

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第12期

Vol.37 No.12

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

基于数值计算的细颗粒物采样管路传输损失评估 罗李娜,程真,朱雯斐,张强,楼晟荣,乔利平,晏乃强(4457)

南京北郊重金属气溶胶粒子来源分析 秦鑫,张泽锋,李艳伟,沈艳,赵姝慧(4467)

南京青奥会期间不同天气条件下大气气溶胶中水溶性离子的分布特征 师远哲,安俊琳,王红磊,邹嘉南,王俊秀(4475)

苏州市 PM_{2.5} 中水溶性离子的季节变化及来源分析 王念飞,陈阳,郝庆菊,王欢博,杨复沫,赵晴,薄宇,贺克斌,姚玉刚(4482)

成都西南郊区春季 PM_{2.5} 中元素特征及重金属潜在生态风险评价 杨怀金,杨德容,叶芝祥,张恒德,马学款,汤志亚,毛冬艳(4490)

泉州市大气降尘中稀土元素地球化学特征及来源解析 张棕巍,于瑞莲,胡恭任,胡起超,王晓明(4504)

青奥会期间基于 $\delta^{13}\text{C}$ 观测的大气 CO₂ 来源解析 徐家平,李旭辉,肖薇,次仁旺姆,温学发,刘寿东,杜雪婷,曹畅(4514)

民航飞机起飞过程气态污染物排放特征分析 韩博,黄佳敏,魏志强(4524)

畜禽养殖场空气中可培养抗生素耐药菌污染特点研究 张兰河,贺雨伟,陈默,高敏,仇天雷,王旭明(4531)

有序介孔材料过滤脱除纳米颗粒物 邢奕,王骢,路培,李子宜,刘应书,于晗(4538)

基于 DOC + CDPF 技术的公交车燃用生物柴油气态物道路排放特性 楼狄明,张允华,谭丕强,胡志远(4545)

亚热带浅水池塘水-气界面甲烷通量特征 龙丽,肖尚斌,张成,张文丽,谢恒,李迎春,雷丹,穆晓辉,张军伟(4552)

浙江汤浦水库浮游植物季节演替及其影响因子分析 马沛明,施练东,张俊芳,胡菊香,赵先富(4560)

太湖典型沉水植物生理指标对水质的响应 高敏,胡维平,邓建才,胡春华(4570)

利用 UV-vis 及 EEMs 对比冬季完全混合下两个不同特征水库溶解性有机物的光学特性 黄廷林,方开凯,张春华,周石磊,曾明正,龙圣海,李扬,夏超,从海兵(4577)

三峡前置库汉丰湖试运行年水体水质现状及控制效果评估 杨兵,何丙辉,王德宝(4586)

太湖贡湖湾水域抗生素污染特征分析与生态风险评价 武旭跃,邹华,朱荣,王靖国(4596)

滇池不同湖区沉积物正构烷烃的分布特征及其环境意义 余丽燕,韩秀秀,黄晓虎,吴亚林,杨浩,黄涛,余艳红,黄昌春(4605)

洱海入湖河口湿地干湿季沉积物氮、磷、有机质垂向分布特征及污染风险差异性 王书锦,刘云根,王妍,侯磊,张超(4615)

蠡湖表层沉积物氮矿化过程及其赋存形态变化 赵丽,王书航,姜霞,黄晓峰,陈俊伊(4626)

三峡库区表层沉积物重金属含量时空变化特征及潜在生态风险变化趋势研究 卓海华,孙志伟,谭凌智,吴云丽,兰静(4633)

模拟巢湖流域氯菊酯的迁移转化和生态风险 刘亚莉,王继忠,彭书传,陈天虎(4644)

有机质胶体对卡马西平在多孔介质中迁移影响模拟实验 张思,何江涛,朱晓婧(4651)

无机型城市景观水体表观污染的悬浮颗粒物粒度分布特征:以中国运河苏州段为例 李倩倩,潘杨,贡丹燕,黄勇,夏侯刚(4662)

清水江流域岩石风化特征及其碳汇效应 吕婕梅,安艳玲,吴起鑫,吴永贵(4671)

南方典型农田区浅层地下水污染特征 郭卉,虞敏达,何小松,罗岳平(4680)

水化学和环境同位素在示踪枣庄市南部地下水硫酸盐污染源中的应用 马燕华,苏春利,刘伟江,朱亚鹏,李俊霞(4690)

粗放型绿色屋顶对多环芳烃的控制效果 沈庆然,侯娟,李田(4700)

超滤的预处理工艺对比研究:化学混凝与电絮凝 赵凯,杨春风,孙境求,李静,胡承志(4706)

QCM-D 与 AFM 联用解析 EfOM 在 SiO₂ 改性 PVDF 超滤膜表面的吸附机制 姜家良,王磊,黄丹曦,黄松,朱振亚,徐亚伟,李青青(4712)

群体感应淬灭菌的分离及其膜污染控制性能 赵畅,王文昭,徐期勇(4720)

水力负荷对生物沉淀池污染物净化性能的影响特性 王文东,马翠,刘荟,范银萍,刘国旗,张珂(4727)

外加微量 N₂H₄ 下 SBR 中硝化微生物特性 肖芄颖,张代钧,卢培利(4734)

部分半硝化 AGS-SBR 工艺的启动及其种群结构分析 鲁航,信欣,管蕾,邹长武,余静(4741)

典型油田多环芳烃污染对土壤反硝化微生物群落结构的影响 姚炎红,王明霞,左小虎,李振轮,罗锋,周志峰(4750)

生物强化膜生物反应器(MBR)处理邻苯二甲酸二乙酯(DEP)效果及微生物群落结构分析 张可,关允,罗鸿兵,陈伟,陈佳,陈强(4760)

开闭路条件下沉积物微生物燃料电池阳极细菌群落差异解析 吴义诚,邓全鑫,王泽杰,郑越,李岱霖,赵峰(4768)

全氟辛酸(PFOA)厌氧生物可降解性 李飞,陈轶丹,周真明,廖晓斌,马红芳,苑宝玲(4773)

水肥用量对玉米季土壤 CO₂ 排放的综合影响 杨硕欢,张保成,王丽,胡田田(4780)

福建西部山地水土流失区土壤呼吸的空间异质性 姚雄,余坤勇,曾琪,杨玉洁,张今朝,刘健(4789)

基于不确定性分析的土壤-水稻系统镉污染综合风险评估 杨阳,陈卫平,李艳玲,王美娥,彭驰(4800)

北京市不同地区土壤中的球囊霉素荧光特征及其与土壤理化性质的关系 柴立伟,刘梦娇,蒋大林,樊灏,曹晓峰,黄艺(4806)

准东煤炭产业区周边土壤重金属污染与健康风险的空间分布特征 刘芳,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,王楠,杨春,夏楠,高宇潇(4815)

河北平原潮土中微生物对氮降解特征 张灿灿,庞会从,高太忠,张静,李晓玉,付胜霞(4830)

砷-非对蜈蚣草根不同碳基团的影响 廖晓勇,龚雪刚,阎秀兰,马旭,吴泽赢(4841)

碱性固体对污泥的调质堆肥影响及产品对土壤的改良潜力 蔡函臻,宁西翠,王权,张增强,任秀娜,李荣华,王美净, Mukesh Kumar Awasthi(4848)

不同热解及来源生物炭对西北黄土吸附敌草隆的影响 孙航,蒋煜峰,石磊平,慕仲锋,展惠英(4857)

南丹矿业活动影响区人群头发中重金属含量特征 田美玲,钟雪梅,夏德尚,伏凤艳,陆素芬,李黎,宋波(4867)

Mg-Al-Me (Me = La, Ce, Zr) 复合氧化物制备及其除氟性能 汪爱河,周康根,刘行,陈泉州,刘芳(4874)

铁锰复合氧化物/壳聚糖珠:一种环境友好型除磷吸附剂 付军,范芳,李海宁,张高生(4882)

不同粒径垃圾焚烧飞灰重金属毒性浸出及生物可给性 王春峰,陈冠飞,朱艳臣,姚丹,皇晓晨,王连军(4891)

《环境科学》第37卷(2016年)总目录 (4899)

《环境科学》征稿简则(4466) 《环境科学》征订启事(4699) 信息(4489,4881)

南丹矿业活动影响区人群头发中重金属含量特征

田美玲¹, 钟雪梅², 夏德尚², 伏凤艳¹, 陆素芬¹, 李藜¹, 宋波^{1,3*}

(1. 桂林理工大学环境科学与工程学院, 桂林 541004; 2. 桂林理工大学地球科学学院, 桂林 541004; 3. 广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 桂林 541004)

摘要: 为探讨矿业活动对“有色金属之乡”南丹矿区周边常住居民健康的影响, 采集矿业活动影响区车河镇、大厂镇、长老乡及对照区六寨镇中典型村庄居民发样 200 个, 用原子荧光形态分析仪 (AFS-9700)、石墨炉原子吸收分光光谱仪 (AA 700) 和电感耦合等离子体发射光谱仪 (Optima 7000) 测试其重金属含量. 结果表明, 受影响区人群发样中 As、Sb、Cd 和 Pb 的平均含量分别为 1.260、2.161、2.466 和 20.92 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 分别是对照区的 4.0、20、2.1 和 1.9 倍, 且车河、大厂人群发样中 Sb 含量超出推荐正常范围; 受影响区人群发样中 Zn 含量与居民年龄呈负相关 ($P < 0.05$, $n = 151$), Cd 和 Pb 含量与居民年龄呈弱负相关 ($P < 0.1$, $n = 151$); 通过独立样本 t 检验, 受影响区男性居民发样中 Cd 含量显著高于女性 ($P < 0.05$), 而女性居民发样中 Cu 和 Zn 含量显著高于男性 ($P < 0.05$). 调查区域人群发样中 As 与 Sb、Cd 与 Pb、As 与 Cd 呈显著相关性 ($P < 0.01$). 可见, 南丹矿业活动对周边常住人群人发重金属积累效应明显.

关键词: 人发; 重金属; 年龄; 性别; 矿业活动; 南丹

中图分类号: X171.5; X503.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)12-4867-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201604206

Characteristics of Heavy Metal Contents in Human Hairs of Mine Contaminated Areas in Nandan County

TIAN Mei-ling¹, ZHONG Xue-mei², XIA De-shang², FU Feng-yan¹, LU Su-fen¹, LI Li¹, SONG Bo^{1,3*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Nandan county is usually called “land of nonferrous metals”. In order to discuss the impact of mining activities on the health of inhabitants in Nandan county, 200 human hair samples were collected from 4 villages (Liuzhai is a uncontaminated contrast areas, Chehe, Dachang and Zhanglao are contaminated areas) of Nandan and analyzed for contents of As, Sb, Cd, Pb, Cu and Zn. The results showed that the average contents of As, Sb, Cd and Pb were 1.260, 2.161, 2.466 and 20.92 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in the human hair samples from contaminated areas. They were 4.0, 20, 2.1 and 1.9 times higher than those in the contrast areas, and the Sb contents in human hair of Chehe and Dachang were higher than the recommended normal range. The contents of human hair Zn showed a negative correlation with the age of people ($P < 0.05$), and contents of human hair Cd and Pb showed a weak negative correlation with the age of people in contaminated areas ($P < 0.1$). The independent-samples t -test showed that Cd contents in male hair were apparently higher than those in female hair ($P < 0.05$), however, Cu and Zn contents in female hair were apparently higher than those in male hair ($P < 0.05$), in the contaminated areas. There were positive correlations between As and Sb, Cd and Pb, as well as As and Cd ($P < 0.01$), while other elements showed no significant correlation between pairs. It was therefore concluded that contamination from the mining activities has exposed a serious threat to human health in the mine contaminated areas in Nandan county.

Key words: hair; heavy metal; age; gender; mining activity; Nandan County

As、Sb、Cd 和 Pb 等重金属一般具有显著的生物毒性, 不能被微生物分解, 只能发生各种形态的相互转化, 并在环境中分散和富集, 因此, 重金属成为最受关注的环境污染物之一^[1]. As 是一种有毒并致畸、致癌的化学元素^[2], 砒中毒事件时有发生, 在国内外已有大量的相关报道^[3]. Sb 在环境中普遍存在, 与 As 是同族元素, 两者存在伴生关系. Cd 是人体非必须且具有积累性的有毒元素. Pb 广泛存在于自然界中, 是对人体毒性最强的重金属之一^[4], 长期或过量摄入 Pb 容易引起神经系统、消化

系统、造血系统和肾脏的损害^[5]. Cu、Zn 是动植物和人体所必须的微量元素, 但其含量超过一定限值时也会产生潜在危害.

近年来, 矿产开发导致大量矿区周边水体、土

收稿日期: 2016-04-26; 修订日期: 2016-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261082); 广西自然科学基金项目(2013GXNSFEA053002); “八桂学者”建设工程专项; 广西高等学校高水平创新团队及卓越学者计划项目(002401013001)

作者简介: 田美玲(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为污染土壤修复和区域环境调查与风险评估, E-mail: meilingtian@foxmail.com

* 通讯联系人, E-mail: songbo@glut.edu.cn

壤及植被受到不同程度的污染,污染物又通过膳食、饮水、皮肤接触和呼吸作用等途径进入人体^[1],对人类健康产生影响. 矿区环境重金属污染对人群健康的危害越来越受到关注,通过人体生物监测来反映环境质量状况成为目前环境监测的重要应用之一^[6].

重金属极易在人体头发、血液和尿液中蓄积,头发反映身体环境暴露和内部组织长时间的平均水平,而血、尿仅反映取样时短期的身体状况^[7],相对血液和尿液,人发具有取材方便,不会对个体造成体表伤害、易于收集储存、元素含量较高、重复测定方便等优点^[8],头发中各元素的水平代表了身体元素的总体水平^[9]. 1989年, Dipietro 等^[10]测定了531例美国儿童和成人头发中28种元素的含量,结果发现,人体头发中许多元素的含量与年龄有很强的相关性. 现在全世界已对头发中元素作了大量的研究和测定,虽然还未制订出全人类统一的正常值或正常参考范围,但已对人发中几十种元素的含量范围有基本了解. 以南丹矿业活动影响区为例,选择人发作为生物指示物,分析对人体健康影响较大的As、Sb、Cd、Pb、Cu和Zn等元素,研究矿业活动影响区人群头发中重金属含量分布状况及其与清洁对照区人群头发重金属含量的差异,旨在为矿区重金属污染防治提供依据,同时对改善矿区居民健康水平也具有重要的参考价值.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南丹县位于广西壮族自治区西北部,有色金属矿产资源非常丰富,已查明矿产有20多种,主要为锡、锑、锌、金、银、铜、铁、钢和钨等有色金属资源,总储量达1100万t^[11],其中铅、锌矿保有储量在全国排名中靠前,被誉为“有色金属之乡”. 在南丹选定的研究区分为受影响区和对照区(图1),受影响区包括车河、大厂和长老三乡镇中的典型村庄(在车河镇和大厂镇,选择离矿业密集区3~5 km的村庄,在长老乡选择刁江沿岸可能受污灌水影响的村庄),车河和大厂处于多金属矿核心地带,有数十家采矿企业分布其中,矿山开采及冶炼活动产生的“三废”通过大气沉降和地表径流等途径进入土壤和河流,并严重威胁到周边环境;长老乡位于刁江的中上游,污染物主要通过水力作用导致沿河农田土壤受含尾砂的洪水冲击和淹没,使农业生产受到较大影响. 在相对矿区的上风向西北方,选取1

个不受矿业活动影响且居民生活、饮食习惯与受影响区相近的清洁区——六寨,作为对照区. 在研究区域中选择的典型村庄要求有相对集中的30户以上常住居民,且在六寨、车河、大厂、长老分别调查26、27、24、25户居民.



图1 研究区域分布示意

Fig. 1 Map showing the study area and sampling locations

1.2 样品采集

于2013年7月19日至8月4日和2014年11月18日至11月27日分别采集夏季样品($n=92$)和冬季样品($n=108$),采样对象为未染发、烫发和焗油的当地常住居民或近两年无外出务工者. 在各个乡镇点的调查居民户中,随机选取不同年龄(4~85岁)的男女性人群,用不锈钢剪刀在受试者后颈部发际和枕骨隆突水平间剪取接近头皮约3~5 cm的新生发2~3 g,分别封装于聚乙烯封口袋中并编号,同时记录采样对象姓名、性别、年龄和职业等信息,共采集人发样品200份,以代表受影响区和对照区人群头发.

1.3 样品处理与测试

发样的洗涤: 首先将样品用不锈钢剪刀剪成约1 cm的小段,然后放置在烧杯中,用中性洗涤剂的5%溶液浸泡0.5 h,用自来水冲洗至无泡沫,再用超纯水润洗3~5次. 发样清洗完后,置于60℃烘箱中干燥8 h. 发样的消解: 准确称取样品0.2 g(精确到0.0001 g)于150 mL锥形瓶中,加入5 mL HNO₃、1 mL HClO₄,加一曲径小漏斗,盖膜浸泡过夜,次日将电热板调至90℃左右加热,待红棕色烟减少,反

应趋于平稳后提高温度至 170℃ (实际温度), 保持锥形瓶中消煮液微沸, 直至消煮液澄清透明, 体积减少至 1~2 mL (若有机质较多, 底部有粘糊现象, 应取下放冷, 再加少许 HNO₃), 取下冷却后用超纯水定容至 25 mL 具塞比色管中待测, 同时做平行样品和试剂空白。

样品消解液中重金属 As 和 Sb 采用原子荧光形态分析仪 (AFS-9700) 测定, 重金属 Cd 和 Pb 采用石墨炉原子吸收分光光谱仪 (AA 700) 测定, Cu 和 Zn 采用电感耦合等离子发射光谱仪 (Optima 7000) 测定。分析过程中加入国家人发标准物质 (GBW 09101b) 进行质量控制, 回收率均在 80%~120% 之间。分析所用试剂均为优级纯, 所用的水均为超纯水 (亚沸水)。

1.4 数据分析与评价方法

采用 Origin、SPSS 软件进行数据统计处理与分析, 利用 ArcGIS 等软件制作研究区域分布示意图。相关性分析采用原始数据进行。

人发重金属含量尚无国家限量标准, 因此以文献 [12] 中人发重金属含量范围作为参考依据, 采用受影响区与对照区人群发样中重金属含量对比的方法来评价人发中重金属元素是否积累, 并进一步整

体评价研究区人群头发重金属含量状况。

2 结果与分析

2.1 不同采样批次人发样品中重金属含量对比

为更准确地了解矿业活动影响区人群发样中重金属含量状况, 分别于 2013 年夏季和 2014 年冬季进行抽样调查。结果表明, 同一地区的两季样品重金属含量经对数转换后均符合正态分布 ($P_{K-S} \geq 0.05$), 由夏、冬两季样品差异性分析结果来看: 六寨人群发样中 Cd 和 Pb, 车河人群发样中 Cd、Pb 和 Cu, 大厂人群发样中 Cu, 长老人群发样中 Cu 和 Zn 对应的两季样品含量差异显著 ($P < 0.05$), 显示通过夏、冬两次抽样来说明调查区域人群健康状况的必要性; 有意思的是, 各研究区两次抽样中 As 和 Sb 含量差异均不显著 ($P \geq 0.05$), 说明夏、冬两季样品具有较好的一致性。后续分析中均用夏冬两季数据汇总进行。

2.2 人发样品中重金属含量特征

经 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态性检验, 六寨人群发样中 As、Pb 和 Zn, 车河人群发样中 Zn, 长老人群发样中 Sb 和 Cu 符合正态分布; 对数转换后, 六寨、车河、大厂、长老这 4 个地区人群发样中其他重金属元素的平均含量均符合正态分布 (表 1)。

表 1 南丹不同地区人群发样中重金属含量状况¹⁾

Table 1 Heavy metal contents of human hair in different regions from Nandan County

元素	地区	最小值 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	最大值 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	几何均值 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	几何标准差	P_{K-S}^*	超过参考值 范围比例/%	推荐正常范围 ^[12] / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
As	六寨 ($n=49$)	0.001	0.975	0.228a	0.209	0.215	18.37	0.04~0.85
	车河 ($n=58$)	0.083	10.39	0.694	1.003	0.673	39.66	
	大厂 ($n=43$)	0.049	37.01	0.829	1.322	0.987	46.51	
	长老 ($n=50$)	0.046	2.111	0.403	0.736	0.680	16.00	
Sb	六寨 ($n=49$)	0.012	1.017	0.068	0.879	0.973	10.20	0.013~0.26
	车河 ($n=58$)	0.044	25.84	0.496	1.130	0.087	79.31	
	大厂 ($n=43$)	0.064	51.34	1.039	1.767	0.074	83.72	
	长老 ($n=50$)	0.011	0.658	0.108a	0.126	0.386	10.00	
Cd	六寨 ($n=49$)	0.059	11.69	0.489	1.295	0.222	16.33	0.1~2.0
	车河 ($n=58$)	0.023	35.73	1.040	1.357	0.807	29.31	
	大厂 ($n=43$)	0.008	61.26	0.771	1.700	0.998	27.91	
	长老 ($n=50$)	0.030	45.58	0.440	1.167	0.765	4.000	
Pb	六寨 ($n=49$)	0.087	30.13	6.880a	1.203	0.421	0.000	2.3~56
	车河 ($n=58$)	0.397	168.5	8.295	1.084	0.983	3.448	
	大厂 ($n=43$)	0.400	121.1	11.97	1.103	0.829	11.63	
	长老 ($n=50$)	0.919	862.1	7.649	1.156	0.763	6.000	
Cu	六寨 ($n=49$)	1.754	132.1	8.503	0.821	0.116	6.122	7.0~29
	车河 ($n=58$)	0.375	112.7	7.527	0.803	0.377	1.724	
	大厂 ($n=43$)	1.875	32.30	9.106	0.555	0.082	2.326	
	长老 ($n=50$)	0.624	23.82	7.402a	0.613	0.698	0.000	
Zn	六寨 ($n=49$)	107.9	2071	368.1a	0.623	0.905	73.47	140~250
	车河 ($n=58$)	78.45	1962	304.7a	0.648	0.747	56.90	
	大厂 ($n=43$)	160.5	2151	371.0	0.650	0.210	65.12	
	长老 ($n=50$)	72.38	1562	290.5	0.534	0.831	54.00	

1) 数值带 a 仅表示该组数据符合正态分布; P_{K-S}^* 表示对数转换后的值

由表 1 可以看出,六寨、车河、大厂和长老这 4 个地区的人群发样中 As 平均含量均在推荐范围以内,但各个地区均有超标人群. 车河、大厂和长老人群发样中 As 含量分别是对照区的 3.04、3.64 和 1.77 倍,独立样本 t 检验结果表明:车河、大厂、长老人群发样中 As 含量显著高于对照区六寨($P < 0.05$),可能是因为大厂、车河、长老受到 As 污染^[13, 14],个别居民发样中 As 含量很高,超过推荐正常范围的 40 余倍,而这些居民通常直接从事矿产开采,其中发 As 含量最高的是一位 47 岁的男性矿区工人,长期暴露在高浓度的 As 环境中,通过皮肤接触、呼吸和饮食等途径吸收环境中的 As,使得高积累量的重金属 As 元素成为人群职业暴露的指示物.

对照区人群发样中 Sb 含量在推荐范围以内(表 1),受影响区车河、大厂人群发样中 Sb 含量分别是对照区的 7.29、15.28 倍,长老人群发样中 Sb 含量相对较低. 采用独立样本 t 检验对受影响区和对照区人群发样中 Sb 含量进行对比,发现车河、大厂人群发样中 Sb 含量显著高于对照区($P < 0.05$),这可能由于车河、大厂矿产开采规模较大,Sb 在环境中通过各种途径进入人体,从而在体内蓄积,致使处于高 Sb 环境中的人群发样中 Sb 含量偏高,也可能因为自然界中 As 与 Sb 存在伴生关系,受影响区开采 As 矿的同时,Sb 也随之进入到环境中. 而长老人群发样中 Sb 含量与对照区差异不显著. 说明刁江沿岸的居民受 Sb 危害的可能性较小.

对 Cd 而言,4 个研究区的平均含量均在推荐范围以内(表 1),但各个地区均有超标人群,六寨、车河、大厂和长老超标比例分别为 16.33%、29.31%、27.91% 和 4.00%. 对受影响区和对照区人群发样中 Cd 含量进行独立样本 t 检验,表明受影响区车河、大厂、长老人群发样中 Cd 含量和对照区差异不显著($P > 0.05$),但部分居民发样中 Cd 含量非常高,大厂人群发样中 Cd 含量最高值超过推荐高值的 30 余倍,长老和车河也有超出 15 倍多的人群,这些人主要是中青年男性,其中有一位 12 岁的少年. 虽说就平均值而言,各地区人群发样中 Cd 含量差异不显著,但就个体而言,还是非常值得关注的.

人发中 Pb 含量的参考范围为 $2.3 \sim 56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,可见六寨、车河、大厂、长老这 4 个地区的人群发样中 Pb 平均含量均在推荐范围以内. 对受影响区和对照区人群发样中 Pb 含量进行独立样本 t 检验,表明受影响区大厂人群发样中 Pb 含量和对照区差

异性显著($P < 0.05$),大厂居民主要为矿工和务农人群,地理位置离矿区很近,可能受矿区矿业活动影响.

从受影响区和对照区居民人群发样中 Cu 含量对比来看(表 1). 六寨、车河、大厂、长老这 4 个地区的人群发样中 Cu 平均含量均在推荐范围以内. 对受影响区和对照区人群发样中 Cu 含量进行独立样本 t 检验,表明受影响区车河、大厂、长老人群发样中 Cu 含量和对照区不存在显著差异($P > 0.05$).

人发 Zn 含量的参考范围为 $140 \sim 250 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,可见六寨、车河、大厂、长老这 4 个地区的人群发样中 Zn 平均含量均超出推荐范围. 对受影响区和对照区人群发样中 Zn 含量进行独立样本 t 检验,表明受影响区大厂人群发样中 Zn 含量和对照区不存在显著的差异($P > 0.05$).

2.3 年龄对人发中重金属含量影响

结合研究区域人群户外生活和作业的频率及强度,将人群分为 4 个年龄组,未成年组(< 18 岁)、青年组(18~45岁)、中年组(46~65岁)、老年组(> 65 岁). 一般来说,4 个年龄组户外生活和作业的频率及强度排序为青年组 $>$ 中年组 $>$ 未成年组 $>$ 老年组. 对照区青年组的人群发样中 As 和 Zn,未成年组的人群发样中 Sb,中年组的人群发样中 Cd 和 Pb,老年组的人群发样中 Cu 在各个年龄组中的含量偏高(表 2),但各种重金属元素的平均含量差异不显著. 受影响区人群发样中 As 和 Sb 含量水平呈现中青年组大于老年组趋势,主要与受影响区当地无序的矿业开采活动有关,而中青年人群是这些矿冶活动的主要参与者,重金属 As 和 Sb 通过呼吸和皮肤接触在人体内蓄积. Cd 和 Pb 在青少年人群头发中的含量明显高于中老年组人群,说明 Cd 和 Pb 更容易在青少年人体内蓄积,青少年是重金属 Cd 和 Pb 的易感人群. 经对比发现,受影响区不同年龄组人群发样中 As、Sb 和 Pb 的平均含量均高于对照区对应年龄组;除中年组人群发样中 Cd 元素外,其余年龄组人群发样中 Cd 含量高于对照区;Cu 和 Zn 含量几乎都低于对照区. 受影响区人群发样中 As、Sb、Cd 和 Pb 存在明显累积现象,显示矿区环境污染导致 As、Sb、Cd 和 Pb 成为危害周边人群健康的主要重金属元素.

对受影响区 4 个年龄组人群发样中各重金属含量进行独立样本 t 检验,结果表明,对于 Sb 元素,未成年组和青年组、未成年组和老年组、青年组和老年组 3 种比较均存在显著差异,即青年组人群发样

表 2 对照区和受影响区不同年龄组人群头发中重金属平均含量状况/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Table 2 Heavy metal average contents of human hair in different regions from Nandan County/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

地区	年龄组	As	Sb	Cd	Pb	Cu	Zn
对照区	未成年组($n=10$)	0.225	0.156	0.836	11.64	17.59	355.1
	青年组($n=22$)	0.353	0.099	1.247	11.36	8.126	530.8
	中年组($n=9$)	0.319	0.109	1.666	12.53	16.03	519.0
	老年组($n=8$)	0.277	0.064	0.766	7.598	21.85	281.6
受影响区	未成年组($n=18$)	1.280	0.664	5.076	57.18	8.286	435.2
	青年组($n=67$)	1.166	3.182	2.849	17.48	9.514	431.5
	中年组($n=41$)	1.646	2.287	1.499	16.63	12.09	412.9
	老年组($n=25$)	0.873	0.294	1.150	10.89	8.356	229.6

中 Sb 含量显著高于其他组,这主要由于 18~45 岁人群从事的工作多与金属矿有关,且户外生活和作业的频率及强度越大,重金属暴露水平也会越高.对于 Zn 元素,未成年组和老年组、青年组和老年组、中年组和老年组这 3 种比较均存在显著差异,且呈现老年组人群发样中 Zn 含量较低.其他元素的 4 个年龄组之间均不存在显著性差异.

从对照区和受影响区人群发样中重金属含量与年龄的相关性分析结果来看,对照区人群发样中各重金属含量与居民年龄均不存在相关关系,而对于受影响区人群,发样中 Zn ($R = -0.185$, $P = 0.023$) 含量与居民年龄在 0.05 水平上呈负相关,而 Cd ($R = -0.156$, $P = 0.055$) 和 Pb ($R = -0.135$, $P = 0.1$) 含量与居民年龄呈 0.1 水平上的负相关,可见 Cd、Pb 和 Zn 这 3 种元素对青少年影响最大.

2.4 性别对人发中重金属含量影响

受影响区和对照区男女性人群发样中重金属含量状况见表 3,对照区和受影响区女性人群发样中 Cu 和 Zn 含量均高于男性,可能是由于不同性别的人群在抵抗力、饮食习惯以及化妆品使用等方面的差异造成的^[15].受影响区男性人群发样中 As、Cd 和 Pb 含量普遍偏高,这些有毒元素在男性体内蓄积,可能和大多数男性居民所从事的采矿、冶炼和焊接等活动有关,在这些活动中,重金属元素通过各种途径进入体内,蓄积在人发等组织中^[16].对对照区和受影响区不同性别人群发样中重金属含量进行独立样本 t 检验,显示受影响区男性居民发样中 Cd 含量显著高于女性 ($P < 0.05$),而女性居民发样中的 Cu 和 Zn 含量显著高于男性 ($P < 0.05$),其他检验结果均不显著,不具有统计学意义.

表 3 不同性别人群发样重金属元素含量状况/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Table 3 Heavy metal contents in different gender people/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

元素	对照区				受影响区			
	男($n=9$)		女($n=40$)		男($n=42$)		女($n=109$)	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
As	0.134~0.709	0.371	0.001~0.975	0.299	0.124~37.01	2.216	0.046~6.189	0.884
Sb	0.012~0.318	0.074	0.012~1.017	0.116	0.020~25.84	1.403	0.011~51.34	2.453
Cd	0.147~5.463	1.090	0.059~11.69	1.178	0.030~61.26	5.427	0.008~14.66	1.326
Pb	2.699~23.65	12.26	0.087~30.13	10.74	0.400~862.1	40.03	0.397~121.1	13.73
Cu	1.754~6.781	4.780	2.607~132.1	15.77	0.375~15.97	6.669	0.624~112.7	11.11
Zn	136.5~575.7	270.0	107.9~2071	493.1	151.7~1234	312.6	72.38~2151	424.7

关于性别对人发中重金属含量的影响,目前并无统一结论. Troianowski 等^[17]和 Wolfsperger 等^[18]发现男性头发中重金属含量普遍高于女性,可能是因为男性户外活动频率和强度远远高于女性所致;杨林生等^[19]和姚春霞等^[20]认为,不同性别人群头发重金属含量无显著差异,即性别不是造成头发重金属含量差异的直接原因.

2.5 人发中各重金属元素的相关性

采用 Pearson 双变量相关性检验法对研究区所有人发发样中 As、Sb、Cd、Pb、Cu 和 Zn 含量之间

的相关性进行检验.显示人群发样中 As 与 Sb、Cd 与 Pb、As 与 Cd 在 0.01 水平上显著相关,相关系数分别为 0.308、0.647、0.216.而其他元素两两之间没有明显的相关性.说明在人发中 As、Sb、Cd 和 Pb 这 4 种元素可能具有同源性,同时也印证了在元素表中 As、Sb 属于同族元素,它们具有相似的化学性质和毒性机制^[21],且在矿物中,As 与 Sb 往往是伴生元素,两者共生,As 污染存在的同时也伴随着 Sb 污染^[22].Cd 和 Pb 的关系与 As 和 Sb 的关系基本一致.

表 4 研究区域人群发样中各种重金属含量与其他地区的比较/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Table 4 Comparison of heavy metal contents in the study area and other regions/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

地区	<i>n</i>	人群类型	As	Sb	Cd	Pb	Cu	Zn
南丹矿区(本研究)	151	矿区周边人群	1.26	2.16	2.47	20.9	9.88	393
	49	清洁对照区人群	0.31	0.11	1.16	11.0	13.8	452
锡矿山矿区 ^[16]	67	锡矿山矿区人群	4.21	15.9	—	—	—	—
	22	贵阳市人群	0.28	0.53	—	—	—	—
赣东北德兴矿区 ^[6]	138	矿区周边女性人群	—	—	0.08	5.66	12.1	140
小秦岭金矿区 ^[1]	64	矿区周边成年人	0.71	—	0.87	111	14.1	—
	16	清洁对照区人群	0.37	—	0.24	17.2	9.38	—
河南某污灌区 ^[24]	256	污灌区周边人群	1.97	—	0.19	13.2	14.1	143
贵阳地区 ^[25]	75	铅作业人群	—	—	—	36.3	—	—
	194	一般人群	—	—	—	1.41	—	—
浙江富阳郊区某金属矿区 ^[20]	30	矿区周边人群	0.62	—	0.48	32.5	52.2	222
加拿大 ^[26]	92	蒙克敦人群	0.02	0.86	0.50	5.38	63.1	243
美国 ^[26]	55	斯克兰顿人群	0.02	0.10	0.97	5.35	108	124
波兰 ^[26]	46	波兹南人群	0.02	0.11	0.31	2.52	9.42	160
日本 ^[26]	457	福井人群	0.05	0.67	0.28	3.62	10.7	114
印度 ^[26]	255	孟买、新德里人群	0.61	0.40	0.32	13.2	20.0	211

3 讨论

环境中重金属污染与人体健康的关系受到越来越多的学者关注,重金属通过土壤-植物(动物)-人体以及大气沉降等途径危害到人群健康^[1]. 本研究区域人群为当地常住居民,生活饮食习惯基本相似,居民头发中重金属含量状况却不尽一致,受影响区车河、大厂、长老人群发样中 As、Sb、Cd 和 Pb 的平均含量均高于对照区,且车河、大厂人群发样中 Sb 超出推荐正常人发 Sb 含量,即受影响区居民由于受到周边矿业活动的影响,重金属在矿冶活动过程中气化蒸发^[23],被居民吸入,在体内蓄积,致使头发重金属含量水平高于对照区. 总结前人的研究结果并与本研究结果相比较(表 4)可看出,南丹矿区周边人群发样中 As、Sb、Cd 和 Pb 含量较高,As 含量是对照区的 4 倍左右,是贵阳市人群及小秦岭对照区人群的 4~6 倍左右,但低于某锡矿山和河南某污灌区人群;人群发样中 Sb 含量高于国外 5 个代表性国家,但低于锡矿山人群;Cd 和 Pb 含量高出于对照区人群 2 倍之多;Cu 含量相对别国含量较低;而南丹矿区和对照区人群发样中 Zn 含量相对其他地区都处于较高水平. 说明南丹矿区居民头发重金属含量受当地铅锌矿开采以及居住环境的影响.

4 结论

(1)南丹矿业活动影响区人群发样中 As、Sb、Cd 和 Pb 的平均含量分别为 1.260、2.161、2.466 和 20.92 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,分别是对照区的 4.0、20、2.1、

1.9 倍,车河和大厂人群发样中 Sb 含量超出推荐正常范围.

(2)受影响区人群发样中 Zn 含量与居民年龄在 0.05 水平上呈负相关,Cd 和 Pb 呈 0.1 水平上的负相关.

(3)受影响区男性人群发样中 Cd 含量显著高于女性($P < 0.05$),而女性人群发样中 Cu 和 Zn 含量显著高于男性($P < 0.05$),调查区域人群发样中 As 与 Sb、Cd 与 Pb、As 与 Cd 在 0.01 水平上显著相关,对后期科学研究具有参考意义.

参考文献:

- [1] 徐友宁,张江华,柯海玲,等. 某金矿污染区人群头发重金属累积及其变化[J]. 地质通报, 2014, 33(7): 1089-1095.
Xu Y N, Zhang J H, Ke H L, et al. Accumulation level and content variation of heavy metals in people's hair in the environmental contamination area of a gold mine area [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(7): 1089-1095.
- [2] 韦朝阳,陈同斌. 高砷区植物的生态与化学特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 695-700.
Wei C Y, Chen T B. The ecological and chemical characteristics of plants in the areas of high arsenic levels [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(6): 695-700.
- [3] Wei C Y, Wang C, Sun X, et al. Arsenic accumulation by ferns: a field survey in southern China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2007, 29(3): 169-177.
- [4] 宋波,张学洪,蒙冬柳,等. 桂林市菜地土壤和蔬菜铅含量调查与污染评价[J]. 环境科学研究, 2012, 25(10): 1155-1160.
Song B, Zhang X H, Meng D L, et al. Lead concentrations and contamination assessment in vegetables and soils in Guilin [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(10): 1155-1160.
- [5] 刘岚. 铅对人类健康的危害及其防治[J]. 职业与健康,

- 2005, **21**(5): 665-666.
- [6] 倪善芹, 李瑞萍, 王安建. 赣东北德兴矿区周边女性居民头发中重金属分布特征[J]. 中国环境监测, 2012, **28**(2): 81-87.
- Ni S Q, Li R P, Wang A J. The distribution of heavy metal in the scalp hair of the females near Dexing Mine area, Jiangxi, China[J]. Environmental Monitoring in China, 2012, **28**(2): 81-87.
- [7] 秦俊法. 中国居民的头发铅、镉、砷、汞正常值上限[J]. 广东微量元素科学, 2004, **11**(4): 29-37.
- Qin J F. The upper limit of normal value of hair Pb, Cd, As, Hg in Chinese resident[J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue, 2004, **11**(4): 29-37.
- [8] 肖世青, 刘俊, 郑建军, 等. 人发中微量元素研究进展[J]. 医学动物防制, 2015, **31**(1): 57-60.
- Xiao S Q, Liu J, Zheng J J, et al. Trace elements in human hair research progress[J]. Journal of Medical Pest Control, 2015, **31**(1): 57-60.
- [9] Samanta G, Sharma R, Roychowdhury T, et al. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India[J]. Science of the Total Environment, 2004, **326**(1-3): 33-47.
- [10] Dipietro E S, Phillips D L, Paschal D C, et al. Determination of trace elements in human hair[J]. Biological Trace Element Research, 1989, **22**(1): 83-100.
- [11] 叶绪孙, 潘其云. 广西南丹大厂锡多金属矿田发现史[J]. 广西地质, 1994, **7**(1): 85-94.
- Ye X S, Pan Q Y. Discovery history of Dachang tin-polymetallic orefield, Nandan county, Guangxi[J]. Guangxi Geology, 1994, **7**(1): 85-94.
- [12] 秦俊法, 李增禧, 楼蔓藤, 等. 头发元素分析的科学意义及医学应用价值[J]. 广东微量元素科学, 2005, **12**(5): 1-60.
- Qin J F, Li Z X, Lou M T, et al. Scientific value and medical application of hair element analysis[J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue, 2005, **12**(5): 1-60.
- [13] 宋书巧, 梁利芳, 周永章, 等. 广西刁江沿岸农田受矿山重金属污染现状与治理对策[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, **22**(2): 152-155.
- Song S Q, Liang L F, Zhou Y Z, et al. The situation and remedial measures of the cropland polluted by heavy metals from mining along the Diaojiang river[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, **22**(2): 152-155.
- [14] 李玲, 张国平, 刘虹, 等. 广西大厂多金属矿区河流中Sb和As的迁移及环境影响[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(6): 682-687.
- Li L, Zhang G P, Liu H, et al. Antimony and arsenic migration and environmental impacts on river draining in the Dachang multi-metalliferous mine area in Guangxi, China[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, **22**(6): 682-687.
- [15] 李健, 李如松, 冯玉琪. 人发中重金属含量的测定分析[J]. 农业与技术, 2012, **32**(6): 173-175.
- [16] 刘碧君, 吴丰昌, 邓秋静, 等. 锡矿山矿区和贵阳市人发中镉、砷和汞的污染特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(3): 907-912.
- Liu B J, Wu F C, Deng Q J, et al. Pollution characteristics of antimony, arsenic and mercury in human hair at xikuangshan antimony mining area and Guiyang City, China [J]. Environmental Science, 2009, **30**(3): 907-912.
- [17] Trojanowski P, Trojanowski J, Antonowicz J, et al. Lead and cadmium content in human hair in central pomerania (Northern Poland)[J]. Journal of Elementology, 2010, **15**(2): 363-384.
- [18] Wolfsperger M, Hauser G, Göbller W, et al. Heavy metals in human hair samples from Austria and Italy: influence of sex and smoking habits[J]. Science of the Total Environment, 1994, **156**(3): 235-242.
- [19] 杨林生, 侯少范, 谭见安, 等. 中国人发砷背景值及其区域分布特征[J]. 地理学报, 1996, **51**(2): 135-141.
- Yang L S, Hou S F, Tan J A, et al. Chinese hair As content background and its regional distribution[J]. Acta Geographica Sinica, 1996, **51**(2): 135-141.
- [20] 姚春霞, 尹雪斌, 宋静, 等. 某金属冶炼厂周围居民人发的6种元素含量特征[J]. 环境科学, 2008, **29**(5): 1376-1379.
- Yao C X, Yin X B, Song J, et al. Characteristics of six elements contents in human hairs in the vicinity of metal smelting factories [J]. Environmental Science, 2008, **29**(5): 1376-1379.
- [21] 武汉大学, 吉林大学. 无机化学[M]. (第三版). 北京: 高等教育出版社, 1994. 696.
- [22] Gebel T. Confounding variables in the environmental toxicology of arsenic[J]. Toxicology, 2000, **144**(1-3): 155-162.
- [23] Barcan V. Nature and origin of multicomponent aerial emissions of the copper-nickel smelter complex [J]. Environment International, 2002, **28**(6): 451-456.
- [24] 马建华, 马诗院, 陈云增. 河南某污灌区土壤-作物-人发系统重金属迁移与积累[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(6): 1517-1526.
- Ma J H, Ma S Y, Chen Y Z. Migration and accumulation of heavy metals in soil-crop-hair system in a sewage irrigation area, Henan, China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, **34**(6): 1517-1526.
- [25] 朱延韦, 蒋宪瑶, 蒙顺松. 贵阳地区194例正常人及75例铅作业工人发铅含量的分析[J]. 贵阳医学院学报, 1981, **6**(1-2): 135-137.
- [26] 姚志麒. 五个国家人发中微量元素含量的比较[J]. 国外医学(卫生学分册), 1987, (3): 186-187.

CONTENTS

Transport Loss Estimation of Fine Particulate Matter in Sampling Tube Based on Numerical Computation	LUO Li-na, CHENG Zhen, ZHU Wen-fei, <i>et al.</i> (4457)
Sources Analysis of Heavy Metal Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing	QIN Xin, ZHANG Ze-feng, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (4467)
Distribution Characteristics of Water Soluble Ions Under Different Weather Conditions During the Youth Olympic Games in Nanjing	SHI Yuan-zhe, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4475)
Seasonal Variation and Source Analysis of the Water-soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter in Suzhou	WANG Nian-fei, CHEN Yang, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4482)
Characteristics of Elements and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} at the Southwest Suburb of Chengdu in Spring .....	..... YANG Huai-jin, YANG De-rong, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (4490)
Geochemical Characteristics and Source Apportionment of Rare Earth Elements in the Dustfall of Quanzhou City	ZHANG Zong-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (4504)
¹³ C-based Sources Partitioning of Atmospheric CO ₂ During Youth Olympic Games, Nanjing	XU Jia-ping, LI Xu-hui, XIAO Wei, <i>et al.</i> (4514)
Gaseous Emission Characterization of Civil Aviation Aircraft During Takeoff	HAN Bo, HUANG Jia-min, WEI Zhi-qiang (4524)
Pollution Characteristics of Antibiotic Resistant Bacteria from Atmospheric Environment of Animal Feeding Operations	ZHANG Lan-he, HE Yu-wei, CHEN Mo, <i>et al.</i> (4531)
Removing Nano Particles by Filtration Using Materials with Ordered Mesoporous Structure	XING Yi, WANG Cong, LU Pei, <i>et al.</i> (4538)
Emission Characteristics of Gaseous Pollutants from City Bus Fueled with Biodiesel Based on DOC + CDPF Technology in Real Road Conditions .....	..... LOU Di-ming, ZHANG Yun-hua, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4545)
Characteristics of Methane Flux Across the Water-air Interface in Subtropical Shallow Ponds	LONG Li, XIAO Shang-bin, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (4552)
Succession of Phytoplankton Assemblages and Its Influencing Factors in Tangpu Reservoir, Zhejiang Province	MA Pei-ming, SHI Lian-dong, ZHANG Jun-fang, <i>et al.</i> (4560)
Responses of Physiological Indices of Typical Submerged Macrophytes to Water Quality in Taihu Lake	GAO Min, HU Wei-ping, DENG Jian-cai, <i>et al.</i> (4570)
Optical Characteristics of Dissolved Organic Matter from Two Different Full Mixed Reservoirs in Winter Based on UV-vis and EEMs .....	..... HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, ZHANG Chun-hua, <i>et al.</i> (4577)
Hanfeng Pre-dam Commissioning Eutrophication Status and Control Evaluation in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (4586)
Occurrence, Distribution and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water of the Gonghu Bay, Taihu Lake	WU Xu-yue, ZOU Hua, ZHU Rong, <i>et al.</i> (4596)
Distribution Characteristics of <i>n</i> -alkanes in Sediment Core and Implication of Environment in Different Lakes of Dianchi	YU Li-yan, HAN Xiu-xiu, HUANG Xiao-hu, <i>et al.</i> (4605)
Vertical Distribution and Pollution Risk Assessment of Nitrogen, Phosphorus, and Organic Matter in Sediment of Inflowing Rivers of Erhai Lake Estuarine Wetland in Wet and Dry Seasons .....	..... WANG Shu-jin, LIU Yun-gen, WANG Yan, <i>et al.</i> (4615)
Variation of Nitrogen Forms in Sediments of Lihu Lake During Mineralization	ZHAO Li, WANG Shu-hang, JIANG Xia, <i>et al.</i> (4626)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of the Heavy Metals Content in the Surface Sediment and the Potential Ecological Risk Trends in the Three Gorges Reservoir Area .....	..... ZHUO Hai-hua, SUN Zhi-wei, TAN Ling-zhi, <i>et al.</i> (4633)
Modeling the Environmental Behaviors and Ecological Risks of Permethrin in Chaohu Lake	LIU Ya-li, WANG Ji-zhong, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (4644)
Simulation Experiment; Effect of Organic Colloid on Carbamazepine Transport in Porous Media	ZHANG Si, HE Jiang-tao, ZHU Xiao-jing (4651)
Grain Size Distribution Characteristics of Suspended Particulate Matter as Influenced by the Apparent Pollution in the Inorganic Type Urban Landscape Water: Taking the Canal of Suzhou Section as Example .....	..... LI Qian-qian, PAN Yang, GONG Dan-yan, <i>et al.</i> (4662)
Rock Weathering Characteristics and the Atmospheric Carbon Sink in the Chemical Weathering Processes of Qingshuijiang River Basin	LÜ Jie-mei, AN Yan-ling, WU Qi-xin, <i>et al.</i> (4671)
Pollution Characteristics Analysis in Shallow Groundwater of Typical Farmland Area, Southern China	GUO Hui, YU Min-da, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (4680)
Identification of Sulfate Sources in the Groundwater System of Zaozhuang; Evidences from Isotopic and Hydrochemical Characteristics	MA Yan-hua, SU Chun-li, LIU Wei-jiang, <i>et al.</i> (4690)
Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Extensive Green Roofs	SHEN Qing-ran, HOU Juan, LI Tian (4700)
Comparative Study on Pretreatment Process of Ultrafiltration; Chemical Coagulation and Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4706)
Adsorption Mechanisms Analysis of EOM on PVDF Ultrafiltration Membranes Modified by SiO ₂ Using QCM-D and AFM	JIANG Jia-liang, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (4712)
Isolation of Quorum Quenching Bacteria and Their Function for Controlling Membrane Biofouling	ZHAO Chang, WANG Wen-zhao, XU Qi-yong (4720)
Effects of Hydraulic Loading Rate on the Removal of Pollutants from an Integrated Biological Settling Tank	WANG Wen-dong, MA Cui, LIU Hui, <i>et al.</i> (4727)
Characteristics of Nitrobacteria in SBR with Trace N ₂ H ₄ Addition	XIAO Peng-ying, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li (4734)
Start-up of Partial Nitrification AGS-SBR and Analysis of Its Microbial Community Composition	LU Hang, XIN Xin, GUAN Lei, <i>et al.</i> (4741)
Effects of PAHs Pollution on the Community Structure of Denitrifiers in a Typical Oilfield	YAO Yan-hong, WANG Ming-xia, ZUO Xiao-hu, <i>et al.</i> (4750)
Performance and Microbial Community Analysis of Bioaugmented Treatment of Diethyl Phthalate (DEP) in Membrane Bioreactor	ZHANG Ke, GUAN Yun, LUO Hong-bing, <i>et al.</i> (4760)
Comparative Analysis of the Bacterial Community on Anodic Biofilms in Sediment Microbial Fuel Cell Under Open and Closed Circuits .....	..... WU Yi-cheng, DENG Quan-xin, WANG Ze-jie, <i>et al.</i> (4768)
Anaerobic Biodegradability of Perfluorooctanoic Acid (PFOA)	LI Fei, CHEN Yi-dan, ZHOU Zhen-ming, <i>et al.</i> (4773)
Comprehensive Effects of the Application of Water and Fertilizer Amount on CO ₂ Emission from Soils of Summer-maize Field	YANG Shuo-huan, ZHANG Bao-cheng, WANG Li, <i>et al.</i> (4780)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in the Soil Erosion Area of West Mountains in Fujian Province, China	YAO Xiong, YU Kun-yong, ZENG Qi, <i>et al.</i> (4789)
Comprehensive Risk Evaluation of Cadmium in Soil-rice System Based on Uncertainty Analysis	YANG Yang, CHEN Wei-ping, LI Yan-ling, <i>et al.</i> (4800)
Fluorescence Properties of Glomalin and Its Relationship with Soil Physicochemical Characteristics in Different Regions of Beijing City .....	..... CHAI Li-wei, LIU Meng-jiao, JIANG Da-lin, <i>et al.</i> (4806)
Spatial Distribution Characteristics of Heavy Metal Pollution and Health Risk in Soil Around the Coal Industrial Area of East Junggar Basin .....	..... LIU Fang, Tashpolat Tiyp, Ilyas Nurmamat, <i>et al.</i> (4815)
Characteristics of Microbial Nitrogen Degradation in Fluvo-aquic Soil of Hebei Plain	ZHANG Can-can, PANG Hui-cong, GAO Tai-zhong, <i>et al.</i> (4830)
Influence of Arsenate and Phenanthrene on Carbon-groups of <i>Pteris vittata</i> L. Roots	LIAO Xiao-yong, GONG Xue-gang, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (4841)
Effect of Alkali Solids Amendment on Sewage Sludge Aerobic Composting and the Potential of Related Products on Infertile Soil Amelioration .....	..... CAI Han-zhen, NING Xi-cui, WANG Quan, <i>et al.</i> (4848)
Adsorption and Influential Factors of Diuron on the Loess Soil by Adding Different Biochar Prepared at Varying Temperatures	SUN Hang, JIANG Yu-feng, SHI Lei-ping, <i>et al.</i> (4857)
Characteristics of Heavy Metal Contents in Human Hairs of Mine Contaminated Areas in Nandan County	TIAN Mei-ling, ZHONG Xue-mei, XIA De-shang, <i>et al.</i> (4867)
Preparation of Mg-Al-Me (Me = La, Ce, Zr) Composite Oxides for Efficient Fluoride Uptake	WANG Ai-he, ZHOU Kang-gen, LIU Xing, <i>et al.</i> (4874)
Fe-Mn Binary Oxide Impregnated Chitosan Bead (FMCB): An Environmental Friendly Sorbent for Phosphate Removal	FU Jun, FAN Fang, LI Hai-ning, <i>et al.</i> (4882)
Leaching Toxicity and Bioaccessibility of Heavy Metals in MSW Fly Ash with Various Particle Sizes	WANG Chun-feng, CHEN Guan-fei, ZHU Yan-chen, <i>et al.</i> (4891)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年12月15日 第37卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 12 Dec. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行