fe 含量最大, 平均值为 $23\ 237.06\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 高出其它几种元素 2~3 个数量级. 其次是 Zn、Cu、Cr、Pb、As, 含量依次为 169.56 、 134.81 、 34.52 、 26.16 、 $9.15\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Cd 的含量最低, 仅为 $0.23\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 可以看出 Cu 和 Zn 元素含量最大值与最小值之差均达到 2 个数量级, 而 Cu、Zn 含量的最大值均出现在同一苔藓样品中,

Zn 含量低, 但 Cr、Cu 含量高于长三角洲地区. 同欧洲等发达地区苔藓中重金属含量相比, 七一冰川地区苔藓中重金属含量也明显偏高. 苔藓对重金属的吸收受多种因素影响^[25,26], 不同地区苔藓中重金属含量的差异反映出苔藓生长的环境尤其是大气环境的差异. 七一冰川地区苔藓中重金属含量高于贡嘎山、北京灵山等人类活动较少的地区, 表明七一冰川大气受人类活动影响较多; 同时近几年七一冰川旅游业的发展, 游客产生的生活垃圾、车辆产生

表 4 不同地区苔藓植物体内化学元素含量平均值/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

地区	As	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Zn	文献
七一冰川	9.15	0.234	34.52	26.16	140.1	23 237	169.6	本研究
贡嘎山		0.11	0.22	1.78	0.32	33.2	3.99	[27]
青海	0.523	1.44	35.98	0.691	9.295	768.77	214.7	[15]
北京灵山	1.323	0.23	6.733	13.6	23.63	3 765	82.76	[28]
长三角地区		1.887	10.36	38.39	58.08		434.1	[13]
欧洲		0.2	2	4.1	6.3	409	31.4	[29]

的尾气等可能对七一冰川地区的自然环境产生了一定的影响。Cr、Cu 含量高于污染严重的长江三角洲地区,这并不说明七一地区 Cr、Cu 污染较长三角地区严重,不同种类的苔藓植物对不同重金属具有不同的富集程度^[29],同时苔藓植物的生长环境也可影响苔藓植物对重金属的吸收^[30]。此外,七一冰川地区苔藓中重金属含量均高于欧洲平均值,说明该区域大气重金属污染程度可能较欧洲严重。

2.2 苔藓中重金属元素的富集系数及相关性

元素富集系数(EF)是判断环境中元素受其他因素如人类活动等干扰程度的有效指标,苔藓中重金属元素的富集系数计算方法如下:元素富集系数 = 苔藓中该元素含量与参比元素含量比值/地壳中该元素含量与参比元素含量比值。参比元素一般选择地壳中普遍认为来源较少、化学稳定性好,分析结果精度高的低挥发性元素,研究中通常以 Sc、La、Fe 和 Al 作为参比元素^[31]。七一苔藓中重金属元素的富集系数的计算以 La 作为参比元素,元素在上地壳中的含量使用文献^[32]给出的数据。一般认为,富集系数(EF)在 1 左右可认为该元素主要来自地壳尘埃的贡献;在 5~10 之间视为中度富集,表明

除了地壳尘埃来源外,还有其他自然或人为来源;富集系数大于 10 时则视为高度富集,其来源可能主要是人为活动的释放^[31,33,34]。

七一地区苔藓中重金属元素的富集系数依次为 As > Cu > Pb > Zn > Cd > Fe > Cr(图 2)。As 元素的富集系数平均值为 7.3,为中度富集,表明该元素除地壳尘埃来源外,还有其他自然或人为来源。Cu、Pb、Zn 和 Cd 富集系数的平均值分别为 2.9、2.7、2.1 和 1.5,说明来源以地壳尘埃物质为主。然而,Cu、Pb、Zn 和 Cd 的部分富集系数值在 5 附近,也说明这些元素在一定程度上还受到其他自然或人为来源的干扰。Cr 和 Fe 的富集系数分别为 0.5 和 0.6,表明这两种元素的来源完全受自然来源控制,主要为地壳尘埃物质来源。

从元素间的相关性上看(如表 5),主要为地壳尘埃物质来源的 Cr 和 Fe 显著性相关。As 与 Cr 和 Fe 相关性很好,与其他元素相关性差,而富集系数显示 As 为中度富集,表明苔藓中的 As 有两种可能的来源:一是与 Cr 和 Fe 相似的地壳尘埃来源;一是与其他元素来源不同的其他人为来源。Cu、Pb、Zn 和 Cd 具有很好的相关性,说明这些元素具有相同或相似的来源。

表 5 七一冰川地区苔藓中重金属元素间相关分析¹⁾

Table 5 Pearson correlations analysis of heavy metals in mosses from Qiyi Glacier region

	Cr	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Cr	1	0.950 **	-0.060	-0.146	0.733 **	0.579 *	0.188
Fe		1	-0.130	-0.200	0.810 **	0.479	0.154
Cu			1	0.973 **	-0.365	0.436	0.857 **
Zn				1	-0.368	0.393	0.868 **
As					1	0.237	-0.105
Cd						1	0.716 **
Pb							1

1) ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

2.3 葫芦藓体内重金属源分析

上述分析表明,七一冰川地区苔藓中 As 元素除地壳尘埃来源外,还有其他自然或人为来源,Cu、Pb、Zn 和 Cd 这些元素也在一定程度上还受到其他自然或人为来源的干扰。重金属元素的其它自然来源包括海盐、火山活动、森林大火以及生物体释放^[2,35]。七一冰川深处内陆,远离降水源地,来自海盐输送及海洋生物释放的重金属元素可以说微乎其微,加之七一冰川及临近地区土壤发育极低,植被稀疏,陆地生物的释放量也是非常有限。近几年周围地区没有明显的森林火灾发生,更没有火山喷发事件。这几种来源的贡献基本可以排除。因此该地区

苔藓中 As、Cu、Pb、Zn 和 Cd 的其他来源只能是人为活动。铅、铜和锌是重金属冶炼污染的标识元素^[36,37],主要污染来源是金属矿的开采和冶炼、金属加工、机械制造、钢铁生产等。砷是煤等物质燃烧的主要标识元素,有研究表明车辆行驶过程中轮胎和刹车里衬磨损能形成 Pb、Zn、Cd、Cu 等重金属颗粒物^[38]。就七一冰川地区而言,距七一冰川较近的嘉峪关酒钢集团是以生产碳钢和不锈钢为主的大型有色金属冶炼和加工的综合型企业,还有镜铁山矿山、嘉峪关化工厂、炼焦厂等从事大量工业活动的企业[图 1(b)],对周边环境尤其是大气环境势必会有重大影响。此外七一冰川近几年旅游活动剧

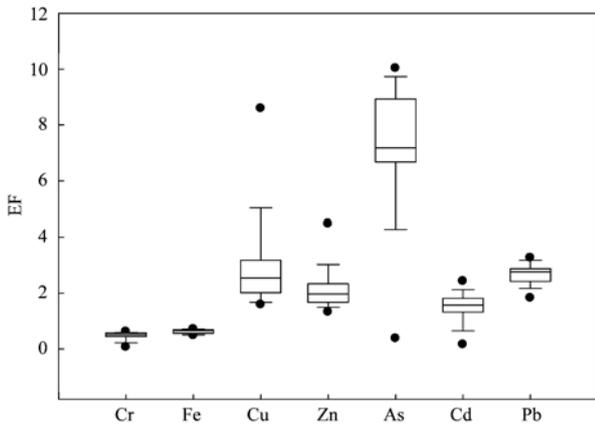


图 2 七一冰川地区苔藓中重金属富集系数

Fig. 2 Heavy metal element enrichment factors calculated using lanthanum (La) as the normalizing element in Qiyi Glacier region

增,区域内机动车辆行驶较多,也可能对大气中 Pb、Zn、Cu、Cd 的含量有一定的贡献.

为考察研究区内大气污染物可能的传输途径,利用 HYSPLIT 轨迹模式^[39-42]对 2009 年距地 1 000 m (850 hPa) 气流来源按季节进行分析. 其中,每条轨迹持续时间 5 d, 轨迹顶端的数码表示序号, 轨迹

中的小数表示该轨道占总轨道的比例,小点为每天天气团移动的位置. 结果如图 3 所示.

在七一冰川地区,春季的主要气流为 10 种类型,其中 1 号轨迹占 21% 是由吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦和新疆的交界处进入新疆境内经塔克拉玛干沙漠的西北路径; 2 号轨迹占 8% 是由东萨哈克斯坦州进入新疆北部境内的偏北轨迹; 3、4 号轨迹与 1 号轨迹在我国境内的路径相似各占总轨迹的 15%; 5、6 号轨迹在我国境内的轨迹相似,在境外分别源自哈萨克斯坦阿拉木图州及塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦交界各占 2%; 7 号和 9 号轨迹主要来自青海和内蒙古境内分别占 13% 和 8%; 8 号轨迹占 13% 由蒙古西南进入内蒙古的偏北路径; 10 号轨迹占 2% 是由俄罗斯进入蒙古到达内蒙的北方路径. 从以上路径及所占轨迹比例来看春季七一冰川区域大气输送主要是西北和偏北气流为主占 61%, 而西北路径所经区域大多为植被稀疏荒漠或是人类活动较少区域污染贡献较少. 夏季主要气流有两种类型: 1 号轨迹占 52%, 经过酒泉嘉峪关等地为偏北路径; 2 号路径占 48%, 为北疆路径. 2 号轨迹所经

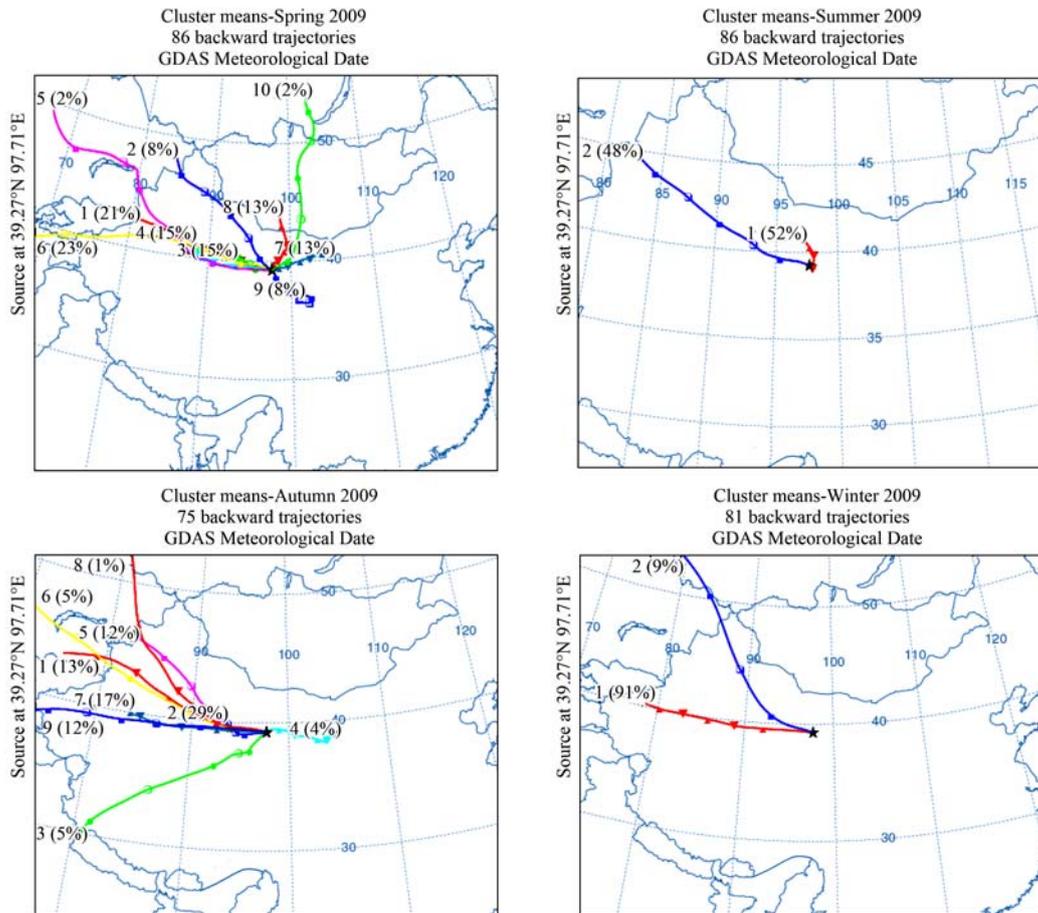


图 3 七一冰川春、夏、秋、冬距地 1 000 m 后向轨迹

Fig. 3 Back trajectories over 1 000 m in spring, summer, autumn and winter in Qiyi glacier region

区域人口稀少,工业活动少其大气输送对七一冰川地区影响较少;1号轨迹所代表的气流为夏季的主要类型,所经区域酒泉嘉峪关等地工业活动较多,是七一冰川区域大气污染物的主要贡献源。秋季主要气流有9种类型明显分为两部分:偏西路径和偏东路径,分别占96%和4%。偏西路径中3号轨迹占5%由印度进入青藏高原西部;境外输送占49%,分别为阿尔泰山疆区经东哈萨克斯坦州、东哈萨克斯坦、哈萨克斯坦、印度。这些地区人口较少,工业分布较少,规模也较小,对七一地区污染物的贡献较小。冬季主要气流有两种类型:1号轨迹是由阿尔泰山疆区经东哈萨克斯坦州进入北疆输送路径占9%,2号轨迹是由喀什经塔克拉玛干沙漠的输送路径占91%,该轨迹所经过的区域,沿途仅仅为乡镇,而且分布很少,植被稀疏的荒漠地表容易结皮,沙尘难以吹起^[43],因此这条轨迹所代表的气团对七一冰川地区污染物的输送较少。

3 结论

(1)七一冰川地区苔藓中重金属元素含量远高于我国贡嘎山原始森林地区和内陆青海海北和果洛地区,除Cr、Cu外低于长江三角洲地区。

(2)苔藓中Fe和Cr主要为地壳尘埃物质来源,Cu、Pb、Zn和Cd仍然以地壳尘埃来源为主,但在一定程度上受到人为活动干扰,As则中度富集,明显受工业活动的污染。

(3)七一冰川区域大气输送季节性明显,春秋两季大气输送源较多,但对该区域大气影响不大;冬夏两季大气主要输送源较少,夏季大气输送对该区域影响较大,酒泉嘉峪关等地是七一地区污染物的主要输送源。总体而言,七一地区周边的工业活动已经对七一冰川地区产生了影响,但仍为大气环境较为洁净的地区。

致谢:感谢中国科学院青藏高原研究所环境变化与地表过程重点实验室高少鹏老师在实验中给予的指导。

参考文献:

- [1] Pacyna J M. Estimation of the atmospheric emissions of trace elements from anthropogenic sources in Europe[J]. *Atmospheric Environment*, 1984, **18**(1): 41-50.
- [2] Nriagu J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of world wide contamination of air, water, and soils by trace metals [J]. *Nature*, 1988, **333**(6169): 134-139.
- [3] 戎秋涛,翁焕新. 环境地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1989. 282-320.
- [4] 张志杰,张维平. 环境污染生物监测与评价[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1991. 92-122.
- [5] Ross H R. On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1990, **50**(1-2): 63-76.
- [6] Pott U, Turpin D H. Changes in atmospheric trace element deposition in the Fraser Valley, B. C., Canada from 1960 to 1993 measured by moss monitoring with *Isoetes stoloniferum* [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1996, **74**(8): 1345-1353.
- [7] Penuelas J, Filella I. Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 2001, **7**(4): 427-433.
- [8] Rühling Å, Tyler G. An ecological approach to the lead problem [J]. *Botaniska Notiser*, 1968, **122**: 246-342.
- [9] Rühling Å, Tyler G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. [J]. *Oikos*, 1970, **21**(1): 92-97.
- [10] Rühling Å, Tyler G. Regional differences in the deposition of heavy metal over Scandinavia [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1971, **8**(2): 497-507.
- [11] Harmens H, Norris D, Rühling A, et al. Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe [R]. Wales: Centre for Ecology and Hydrology, 2008. 1-54.
- [12] Cao T, An L, Wang M, et al. Spatial and temporal changes of heavy metal concentrations in mosses and its indication to the environments in the past 40 years in the city of Shanghai, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(21): 5390-5402.
- [13] 曾元元. 长江三角洲地区小羽藓属植物重金属含量的时空变化及其对环境的指示[D]. 上海:上海师范大学, 2011. 30-42.
- [14] 黄朝表,郭水良,李海斌. 浙江金华市郊苔藓植物体内重金属离子含量测定与分析[J]. *上海交通大学学报(农业科版)*, 2004, **22**(3): 231-236.
- [15] 金艳霞,周华坤,赵新全,等. 青藏高原不同草地类型苔藓植物化学元素特征[J]. *草地学报*, 2013, **21**(1): 65-72.
- [16] 康世昌,张强弓. 青藏高原大气污染科学考察与监测[J]. *自然杂志*, 2010, **32**(1): 13-25.
- [17] 李向应,秦大河,井哲帆,等. 祁连山七一冰川流域微量元素的日变化及采样后未过滤的影响[J]. *中国科学*, 2012, **42**(11): 1742-1753.
- [18] 武小波,李全莲,宋高举,等. 祁连山七一冰川融水化学组成及演化特征[J]. *环境科学*, 2008, **29**(3): 613-618.
- [19] 施雅风,黄茂桓,任炳辉. 中国冰川概论[M]. 北京:科学出版社, 1988. 12-74.
- [20] 中国科学院高山冰雪利用研究队. 祁连山冰川考察报告[M]. 北京:科学出版社, 1958. 25-75.
- [21] 蒋熹,王宁练,杨胜朋,等. 祁连山七一冰川暖季能量平衡及小气候特征分析[J]. *冰川冻土*, 2010, **32**(4): 686-695.
- [22] 谢斐,张朝晖. 葫芦藓(*Funaria hygrometrica*)配子体和孢子体重金属富集特性比较[J]. *植物研究*, 2011, **31**(1): 117-120.

- [23] 吴虹玥, 包维楷, 王安, 等. 微波消解、ICP-AES 法测定苔藓植物中化学元素[J]. 中国环境科学, 2004, **24**(5): 565-567.
- [24] 刘晓红, 虞锡君. 长三角地区重金属污染特征及防治对策研究[J]. 生态经济, 2010, (10): 164-166.
- [25] Couto J A, Fernndez J A, Aboal J R, *et al.* Annual variability in heavy metal bioconcentration in moss: sampling protocol optimization [J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(25): 3517-3527.
- [26] 吴玉环, 高谦, 程国栋, 等. 苔藓植物对全球变化的响应及其生物指示意义[J]. 应用生态学报, 2002, **13**(7): 895-900.
- [27] 梁 鹏, 杨永奎, 何磊, 等. 贡嘎山原始森林区苔藓植物重金属含量及其对汞的吸附特征[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(6): 1191-1196.
- [28] 邵晶, 张朝晖, 柴之芳, 等. 苔藓对大气沉降重金属元素富集作用的研究[J]. 核化学与放射化学, 2002, **24**(1): 6-10.
- [29] Thöni T, Yurukova L, Bergamini A, *et al.* Temporal trends and spatial patterns of heavy metal concentrations in mosses in Bulgaria and Switzerland: 1990- 2005 [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(11): 1899-1912.
- [30] Figueira R, Se'rgioa C, Sousa A J. Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal[J]. Environmental Pollution, 2002, **118**(1): 153-163.
- [31] Taylor S R. Abundance off chemical elements in the continental crust: a new table [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1964, **28**(8): 1273-1285.
- [32] Berganmaschi L, Rizzio E, Valcuvia M G, *et al.* Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan lichens [J]. Environmental Pollution, 2002, **120**(1): 137-144.
- [33] 方炎明. 苔藓与城市空气重金属污染: 监测评价方法与新近应用[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2010, **28**(4): 69-74.
- [34] Steinnes E, Rambaek J P, Hanssen J E. Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor [J]. Chemosphere, 1992, **25**(5): 735-752.
- [35] 沈轶, 陈立民, 孙久宽, 等. 上海市大气 PM_{2.5} 中 Cu、Zn、Pb、As 等元素的浓度特征[J]. 复旦学报(自然科学版), 2002, **41**(4): 405-408.
- [36] Cloquet C, Carignan J, Libourel G. Atmospheric pollutant dispersion around an urban area using trace metal concentrations and Pb isotopic compositions in epiphytic lichens [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(3): 574-587.
- [37] 陈媛, 岑况, Norra S, 等. 北京市区大气气溶胶 PM_{2.5} 污染特征及颗粒物溯源与追踪分析[J]. 现代地质, 2010, **24**(2): 345-354.
- [38] 刘扬. 城市道路八角金盘叶片重金属 Pb、Zn 污染研究——以上海漕溪路-沪闵路、延安西路为例[D]. 上海: 上海师范大学, 2007. 1-7.
- [39] Wesely M L. Parameterization of surface distance to gaseous dry deposit ion in regional scale numerical models [J]. Atmospheric Environment, 1989, **23**(6): 1293-1304.
- [40] Stunder B J B. An assessment of quality of forecast trajectories [J]. Journal of Applied Meteorology, 1996, **35**(8): 1319-1331.
- [41] Draxler R R. Trajectory optimization for balloon flight tracking [J]. Weather and Forecasting, 1996, **11**(1): 111-114.
- [42] Draxler R R. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories (HYSPLIT): Version 4.7-User's Guide and Model Description [M]. NOAA Technical Memo ERLARL-195, 1992.
- [43] 张广兴, 崔彩霞, 赵元茂, 等. 阿克达拉大气本底站气流轨迹模拟研究[J]. 中国沙漠, 2008, **28**(1): 154-160.

CONTENTS

Comparative Analysis on Meteorological Condition for Persistent Haze Cases in Summer and Winter in Beijing	LIAO Xiao-nong, ZHANG Xiao-ling, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2031)
Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2045)
Study on Transition Metals in Airborne Particulate Matter in Shanghai City's Subway	BAO Liang-man, LEI Qian-tao, TAN Ming-guang, <i>et al.</i> (2052)
Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiyi Glacier Region	MA Juan-juan, LI Zhen (2060)
Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter	SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (2067)
Pollution by Heavy Metals in the Petrochemical Sewage Waters of the Sea Area of Daya Bay and Assessment on Potential Ecological Risks	XU Shan-nan, LI Chun-hou, XU Jiao-jiao, <i>et al.</i> (2075)
Distribution of Perfluorinated Compounds in Surface Water of Shenzhen Reservoir Groups	WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, HE Long, <i>et al.</i> (2085)
Contamination and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Epikarst Spring Water	SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, YUAN Dao-xian (2091)
Biogeochemical Processes of the Major Ions and Dissolved Inorganic Carbon in the Guijiang River	TANG Wen-kui, TAO Zhen, GAO Quan-zhou, <i>et al.</i> (2099)
Hydrologic Processes of the Different Landscape Zones in Fenhe River Headwater Catchment	YANG Yong-gang, LI Cai-mei, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i> (2108)
Assessment of Groundwater Quality of Different Aquifers in Tongzhou Area in Beijing Plain and Its Chemical Characteristics Analysis	GUO Gao-xuan, JU Yi-wen, ZHAI Hang, <i>et al.</i> (2114)
Models for Quantification of Fluid Saturation in Two-Phase Flow System by Light Transmission Method and Its Application	ZHANG Yan-hong, YE Shu-jun, WU Ji-chun (2120)
Nitrogen Leaching and Associated Environmental Health Effect in Sloping Cropland of Purple Soil	CHEN Wei-liang, GAO Yang, LIN Yong-ming, <i>et al.</i> (2129)
Research on Land Use Structure Optimization Based on Nonpoint Source Dissolved Nitrogen Load Estimation in Shuashui Watershed	LU Yu-chao, BI Meng-fei, LI Ze-li, <i>et al.</i> (2139)
Nitrogen and Organic Matter Vertical Distribution Characteristics and Evaluation in Ancient Canal Sediments of Zhenjiang Old Town	ZHOU Xiao-hong, LI Yi-min, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (2148)
Effects of Two Submerged Macrophytes on Dissolved Inorganic Nitrogen in Overlying Water and Interstitial Water	YANG Wen-bin, LI Yang, SUN Gong-xian (2156)
Bioavailable Phosphorus on Suspended Solids of Lake Under Short-term and Repeated Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng (2164)
Influence of Different Disturbance Intensity on the Phosphorus Adsorption and Immobilization by the Sediments from an Inner City Heavily Polluted Canal	WANG Shang, LI Da-peng (2171)
Effect of Feed Residues on the Release of Nitrogen and Phosphorus of Pond Sediment	LÜ Yuan-jiao, LI Rui-jiao, ZHANG Nian, <i>et al.</i> (2178)
Delivery and Release of Sediment PAHs During Resuspension	WANG Xiao-hui, BI Chun-juan, HAN Jing-chao (2185)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Redox Reactions of Mercury	ZHAO Shi-bo, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2193)
Removal of Fluorescent Whitening Agent by Hydrogen Peroxide Oxidation Catalyzed by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhong-min, ZHAO Xia, <i>et al.</i> (2201)
Kinetics of Alkylphenols Degradation in Aqueous Phase with Excilamp Irradiation	LIU Yu-hai, YE Zhao-lian, WEN Ying-pin, <i>et al.</i> (2209)
AF + BAF for Treating Effluent in the Sewage Plant of the Resin and Chemical Industry Park	TU Yong, LIU Wei-jing, ZHANG Yao-hui, <i>et al.</i> (2216)
Synthesis and Adsorption Property of Cd(II)-8-hydroxyquinoline Molecularly Imprinted Polymer Microspheres	YANG Chun-yan, CHEN Fu-bin, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2223)
Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Microbubble-aerated Biofilm Reactor	LIU Chun, NIAN Yong-jia, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2230)
Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification	TANG Dan-qi, WANG Juan, ZHENG Tian-long, <i>et al.</i> (2236)
Impacts of Filamentous Bulking on Treatment Effect and Fouling Characteristics of Nonwoven Bioreactor	SHI Kuan, XUE Gang, GAO Pin, <i>et al.</i> (2241)
Optimization for Phosphorous Removal in Thickening and Dewatering Sludge Water by Polyaluminum Chloride	ZHOU Zhen, HU Da-long, QIAO Wei-min, <i>et al.</i> (2249)
Simulation of Long-Range Transport Potential of POPs in Poyang Lake	GONG Xiao-feng, XIANG Hong-rui, CHEN Chun-li, <i>et al.</i> (2256)
Uncertainty Analysis of Ecological Risk Assessment Caused by Heavy-metals Deposition from MSWI Emission	LIAO Zhi-heng, SUN Jia-ren, WU Dui, <i>et al.</i> (2264)
Risk Assessment and Countermeasures of BTEX Contamination in Soils of Typical Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (2272)
Levels Distribution and Risk Assessment of the Indicator and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Ten Different Species of Marine Fish of Bohai Bay, China	WANG Sha-sha, GAO Li-rong, TIAN Yi-ling, <i>et al.</i> (2281)
Detection of Biohazardous Materials in Water upon the Characteristics of Fluorescent Sensor Flex	ZHAO Wei, WANG Zhao, CAI Qiang, <i>et al.</i> (2287)
Generation and Release of Microcystin-LR by <i>Microcystis aeruginosa</i> Under Hydroquinone Inhibition	ZHANG Yuan-chun, LIANG Wen-yan, ZHAO Yuan, <i>et al.</i> (2294)
Culture Medium Based on Biogas Slurry and Breeding of Oil Chlorella	ZHAO Feng-min, MEI Shuai, CAO You-fu, <i>et al.</i> (2300)
Microbial Diversity and Ammonia-Oxidizing Microorganism of a Soil Sample Near an Acid Mine Drainage Lake	LIU Ying, WANG Li-hua, HAO Chun-bo, <i>et al.</i> (2305)
Effects of <i>Corbicula fluminea</i> Bioturbation on the Community Composition and Abundance of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in Surface Sediments	WANG Xue, ZHAO Da-yong, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2314)
Methanogenic Activity and Methanogen Diversity in Marine Gas Field Sediments	TIAN Qi, WANG Jia, FAN Xiao-lei, <i>et al.</i> (2322)
Effect of the Potential on Bacterial Community Under Illumination by DGGE and T-RFLP	WU Yi-cheng, DENG Huan, XIAO Yong, <i>et al.</i> (2328)
Isolation and Characterization of Two Bacteria with Heavy Metal Resistance and Phosphate Solubilizing Capability	TIAN Jiang, PENG Xia-wei, LI Xia, <i>et al.</i> (2334)
Identification and Denitrification Characteristics of a Psychrotolerant Facultative Basophilic Aerobic Denitrifier	WANG Zhao-yang, CHEN Guo-yao, JIANG Ke, <i>et al.</i> (2341)
Effects of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhiza on Activities of Antioxidant Enzymes, Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Different Varieties of Tomato	JIANG Ling, YANG Yun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (2349)
Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta	LI Ling, QIU Shao-jun, CHEN Yin-ping, <i>et al.</i> (2358)
Variation of Soil Nitrogen During <i>in situ</i> Mineralization Process Under Different Grasslands in the Mountainous Area of Southern Ningxia, Northwest China	JIANG Yue-li, ZHAO Tong, YAN Hao, <i>et al.</i> (2365)
Effects of Long-Term Application of Pig Manure Containing Residual Tetracycline on the Formation of Drug-Resistant Bacteria and Resistance Genes	ZHANG Jun, YANG Xiao-hong, GE Feng, <i>et al.</i> (2374)
Long-Term Effects of Tillage Methods on Heavy Metal Accumulation and Availability in Purple Paddy Soil	CHANG Tong-ju, CUI Xiao-qiang, RUAN Zhen, <i>et al.</i> (2381)
Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Soils of the Ili River Basin and Pollution Evaluation	ZHAO Xin-ru, Telajin Nasier, CHENG Yong-yi, <i>et al.</i> (2392)
Distribution Patterns and Pollution Assessments of Heavy Metals in the <i>Spartina alterniflora</i> Salt-Marsh Wetland of Rudong, Jiangsu Province	ZHANG Long-hui, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (2401)
Temporal-Spatial Distribution of Agricultural Diffuse Nitrogen Pollution and Relationship with Soil Respiration and Nitrification	OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, <i>et al.</i> (2411)
Soil Respiration and Carbon Balance in Wheat Field Under Conservation Tillage	ZHANG Sai, WANG Long-chang, HUANG Zhao-cun, <i>et al.</i> (2419)
Comparison of Soil Respiration in Natural <i>Castanopsis carlesii</i> Forest and Plantation Forest	WU Jun-jun, YANG Zhi-jie, WENG Fa-jin, <i>et al.</i> (2426)
Influences of Hydraulic Retention Time on the Ethanol Type Fermentation Hydrogen Production System in a Hybrid Anaerobic Baffled Reactor	LIU Xiao-ye, ZHANG Hong, LI Yong-feng (2433)

《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6月15日 第35卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 6 Jun. 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