

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第4期

Vol.38 No.4

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

西宁近郊大气氮干湿沉降研究	许稳, 金鑫, 罗少辉, 冯兆忠, 张霖, 潘月鹏, 刘学军 (1279)
兰州春夏季 PM ₁₀ 碳组分昼夜变化特征与来源分析	马丽, 余晔, 王博, 赵素平, 李刚 (1289)
海南三亚大气颗粒物中水溶性无机离子浓度及其粒径分布特征	王璐, 刘子锐, 温天雪, 苗红妍, 王跃思 (1298)
2015年北京城区大气 PM _{2.5} 中 NH ₄ ⁺ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 及前体气体的污染特征	丁萌萌, 周健楠, 刘保献, 王焱, 张博韬, 石爱军, 杨懂艳, 常森 (1307)
北京市某垃圾焚烧厂周边大气二噁英污染特征及暴露风险	齐丽, 任玥, 刘爱民, 黄业茹, 赵震, 王江, 李泓 (1317)
北京和保定地区大气细颗粒物中可培养细菌的种群特征	胡亚东, 马安周, 吕鹏翼, 张杨, 庄国强 (1327)
基于实时交通数据的南京市主次干道机动车排放特征分析	李笑语, 吴琳, 邹超, 张意, 毛洪钧, 荆博宇 (1340)
过渡金属掺杂对铜锡烧绿石催化碳烟燃烧性能的影响	李曦峰, 孙宇琦, 王仲鹏, 牟宗刚, 崔兆杰 (1348)
南水北调中线北京段水质状况分析	徐华山, 赵磊, 孙昊苏, 任玉芬, 丁涛, 常帅, 王海东, 李森, 果钊 (1357)
三峡前置库汉丰湖试运行年水文水质变化特征	杨兵, 何丙辉, 王德宝 (1366)
基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应	李琳琳, 张依章, 唐常源, 郑磊, 孟伟, 卢少勇, 敦宇 (1376)
抚仙湖夏季热分层时期水温及水质分布特征	王琳杰, 余辉, 牛勇, 牛远, 张有林, 刘倩, 吉正元 (1384)
千岛湖溶解氧与浮游植物垂向分层特征及其影响因素	俞焰, 刘德富, 杨正健, 张佳磊, 徐雅倩, 刘晋高, 严广寒 (1393)
高通量测序技术研究辽河真核浮游藻类的群落结构特征	王靖淇, 王书平, 张远, 林佳宁, 高欣, 臧小苗, 赵茜 (1403)
三门湾近海有机污染对浮游细菌群落的影响	戴文芳, 郭永豪, 郁维娜, 熊金波 (1414)
沉积物-水界面氮的源解析和硝化反硝化	金赞芳, 龚嘉临, 施伊丽, 金漫彤, 李非里 (1423)
广州南沙红树林湿地水体和沉积物中有机氯农药的残留特征	丁洋, 黄焕芳, 李绘, 罗杰, 郑煌, 孙焰, 杨丹, 张原, 祁士华 (1431)
太湖西岸河网沉积物中重金属污染特征及风险评价	边博, 周燕, 张琴 (1442)
锁磷剂对杭州西湖底泥磷释放的控制效果	朱广伟, 李静, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军, 张运林, 秦伯强 (1451)
超滤处理东江水不可逆膜污染物的识别和活性炭对其吸附去除	杨海燕, 王灿, 鄢忠森, 李冬平, 赵焱, 瞿芳术, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白 (1460)
UV/SPS 降解水中三氯生的效能及动力学	李青松, 李学艳, 姚宁波, 骆靖宇, 李国新, 陈国元, 高乃云 (1467)
真空紫外-亚硫酸盐法降解 PFOS 影响因素	韩慧丽, 王宏杰, 董文艺 (1477)
g-C ₃ N ₄ 协同光催化还原 Cr(VI) 及氧化磺基水杨酸	李莉莉, 陈翠柏, 兰华春, 刘菲, 安晓强 (1483)
锆改性硅藻土吸附水中磷的研究	范艺, 王哲, 赵连勤, 吴德意 (1490)
3种常规消毒方法对磺胺类抗性基因削减效果的比较	郑吉, 周振超, 陈芳, 陈涛, 魏媛媛, 韩玥, 陈红 (1497)
典型生活污水处理工艺对雌激素效应的去除	张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛 (1506)
SRT 对酵母-SBR 处理油脂废水稳定性的影响	吕文洲, 张树林, 乔宇祥, 刘英 (1513)
分散染料 neocron black (NB) 的生物降解特性	杨波, 丁凤友, 徐辉, 李方, 田晴, 马春燕 (1520)
多聚磷酸盐激酶基因在污水生物除磷中的功能	南亚萍, 周国标, 袁林江 (1529)
生物膜短程硝化系统的恢复及其转化为 CANON 工艺的过程	付昆明, 周厚田, 苏雪莹, 王会芳 (1536)
厌氧氨氧化反应器脱氮性能及细菌群落多样性分析	曹雁, 王桐屿, 秦玉洁, 韩彬, 任君怡 (1544)
内环境调节层对厌氧生物反应器填埋场中氮转化的影响	何正坤, 宋博宇, 朱南文, 董军 (1551)
矿化垃圾中 Fe(III) 还原耦合 CH ₄ 厌氧去除特性	王立立, 何婷, 龙焰, 刘常宝 (1558)
应用铅同位素示踪研究泉州某林地垂直剖面土壤中重金属污染及来源解析	孙境蔚, 于瑞莲, 胡恭任, 苏光明, 王晓明 (1566)
畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异	何梦媛, 董同喜, 茹淑华, 苏德纯 (1576)
山东省农田土壤多环芳烃的污染特征及源解析	葛蔚, 程琪琪, 柴超, 曾路生, 吴娟, 陈清华, 朱祥伟, 马东 (1587)
江汉平原典型土壤环境中有机磷农药的分布特征及影响因素	王建伟, 张彩香, 潘真真, 廖小平, 刘媛, 吕曲, 汤蜜 (1597)
基于生物有效性的农田土壤磷素组分特征及其影响因素分析	蔡观, 胡亚军, 王婷婷, 袁红朝, 王久荣, 李巧云, 葛体达, 吴金水 (1606)
秸秆还田对外源氮在土壤中转化及其微生物响应的影响	陈珊, 丁咸庆, 祝贞科, 王娟, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (1613)
生物炭输入对城郊农业区农田地表反照率及土壤呼吸的影响	张阳阳, 胡学玉, 邹娟, 张迪, 陈威, 王向前, 陈窈君, 刘扬 (1622)
淹水水稻土消耗 N ₂ O 能力及机制	王玲, 邢肖毅, 秦红灵, 刘毅, 魏文学 (1633)
不同污水处理工艺非二氧化碳温室气体的释放	李惠娟, 彭党聪, 刘文博, 姚倩, 卓杨 (1640)
施用不同污泥堆肥品对土壤温室气体排放的影响	杨雨滢, 易建婷, 张成, 陈宏, 木志坚 (1647)
不同镉水平下纳米沸石对土壤 pH、CEC 及 Cd 形态的影响	迟苏琳, 徐卫红, 熊仕娟, 王卫中, 秦余丽, 赵婉伊, 张春来, 李彦华, 李桃, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (1654)
不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制	彭琴, 李哲, 梁东丽, 王梦柯, 郭璐 (1667)
褪黑素对水稻幼芽镍胁迫的缓解作用	刘仕翔, 黄益宗, 罗泽娇, 黄永春, 蒋航 (1675)
不同形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布及毒性评价	金彩霞, 司晓薇, 王万峰, 王春峰, 王子英, 张琴文, 王婉 (1683)
三峡库区消落带沉积物对鱼体富集率的影响	孙松, 李楚娴, 张成, 王永敏, 王定勇 (1689)
重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析	何明靖, 李琦, 王登祥, 赵佳渊, 杨婷 (1697)
16S rRNA 高通量测序研究集雨窖水中微生物群落结构及多样性	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (1704)
石墨烯掺杂聚苯胺阳极提高微生物燃料电池性能	黄力华, 李秀芬, 任月萍, 王新华 (1717)
美国污染场地清理的风险评估简介及政策制定	容跃 (1726)
《环境科学》征稿简则 (1505)	
《环境科学》征订启事 (1682)	
信息 (1339, 1459, 1612)	

重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析

何明靖^{1,2}, 李琦¹, 王登祥¹, 赵佳渊¹, 杨婷¹

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 本研究利用火焰原子吸收法测定了重庆主城与郊区居民头发中镉、铜、镍、铅和锌等 5 种重金属的浓度水平, 比较分析了人发中 5 种重金属含量水平及与年龄、性别和吸烟与否的关系, 最后通过相关性分析和主成分分析初步了解重庆居民人发中重金属可能的来源。结果表明, 重庆主城区人发中 Cd、Cu、Ni、Pb 和 Zn 的平均含量分别为 3.1、24.3、9.7、42.8 和 209.6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 郊区居民人发的平均含量分别为 0.9、15.8、5.6、15.2 和 173.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; 5 种重金属在主城居民头发中的含量均显著高于郊区居民头发中含量 (t -检验, $P < 0.01$), 并且其组成与居民附近土壤样品的组成基本一致; 5 种重金属的含量在不同年龄段人群中的分布没有明显趋势, 只是在郊区居民头发中的 Cu 和 Zn 含量随着年龄增长而减少; 主城和郊区男性头发中 Cd 和 Pb 含量均显著高于女性 ($P < 0.01$), 并且在主城和郊区吸烟者头发中的 Cd 和 Pb 显著高于非吸烟者 ($P < 0.01$); 通过相关性分析发现主城和郊区中 Cd、Cu、Ni 和 Pb 之间具有相似的相关性模式, 并且主成分分析结果显示, 在主城中, 人发 Cu、Ni 和 Pb 具有相似的来源, 而在郊区中, 人发 Cd、Ni 和 Pb 具有相似的来源。

关键词: 人发; 重金属; 年龄; 性别; 相关性; 重庆

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)04-1697-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201610030

Bioaccumulation and Correlation of Heavy Metals in Human Hairs From Urban and Rural Areas of Chongqing

HE Ming-jing^{1,2}, LI Qi¹, WANG Deng-xiang¹, ZHAO Jiao-yuan¹, YANG Ting¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

Abstract: In the present study, human hair samples were collected in Chongqing to detect the concentrations of heavy metals including Cd, Cu, Ni, Pb and Zn by flame atomic absorption spectrophotometry. Meanwhile, the relationship between the content of heavy metals and age, gender and smoking habits was also analyzed, and the potential sources of the heavy metals in human hair were understood through correlation analysis and principal component analysis. The results showed that the mean concentrations of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn were 3.1, 24.3, 9.7, 42.8 and 209.6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively in urban areas, while the mean contents were 0.9, 15.8, 5.6, 15.2 and 173.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively in rural area. The residents living in urban areas exhibited significantly higher concentrations than those in rural area, revealing the same heavy metal pattern with that in soils (t -test, $P < 0.01$). No obvious trend was observed between the contents of heavy metals and age, except that the contents of Cu and Zn were increasing with the growth of age. Significantly higher concentrations of Cd and Pb were both observed in male hair and smokers than those in female and non-smokers, respectively in urban and rural areas ($P < 0.01$). Similar correlation patterns among Cd, Cu, Ni and Pb were found both in urban and rural areas. According to principal component analysis, Cu, Ni and Pb contaminations had similar sources in urban areas, whereas Cd, Ni and Pb had similar sources in rural area.

Key words: hair; heavy metals; age; gender; correlation; Chongqing

重金属是环境中广泛存在的一类难降解无机污染物, 近些年, 重金属伴随着工业、交通与人类生活产生的大量污染物进入土壤、水体、大气等环境介质中引起了严重的环境污染^[1,2]。由于重金属具有较强的生物富集能力, 可以通过饮水、呼吸与食物等渠道进入人体, 对人体健康产生危害, 如镉、汞、铅等有毒有害重金属会对人体神经系统造成无法恢复的伤害, 并且与癌症等疾病的发生有着密切的联系^[3,4]。为研究环境中重金属对人体的危害, 选择合适的生物指示物一直是科研工作者关注的焦点^[5]。目前广泛应用的生物指示物有头发、血液、母乳、

尿液等^[3,6,7], 而最近的一些研究中, 越来越多的科研工作者青睐采用头发作为生物指示物来分析人体内重金属水平, 这主要是由于头发容易采集、成本低廉、方便存储与运输^[8,9]; 相对于其他生物指示物, 重金属在头发中有着更高的浓度^[10,11]; 并且头发能够反映短期和长期的暴露信息^[8,9]。且分布特

收稿日期: 2016-10-08; 修订日期: 2016-11-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(41403078); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2016B042); 重庆市基础科学与前沿技术研究专项(cstc2016jcyjA0399)

作者简介: 何明靖(1985~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为持久性有机污染物和重金属地球化学行为, E-mail: mjhe@swu.edu.cn

征与土壤、浅层地下水、作物中重金属含量相关^[12]。

重庆是中国西部唯一的直辖市,随着城市化进程的加快,工业生产中化石能源大量使用^[13],城市中机动车数量的急剧增长,都成为了重金属的主要来源。此外,重庆主城位于“两江”(长江、嘉陵江)和“四山”(缙云山、中梁山、铜锣山、明月山)之间的槽谷地带,平均风速小,相对湿度高,地理气象条件不利于污染物的扩散,导致环境中的重金属浓度可能更高,势必对居民健康产生影响^[14]。已有研究报道了重庆主城区的土壤、灰尘和大气重金属污染^[15~17],其浓度都处于全国或者国际的中等水平,但关于重庆城市人群重金属暴露情况的研究还鲜见报道。有鉴于此,本文以重庆居民为研究对象,采集不同区域,不同年龄和性别的头发样品,以及环境样品土壤,通过分析头发中的 Cd、Cu、Ni、Pb 和 Zn 等重金属的浓度水平,组成特征,从而揭示重庆市居民重金属暴露水平,并通过统计分析的方法对研究区域人发中各重金属含量与年龄、性别和抽烟与否的关系进行了研究,最后通过各重金属元素之间相关性和主成分分析,初步了解人发中重金属的来源,以期重庆地区环境污染导致人群健康的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与前处理

选择重庆的渝北区、南岸区、江北区和北碚区作为研究区域,根据人口密度和交通流量,将渝北区、南岸区和江北区作为主城,选择距离其他三区约 30 km,人口密度及交通流量相对更少,并有国家自然保护区——缙云山的北碚区作为郊区。采样对象选取的是无重金属职业暴露的居民,并且 2 a 内未染发、烫发和焗油,用干净的不锈钢剪刀剪取枕

后部接近头皮约 3 ~ 5 cm 的新生发 2 g 左右,用清洁的塑料袋密封保存,并同时记录年龄与是否吸烟等信息。本研究在 2014 年 9 月至 2015 年 3 月共采集头发样品 229 例,其中主城 75 例,郊区 154 例。收集人发样品的同时,在居民居住地附近的花坛和街道边采集土壤,现场混合为本采样点的土壤样品,用清洁的塑料袋密封保存。总共采集 21 个土壤样品,其中主城 12 个,郊区 9 个,具体的采样区位信息如图 1 所示,样品信息如表 1 所示。



图 1 采样位置示意

Fig. 1 Location of the sampling sites

发样的前处理:根据 IAEA 推荐方法,发样分别用丙酮、超纯水、丙酮依次洗涤 3 次,在 60℃ 干燥无灰条件下干燥至恒重。用电子天平称取 0.5 g 左右发样至锥形瓶中,依次加入 5 mL 浓硝酸和 1 mL 过氧化氢,置于电热板上加热直至溶液澄清,冷却至室温后过滤并转移至容量瓶中用超纯水定容至 25 mL。

表 1 样品数目信息

Table 1 Information of the samples

项目	主城				郊区			
	0 ~ 15 岁	15 ~ 40 岁	40 ~ 60 岁	> 60 岁	0 ~ 15 岁	15 ~ 40 岁	40 ~ 60 岁	> 60 岁
男	7	26	5	2	4	14	42	19
女	9	18	6	2	5	27	33	10
抽烟	0	17	4	1	0	12	35	12

土样的前处理:土壤样品经自然风干后,用陶瓷研钵磨细过 100 目尼龙网筛。称取 1.0 g 左右土样至锥形瓶中,加入 10 mL 王水,置于电热板上加热至微沸,再加入 5 mL 高氯酸加热土样至灰白色,冷却

至室温后过滤并转移至容量瓶中,再用超纯水定容至 25 mL。

1.2 仪器分析和质量控制

人发与土壤中的镉、铜、镍、铅和锌均用火焰

原子吸收法检测. 为保证实验结果的准确性, 采用人发成分标准物质 (GBW07601) 和试剂空白作为质控样品, 每 15 个样品增加 1 个质控样品. 质控样品 5 种重金属回收率为 79% ~ 98%, 相对标准偏差 < 10%. 将空白样品中目标物的 3 倍标准偏差作为最低检出限, 镉、铜、镍、铅和锌的检出限分别为 0.15、0.15、0.45、1.5 和 0.15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

2 结果与讨论

2.1 头发中重金属含量和组成特征

重庆市居民头发重金属含量测定值见表 2. 头发中不同重金属之间的含量差异较大, 但在主城和郊区的头发样品中均表现出 Zn 含量最高 (209.6 ± 6.6) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 其次是 Pb (42.8 ± 2.2) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 再次是 Cu (24.3 ± 0.7) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 Ni (9.7 ± 0.5) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Cd 的含量最低 (3.1 ± 0.2) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 这一变化趋势与电子垃圾拆卸区中重金属变化趋势一致^[18]. 本研究中居民头发中的 Cu、Ni 和 Zn 处于已有报道的浓度范围内^[19~21], 值得注意的是对于 Pb 和 Cd 两种有毒有害重金属, 其在主城与郊区人发中的含量均显著高于我国居民头发中 Pb 和 Cd 的含量上限值 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[22], 甚至与电子垃圾拆卸区中人发的浓度接近^[20]. 与其他国家头发中重金属含量相比较发现, 本研究中居民头发 Pb 和 Cd 显

著高于瑞典 (Pb: 0.96 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Cd: 0.058 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、法国等西方国家正常人群头发含量 (Pb: 0.41 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Cd: 0.01 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[23,24] 以及巴基斯坦职业暴露者头发重金属含量 (Pb: 15.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, Cd: 0.53 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[21], 处于世界范围内较高水平, 表明本研究中居民可能存在较高重金属暴露风险. 当前研究表明城市环境中的重金属主要来源有交通、煤炭燃烧、建筑材料与工业生产等^[25]. 重庆作为一个老重工业城市, 其主要能源依托 80% 是煤炭^[13], 而 Sun 等^[26] 研究表明因燃煤而产生的工业废气是 Pb 的一个重要污染来源, 而重庆市日益剧增的汽车保有量所导致的汽车尾气排放可能是 Cd 和 Pb 的另一个污染来源^[27,28]. 据相关研究显示^[15~17], 重庆主城土壤、降水与街道灰尘中 Pb 和 Cd 的污染更为严重, 本研究中人发中 Pb 和 Cd 的含量很有可能受环境暴露影响. 为了证实这一假设, 本研究对头发采集者居住的周围土壤进行了分析, 结果表明土壤重金属平均含量从高到低依次为 Zn > Pb > Cu > Ni > Cd, 与人发中重金属的组成一致 (图 2). 主城土壤重金属含量除 Ni 以外其他 4 种重金属含量均高于土壤背景值, 其中 Cd 和 Pb 分别是土壤背景值的 25 倍和 2 倍, 环境中较高浓度的重金属可能对人发中重金属的富集有着一定的影响.

表 2 研究区居民头发和土壤中重金属含量水平/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

重金属	主城人发			主城土壤 均值	郊区人发			郊区土壤 均值
	最大值	最小值	均值		最大值	最小值	均值	
Cd	11.9	0.9	3.1	4.3	2.7	0.2	0.9	2.9
Cu	41.7	13.4	24.3	49.3	77.8	8.7	15.8	24.0
Ni	25.0	1.4	9.7	36.5	12.3	2.3	5.6	28.2
Pb	95.1	9.4	42.8	58.5	30.5	3.9	15.2	38.1
Zn	390.6	80.9	209.6	95.5	563.9	93.0	173.4	64.5

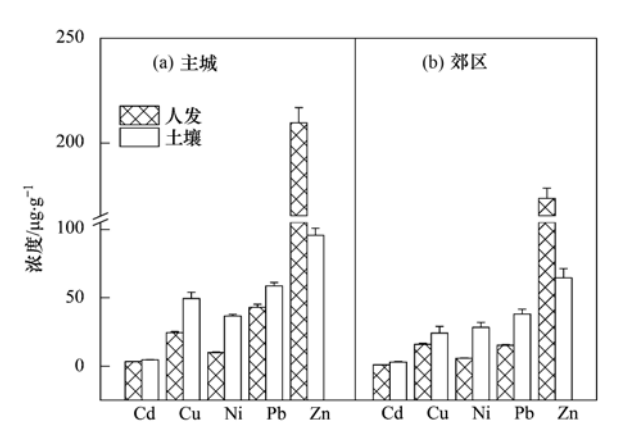


图 2 重金属在主城和郊区的组成特点

Fig. 2 Composition pattern of heavy metals in urban and rural areas

本研究中主城人发中的 5 种重金属含量显著高于郊区人发中 (t -检验, $P < 0.01$), 表明相对于郊区居民而言, 主城居民更容易受到 Cd 和 Pb 的暴露风险. 通过对环境样品土壤的分析, 结果显示 5 种重金属在主城土壤中的浓度显著高于在郊区中的浓度 ($P < 0.01$) (图 2), 表明环境暴露可能是影响重金属在人发中富集的一个重要因素. 而主城土壤中较高浓度的重金属极有可能来源于汽车尾气排放, 因为相对于郊区, 重庆主城拥有较高的汽车保有量.

2.2 头发重金属含量与年龄和性别的相关性分析

人发中重金属与年龄的关系一直都是学术界关注的焦点, 但当前的研究仍然没有统一的观点. 在

本研究中,将主城和郊区居民按照年龄分为4组:儿童组(0~15岁)、青年组(15~40岁)、中年组(40~60岁)和老年组(>60岁)。主城和郊区不同年龄段居民头发中5种重金属的浓度水平见图3。在主城中,5种重金属在居民头发中的浓度与年龄并未呈现出特定的规律,只是对于Cd和Pb两种有毒重金属来说,其在青年组中有着更高的富集,这可能是与这个年龄段的居民较多的室外活动所导致的环境暴露有关。对于Cu和Ni,其随着年龄的增长表现出相同的趋势,均是在老年组中富集更多,而对于Zn,则是在青年组中浓度较高;在郊区中,Cd、Ni和Pb在不同年龄段的含量基本稳定,这可能因为其浓度较低,变化不明显。在郊区居民头发中的Cu和

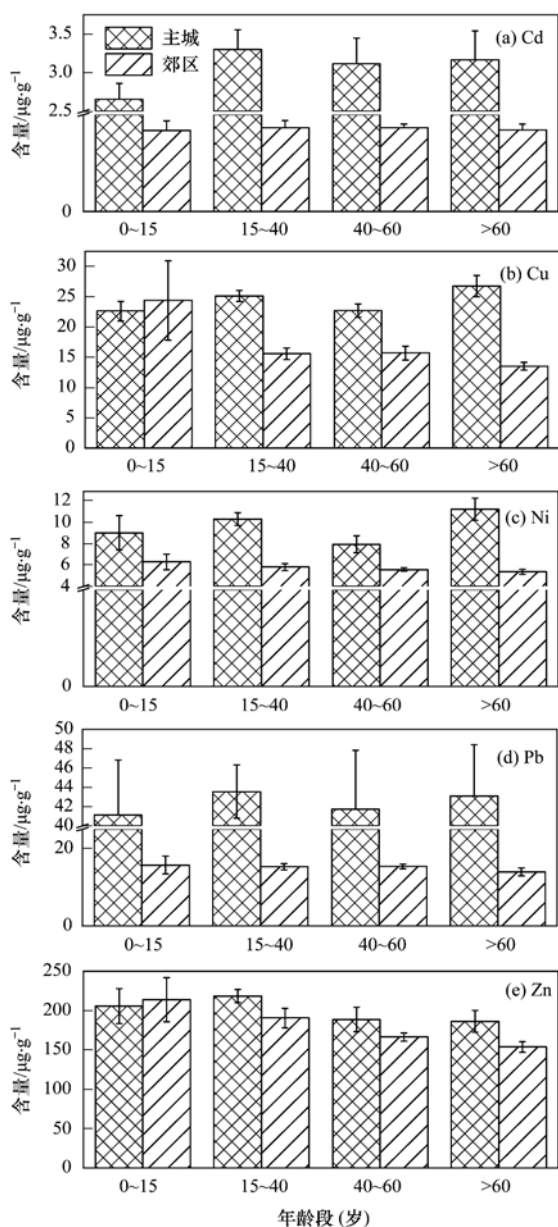


图3 不同年龄段人发重金属含量分布

Fig. 3 Heavy metals contents in hairs of human with different ages

Zn含量随着年龄增长而减少,这个结果与电子垃圾回收区的居民头发中Cu和Zn的趋势正好相反^[15],可能是由于重金属在不同的环境,不同年龄阶段的人群中富集程度有差异。国内外的一些研究结果也显示出不同的结论,在长期生活在活火山附近的居民头发中Pb的含量与年龄呈正相关^[29],而其他重金属与年龄则没有明显变化;此外还有报道指出人发中的Pb含量与人体血压体重以及生活方式等因素有关,从而呈现出与年龄负相关^[30]。从当前的研究现状来看,不同地区的重金属含量与年龄间的关系没有统一的模式。这可能是由于不同区域中,影响人发中重金属含量的主要因素是不同的,因此,探讨人体重金属元素在不同年龄段分布应在一定条件下进行,结果不具有普遍性。

除了年龄因素之外,性别因素对头发中重金属含量是否有影响也是当前研究的热点。本研究中主城和郊区不同性别之间的5种重金属的含量如图4所示。在主城和郊区的居民头发中,5种重金属均表现出男性高于女性。一方面可能因为男性较女性活动量大,饮食量多,呼吸速率快,导致男性重金属摄入量多于女性^[31];另一方面,由于男性吸烟喝酒的比例远高于女性,有研究显示,吸烟人群头发重金属含量显著高于非吸烟人群^[32],这也是导致本研究中男性头发重金属水平高于女性的原因之一。通过*t*检验分析结果显示,在主城和郊区男性和女性头发中,只有Cd和Pb的含量均表现出显著性差异($P < 0.01$),而其他元素之间并无统计学上的差异,表明人发中Cd和Pb的富集与性别有关。然而也有文献报道并证明性别差异并不是重金属在头发中积累的决定因素^[33],由于人发重金属的来源较为复杂,除了通过一般途径如空气和饮食外,个人的因素如体重以及使用护肤品的情况也有一定的关系^[34]。

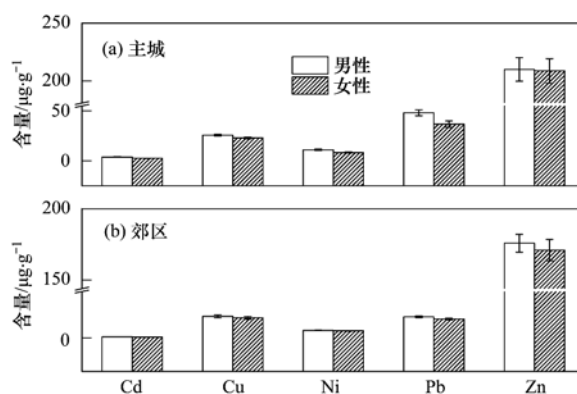


图4 不同性别人发重金属含量

Fig. 4 Heavy metals contents in male and female hairs

2.3 人发中重金属含量与吸烟的关系

本研究中还针对同一性别人群吸烟与否进行了调查,本研究中的受试女性人群均无抽烟习惯,故此项研究只是针对男性吸烟者和男性非吸烟者. 研究结果显示在主城和郊区人发中,吸烟人群头发 4 种重金属的含量(Zn 除外)均高于非吸烟者,其中吸烟者头发中的 Cd 和 Pb 显著高于非吸烟者($P < 0.05$),有研究也发现了与本研究相似的结果,即在吸烟人群头发中 Cd 和 Pb 高于非吸烟者,且与吸烟量呈正比^[34]. 值得注意的是在主城和郊区人发中,非吸烟人群头发中 Zn 的含量稍高于吸烟者头发中 Zn 含量,但并无明显差异. Afridi 等^[35]的研究表明,Zn 在非吸烟者人发中含量比吸烟者的含量高出 1.2 倍,与本研究结果一致,这可能是由于吸烟者血清中的 Cd 能置换金属酶中的 Cu、Zn,干扰肠道中 Zn 的吸收,可使血

清 Zn 浓度降低,从而影响人发对重金属的吸收,所以使非吸烟人发中 Zn 含量高于吸烟者.

2.4 人发重金属的相关性分析

通过 SPSS 14.0 对主城和郊区居民头发中 5 种重金属含量进行相关分析和主成分分析,相关性分析结果如表 3 所示,在主城中 Pb 和 Cd、Cu、Ni 以及 Cu 和 Ni 都具有较好的相关性,呈显著性正相关,表明主城居民头发中 Pb 和 Cd、Cu、Ni 以及 Cu 和 Ni 可能具有相同来源. 而对于郊区居民头发中, Pb、Cd、Cu 和 Ni 这 4 种重金属两两之间以及 Cu 和 Zn 之间均表现出显著正相关,表明郊区居民头发中 Pb、Cd、Cu 和 Ni 以及 Cu 和 Zn 具有相同的来源. 从表 3 可以发现,主城和郊区的各重金属之间的具有相似相关性模式,这可能是由于主城和郊区的重金属来自同一类型污染源.

表 3 研究区居民头发重金属含量的相关关系¹⁾

Table 3 Correlations of heavy metals contents in human hair samples

位置	元素	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
主城	Cd	1	0.30 *	0.18	0.39 **	-0.11
	Cu		1	0.47 **	0.60 **	0.24 *
	Ni			1	0.57 **	-0.11
	Pb				1	-0.10
	Zn					1
郊区	Cd	1	0.167 *	0.307 **	0.397 **	-0.06
	Cu		1	0.437 **	0.235 **	0.421 **
	Ni			1	0.413 **	0.067
	Pb				1	0.066
	Zn					1

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

为了深层次揭示重庆主城和郊区居民头发重金属组成特征及其来源的内在联系,本研究利用主成分分析法识别污染物来源. 主成分分析结果如表 4 所示,在主城居民人发中,5 种重金属可以由 2 个主成分反映 68.0%,第一主成分的贡献率为 47.3%,其中 Cu、Ni 和 Pb 有较高的正载荷. 从表 3 主城人发中重金属的相关关系可知,Cu、Ni 和 Pb 相关性最强,从而判断 Cu、Ni 和 Pb 具有相似的来源. 第二主成分的贡献率为 20.7%,Zn 呈现出较高的正载荷,与其他重金属元素有较大区别,说明 Zn 的来源异于其他重金属. 在郊区居民人发中,5 种重金属可以由 2 个主成分反映 63.2%,第一主成分的贡献率为 36.7%,其中 Cd、Ni 和 Pb 有较高的正载荷,从相关性分析结果推断, Cd、Ni 和 Pb 具有相似的来源,可能是来自汽车尾气排放. 第二主成分的贡献率为 26.5%,Zn 和 Cu 呈现出较高的正载荷,说明

Zn 和 Cu 的来源异于其他重金属元素.

表 4 主成分分析因子载荷值

Table 4 Total variance of heavy metals in human hair by PCA

因子	主城人发		郊区人发	
	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分
Cd	0.570	-0.210	0.749	-0.201
Cu	0.826	0.205	0.471	0.727
Ni	0.750	-0.164	0.769	0.208
Pb	0.862	-0.166	0.664	-0.377
Zn	0.228	0.946	-0.134	0.756
特征值	2.364	1.035	1.834	1.325
贡献率/%	47.28	20.71	36.68	26.50
累积贡献率/%	47.28	67.99	36.68	63.18

3 结论

重庆居民头发 Cu、Ni 和 Zn 含量均在已有报道正常值范围内,而 Cd 和 Pb 含量均处于世界范围内较高水平,并且显著高于我国居民头发中 Pb 和 Cd 的含量上限值,表明本研究中居民可能存在重金属

暴露风险. 5 种重金属在主城居民头发中的含量均显著高于郊区居民头发中含量, 并且其组成与居民附近土壤样品的组成基本一致, 表明环境暴露可能是影响重金属在人发中富集的一个重要因素. 5 种重金属的含量在不同年龄段人群中的分布没有明显趋势, 只是在郊区居民头发中的 Cu 和 Zn 含量随着年龄增长而减少. 主城和郊区男性头发中 Cd 和 Pb 含量均显著高于女性, 并且在主城和郊区吸烟者头发中的 Cd 和 Pb 显著高于非吸烟者; 通过相关性分析发现主城和郊区中 Cd、Cu、Ni 和 Pb 之间具有相似相关性模式, 并且主成分分析结果显示, 在主城中, 人发中 Cu、Ni 和 Pb 具有相似的来源, 而在郊区中, 人发中 Cd、Ni 和 Pb 具有相似的来源.

参考文献:

- [1] Malik R N, Jadoon W A, Husain S Z. Metal contamination of surface soils of industrial city Sialkot, Pakistan: a multivariate and GIS approach[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2010, **32**(3): 179-191.
- [2] Abdullah M, Fasola M, Muhammad A, *et al.* Avian feathers as a non-destructive bio-monitoring tool of trace metals signatures: a case study from severely contaminated areas[J]. *Chemosphere*, 2015, **119**: 553-561.
- [3] Zheng N, Liu J S, Wang Q C, *et al.* Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(4): 726-733.
- [4] Wu G, Kang H B, Zhang X Y, *et al.* A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **174**(1-3): 1-8.
- [5] Tamás M J, Sharma S K, Ibstedt S, *et al.* Heavy metals and metalloids as a cause for protein misfolding and aggregation[J]. *Biomolecules*, 2014, **4**(1): 252-267.
- [6] Abdulrahman F I, Akan J C, Chellube Z M, *et al.* Levels of heavy metals in human hair and nail samples from Maiduguri metropolis, Borno state, Nigeria[J]. *World Environment*, 2012, **2**(4): 81-89.
- [7] Cebi A, Kaya Y, Gungor H, *et al.* Trace elements, heavy metals and vitamin levels in patients with coronary artery disease[J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2011, **8**(6): 456-460.
- [8] Kosanovic M, Jokanovic M. Quantitative analysis of toxic and essential elements in human hair. Clinical validity of results[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, **174**(1-4): 635-643.
- [9] Kyle R A, Pease G L. Hematologic aspects of arsenic intoxication [J]. *New England Journal of Medicine*, 1965, **273**(1): 18-23.
- [10] Pereira R, Ribeiro R, Gonçalves F. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal)[J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **327**(1-3): 81-92.
- [11] Senofonte O, Violante N, Caroli S. Assessment of reference values for elements in human hair of urban schoolboys [J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2000, **14**(1): 6-13.
- [12] Gil F, Hernández A F, Márquez C, *et al.* Biomonitorization of Cadmium, chromium, manganese, nickel and lead in whole blood, urine, axillary hair and saliva in an occupationally exposed population [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(6): 1172-1180.
- [13] Wang D Y, He L, Wei S Q, *et al.* Estimation of mercury emission from different sources to atmosphere in Chongqing, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **366**(2-3): 722-728.
- [14] 李艳, 耿丹, 董新宁, 等. 1961-2007 年重庆风速的气候变化特征[J]. *大气科学学报*, 2010, **33**(3): 336-340.
Li Y, Geng D, Dong X N, *et al.* Climate change of wind speed in Chongqing from 1961 to 2007 [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2010, **33**(3): 336-340.
- [15] 郭静, 何太蓉, 谢成灵, 等. 重庆市都市功能核心区道路土壤重金属污染特征分析[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2016, **33**(3): 64-70.
Guo J, He T R, Xie C L, *et al.* Analysis of heavy metals contamination characteristics of roadside soil from urban functional core area in Chongqing [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition)*, 2016, **33**(3): 64-70.
- [16] 代勇, 李章平, 李燕燕, 等. 重庆市主城区街道灰尘重金属的污染特征分析[J]. *环境化学*, 2015, **34**(1): 188-189.
- [17] 彭玉龙, 王永敏, 覃蔡清, 等. 重庆主城区降水中重金属的分布特征及其沉降量[J]. *环境科学*, 2014, **35**(7): 2490-2496.
Peng Y L, Wang Y M, Qin C Q, *et al.* Concentrations and deposition fluxes of heavy metals in precipitation in core urban areas, Chongqing[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(7): 2490-2496.
- [18] Zheng J, Luo X J, Yuan J G, *et al.* Heavy metals in hair of residents in an e-waste recycling area, south China: contents and assessment of bodily state [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, **61**(4): 696-703.
- [19] Batool F, Iqbal S, Chan K W, *et al.* Concentrations of heavy metals in hair and nails of young Pakistanis: correlation with dietary elements[J]. *Environmental Forensics*, 2015, **16**(1): 1-6.
- [20] Wang T, Fu J J, Wang Y W, *et al.* Use of scalp hair as indicator of human exposure to heavy metals in an electronic waste recycling area[J]. *Environmental Pollution*, 2009, **157**(8-9): 2445-2451.
- [21] Khalique A, Shah M H, Jaffar M, *et al.* Multivariate analysis of the selected metals in the hair of cerebral palsy patients versus controls[J]. *Biological Trace Element Research*, 2006, **111**(1-3): 11-22.
- [22] 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.
- [23] Goullé J P, Mahieu L, Castermant J, *et al.* Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair: reference values [J]. *Forensic Science*

- International, 2005, **153**(1): 39-44.
- [24] Rodushkin I, Axelsson M D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part I. Analytical methodology [J]. Science of the Total Environment, 2000, **250**(1-3): 83-100.
- [25] Kurt-Karakus P B. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk [J]. Environment International, 2012, **50**: 47-55.
- [26] Sun S Q, Wang D Y, He M, *et al.* Monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Chongqing, China—based on moss bag technique [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, **148**(1-4): 1-9.
- [27] Valko M, Rhodes C J, Moncol J, *et al.* Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer [J]. Chemico-Biological Interactions, 2006, **160**(1): 1-40.
- [28] Nabulo G, Oryem-Origa H, Diamond M. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala city, Uganda [J]. Environmental Research, 2006, **101**(1): 42-52.
- [29] Amaral A F, Arruda M, Cabral S, *et al.* Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in the Azores, Portugal [J]. Environment International, 2008, **34**(8): 1104-1108.
- [30] 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.
- [31] Özden T A, Gökçay G, Ertem H V, *et al.* Elevated hair levels of cadmium and lead in school children exposed to smoking and in highways near schools [J]. Clinical Biochemistry, 2007, **40**(1-2): 52-56.
- [32] Afridi H I, Kazi T G, Brabazon D, *et al.* Association between essential trace and toxic elements in scalp hair samples of smokers rheumatoid arthritis subjects [J]. Science of the Total Environment, 2011, **412-413**: 93-100.
- [33] 梁刚, 刘璇, 何慧, 等. 新民城市居民头发重金属含量测定及相关分析 [J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(10): 112-115.
- Liang G, Liu X, He H, *et al.* Determination and correlation analysis of heavy metals in human hair of urban population in Xinmin City [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **35**(10): 112-115.
- [34] Huang M J, Chen X W, Shao D D, *et al.* Risk assessment of arsenic and other metals via atmospheric particles, and effects of atmospheric exposure and other demographic factors on their accumulations in human scalp hair in urban area of Guangzhou, China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014, **102**: 84-92.
- [35] Afridi H I, Brabazon D, Kazi T G, *et al.* Evaluation of essential trace and toxic elements in scalp hair samples of smokers and alcohol user hypertensive patients [J]. Biological Trace Element Research, 2011, **143**(3): 1349-1366.

CONTENTS

Dry and Bulk Nitrogen Deposition in Suburbs of Xining City	XU Wen, JIN Xin, LUO Shao-hui, <i>et al.</i> (1279)
Day-Night Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Aerosols in PM ₁₀ During Spring and Summer of Lanzhou	MA Li, YU Ye, WANG Bo, <i>et al.</i> (1289)
Characteristics of the Size Distribution of Water Soluble Inorganic Ions in Sanya, Hainan	WANG Lu, LIU Zi-rui, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1298)
Pollution Characteristics of NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ in PM _{2.5} and Their Precursor Gases During 2015 in an Urban Area of Beijing	DING Meng-meng, ZHOU Jian-nan, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1307)
Pollution Characteristics of PCDD/Fs in Ambient Air and Exposure Risk Assessment Around a Municipal Solid Waste Incinerator in Beijing	QI Li, REN Yue, LIU Ai-min, <i>et al.</i> (1317)
Community Characteristics of Cultivable Bacteria in Fine Particles (PM _{2.5}) of Beijing and Baoding	HU Ya-dong, MA An-zhou, LÜ Peng-yi, <i>et al.</i> (1327)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Artery and Collector Roads in Nanjing Based on Real-time Traffic Data	LI Xiao-yu, WU Lin, ZOU Chao, <i>et al.</i> (1340)
Catalytic Combustion of Soot Particulates over Rare Earth Pyrochlore Oxides Doped with Transition Metals	LI Xi-feng, SUN Yu-qi, WANG Zhong-peng, <i>et al.</i> (1348)
Water Quality Analysis of Beijing Segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project	XU Hua-shan, ZHAO Lei, SUN Hao-su, <i>et al.</i> (1357)
Hanfeng Pre-reservoir Commissioning Time Variation Feature of the Hydrology and Water Quality in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (1366)
Modeling of Water Quality Response to Land-use Patterns in Taizi River Basin Based on Partial Least Squares	LI Lin-lin, ZHANG Yi-zhang, TANG Chang-yuan, <i>et al.</i> (1376)
Distribution Characteristics of Water Temperature and Water Quality of Fuxian Lake During Thermal Stratification Period in Summer	WANG Lin-jie, YU Hui, NIU Yong, <i>et al.</i> (1384)
Vertical Stratification Characteristics of Dissolved Oxygen and Phytoplankton in Thousand-Island Lake and Their Influencing Factors	YU Yan, LIU De-fu, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (1393)
Community Structure Characteristics of Eukaryotic Planktonic Algae in Liaoh River Through High-throughput Sequencing	WANG Jing-qi, WANG Shu-ping, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1403)
Effects of Coastal Organic Pollution on Bacterioplankton Community in Sanmen Bay	DAI Wen-fang, GUO Yong-hao, YU Wei-na, <i>et al.</i> (1414)
Nitrate Source Identification and Nitrification-denitrification at the Sediment-water Interface	JIN Zan-fang, GONG Jia-lin, SHI Yi-li, <i>et al.</i> (1423)
Residues of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Water and Sediments from Nansha Mangrove Wetland	DING Yang, HUANG Huan-fang, LI Hui, <i>et al.</i> (1431)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals from River Network Sediment in Western Area of Taihu Lake	BIAN Bo, ZHOU Yan, ZHANG Qin (1442)
Efficacy of Phoslock® on the Reduction of Sediment Phosphorus Release in West Lake, Hangzhou, China	ZHU Guang-wei, LI Jing, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (1451)
Identification and PAC Adsorption of Fouling Responsible for Irreversible Fouling During Ultrafiltration of Dongjiang River Water	YANG Hai-yan, WANG Can, YAN Zhong-sen, <i>et al.</i> (1460)
Efficiency and Kinetics of Triclosan Degradation in Aqueous Solution by UV/Sodium Persulfate	LI Qing-song, LI Xue-yan, YAO Ning-bo, <i>et al.</i> (1467)
Influencing Factors on the Degradation of PFOS Through VUV-SO ₃ ²⁻	HAN Hui-li, WANG Hong-jie, DONG Wen-yi (1477)
Simultaneous Photocatalytic Reduction of Cr(VI) and Oxidation of SSA by Carbon Nitride	LI Li-li, CHEN Cui-hai, LAN Hua-chun, <i>et al.</i> (1483)
Modification of Diatomite by Zirconium and Its Performance in Phosphate Removal from Water	FAN Yi, WANG Zhe, ZHAO Lian-qin, <i>et al.</i> (1490)
Reducing Effect of Three Disinfection Technologies for Sulfonamides Resistance Genes	ZHENG Ji, ZHOU Zhen-chao, CHEN Fang, <i>et al.</i> (1497)
Removal of Estrogenic Effect by Typical Domestic Wastewater Treatment Processes	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> (1506)
Effect of SRT on Stability of Yeast-SBR in Treating Oil-containing Wastewater	LÜ Wen-zhou, ZHANG Shu-lin, QIAO Yu-xiang, <i>et al.</i> (1513)
Degradation of the Disperse Dye Neocron Black(NB) by Biological Treatment	YANG Bo, DING Feng-you, XU Hui, <i>et al.</i> (1520)
Function of Polyphosphate Kinase Gene in Biological Phosphate Removal During the Wastewater Treatment Process	NAN Ya-ping, ZHOU Guo-biao, YUAN Lin-jiang (1529)
Short-cut Nitrification Recovery and Its Transformation into CANON Process in a Biofilm Reactor	FU Kun-ming, ZHOU Hou-tian, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (1536)
Nitrogen Removal Characteristics and Diversity of Microbial Community in ANAMMOX Reactor	CAO Yan, WANG Tong-yu, QIN Yu-jie, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Environment Adjustment Layers on Nitrogen Transformation in Anaerobic Bioreactor Landfills	HE Zheng-kun, SONG Bo-yu, ZHU Nan-wen, <i>et al.</i> (1551)
Characteristics of Anaerobic Methane Removal Coupled to Fe(III) Reduction in Aged Refuse	WANG Li-li, HE Ting, LONG Yan, <i>et al.</i> (1558)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Tracing Sources by Pb & Sr Isotope in the Soil Profile of Woodland in Quanzhou	SUN Jing-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1566)
Accumulation and Migration Characteristics in Soil Profiles and Bioavailability of Heavy Metals from Livestock Manure	HE Meng-yuan, DONG Tong-xi, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (1576)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soils from Shandong	GE Wei, CHENG Qi-qi, CHAI Chao, <i>et al.</i> (1587)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Organophosphorus Pesticides in Typical Soil Environment of Jiangnan Plain	WANG Jian-wei, ZHANG Cai-xiang, PAN Zhen-zhen, <i>et al.</i> (1597)
Characteristics and Influencing Factors of Biologically-based Phosphorus Fractions in the Farmland Soil	CAI Guan, HU Ya-jun, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (1606)
Effect of Straw Application on the Dynamics of Exogenous Nitrogen and Microbial Activity in Paddy Soil	CHEN Shan, DING Xian-qing, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (1613)
Effects of Biochar on Surface Albedo and Soil Respiration in Suburban Agricultural Soil	ZHANG Yang-yang, HU Xue-yu, ZOU Juan, <i>et al.</i> (1622)
N ₂ O Consumption Ability of Submerged Paddy Soil and the Regulatory Mechanism	WANG Ling, XING Xiao-yi, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (1633)
Non-CO ₂ Greenhouse Gas Release from Different Biological Wastewater Treatment Processes	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, LIU Wen-bo, <i>et al.</i> (1640)
Effect of Application of Sewage Sludge Composts on Greenhouse Gas Emissions in Soil	YANG Yu-han, YI Jian-ting, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1647)
Effect of Nano Zeolites on pH, CEC in Soil and Cd Fractions in Plant and Soil at Different Cadmium Levels	CHI Sun-lin, XU Wei-hong, XIONG Shi-juan, <i>et al.</i> (1654)
Dynamic Differences of Uptake and Translocation of Exogenous Selenium by Different Crops and Its Mechanism	PENG Qin, LI Zhe, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (1667)
Alleviation Effects of Exogenous Melatonin on Ni Toxicity in Rice Seedlings	LIU Shi-xiang, HUANG Yi-zong, LUO Ze-jiao, <i>et al.</i> (1675)
Forms Distribution and Ecotoxicity of Three Forms of Sulfonamides in Root-Soil Interface of Maize	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Wan-feng, <i>et al.</i> (1683)
Effect of Sediments on Bioaccumulation of Mercury in Fish Body in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	SUN Song, LI Chu-xian, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1689)
Bioaccumulation and Correlation of Heavy Metals in Human Hairs From Urban and Rural Areas of Chongqing	HE Ming-jing, LI Qi, WANG Deng-xiang, <i>et al.</i> (1697)
Microbial Community Structure and Diversity in Cellar Water by 16S rRNA High-throughput Sequencing	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (1704)
Performance Improvement of Microbial Fuel Cell with Polyaniline Doped Graphene Anode	HUANG Li-hua, LI Xiu-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i> (1717)
Brief Introduction of Pollution Sites Remediation and Risk Assessment and Its Policy Making in United States	RONG Yue (1726)