

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第7期

Vol.39 No.7

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

近20年来中国典型区域PM _{2.5} 时空演变过程	罗毅,邓琼飞,杨昆,杨扬,商春雪,喻臻钰 (3003)
西安市PM _{2.5} 健康损害价值评估	魏国茹,史兴民 (3014)
河北香河亚微米气溶胶组分特性、来源及其演变规律分析	江琪,王飞,孙业乐 (3022)
南京北郊秋季PM _{2.5} 碳质组分污染特征及来源分析	徐足飞,曹芳,高嵩,鲍孟盈,石一凡,章炎麟,刘晓妍,范美益,张雯淇,卞航,刘寿东 (3033)
临安夏季霾和清洁天气PM _{2.5} 化学组成特征比较	梁林林,孙俊英,张养梅,刘畅,徐婉筠,张根,刘旭艳,马千里 (3042)
盘锦市秋冬季节PM _{2.5} 中碳组分特征及来源解析	张蕾,姬亚芹,张军,王士宝,李越洋,赵静琦,张伟 (3051)
南京冬季气溶胶光学特性及黑碳光吸收增强效应	黄聪聪,马嫣,郑军 (3057)
夏季青岛大气粗细粒子中微量元素的浓度、溶解度及干沉降通量	李鹏志,李茜,石金辉,高会旺,姚小红 (3067)
太原市夏季降水中溶解态重金属特征及来源	叶艾玲,程明超,张璐,何秋生,郭利利,王新明 (3075)
杭州地区大气CO ₂ 体积分数变化特征及影响因素	浦静姣,徐宏辉,姜瑜君,杜荣光,齐冰 (3082)
典型工业源VOCs治理现状及排放组成特征	景盛翱,王红丽,朱海林,杨强,卢滨,夏阳,余传冠,陶士康,李莉,楼晟荣,黄成,唐伟,井宝莉 (3090)
地级市域工业VOCs排放源产排特性及其控制技术应用现状:以秦皇岛市为例	胡旭睿,虎啸宇,王灿 (3096)
青霉素发酵尾气VOCs污染特征及健康风险评价	郭斌,么瑞静,张硕,马磊,康江,王姗姗 (3102)
轻型汽油车尾气OC和EC排放因子实测研究	黄成,胡馨遥,鲁君 (3110)
南京市大气降尘重金属污染水平及风险评价	田春晖,杨若杼,古丽扎尔·依力哈木,钱新,王金花,李慧明 (3118)
西安城区路面细颗粒灰尘重金属污染水平及来源分析	石栋奇,卢新卫 (3126)
三峡库区主要河流秋季pCO ₂ 及其影响因素	罗佳宸,毛蓉,李思悦 (3134)
泾河支流地表水地下水的水化学特征及其控制因素	寇永朝,华琨,李洲,李志 (3142)
生物滞留对城市地表径流磷的去除途径	李立青,刘雨倩,杨佳敏,王娟 (3150)
淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系	杨丽,张玮,尚光霞,张军毅,王丽卿,魏华 (3158)
抚仙湖硅藻群落的时空变化特征及其与水环境的关系	李蕊,陈光杰,康文刚,陈丽,王教元,陈小林,刘园园,冯钟,张涛 (3168)
蓝藻水华及其降解对沉积物-水微界面的影响	王永平,谢瑞,晁建颖,姬昌辉,于剑 (3179)
生物炭对人工湿地植物根系形态特征及净化能力的影响	徐德福,潘潜澄,李映雪,陈晓艺,王佳俊,周磊 (3187)
Mn-Co/蜂窝陶瓷催化剂制备及催化臭氧化对苯二酚效能	张兰河,高伟国,陈子成,张海丰,王旭明 (3194)
Fe/Cu双金属活化过一硫酸盐降解四环素的机制	李晶,鲍建国,杜江坤,冷一非,孔淑琼 (3203)
铈酸盐改性钛酸纳米片对水中Cd(II)的吸附行为及机制	康丽,刘文,刘晓娜,刘宏芳,李一菲 (3212)
铁锰原位氧化产物吸附微量磷的实验	蔡言安,毕学军,张嘉凝,董杨,刘文哲 (3222)
制备方法对铁钛复合氧化物磷吸附性能的影响:共沉淀法与机械物理混合法	仲艳,王建燕,陈静,张高生 (3230)
电导率对厌氧产酸、正渗透与微生物燃料电池耦合工艺运行性能的影响	陆宇琴,刘金梦,王新华,李秀芬,李晔 (3240)
不同磷浓度下生物除磷颗粒系统的COD需求	李冬,曹美忠,郭跃洲,梅宁,李帅,张杰 (3247)
基质浓度对ABR反应器SAD协同脱氮除碳效能影响	张敏,姜滢,汪瑶琪,韦佳敏,陈重军,沈耀良 (3254)
采用含硫铁化学污泥作为反硝化电子供体进行焦化废水中总氮深度去除	付炳炳,潘建新,马景德,王丰,吴海珍,韦朝海 (3262)
间歇曝气下短程硝化耦合污泥微膨胀稳定性	高春娣,孙大阳,安冉,赵楠,焦二龙,祝海兵 (3271)
基于高通量测序的SBR反应器丝状膨胀污泥菌群分析	洪颖,姚俊芹,马斌,徐双,张彦江 (3279)
纳米零价铁(NZVI)对厌氧产甲烷活性、污泥特性和微生物群落结构的影响	苏润华,丁丽雨,任洪强 (3286)
气水比对后置固相反硝化滤池工艺脱氮及微生物群落影响	张千,吉芳英,付旭芳,陈晴空 (3297)
活性污泥胞外多聚物提取方法的比较	孙秀玥,唐珠,杨新萍 (3306)
耐冷嗜碱蒙氏假单胞菌H97的鉴定及其好氧反硝化特性	蔡茜,何腾霞,冶青,李振轮 (3314)
PFOS前体物质(PreFOSs)降解菌的分离鉴定及其降解特性	赵淑艳,周涛,王博慧,梁田坤,柳丽芬 (3321)
采油井场土壤微生物群落结构分布	蔡萍萍,宁卓,何泽,张敏,石建省 (3329)
铜尾矿坝不同恢复年限土壤理化性质和酶活性的特征	王瑞宏,贾彤,曹苗文,柴宝峰 (3339)
广西某赤泥堆场周边土壤重金属污染风险	郭颖,李玉冰,薛生国,廖嘉欣,王琼丽,吴川 (3349)
邻苯二甲酸酯在重庆市城市土壤中的污染分布特征及来源分析	杨志豪,何明靖,杨婷,卢俊峰,魏世强 (3358)
成都平原区水稻土有机碳剖面分布特征及影响因素	李珊,李启权,王昌全,张浩,肖怡,唐嘉玲,代天飞,李一丁 (3365)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳、无机碳含量与环境因子的相关性	赵晶晶,贡璐,安申群,李杨梅,陈新 (3373)
塔里木盆地北缘绿洲4种土地利用方式土壤有机碳组分分布特征及其与土壤环境因子的关系	安申群,贡璐,李杨梅,陈新,孙力 (3382)
高原喀斯特土壤有机碳短期稳定的温度作用机制	唐国勇,张春华,刘方炎,马艳 (3391)
施硼对水稻幼苗吸收和分泌砷的影响	朱毅,孙国新,陈正,胡莹,郑瑞伦 (3400)
不同改良剂对铅镉污染农田水稻重金属积累和产量影响的比较分析	胡雪芳,田志清,梁亮,陈俊德,张志民,朱祥民,王士奎 (3409)
南京大气臭氧浓度的季节变化及其对主要作物影响的评估	赵辉,郑有飞,魏莉,关清 (3418)
三峡库区涪陵和忠县两地居民发汞含量水平及影响因素分析	程楠,谢青,樊宇飞,王永敏,张成,王定勇 (3426)
人粪便好氧堆肥过程中典型抗生素的消减特性	时红蕾,王文昌,李倩 (3434)
COD/SO ₄ ²⁻ 对青霉素菌渣厌氧消化影响	强虹,李玉友,裴梦富 (3443)
果蔬类垃圾主发酵堆肥产物储放和利用的恶臭释放特征	何品晶,蒋宁玲,徐贤,韦顺艳,邵立明,吕凡 (3452)
曾用抗生素磺胺二甲嘧啶对稻田NH ₃ 挥发的影响	庞炳坤,张敬沙,吴杰,李志琳,蒋静艳 (3460)
《环境科学》征订启事(3141)	
《环境科学》征稿简则(3202)	
信息(3229, 3433, 3451)	

三峡库区涪陵和忠县两地居民发汞含量水平及影响因素分析

程楠¹, 谢青¹, 樊宇飞¹, 王永敏^{1,2}, 张成^{1,2}, 王定勇^{1,2,3*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716; 3. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 为评价三峡库区居民汞暴露风险, 在三峡库区腹心地带的涪陵和忠县两地采集了 238 份当地居民头发样本, 分析了总汞 (THg) 和甲基汞 (MeHg) 含量。结果表明, 两地居民头发 THg、MeHg 平均含量分别为 $(0.50 \pm 0.54) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.35 \pm 0.25) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中, 涪陵居民头发 THg、MeHg 平均含量分别为 $(0.71 \pm 0.87) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.53 \pm 0.46) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 均高于忠县居民头发 THg [$(0.41 \pm 0.36) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]、MeHg [$(0.28 \pm 0.26) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$] 平均含量水平, 但两地头发总汞平均含量均低于美国 EPA 安全参考剂量 ($1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)。不同年龄段的居民发汞含量存在显著性差异 ($P < 0.05$), 其中 40~50 岁年龄段居民发汞含量最高; 不同性别间发汞含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但女性发汞含量略高于男性。居民发汞含量与食鱼频率呈正相关, 渔民发汞含量显著高于非渔民发汞含量 ($P < 0.01$), 且渔民头发样本总汞含量均值 ($1.44 \pm 0.79) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 超过了 EPA 安全参考剂量。两地吸烟者头发总汞含量 [$(0.55 \pm 0.24) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.58 \pm 0.54) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$] 均显著高于非吸烟者头发总汞含量 [$(0.51 \pm 0.30) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.36 \pm 0.26) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]。三峡库区居民汞暴露风险总体较低, 但渔民存在一定的汞暴露风险。

关键词: 三峡库区; 发汞; 含量; 影响因素; 汞暴露风险

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)07-3426-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201709044

Hair Mercury Concentrations in Residents of Fuling and Zhongxian in the Three Gorges Reservoir Region and Their Influence Factors

CHENG Nan¹, XIE Qing¹, FAN Yu-fei¹, WANG Yong-min^{1,2}, ZHANG Cheng^{1,2}, WANG Ding-yong^{1,2,3*}

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment Research, Chongqing 400716, China)

Abstract: To evaluate the mercury (Hg) exposure risk for residents of the Three Gorges Reservoir Region (TGR), hair samples were collected from 238 local residents within the central regions of the TGR (Fuling District and Zhongxian County) in this study. Subsequently, total mercury (THg) and methylmercury (MeHg) concentrations were determined. The results obtained showed that the average THg and MeHg concentrations in hair samples of the residents within these two areas were $(0.50 \pm 0.54) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and $(0.35 \pm 0.25) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. Specifically, the average THg and MeHg concentrations in hair samples of Fuling residents were $(0.71 \pm 0.87) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and $(0.53 \pm 0.46) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. Both these values were higher than those in hair samples of Zhongxian County residents [THg $(0.41 \pm 0.36) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and MeHg $(0.28 \pm 0.26) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]. It is noteworthy that the hair Hg levels in residents of these two areas are both well below the U. S. Environmental Protection Agency's reference dose ($1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$). Hair Hg levels varied slightly among different age groups; higher Hg levels were detected in residents in the age group of 40-50 years ($P < 0.05$). However, there was no significant difference between the hair Hg levels among genders ($P > 0.05$). Hair Hg levels in females were slightly above those in males. Hair Hg levels were significantly correlated with the frequency of fish consumption. Furthermore, hair Hg levels in non-fishermen were significantly lower than those in fishermen. An elevated mean value of $(1.44 \pm 0.79) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ($P < 0.01$), which exceeds the RfD of $1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, was detected in fishermen. Moreover, hair Hg levels in smokers of Fuling and Zhongxian County [$(0.55 \pm 0.24) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and $(0.58 \pm 0.54) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively] were both markedly higher than those in non-smokers [$(0.51 \pm 0.30) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and $(0.36 \pm 0.26) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively]. In conclusion, the risk of Hg exposure to residents of the TGR was lower. However, in this study, it was determined that fishermen are at significant risk of Hg exposure.

Key words: Three Gorges Reservoir Region; hair mercury levels; concentration; influencing factors; risk of mercury exposure

汞 (Hg) 是一种全球性和持久性污染物, 汞及其化合物曾被广泛地用于农药、补牙、化妆品、化工等领域。自 20 世纪 50 年代在日本出现“水俣病”事件以来^[1], 伊拉克、巴基斯坦和我国松花江流域相继发生汞污染事件, 使得汞污染备受关注。目前, 汞

污染的特点是浓度低、范围广, 对人群健康的影响

收稿日期: 2017-09-05; 修订日期: 2017-12-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2013CB430004)

作者简介: 程楠 (1992~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染化学, E-mail: Chinachengnan@163.com

* 通信作者, E-mail: dywang@swu.edu.cn

主要表现为低剂量、长期暴露而引起的典型性、多系统的慢性损害,尤其是对后代的影响深远^[2~4]. 人群汞暴露的常见生物指标有头发、血液和尿液等. 汞通过大气、水体、食物等途径进入人体后,可通过血液进入头发并富集,汞可以与发囊稳定地结合在一起,永久地固定在头发中. 头发每个月大约增长 1 cm,对头发分段分析能够提供时间序列上汞暴露的动态变化^[5,6]. 因此,头发一直被广泛用作人体汞暴露的监测指标.

有研究表明,新建水库水体中汞的含量会升高. 三峡水库是一座特大型年调节水库,水库“蓄清排浑”的调度方案使库周形成面积超过 400 km² 的库区消落带. 消落带是库区径流的汇集区,也是环境中汞的汇集区^[7~9]. 库区周边居民可能由于农业种植、生活习惯、膳食结构和区域环境的改变而受到影响. 当前,我国关于人群汞暴露风险的研究区域主要集中在汞矿区、松花江流域和沿海地区,各地区对发汞含量影响因素研究的结果不尽相同,对于三峡库区人群汞暴露风险的研究很少. 因此,对三峡库区涪陵和忠县两地居民汞暴露风险进行的研究具有重要的现实意义.

1 材料与方法

1.1 样品采集

按照美国 EPA-7473 规定的方法采集和保存头发样品:用清洁的不锈钢剪刀在居民的后枕部距头皮 2.5 cm 之内的部分剪下 1~2 g 头发作为分析样品,装入自封袋带回实验室,待测. 以三峡库区当地居民为调查对象,于 2016 年 7~9 月随机采集了 238 名各年龄段普通居民头发样品,其中涪陵、忠县各 119 份. 同时对居民进行问卷调查,调查内容包括居民的性别、年龄、每周食鱼频率、是否吸烟等. 基本统计信息如表 1 所示.

1.2 样品处理

头发样品的处理:采集的头发样品先用中性洗发水超声洗涤 10 min,再用自来水冲洗干净,然后用超纯水冲洗 3 次,最后用丙酮润洗并冷风吹干 3 次后,放入 40℃ 烘箱烘干,用不锈钢剪刀将头发样品剪碎,并装入自封袋编号,待测.

1.3 样品分析与质量控制

总汞 (THg) 的测定:人发样本总汞的测定依据美国 EPA-7473 固态样品中总汞的分析方法,称取一定质量约 0.01~0.02 g 头发样品,采用 DMA-80 固体进样自动测汞仪 (Milestone 公司,意大利) 测

表 1 调查人群的基本统计信息

统计指标		统计信息	
		涪陵	忠县
性别	男	71 人 (60%)	72 人 (61%)
	女	48 人 (40%)	47 人 (39%)
年龄段	<11 岁	21 人 (18%)	18 人 (15%)
	11~20 岁	19 人 (16%)	25 人 (21%)
	20~40 岁	23 人 (19%)	19 人 (16%)
	40~50 岁	24 人 (20%)	24 人 (20%)
	>50 岁	32 人 (27%)	33 人 (28%)
渔民	是	6 人 (5%)	4 人 (3%)
	否	113 人 (95%)	115 人 (97%)
吸烟	是	33 人 (28%)	26 人 (22%)
	否	86 人 (72%)	93 人 (78%)
食鱼来源	长江野生鱼	30 人 (25%)	28 人 (24%)
	养殖鱼	89 人 (75%)	91 人 (76%)
每周食鱼频率	<1 次	46 人 (39%)	62 人 (52%)
	1~2 次	43 人 (36%)	37 人 (31%)
	>2 次	30 人 (25%)	20 人 (17%)
使用化妆品	男	5 人 (4%)	3 人 (3%)
	女	36 人 (30%)	28 人 (24%)

定,检测限 0.2 ng·g⁻¹. 样品测定用总汞标准物质 (GBW09101B) 进行质量控制,测定过程中每 10 个样品随机选取 2 个头发样本做 3 个平行样,并测定 1 个标准物质,样本结果与标准样本结果差异小于 5%,测定结果可靠.

甲基汞 (MeHg) 的测定:称取适量头发样品约 0.1 g 于 50 mL 离心管中,并加入 5 mL KOH-甲醇溶液 (250 g·L⁻¹),将样品置于水浴锅中充分消解 3 h (消解温度约 75~80℃). 消解过程中,每隔 30 min 摇瓶一次,使消解液和样品充分作用. 消解完成后取出离心管冷却至室温,用超纯水定容至 50 mL,定容后的样品经水相乙基化-Tenax 富集,通过气相色谱-冷原子荧光法 (CV-CVAFS) 分离测定甲基汞,检测限为 0.6 pg·g⁻¹. 样品测定用甲基汞标准物质 (TORT-2) 进行质量控制. 实验中用超纯水代替头发样本做空白实验,测得甲基汞的含量为零. 每 10 个样品随机选取 1 个头发样本做 3 个平行样,相对偏差在 15% 以内,加标回收率在 81%~101% 之间. 所用化学试剂甲醇为色谱纯,氢氧化钾试剂为优级纯.

1.4 数据分析

数据均采用 SPSS 17.0 进行数理统计分析,利用单因子方差分析 (One-way ANOVA) 在显著水平 $\alpha=0.05$ 下进行均值差异的显著性检验, OriginLab 2017 软件作图.

2 结果与讨论

2.1 涪陵、忠县头发样本总汞、甲基汞含量特征

两地居民头发 THg、MeHg 平均含量分别为 $(0.50 \pm 0.54) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $(0.35 \pm 0.25) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 涪陵和忠县居民头发总汞和甲基汞含量分布如图 1 所示. 涪陵地区居民头发 THg、MeHg 含量分别为 $0.71 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.53 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 忠县居民头发 THg、MeHg 含

量分别为 $0.41 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.28 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 涪陵地区居民发汞含量明显高于忠县地区居民,且两地区居民发汞含量存在显著性差异($P < 0.01$). 两地居民水产品消费量不同,涪陵地区居民食鱼频率较忠县居民高,可能导致涪陵地区居民通过食鱼摄入汞的含量较忠县居民高. 涪陵地区头发样本中有 5 份发汞含量超过了美国 EPA 的参考剂量 $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[10], 忠县有 7 份发汞浓度大于 EPA 的参考剂量.

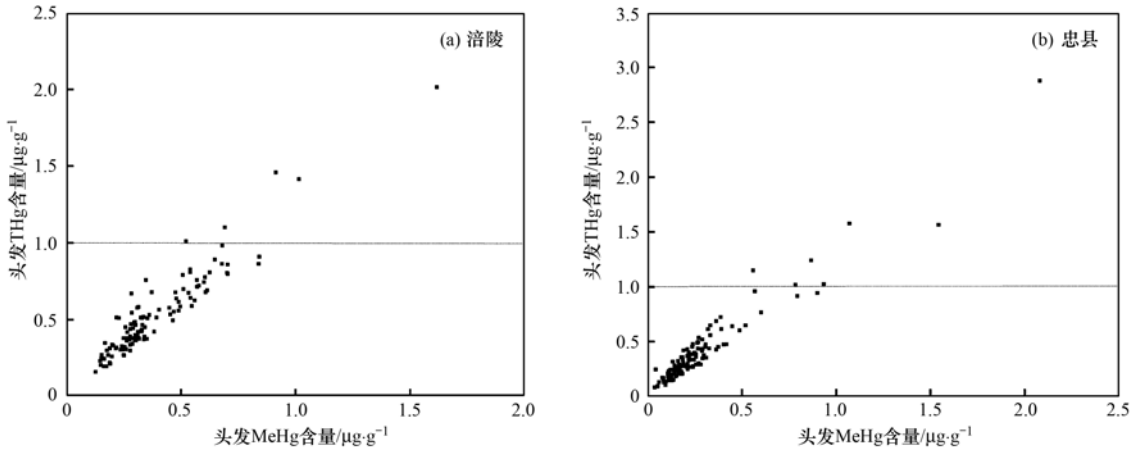


图 1 涪陵、忠县两地居民头发总汞和甲基汞含量特征

Fig. 1 Concentrations of THg and MeHg in hair samples of residents living in the Fuling-Zhongxian area

国内外很多研究表明,头发中汞主要以甲基汞的形式存在,甲基汞占总汞含量接近 80%~90%. 涪陵地区居民头发甲基汞含量占总汞的均值为 73.8%,变化范围为 42.4%~97.4%; 忠县地区居民甲基汞含量占总汞的均值为 67.6%,变化范围为 39.6%~96.5%,两地居民发汞均主要以甲基汞的形式存在. 在对日本沿海居民发汞的研究中,MeHg/THg 的含量在 81% 左右^[11]. 涪陵和忠县两地区居民头发 MeHg/THg 值与沿海居民相比较低,可能与居民的膳食结构有关,两地居民水产品消费量比沿海地区和日本少.

与国内外其他地区居民发汞含量对比(表 2),涪陵和忠县两地区居民发汞含量低于中国东部沿海地区大连、上海、舟山、厦门等地居民,沿海地区居民水产品食用量大,导致发汞的含量较高^[12]; 贵州汞矿区居民发汞含量^[13]远高于涪陵、忠县两地区居民. 通过对两地居民头发总汞含量的相对频率分布研究(图 2)可知,总汞含量主要分布在 $0.3 \sim 0.6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的较低含量区间,表明大部分居民发汞含量总体处于较低水平,汞的暴露风险较低. 对于非职业汞暴露人群,膳食摄入是人体汞暴露的重要途径^[14]. 通过调查发现,两地居民日常食鱼频率与沿海和内陆其他地区相比较低^[15],居民主要食用草鱼

和鲢鱼两种草食性鱼类,草食性鱼的总汞和甲基汞低于肉食性鱼、杂食性鱼、滤食性鱼^[6]. 此外,食用鱼类以养殖鱼为主,长江鱼食用较少,养殖鱼类生长较快,汞的蓄积量较低^[17]. 两地居民人体通过食鱼摄入汞的量较少. 三峡库区居民重金属汞摄入的主要来源是蔬菜和谷类,食物中汞的含量很低^[18]. 张成等的研究发现^[19],三峡库区消落带土壤中的汞的污染水平和风险都较低,生物可利用态汞带来的风险很小,可能导致种植于消落带上的农作物对土壤中汞富集较少,使居民通过膳食摄入汞的含量较少.

表 2 国内外不同地区居民头发总汞含量比较

Table 2 Comparison of the hair THg concentrations in residents from different regions

国家和地区	头发中总汞含量 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	文献
中国东部沿海	0.83	[5]
第二松花江流域	1.82	[20]
贵州汞矿区	33.90	[12]
珠江三角洲	1.08 ± 0.94	[21]
日本	4.30	[11]
美国	0.81	[22]
西班牙	2.64	[10]

2.2 影响发汞含量的因素

影响居民发汞含量的因素很多,包括个体内的

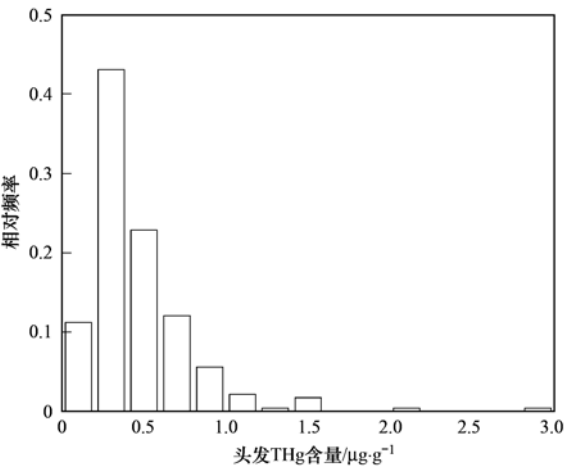


图2 涪陵、忠县两地居民头发总汞含量相对频率分布

Fig. 2 Related frequency distribution of total hair mercury levels in the residents of the Fuling-Zhongxian area

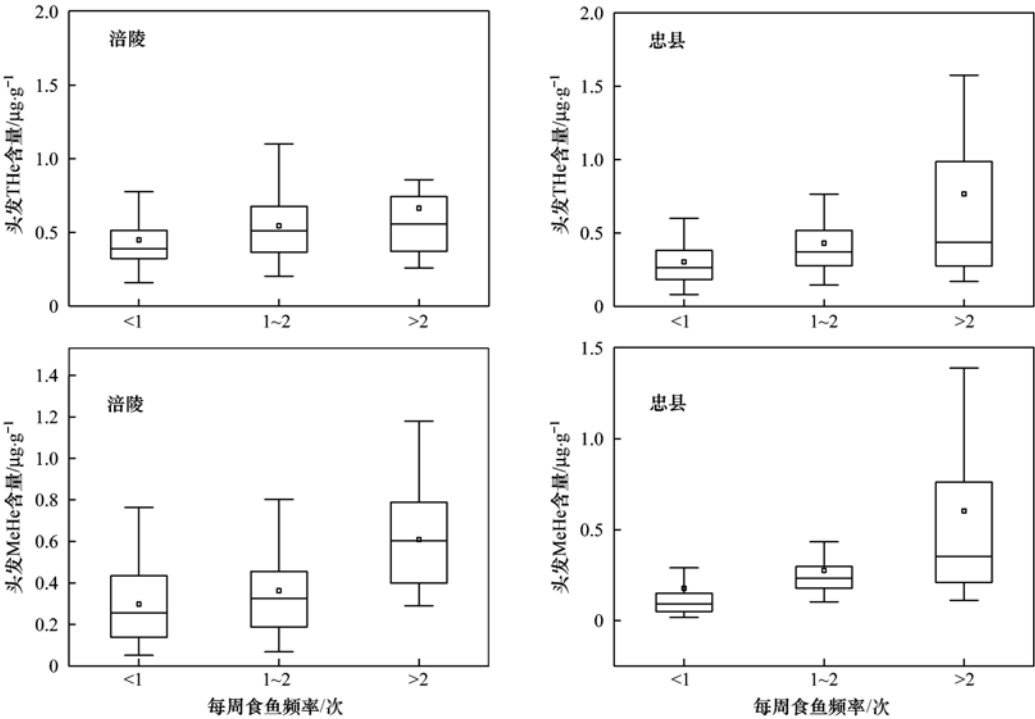


图3 两地不同每周食鱼频率居民头发总汞和甲基汞含量

Fig. 3 Hair THg and MeHg concentrations in residents of the areas with different weekly frequency of fish consumption

Gibb 等^[25]对渔民和非渔民的发汞含量进行了对比分析研究,渔民发汞含量显著高于非渔民发汞含量,与渔民的食鱼频率远高于非渔民有关. 涪陵和忠县两地渔民的食鱼频率和食鱼量远高于非渔民,且渔民主要食用长江野生鱼,自然水体中的野生鱼肌肉中甲基汞的含量高于养殖鱼^[17]. 通过对涪陵和忠县两地渔民和非渔民的调查研究发现(图4),两地区渔民头发 THg 和 MeHg 含量分别为 $(1.44 \pm 0.79) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $(1.22 \pm 0.78) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,而非渔民 THg 和 MeHg 含量分别为 (0.37 ± 0.24)

差异、个体间的差异、人群间的差异、地区间的差异等多种因素^[23].

2.2.1 食鱼频率

大量研究结果表明水产品的消费对居民发汞的影响较为显著. 涪陵和忠县两地区居民发汞浓度随食鱼频率的增加呈增高的趋势(图3),通过相关性分析发现,居民头发总汞和甲基汞含量与食鱼频率呈显著正相关($P < 0.01$),可见居民发汞含量随着食鱼频率的增加而升高,且不同食鱼频率居民的发汞含量存在显著性差异($P < 0.05$). 朱立禄等^[24]对松花江沿岸居民的研究发现经常食鱼人群与不经常食鱼人群发汞含量差异不显著,这可能与当地居民膳食结构相关,当地居民鱼类消费少. 涪陵和忠县两地居民食鱼频率较低,但食鱼仍是人体汞摄入的重要来源.

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $(0.25 \pm 0.32) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,两者存在显著性差异. 渔民头发总汞含量均值超过 EPA 的参考剂量 $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,渔民作为三峡库区特殊的职业人群存在较大的汞暴露风险.

2.2.2 年龄

两地不同年龄段居民头发总汞和甲基汞含量如图5所示,从中可看出两地居民头发总汞和甲基汞含量随着年龄的增长先下降,后升高再降低. 40 ~ 50 岁年龄段的居民发汞含量最高,与之前其他部分地区研究结果相同. Liu 等^[26]对我国海南岛居民发

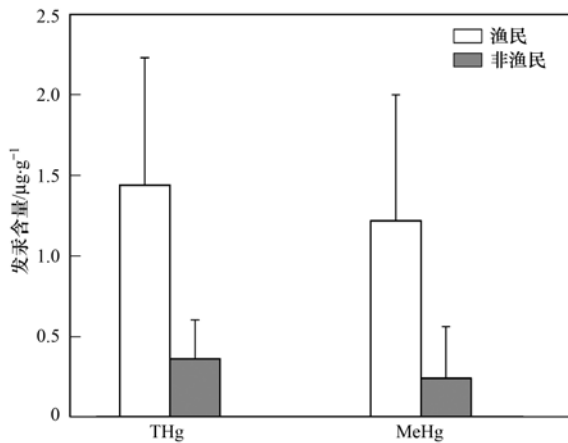


图4 渔民和非渔民头发总汞和甲基汞含量

Fig. 4 Hair THg and MeHg concentrations in fishermen and non-fishermen

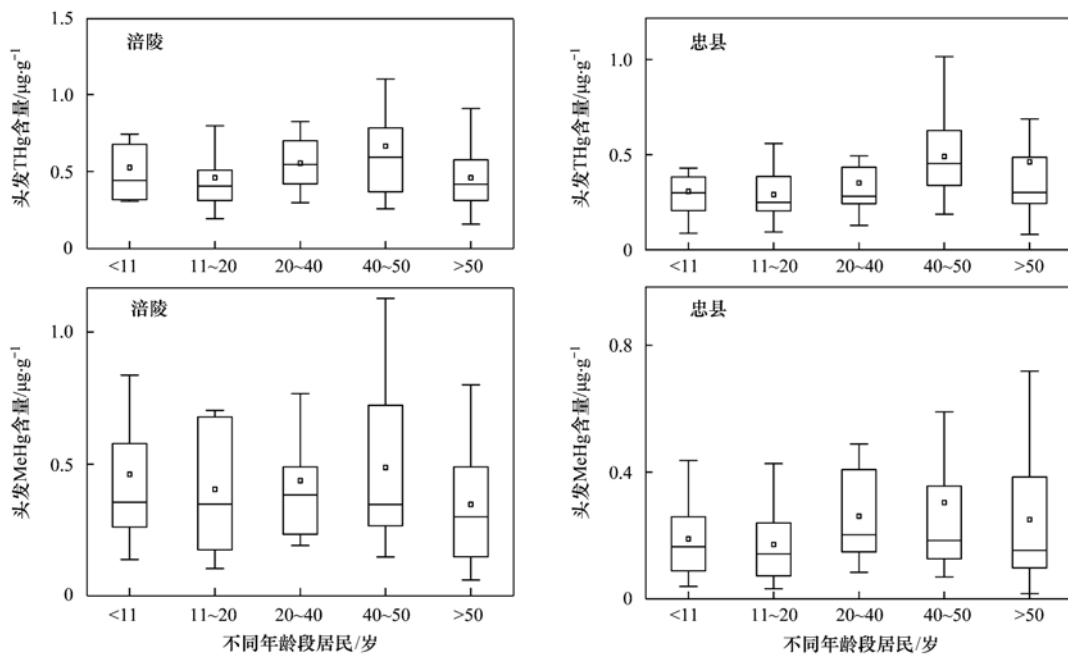


图5 两地不同年龄段居民头发总汞和甲基汞含量

Fig. 5 Hair THg and MeHg concentrations in residents of different age groups in the two areas

2.2.3 性别

两地男性和女性居民头发总汞、甲基汞含量如图6所示。涪陵地区女性头发总汞和甲基汞含量分别为 $(0.73 \pm 1.28) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $(0.52 \pm 0.46) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 均高于男性头发总汞和甲基汞含量 $(0.61 \pm 0.70) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $(0.46 \pm 0.30) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 忠县地区女性发汞含量 [THg: $(0.44 \pm 0.40) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 MeHg: $(0.35 \pm 0.042) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$] 略高于男性 [THg: $(0.40 \pm 0.34) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 MeHg: $(0.27 \pm 0.42) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]. 单因素方差分析 (One-way ANOVA) 结果显示, 两地头发总汞和甲基汞含量在男女性别中差异不显著 ($P > 0.05$). 女性发汞含量略高于男性,

汞含量研究发现, 30 ~ 50 岁年龄段居民的发汞含量最高, Gibb 等^[25]对印度居民发汞含量的研究中发现发汞含量最高的是 40 ~ 50 岁年龄段的居民. 各年龄段居民发汞含量存在显著性差异 ($P < 0.05$). <11 岁年龄段的居民发汞含量高于 11 ~ 20 岁年龄段的居民, 年龄较小的孩子手口接触频次接触频率较高、时间较长^[27], 可能导致环境中的汞通过口腔摄入量较 11 ~ 20 岁年龄段多; 硫柳汞被广泛地用作疫苗防腐剂^[28], 虽然添加剂量很小, 但儿童注射含硫柳汞的疫苗也可能导致汞在体内蓄积. 相对于 40 ~ 50 岁居民, >50 岁年龄段居民随着年龄的增长, 食量总体会降低, 汞通过食物的摄取量也会降低, 因而其发汞含量较 40 ~ 50 岁居民发汞含量低.

可能与女性使用化妆品有关^[29]. 化妆品中常见的有毒重金属有 Hg、As、Pb、Cd^[30], 使用化妆品的次数较多, 容易导致汞通过皮肤进入人体, 从而在头发中蓄积. 国内外已有研究表明性别可能不是影响发汞含量的重要因素. Hajeb 等^[31]对马来西亚的研究表明, 女性发汞含量高于男性发汞含量. 而梁刚等^[32]对新民地区居民的研究则发现, 男性发汞的含量高于女性. 男女膳食结构和头发护理方式不同都可能导致各地区的研究结果不同.

2.2.4 吸烟

按是否吸烟的生活习惯将调查者分为吸烟和不吸烟两组. 本研究结果表明 (图7), 涪陵、忠县两地

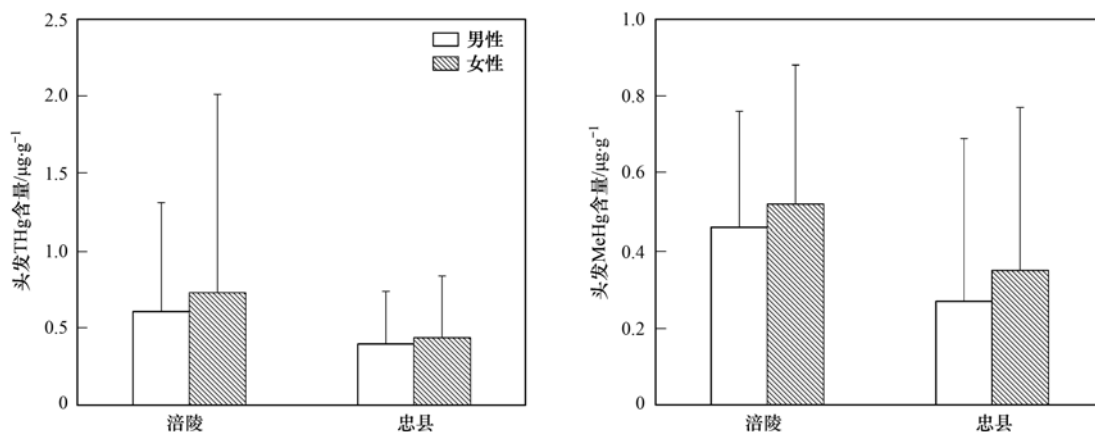


图6 两地不同性别头发总汞和甲基汞含量

Fig. 6 Hair THg and MeHg concentrations in residents of the two areas

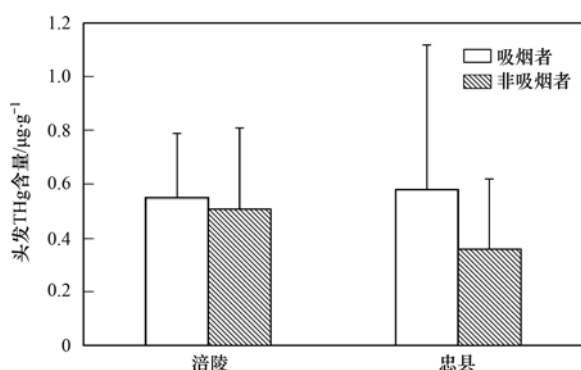


图7 两地吸烟者和非吸烟者头发总汞含量

Fig. 7 Hair THg concentrations in residents based on their current smoking status

吸烟组居民头发总汞的含量分别为 $(0.55 \pm 0.24) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.58 \pm 0.54) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 高于不吸烟居民头发总汞的含量 $(0.51 \pm 0.30) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $(0.36 \pm 0.26) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 且两组之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。这一研究结果与 Shao 等^[21]对中国南部珠江流域居民及 Hagan 等^[33]对秘鲁居民发汞含量调查的结果相一致。张磊等^[20]对第二松花江下游居民的研究表明, 居民吸烟能显著增加人体汞负荷。但是有些研究结论则有所不同, 朱立禄等^[24]对第二松花江下游前郭灌区居民发汞含量的研究表明, 吸烟居民与不吸烟居民发汞含量不存在显著性差异, 且无统计学意义。烟草中含有多种有毒重金属如汞、铅、镉等, 烟草植物在生长过程中会从环境和土壤中吸收、富集重金属^[34]。人们在吸烟过程中, 烟丝燃烧, 汞会以气溶胶或者金属氧化物的形式随着烟气进入人体^[35], 此时吸烟者呼吸道黏液纤毛的清除作用减弱, 使得更多汞随烟气进入吸烟者的肺, 导致汞在人体内蓄积, 吸烟者发汞含量升高。在抽吸过程中, 吸烟者手口接触频次较多, 外界环境中的汞可

能通过手口接触进入人体。目前, 国内外关于吸烟与发汞含量关系的研究很少, 关于吸烟导致发汞含量差异的机制还需要进一步研究。

3 结论

(1) 三峡库区涪陵和忠县两地普通居民头发总汞和甲基汞含量较低, 居民总体的汞暴露风险水平较低。但对于渔民这一特殊职业人群, 仍存在一定的汞暴露风险。

(2) 两地居民发汞总汞和甲基汞含量均与食鱼频率、年龄、吸烟这 3 种影响因素呈显著相关关系 ($P < 0.05$), 与性别不存在显著相关性 ($P > 0.05$)。

参考文献:

- [1] 孙松, 李楚娴, 张成, 等. 三峡库区消落带沉积物对鱼体富集汞的影响[J]. 环境科学, 2017, **38**(4): 1689-1696.
Sun S, Li C X, Zhang C, et al. Effect of sediments on bioaccumulation of mercury in fish body in the water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science, 2017, **38**(4): 1689-1696.
- [2] Zhang Z S, Wang Q C, Zheng D M, et al. Mercury distribution and bioaccumulation up the soil-plant-grasshopper-spider food chain in Huludao City, China [J]. Journal of Environmental Science, 2010, **22**(8): 1179-1183.
- [3] Richard J H, Bischoff C, Ahrens C G M, et al. Mercury (II) reduction and co-precipitation of metallic mercury on hydrous ferric oxide in contaminated groundwater [J]. Science of the Total Environment, 2016, **539**: 36-44.
- [4] Pacyna E G, Pacyna J M, Sundseth K, et al. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020 [J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(20): 2487-2499.
- [5] Liu X J, Cheng J P, Song Y L, et al. Mercury concentration in hair samples from Chinese people in coastal cities [J]. Environmental Science, 2008, **20**(10): 1258-1262.
- [6] Li Z B, Wang Q C, Luo Y M. Exposure of the urban population to mercury in Changchun city, Northeast China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2006, **28**(1-2): 61-

- 66.
- [7] 吉英芳, 王图锦, 胡学斌, 等. 三峡库区消落区水体-沉积物重金属迁移转化特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(12): 3481-3487.
- Ji F Y, Wang T J, Hu X B, *et al.* Movement and transformation of heavy metals in water-sediment in water-level-fluctuating zone of Three Gorges reservoir area [J]. Environmental Science, 2009, **30**(12): 3481-3487.
- [8] 傅杨武, 陈明君, 祁俊生. 重金属在消落带土壤-水体系统中的迁移研究[J]. 水资源保护, 2008, **24**(5): 8-11.
- Fu Y W, Chen M J, Qi J S. Experimental study on migration of heavy metals in soil-water system of water-level-fluctuating zone [J]. Water Resources Protection, 2008, **24**(5): 8-11.
- [9] 梁丽, 王永敏, 张成, 等. 三峡水库消落带土壤与优势植物淹水后对土-水系统汞形态的影响[J]. 环境科学, 2016, **37**(3): 955-962.
- Lang L, Wang Y M, Zhang C, *et al.* Effect of soil and dominant plants on mercury speciation in soil and water system of water-level-fluctuation zone in the Three Gorges Area [J]. Environmental Science, 2016, **37**(3): 955-962.
- [10] Díez S, Esbrí J M, Tobias A, *et al.* Determinations of exposure to mercury in hair from inhabitants of the largest mercury mine in the world[J]. Chemosphere, 2011, **84**(5): 571-577.
- [11] Endo T, Haraguchi K. High mercury levels in hair samples from residents of Taiji, a Japanese whaling town[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, **60**(5): 743-747.
- [12] Li P, Feng X B, Liang P, *et al.* Mercury in the seafood and human exposure in coastal area of Guangdong province, South China[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2013, **32**(3): 541-547.
- [13] 王娅, 李平, 吴永贵. 万山汞矿区大米汞污染及人体甲基汞暴露风险[J]. 生态学杂志, 2015, **34**(5): 1396-1401.
- Wang Y, Li P, Wu Y G. Mercury pollution in rice and related risk of human methylmercury exposure in Wanshan mercury mining area[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, **34**(5): 1396-1401.
- [14] Ou L B, Chen C, Chen L, *et al.* Low-level prenatal mercury exposure in North China: an exploratory study of anthropometric effects [J]. Environmental Science & Technology, 2015, **49**(11): 6899-6908.
- [15] 牛小丽, 张瑛, 周集体. 沿海和内陆地区居民汞暴露量对比[J]. 环境化学, 2012, **31**(12): 142-147.
- Niu X L, Zhang Y, Zhou J T. Comparison of mercury levels of general residents in coastal and inland areas[J]. Environmental Chemistry, 2012, **31**(12): 142-147.
- [16] 徐勤勤. 三峡水库鱼体中汞和甲基汞的分布特征[D]. 重庆: 西南大学, 2014. 19-30.
- [17] 童银栋, 张巍, 邓春燕, 等. 海河干流水产品汞污染特征及摄入风险评估[J]. 环境科学, 2016, **37**(3): 942-949.
- Tong Y D, Zhang W, Deng C Y, *et al.* Pollution characteristics analysis and risk assessment of total mercury and methylmercury in aquatic products of the Haihe stem river[J]. Environmental Science, 2016, **37**(3): 942-949.
- [18] 蒋冬梅. 重庆市城乡居民膳食结构与重金属摄入水平研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007. 35-40.
- [19] 张成, 陈宏, 王定勇, 等. 三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评估[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1060-1067.
- Zhang C, Chen H, Wang D Y, *et al.* Distribution and risk assessment of mercury species in soil of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir[J]. Environmental Science, 2014, **35**(3): 1060-1067.
- [20] 张磊, 王启超, 邵志国. 第二松花江下游居民发汞水平及影响因素分析[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(6): 113-115, 125.
- Zhang L, Wang Q C, Shao Z G. Human hair mercury levels in the residents living along the Second Songhua River and the influencing factors [J]. Research of Environmental Sciences, 2005, **18**(6): 113-115, 125.
- [21] Shao D D, Kang Y, Cheng Z, *et al.* Hair mercury levels and food consumption in residents from the Pearl River Delta; South China[J]. Food Chemistry, 2013, **136**(2): 682-688.
- [22] Lincoln R A, Shine J P, Chesney E J, *et al.* Fish consumption and mercury exposure among Louisiana recreational anglers[J]. Environmental Health Perspectives, 2011, **119**(2): 245-251.
- [23] Marcinek-Jacel M, Albińska J, Pawlaczyk A, *et al.* The impact of demographic factors, behaviors and environmental exposure to mercury content in the hair of the population living in the region of Lodz (central Poland) [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2017, **55**: 196-201.
- [24] 朱立禄, 阎百兴, 王莉霞. 前郭灌区居民发汞含量及影响因素研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(11): 2727-2731.
- Zhu L L, Yan B X, Wang L X. Human hair mercury levels and the influencing factors of the residents living in Qianguo irrigation area[J]. Environmental Science, 2010, **31**(11): 2727-2731.
- [25] Gibb H, O'Leary K G, Sarkar S S, *et al.* Hair mercury concentrations in residents of Sundarban and Calcutta, India[J]. Environmental Research, 2016, **150**: 616-621.
- [26] Liu J L, Xu X R, Yu S, *et al.* Mercury contamination in fish and human hair from Hainan Island, South China Sea: implication for human exposure [J]. Environmental Research, 2014, **135**: 42-47.
- [27] 环境环境保护部. 中国人群暴露手册参数(儿童卷)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013. 326-228.
- [28] 何鹏, 梁争论. 疏柳汞防腐剂在入用疫苗中的应用[J]. 中国生物制品学杂志, 2013, **26**(1): 135-138, 143.
- He P, Liang Z L. Application of thimerosal as a preservative to vaccines for human use [J]. Chinese Journal of Biologicals, 2013, **26**(1): 135-138, 143.
- [29] 王小恒, 路红. 成人化妆品有毒重金属污染特征分析及其健康风险评估[J]. 环境化学, 2014, **33**(11): 2007-2008.
- [30] 冷桃花, 周瑶, 段文锋, 等. HPLC-ICP-MS法检测化妆品中的疏柳汞和苯基汞[J]. 分析实验室, 2013, **32**(7): 75-78.
- Leng T H, Zhou Y, Duan W F, *et al.* Quantitative detection of ethylmercurithiosalicylic acid and diphenylmercury in cosmetics by high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2013, **32**(7): 75-78.
- [31] Hajeb P, Selamat J, Ismail A, *et al.* Hair mercury level of coastal communities in Malaysia: a linkage with fish consumption [J]. European Food Research and Technology, 2008, **227**(5): 1349-1355.
- [32] 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.
- [33] Hagan N, Robins N, Hsu-Kim H, *et al.* Mercury hair levels and factors that influence exposure for residents of Huancavelica, Peru[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015, **37**(3): 507-514.
- [34] 陈曦, 任婷, 赵丽娇, 等. 烟草制品及烟气中重金属检测方法的研究进展[J]. *分析测试学报*, 2016, **35**(3): 359-366.
Chen X, Ren T, Zhao L J, *et al.* Progress in determination methods of heavy metals in tobacco products and smoke[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2016, **35**(3): 359-366.
- [35] 周茂忠. 卷烟主流烟气重金属形态分析及迁移率研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016. 23-29.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2017 年 10 月 31 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续 16 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

环境科学

CONTENTS

Spatial-Temporal Change Evolution of PM _{2.5} in Typical Regions of China in Recent 20 Years	LUO Yi, DENG Qiong-fei, YANG Kun, <i>et al.</i>	(3003)
Evaluation the Extent of Health Damage Caused by PM _{2.5} Particulate in Xi'an City	WEI Guo-ru, SHI Xing-min	(3014)
Analysis of Chemical Composition, Source and Evolution of Submicron Particles in Xianghe, Hebei Province	JIANG Qi, WANG Fei, SUN Ye-le	(3022)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Components of PM _{2.5} During Autumn in the Northern Suburb of Nanjing	XU Zu-fei, CAO Fang, GAO Song, <i>et al.</i>	(3033)
Comparison of Chemical Components Characteristics of PM _{2.5} Between Haze and Clean Periods During Summertime in Lin'an	LIANG Lin-lin, SUN Jun-ying, ZHANG Yang-mei, <i>et al.</i>	(3042)
Characteristics and Sources of Carbon Components in PM _{2.5} During Autumn and Winter in Panjin City	ZHANG Lei, JI Ya-qin, ZHANG Jun, <i>et al.</i>	(3051)
Aerosol Optical Properties and Light Absorption Enhancement of EC During Wintertime in Nanjing	HUANG Cong-cong, MA Yan, ZHENG Jun	(3057)
Concentration, Solubility, and Dry Deposition Flux of Trace Elements in Fine and Coarse Particles in Qingdao During Summer	LI Peng-zhi, LI Qian, SHI Jin-hui, <i>et al.</i>	(3067)
Characteristics and Sources of Dissolved Heavy Metals in Summer Precipitation of Taiyuan City, China	YE Ai-ling, CHENG Ming-chao, ZHANG Lu, <i>et al.</i>	(3075)
Characteristics of and Factors Affecting Atmospheric CO ₂ Concentration in Hangzhou	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, JIANG Yu-jun, <i>et al.</i>	(3082)
Treatment Status and Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from Typical Industrial Sources	JING Sheng-ao, WANG Hong-li, ZHU Hai-lin, <i>et al.</i>	(3090)
Characteristics of Industrial VOCs Emission Sources and Control Technology Application in a Prefecture-level City Region-Based on Qinhuangdao City	HU Xu-rui, HU Xiao-yu, WANG Can	(3096)
Pollution Condition and Health Risk Assessment of VOCs in Fermentation Exhaust from Penicillin Production	GUO Bin, YAO Rui-jing, ZHANG Shuo, <i>et al.</i>	(3102)
Measurements of OC and EC Emission Factors for Light-duty Gasoline Vehicles	HUANG Cheng, HU Qing-yao, LU Jun	(3110)
Pollution Levels and Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Nanjing	TIAN Chun-hui, YANG Ruo-zhu, Gulizhaer Yilihamu, <i>et al.</i>	(3118)
Contamination Levels and Source Analysis of Heavy Metals in the Finer Particles of Urban Road Dust from Xi'an, China	SHI Dong-qi, LU Xin-wei	(3126)
pCO ₂ in the Main Rivers of the Three Gorges Reservoir and Its Influencing Factors	LUO Jia-chen, MAO Rong, LI Si-yue	(3134)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Surface Water and Groundwater of the Jinghe River	KOU Yong-chao, KUA Kun, LI Zhou, <i>et al.</i>	(3142)
Urban Runoff Phosphorus Removal Pathways in Bioretention Systems	LI Li-qing, LIU Yu-qing, YANG Jia-min, <i>et al.</i>	(3150)
Succession Characteristics of Phytoplankton Functional Groups and Their Relationships with Environmental Factors in Dianshan Lake, Shanghai	YANG Li, ZHANG Wei, SHANG Guang-xia, <i>et al.</i>	(3158)
Spatio-temporal Variations of Diatom Community and Their Relationship with Water Environment in Fuxian Lake	LI Rui, CHEN Guang-jie, KANG Wen-gang, <i>et al.</i>	(3168)
Effects of Algal Blooms and Their Degradation on the Sediment-water Micro-interface	WANG Yong-ping, XIE Rui, CHAO Jian-ying, <i>et al.</i>	(3179)
Effect of Biochar on Root Morphological Characteristics of Wetland Plants and Purification Capacity of Constructed Wetland	XU De-fu, PAN Qian-cheng, LI Ying-xue, <i>et al.</i>	(3187)
Preparation of Mn-Co/Ceramic Honeycomb Catalyst and Its Performance on Catalytic Ozonation of Hydroquinone	ZHANG Lan-he, GAO Wei-wei, CHEN Zi-cheng, <i>et al.</i>	(3194)
Degradation Mechanism of Tetracycline Using Fe/Cu Oxides as Heterogeneous Activators of Peroxymonosulfate	LI Jing, BAO Jian-guo, DU Jiang-kun, <i>et al.</i>	(3203)
Behavior and Mechanisms of Cd(II) Adsorption from Water by Niobate-Modified Titanate Nanosheets	KANG Li, LIU Wen, LIU Xiao-na, <i>et al.</i>	(3212)
Trace Amounts of Phosphorus Removal Based on the in-suit Oxidation Products of Iron or Manganese in a Biofilter	CAI Yan-an, BI Xue-jun, ZHANG Jia-ning, <i>et al.</i>	(3222)
Effect of Preparation Methods on Phosphate Adsorption by Iron-Titanium Binary Oxide: Coprecipitation and Physical Mixing	ZHONG Yan, WANG Jiang-yan, CHEN Jing, <i>et al.</i>	(3230)
Effects of Conductivity on Performance of a Combined System of Anaerobic Acidification, Forward Osmosis, and a Microbial Fuel Cell	LU Yu-qin, LIU Jin-meng, WANG Xin-hua, <i>et al.</i>	(3240)
COD Requirement for Biological Phosphorus Removal Granule System Under Different Phosphorus Concentrations	LI Dong, CAO Mei-zhong, GUO Yue-zhou, <i>et al.</i>	(3247)
Effect of Substrate Concentration on SAD Collaborative Nitrogen and Carbon Removal Efficiency in an ABR Reactor	ZHANG Min, JIANG Ying, WANG Yao-qi, <i>et al.</i>	(3254)
Evaluation of Advanced Nitrogen Removal from Coking Wastewater Using Sulfide Iron-containing Sludge as a Denitrification Electron Donor	FU Bing-bing, PAN Jian-xin, MA Jing-de, <i>et al.</i>	(3262)
Stability of Nitrification Combined with Limited Filamentous Bulking Under Intermittent Aeration	GAO Chun-di, SUN Da-yang, AN Ran, <i>et al.</i>	(3271)
Filamentous Sludge Microbial Community of a SBR Reactor Based on High-throughput Sequencing	HONG Ying, YAO Jun-qin, MA Bin, <i>et al.</i>	(3279)
Impact of Nano Zero-Valent Iron (NZVI) on Methanogenic Activity, Physiological Traits, and Microbial Community Structure in Anaerobic Digestion	SU Run-hua, DING Li-li, REN Hong-qiang	(3286)
Effects of Gas/Water Ratio on the Characteristics of Nitrogen Removal and the Microbial Community in Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process	ZHANG Qian, JI Fang-ying, FU Xu-fang, <i>et al.</i>	(3297)
Comparison of Extraction Methods of Extracellular Polymeric Substances from Activated Sludge	SUN Xiu-yue, TANG Zhu, YANG Xin-ping	(3306)
Identification and Characterization of a Hypothermic Alkaliphilic Aerobic Denitrifying Bacterium <i>Pseudomonas monteilii</i> Strain H97	CAI Xi, HE Teng-xia, YE Qing, <i>et al.</i>	(3314)
Isolation, Identification, and Biodegradation Behaviors of a Perfluorooctane Sulfonic Acid Precursor (PreFOSs) Degrading Bacterium from Contaminated Soil	ZHAO Shu-yan, ZHOU Tao, WANG Bo-hui, <i>et al.</i>	(3321)
Microbial Community Distributions in Soils of an Oil Exploitation Site	CAI Ping-ping, NING Zhuo, HE Ze, <i>et al.</i>	(3329)
Characteristics of Soil Physicochemical Properties and Enzyme Activities over Different Reclaimed Years in a Copper Tailings Dam	WANG Rui-hong, JIA Tong, CAO Miao-wen, <i>et al.</i>	(3339)
Risk Analysis of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil Around a Bauxite Residue Disposal Area in Guangxi	GUO Ying, LI Yu-bing, XUE Sheng-guo, <i>et al.</i>	(3349)
Occurrence and Distribution of Phthalate Esters in Urban Soils of Chongqing City	YANG Zhi-hao, HE Ming-jing, YANG Ting, <i>et al.</i>	(3358)
Profile Distribution of Paddy Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors in Chengdu Plain	LI Shan, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i>	(3365)
Correlation Between Soil Organic and Inorganic Carbon and Environmental Factors in Cotton Fields in Different Continuous Cropping Years in the Oasis of the Northern Tarim Basin	ZHAO Jing-jing, GONG Lu, AN Shen-qun, <i>et al.</i>	(3373)
Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Soil Physicochemical Factors in Four Different Land Use Types of the Northern Tarim Basin	AN Shen-qun, GONG Lu, LI Yang-mei, <i>et al.</i>	(3382)
Short-term Mechanism of Warming-induced Stability for Organic Carbon in the Karst Plateau Soil	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i>	(3391)
Effects of Boron Treatment on Arsenic Uptake and Efflux in Rice Seedlings	ZHU Yi, SUN Guo-xin, CHEN Zheng, <i>et al.</i>	(3400)
Comparative Analysis of Different Soil Amendment Treatments on Rice Heavy Metal Accumulation and Yield Effect in Pb and Cd Contaminated Farmland	HU Xue-fang, TIAN Zhi-qing, LIANG liang, <i>et al.</i>	(3409)
Seasonal Variation in Surface Ozone and Its Effect on the Winter Wheat and Rice in Nanjing, China	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, WEI Li, <i>et al.</i>	(3418)
Hair Mercury Concentrations in Residents of Fuling and Zhongxian in the Three Gorges Reservoir Region and Their Influence Factors	CHENG Nan, XIE Qing, FAN Yu-fei, <i>et al.</i>	(3426)
Removal of Typical Antibiotics During Aerobic Composting of Human Feces	SHI Hong-lei, WANG Xiao-chang, LI Qian	(3434)
Effect of COD/SO ₄ ²⁻ Ratio on Anaerobic Digestion of Penicillin Bacterial Residues	QIANG Hong, LI Yu-you, PEI Meng-fu	(3443)
Characteristics of Odor Emissions from Fresh Compost During Storage and Application	HE Pin-jing, JIANG Ning-ling, XU Xian, <i>et al.</i>	(3452)
Effects of the Veterinary Antibiotic Sulfamethazine on Ammonia Volatilization from a Paddy Field Treated with Conventional Synthetic Fertilizer and Manure	PANG Bing-kun, ZHANG Jing-sha, WU Jie, <i>et al.</i>	(3460)