

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

**2014**

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析 ..... 刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)

杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征 ..... 陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)

气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响 ..... 杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)

龙凤山本底站大气 CO<sub>2</sub> 数据筛分及浓度特征研究 ..... 栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)

区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响 ..... 苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)

天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究 ..... 张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)

铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征 ..... 梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)

KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究 ..... 沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)

污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究 ..... 陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)

基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究 ..... 白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)

1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应 ..... 张柏发, 陈丁江 (2911)

南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究 ..... 蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)

三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征 ..... 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)

岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析 ..... 蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)

亚热带典型岩溶区地表流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究 ..... 张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)

藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究 ..... 肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)

广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究 ..... 刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)

铜陵相思河流域重金属分布特征研究 ..... 陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)

不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究 ..... 王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)

酸性条件下Ti(IV)催化 O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 降解邻苯二甲酸二甲酯 ..... 高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)

无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响 ..... 施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)

羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究 ..... 方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)

不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀 ..... 鲍国栋, 左剑恶, 王雅娇, 于里 (3002)

微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究 ..... 王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)

不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究 ..... 张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)

SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究 ..... 刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)

SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究 ..... 张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)

曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响 ..... 陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)

限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究 ..... 刘文如, 阴方芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)

UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究 ..... 李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)

开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用 ..... 陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)

北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险 ..... 段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)

珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险 ..... 朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娟 (3066)

温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应 ..... 齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)

不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响 ..... 刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)

低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响 ..... 黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)

EDTA 与柠檬酸复配洗修多重金属污染土壤效果研究 ..... 尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)

不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N<sub>2</sub>O 排放的关系 ..... 陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)

黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N<sub>2</sub>O 产生的不同过程及贡献 ..... 孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)

猪粪化肥配施对双季稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放及其全球增温潜势的影响 ..... 王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)

我国北方两地环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响 ..... 袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)

丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应 ..... 王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)

丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响 ..... 李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)

含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响 ..... 雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)

重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准 ..... 王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)

维生素 B<sub>6</sub> 对脱氯功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究 ..... 刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)

己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性 ..... 徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)

多溴联苯醚在市场鲫鱼体内分布和食鱼暴露量 ..... 王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)

稀有鮐鮓 HMGR 基因全长克隆及雌鱼经五氯酚暴露基因表达的分析 ..... 邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)

藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响 ..... 何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)

多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制 ..... 李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)

生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响 ..... 崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)

经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例 ..... 李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)

中国铅流改变原因分析 ..... 马兰, 毛建素 (3219)

放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨 ..... 汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)

中国水体硝酸盐氮氧双稳定同位素溯源研究进展 ..... 徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)

《环境科学》征稿简则(2936) 《环境科学》征订启事(3051) 信息(2882,2927,3059,3218)

# 北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险

段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣\*

(北京大学环境科学与工程学院, 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 灰尘摄入是儿童金属暴露的重要来源. 为了解北京市区幼儿园环境中有毒金属污染水平及其对儿童健康的影响, 利用自制采样器采集北京市区代表幼儿园地面尘, 并分析其中的 Pb、Cd、Hg、As 浓度. 结果表明 Cd、Hg、Pb 在室内地面尘中具有不同程度的富集且呈现明显的季节变化特征. 夏季地面尘中 Pb、Cd、Hg、As 浓度的几何均值分别为 63.12、1.67、0.06、0.22  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 冬季分别为 117.40、4.52、0.95、0.88  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . 通过计算地理累积指数发现, 北京市区幼儿园受到严重的 Cd、Pb 污染. 暴露及健康风险评估结果表明, 儿童对地面尘中有毒金属的经口摄入量远大于皮肤摄入量. 4 种金属对儿童均无显著的致癌和非致癌风险. 但相比于其他金属, Pb 的非致癌风险较高, 其危险指数达 0.12, 需要引起重视.

**关键词:** 幼儿园; 地面尘; 有毒金属; 季节变化; 暴露; 健康风险

中图分类号: X131; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-3060-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.032

## Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing

DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, LIU Zhao-rong

(State Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Dust intake is an important source of children's metal exposure. To explore the contamination level and health risk of toxic metals in kindergartens, surface dust samples were collected with self-made sampler in representative kindergartens in urban Beijing and concentrations of Pb, Hg, Cd, As were analyzed. It was found that Cd, Hg, Pb accumulated in indoor dust in different degrees with a significant seasonal variation. The geometric means of Pb, Cd, Hg, As concentrations were 63.12  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 1.67  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 0.06  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 0.22  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  in summer and 117.40  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 4.52  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 0.95  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 0.88  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  in winter, respectively. Geo-accumulation indexes calculated for each metal showed a severe contamination of Pb and Cd in indoor surface dusts. The results of exposure and health risk assessment of target substances displayed that the oral intake of dust metals was much higher than that of dermal pathways for children. However, no obvious carcinogenic and non-carcinogenic risks were found for all metals. The Pb, against other species, had the highest non-carcinogenic risk to children, Hazard Index of which was 0.12. Therefore, the health risk of Pb in indoor dust should raise the concern.

**Key words:** kindergarten; surface dust; toxic metals; seasonal variation; exposure; health risk

土壤/尘摄入被认为是人体金属暴露的重要来源<sup>[1-3]</sup>. 学龄前儿童的土壤/尘摄入量往往高于成人<sup>[4]</sup>, 而其免疫系统发育还未完善, 这使得儿童面临更大的健康风险. 土壤/尘中的有毒重金属如铅(Pb)、汞(Hg)、镉(Cd)、砷(As)通过多种渠道进入人体后可能对儿童的造血、神经、免疫和内分泌系统造成严重损害, 导致智力减退, 发育障碍, 内分泌紊乱等症状<sup>[5]</sup>. 因此, 土壤/尘暴露研究是儿童健康风险评价的重要组成部分. 儿童对土壤/尘的接触包括室内外两部分. 活动水平调查显示, 1~6岁儿童每日约有 17~19 h 在室内活动, 这其中又有接近一半的时间处于幼儿园中<sup>[6]</sup>, 因而对幼儿园室内尘的调查更能反映儿童的实际暴露水平. 宋华琴等<sup>[7]</sup>于 90 年代初对北京幼儿园多介质 Pb 浓度调查发现, 灰尘中 Pb 浓度远高于北京土壤背景值. 高万

珍等<sup>[8]</sup>和熊海金等<sup>[9]</sup>的研究则表明幼儿园室内地面尘 Pb 浓度与儿童血铅浓度呈现正相关. 显然, 幼儿园地面尘有毒金属对儿童的健康风险亟需得到评估. 随着城市化进程的深入, 北京室内外环境发生了巨大变化, 然而对室内环境重金属分布的研究仍十分缺乏, 特别是季节变化特征几乎没有涉及. 另一方面, 目前对儿童金属暴露的研究主要集中在 Pb, 对其他有毒重金属涉及较少. 针对以上问题, 本研究对北京代表幼儿园室内地面尘中多种有毒金属浓度进行了调查, 并对其季节变化规律进行了研究, 以此评估儿童有毒金属暴露和健康风险, 以期为进

收稿日期: 2014-01-02; 修订日期: 2014-03-11

基金项目: 国家重点实验室专项(13Z05ESPCP)

作者简介: 段恒轶(1989~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境监测与健康, E-mail: neveraway@pku.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: zrlu@pku.edu.cn

一步的儿童健康研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样

北京市区主要为商业居住区,辖区内并无大型电厂和工业设施,交通源对周边环境影响较大。四环内外是北京市人口最为稠密的区域,且交通繁忙,在这一区域污染情况对北京市区整体情况具有典型意义。为更好地代表北京市区幼儿园一般状况,在四环附近东南西北4个方位选择4个幼儿园(图1)。采样时间选择2013年1月(采暖期)和7月(非采暖期)各一个周末。幼儿园均位于居民区内,距交通干道100~500 m。每个幼儿园选择不同楼层的四间教室,利用不锈钢采样头连接家用吸尘器直接采集粒径小于100  $\mu\text{m}$  的地面尘,采样面积5~10  $\text{m}^2$ ,尽量涵盖儿童室内活动区域。采样装置示意图见图2。地面尘经150目不锈钢滤网(孔径100  $\mu\text{m}$ )过滤,小于100  $\mu\text{m}$  的部分被收集到47 mm Teflon 滤膜(Whatman, USA)上。滤膜置于聚丙烯膜盒中密封冷冻(-4 $^{\circ}\text{C}$ )保存。每个房间采集结束后用异丙醇清洗整个采样头。Teflon 膜事先在超净室中恒重并称量,重量精确至0.000 01 g。每个幼儿园采集一个运输空白,同时记录采样房间及周边环境状况。



图1 采样幼儿园位置示意

Fig. 1 Sampling locations

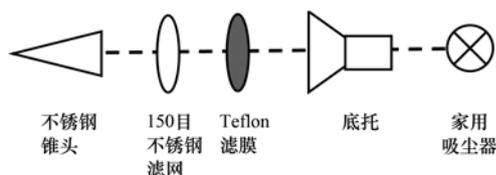


图2 地面尘采样装置示意

Fig. 2 Schematic of dust sampling device

### 1.2 分析

Teflon 膜称重后撕去聚丙烯支撑环并放入消解

罐中,加入4.5 mL 65% 分析纯  $\text{HNO}_3$  (Merck, German)、1.5 mL 优级纯  $\text{HCl}$  (北京化学试剂研究所)和0.2 mL 分析纯  $\text{HF}$  (北京化工厂),置于 CEM MARS 微波消解仪 (CEM, USA) 中消解。消解条件为:120 $^{\circ}\text{C}$  下消解 5 min, 150 $^{\circ}\text{C}$  下消解 5 min, 190 $^{\circ}\text{C}$  下消解 40 min。消解结束后,用超纯水 (Cascada-IX 超纯水系统) 定容至 100.00 g, 使用电感耦合等离子体质谱仪 (Thermo X series) 检测, 外标法定量。采用空白膜加标, As、Cd、Hg、Pb 的加标回收率分别为 81.80%~112.29%、85.00%~117.88%、90.93%~112.29%、78.44%~120.54%、97.08%~107.36%; 平行样品变异系数分别为 11%、12%、18% 和 4%。As、Cd、Hg、Pb 标准曲线的线性相关系数  $r \geq 0.999$ , 检出限分别为 33.7、0.4、1.2、2 ng。

### 1.3 暴露和健康风险评估

儿童暴露于地面尘的途径主要包括消化道摄入和皮肤暴露<sup>[10]</sup>, 因此分两部分计算儿童暴露量。计算方法见式(1)~(3)<sup>[11]</sup>。

皮肤吸收:

$$\text{CDI}_{\text{der}} = \frac{\text{DA}_{\text{event}} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{EV} \times \text{SA}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (1)$$

$$\text{DA}_{\text{event}} = \text{CS} \times \text{CF} \times \text{AF} \times \text{ABS}_d \quad (2)$$

经口摄入:

$$\text{CDI}_{\text{ing}} = \frac{\text{CS} \times \text{IR} \times \text{CF} \times \text{FI} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (3)$$

式中,  $\text{CDI}_{\text{der}}$  和  $\text{CDI}_{\text{ing}}$  分别表示皮肤和消化道对污染物的长期日均暴露量,  $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ;  $\text{DA}_{\text{event}}$  为皮肤对污染物的单次吸收量,  $\text{mg} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{event})^{-1}$ ; EV 为暴露频次,  $\text{event} \cdot \text{d}^{-1}$ , 其值取 1<sup>[12]</sup>; EF 为暴露频率, 根据调查幼儿园实际开学时间取  $160 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ; ED 为暴露时段, 取 3 a (幼儿入园时间); SA 为儿童皮肤可接触面积,  $\text{cm}^2$ , 其值包括身体各个部位面积, 本研究采用王宗爽等的结果<sup>[13]</sup>, 冬季由于衣物较多, 仅考虑面部和手掌暴露; CS 为地面尘中污染物浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 取冬夏均值代表全年水平; CF 为单位转换因子,  $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mg}^{-1}$ ; AF 为土壤/尘-皮肤粘附系数,  $\text{mg} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{event})^{-1}$ , 取值参考 Holmes<sup>[14]</sup> 对儿童幼儿园活动情况的研究;  $\text{ABS}_d$  为皮肤吸收系数, 无量纲, As、Cd 和 Pb 根据 EPA 推荐值计算<sup>[12, 15]</sup>, Hg 取金属默认值 0.001; IR 为土壤经口摄取速率, 针对儿童取  $100 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[16]</sup>; FI 为特定途径摄取比例, 无量纲, 根据儿童活动模式取 0.7; BW 为体质量, 根据我国 3~6 岁儿童平均体重取  $16.61 \text{ kg}$ <sup>[13]</sup>;

AT 为平均暴露时间,计算非致癌风险时与 ED 值相同,计算致癌风险时取 70 a<sup>[16]</sup>.

对于重金属的致癌和非致癌风险,采用 EPA 推荐方法,用危险商值(hazard quotient, HQ)和概率风险(Risk)分别表征,见式(4)和式(5)<sup>[11]</sup>.

非致癌风险:

$$HQ = CDI \div RfD \quad (4)$$

致癌风险:

$$Risk = CDI \times Slope \text{ Factor} \quad (5)$$

式中, CDI 为污染物长期日均摄入量,  $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ; RfD 为长期暴露参考剂量,  $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ; Slope Factor 为致癌斜率因子,  $[\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}]^{-1}$ .

## 2 结果与分析

### 2.1 幼儿园地面尘中重金属浓度

经 Kolmogorov-Smirnov 检验,幼儿园地面尘中 4 种重金属浓度和单位面积负载量均符合对数正态分布( $P > 0.05$ ),其整体检出率、几何均值和范围见

表 1. 从检出率上看, Cd、Pb、Hg(夏季)是幼儿园地面尘中常见的重金属,其检出率超过 80%; 而 As 含量很低,检出率低于 20%. 从浓度上看,地面尘 Pb 含量远高于其他 3 种金属,其几何均值达  $63.12 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (夏季)和  $117.40 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (冬季). Cd 浓度次之,而 Hg 和 As 浓度较低. 从负载量上看, Pb 同样是累积最多的元素,其次是 Cd. Hg 在夏季的负载量低于 As,而在冬季则高于 As. 对不同采样点数据进行方差分析后发现,4 个幼儿园地面尘中 4 种金属浓度大部分无显著差别(方差分析结果见表 1),仅冬季幼儿园 D 的 Cd 浓度显著高于其他幼儿园,达  $15.85 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 夏季幼儿园 B 的 Hg 浓度显著高于其他幼儿园,达  $0.25 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 这可能与采样点当地特殊的环境和污染源有关. B 幼儿园与交通干道的距离最短,尾气和公路扬尘对室内尘 Hg 贡献较其他幼儿园更为明显;加之夏季气温高, Hg 迁移能力增强,这就导致 B 幼儿园 Hg 浓度显著高于其他幼儿园. 冬季幼儿园 D 的 Cd 高值的原因尚不清楚,需要进一步调查.

表 1 调查幼儿园地面尘金属含量和单位负载量

Table 1 Metal concentrations and loadings of surface dust in investigated kindergartens

季节	物种	样品量	检出率/%	浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$		负载量/ $\text{ng} \cdot \text{m}^{-2}$		方差分析结果	
				几何均值	范围	几何均值	范围	F 值	显著水平 P
夏季	As	20	20	0.22	0.03 ~ 0.64	1.59	0.25 ~ 7.57	— <sup>1)</sup>	—
	Cd	20	100	1.67	0.57 ~ 11.96	8.47	1.34 ~ 259.58	3.086	0.057
	Hg	20	80	0.06	0.01 ~ 0.66	0.34	0.05 ~ 1.69	7.609	0.004
	Pb	20	100	63.12	34.00 ~ 165.01	320.78	56.43 ~ 1377.96	2.372	0.109
冬季	As	16	13	0.88	0.76 ~ 1.02	2.88	2.25 ~ 3.70	—	—
	Cd	16	100	4.52	1.32 ~ 26.37	12.09	1.53 ~ 192.33	7.912	0.004
	Hg	16	38	0.95	0.04 ~ 5.25	3.48	0.30 ~ 20.68	0.171	0.851
	Pb	16	100	117.40	38.81 ~ 416.85	314.08	90.25 ~ 788.02	0.856	0.490

1) 检出样品少,无法进行方差分析

### 2.2 季节变化

由图 3(a)可见,夏季地面尘中 Pb、Hg、As、Cd 浓度均显著低于冬季( $P < 0.05$ ). 特别是 Hg,其冬夏浓度比值达 14.8. As、Cd、Pb 的冬夏比值则分别为 3.9、2.7 和 1.9. 室内地面尘的主要来源为室外尘和土壤携带、空气颗粒物沉降、以及室内装饰装修材料脱落磨损<sup>[17-19]</sup>. 由于幼儿园室内环境条件相对稳定(实测夏季和冬季温差小于 7°C,人员活动情况相似),室内源强变化不会太大,那么室外土壤带入和空气颗粒物的输送应该是影响室内地面尘金属浓度的主要原因. 研究表明,采暖期北京大气颗粒物中 As、Cd、Pb 浓度较采暖前分别上升 2.4、

2.1 和 1.8 倍<sup>[20]</sup>,冬季和夏季总悬浮颗粒物(TSP)中 Hg 浓度比值接近 5 倍<sup>[21]</sup>. 大气颗粒物与幼儿园地面尘这种相似的季节变化特征可能反映出两者在来源方面的关联性.

在夏季,由于室内外空气交换率高,更多的悬浮颗粒物进入室内并发生沉降,使得地面尘累积量高于冬季<sup>[22]</sup>. 本研究亦符合这一规律,夏季地面尘累积量和冬季累积量的几何均值分别为  $5.08 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $2.68 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ . 这就导致 4 种金属在冬夏两季的负载量差异远不如浓度差异明显[图 3(b)],因为冬季地面尘累积量减少抵消了冬季地面尘金属浓度升高的影响.

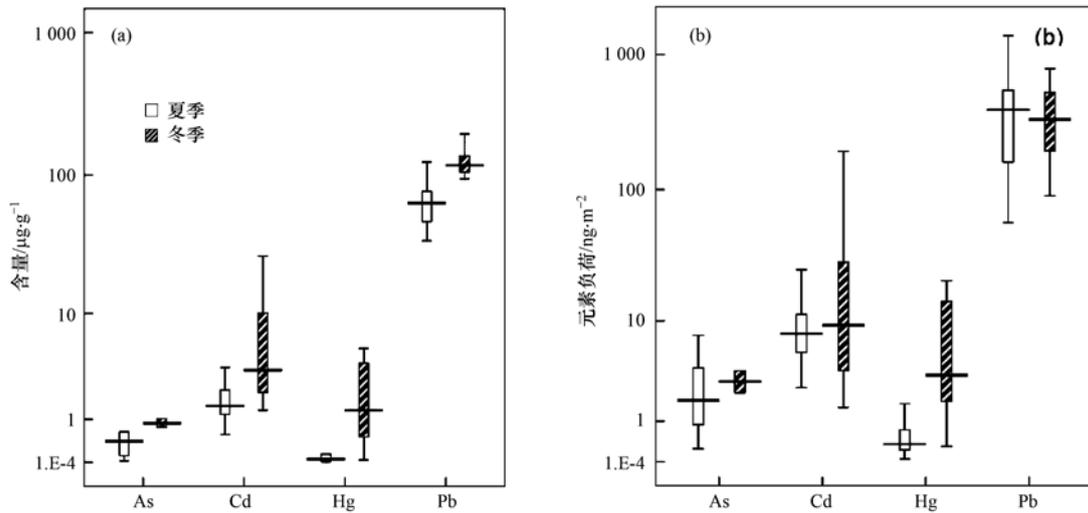


图3 幼儿园地面尘中金属分布的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of metal distributions in kindergarten dust

2.3 物种相关性

尘样中元素组成能够反映其来源特征. 分别对冬季和夏季各金属对数浓度进行 Pearson 的相关检验,结果显示 4 种金属浓度相关并不显著. 在冬季, Hg 与 Pb 具有弱相关性 ( $r = 0.726, P = 0.102$ ). 一般而言, Pb 为燃煤排放和机动车尾气的标志物; Hg 主要来源于金属冶炼、燃煤排放和化工排放<sup>[5, 23]</sup>. 冬季 Hg 与 Pb 的相关可能指示地面尘来源受到燃煤排放的影响. 由于室内地面尘来源复杂,既包括室外交通、工业源排放,又包括室内装饰装修材料释放等,故而来其来源需要进一步分析.

3 讨论

3.1 有毒金属在不同介质中的分布

图 4 总结了近年北京道路尘、TSP 等介质中有毒金属浓度 (对数坐标),可以发现,幼儿园室内地面尘中 Pb、Cd 的富集程度与校园广场尘、街道尘相似,高于土壤,但远小于 TSP 中的浓度; As 和 Hg

在室内地面尘中的富集则小于其他介质. 这可能表明室内地面尘 Pb、Cd 受到室外地面尘和大气颗粒物输送影响,而地面尘中 As、Hg 的来源则更为复杂.

3.2 幼儿园地面尘有毒金属污染评估

目前对于地面尘尚无明确的环境标准. 文献 [29]对直接暴露于人体并可能造成健康风险的土壤类型进行了规范. 据此标准 (表 2),本次调查的幼儿园房间地面尘中 Cd 浓度偏高,超标率达 80% (夏季)和 100% (冬季); Hg 在冬季超标率达 67%,而夏季则无超标; Pb 在夏季超标率为 5%,冬季为 25%; As 在两季均无超标.

进一步利用地理累积指数评估有毒金属在幼儿园地面尘中的富集. 地理累积指数 (geoaccumulation index)是沉积介质中金属污染程度的定量指标<sup>[30]</sup>. 其计算公式见式 (6):

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{c_i}{1.5B_i} \right) \quad (6)$$

式中,  $c_i$  表示灰尘中污染物  $i$  的浓度;  $B_i$  是该污染物的地质背景值,见表 2; 系数 1.5 用以消除不同基岩类型的差异. 评价标准为:  $I_{geo} < 0$  表示没有实际污染;  $0 < I_{geo} < 1$  表示无污染至轻度污染;  $1 < I_{geo} < 2$  表示中度污染;  $2 < I_{geo} < 3$  表示中度污染至严重污染;  $3 < I_{geo} < 4$  表示严重污染;  $4 < I_{geo} < 5$  表示严重污染至极度污染;  $I_{geo} > 5$  表示极度污染.

由表 2 可见,地面尘中 Cd 浓度在冬夏两季均达到甚至超过严重污染水平; Hg 在冬季污染严重,夏季则无污染; Pb 冬季中度污染,夏季则无污染.

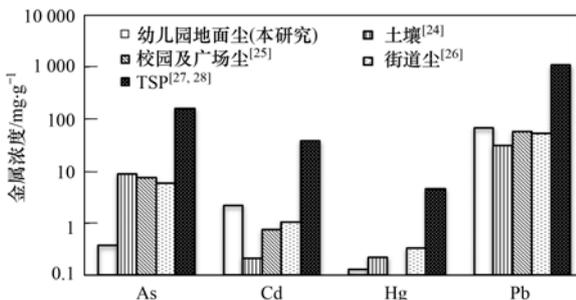


图 4 夏季北京不同介质中金属浓度算数均值

Fig. 4 Average concentration of metals in various media in Beijing summer

表 2 地面尘有毒金属污染状况评价

Table 2 Contamination assessment of toxic metals in surface dust

物种	展会用地标准/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	北京土壤背景值 <sup>[31,32]</sup> / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$I_{\text{geo}}$ (夏季)	$I_{\text{geo}}$ (冬季)
As	20	7.09	-5.57	-3.59
Cd	1	0.12	3.22	4.66
Hg	1.5	0.07	-0.69	3.38
Pb	140	24.6	0.77	1.67

### 3.2 地面尘暴露及儿童健康风险评估

幼儿园地面尘中 As、Cd、Hg、Pb 的暴露量及健康风险见表 3。从暴露量上看,儿童经口摄入的重金属比例远高于皮肤暴露,是地面尘重金属的主要暴露途径。经口摄入的金属中又以 Pb 暴露量最高,达  $0.17 \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ,其它金属暴露量相对较小。从健

康风险上看,4 种金属的危险商值均小于 1,致癌风险系数也小于  $10^{-4} \sim 10^{-6}$  阈值,说明这几种金属对幼儿园儿童无显著的致癌和非致癌健康风险。但需要注意的是,北京幼儿园儿童对地面尘中铅的暴露量较高,如果考虑儿童对幼儿园土壤和扬尘的摄入,那么暴露量应该更高,进而可能对儿童产生健康损害。

表 3 幼儿园地面尘金属儿童暴露和健康风险评估

Table 3 Exposure and health risk assessment of metals in kindergarten dust for children

物种	RfD_oral <sup>[33]</sup> $/\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	RfD_dermal <sup>[34]</sup> $/\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	Slope Factor <sup>[33]</sup> $/[\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}]^{-1}$	CDI_dermal $/\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	CDI_oral $/\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	HQ_dermal	HQ_oral	Risk_oral
As	$3 \times 10^{-4}$	$1.23 \times 10^{-4}$	1.50	$1.78 \times 10^{-8}$	$1.04 \times 10^{-6}$	$1.45 \times 10^{-4}$	$3.46 \times 10^{-3}$	$6.67 \times 10^{-8}$
Cd	$1 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-5}$	0.38 <sup>1)</sup>	$3.71 \times 10^{-9}$	$5.83 \times 10^{-6}$	$3.71 \times 10^{-4}$	$5.83 \times 10^{-3}$	$9.50 \times 10^{-8}$
Hg	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-5}$	—	$4.22 \times 10^{-10}$	$9.52 \times 10^{-7}$	$2.01 \times 10^{-5}$	$5.95 \times 10^{-3}$	—
Pb	$1.4 \times 10^{-3}$ <sup>[35]</sup>	$5.25 \times 10^{-4}$ <sup>[36]</sup>	$8.50 \times 10^{-3}$	$7.25 \times 10^{-8}$	$1.70 \times 10^{-4}$	$1.38 \times 10^{-4}$	$1.22 \times 10^{-1}$	$6.20 \times 10^{-8}$

1) 参考 EPA 饮用水 RfD

## 4 结论

(1) 对北京市代表幼儿园地面尘中的 As、Cd、Hg、Pb 进行测定后发现,Cd、Hg、Pb 在室内地面尘中具有较高的富集。4 种元素夏季平均浓度分别为: $63.12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Pb)、 $1.67 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Cd)、 $0.06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Hg) 和  $0.22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (As); 冬季浓度分别为  $117.40 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Pb)、 $4.52 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Cd)、 $0.95 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Hg) 和  $0.88 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (As)。冬季浓度显著高于夏季,室外土壤带入和大气颗粒物的输送可能是造成这种差异的重要原因。冬季 Hg 与 Pb 浓度的弱相关性可能指示地面尘来源受到燃煤排放的影响。

(2) 对比北京夏季各介质中金属浓度可以发现,Pb、Cd 浓度基本呈现  $\text{TSP} \gg$  幼儿园室内地面尘  $\approx$  广场尘和公路尘  $>$  土壤的规律,而 Hg、As 在幼儿园地面尘的富集则小于其他介质。地理累积指数表明,幼儿园地面尘受到 Cd、Hg、Pb 不同程度的污染,Cd 在冬夏两季的污染均最为严重。

(3) 各元素的暴露及健康风险评估结果显示:儿童对地面尘中有毒金属的经口摄入量远高于皮肤摄入量,但两者均无明显健康风险。需要注意的是,北京幼儿园地面尘中的 Pb 对儿童的非致癌风险较高,危险商达 0.12,幼儿园地面尘铅污染需要得到

重视。

参考文献:

- [1] Mielke H W, Reagan P L. Soil is an important pathway of human lead exposure [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1998, **106**(S1): 217-229.
- [2] Levin R, Brown M J, Kashtock M E, et al. Lead Exposures in U. S. Children, 2008: Implications for Prevention [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008, **116** (10): 1285-1293.
- [3] Hogervorst J, Plusquin M, Vangronsveld J, et al. House dust as possible route of environmental exposure to cadmium and lead in the adult general population [J]. *Environmental Research*, 2007, **103**(1): 30-37.
- [4] 王宗爽,段小丽,王贝贝,等. 土壤/尘健康风险评估中的暴露参数[J]. *环境与健康杂志*, 2012, **29**(2): 114-117.
- [5] Järup L. Hazards of heavy metal contamination [J]. *British Medical Bulletin*, 2003, **68**(1): 167-182.
- [6] 李天昕,王叶晴,段小丽,等. 环境健康风险评估中的行为活动模式暴露参数[J]. *环境与健康杂志*, 2012, **29**(2): 118-123.
- [7] 宋华琴,高晖,王宁,等. 儿童铅总接触量及健康危害研究[J]. *中国公共卫生*, 1993, **9**(S1): 23-25.
- [8] 高万珍,李竹,王振刚,等. 幼儿园环境中铅含量对儿童血铅值的影响[J]. *中华预防医学杂志*, 1999, **33**(5): 272-274.
- [9] 熊海金,雷晓燕,赵一方,等. 兰州市儿童血铅水平与环境铅污染的关系[J]. *中国公共卫生*, 2000, **16**(12): 1136.

- [10] U. S. EPA. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites [M]. Environmental Protection Agency, Washington DC, OSWER 9355. 4- 24, 2002.
- [11] U. S. EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I; Human Health Evaluation Manual (Part A) [M]. U. S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA/540/1-89/002, 1989.
- [12] U. S. EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I; Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Interim [M]. U. S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA/540/R/99/005, 2004.
- [13] 王宗爽, 段小丽, 刘平, 等. 环境健康风险评估中我国居民暴露参数探讨[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(10): 1164-1170.
- [14] Holmes K K, Shirai J H, Richter K Y, *et al.* Field measurement of dermal soil loadings in occupational and recreational activities [J]. Environmental Research, 1999, **80**(2): 148-157.
- [15] Moore M R, Meredith P A, Watson W S, *et al.* The percutaneous absorption of lead-203 in humans from cosmetic preparations containing lead acetate, as assessed by whole-body counting and other techniques [J]. Food and Cosmetics Toxicology, 1980, **18**(4): 399-405.
- [16] US EPA. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final) [M]. U. S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA/600/R-09/052F, 2011.
- [17] Adgate J L, Willis R D, Buckley T J, *et al.* Chemical mass balance source apportionment of lead in house dust [J]. Environmental Science and Technology, 1998, **32**(1): 108-114.
- [18] Layton D, Beamer P. Migration of contaminated soil and airborne particulates to indoor dust [J]. Environmental Science & Technology, 2009, **43**(21): 8199-8205.
- [19] Lucas J P, Bellanger L, Strat Y, *et al.* Source contributions of lead in residential floor dust and within-home variability of dust lead loading[J]. Science of the Total Environment, 2014, **470-471**: 768-779.
- [20] 杨勇杰, 王跃思, 温天雪, 等. 采暖期开始前后北京大气颗粒物中化学元素特征及来源[J]. 环境科学, 2008, **29**(11): 3275-3279.
- [21] 王章玮, 张晓山, 张逸, 等. 汞在不同粒径大气颗粒物中的分布[J]. 环境科学, 2005, **24**(1): 72-75.
- [22] Edwards R D, Yurkow E J, Liou P J. Seasonal deposition of housedusts onto household surfaces [J]. Science of the Total Environment, 1998, **224**(1-3): 69-80.
- [23] Streets D G, Hao J M, Wu Y, *et al.* Anthropogenic mercury emissions in China [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(40): 7789-7806.
- [24] 丛源, 陈岳龙, 杨忠芳, 等. 北京市农田土壤重金属的化学形态及其对生态系统的潜在危害[J]. 土壤, 2009, **41**(1): 37-41.
- [25] 李晓燕, 陈同斌, 雷梅, 等. 北京城市广场及校园表土(灰尘)中重金属水平与健康风险[J]. 地理研究, 2010, **29**(6): 989-996.
- [26] 刘春华, 岑况. 北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(7): 1181-1188.
- [27] 王章玮, 张晓山, 张逸, 等. 北京市大气颗粒物 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> 及降雪中的汞[J]. 环境化学, 2004, **23**(6): 668-673.
- [28] Schleicher N J, Norra S, Chai F H, *et al.* Temporal variability of trace metal mobility of urban particulate matter from Beijing - A contribution to health impact assessments of aerosols [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(39): 7248-7265.
- [29] HJ 350-2007. 展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行) [S].
- [30] Ghrefat H A, Abu-Rukah Y, Rosen M A. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafra Dam, Jordan [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2011, **178**(1-4): 95-109.
- [31] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 329-492.
- [32] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌, 等. 北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J]. 环境科学, 2004, **25**(1): 117-122.
- [33] US EPA. Integrated risk information system (IRIS) [EB/OL]. <http://www.epa.gov/iris/>, 2013.
- [34] US EPA. The risk assessment information system(RAIS) [EB/OL]. [http://rais.onrl.gov/tools/tox\\_profiles.html](http://rais.onrl.gov/tools/tox_profiles.html), 2013.
- [35] 郝汉舟, 陈同斌, 吴基良, 等. 武汉市儿童多途径铅暴露风险评估[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 2075-2082.
- [36] 李法云, 胡成, 张营, 等. 沈阳市街道灰尘中重金属的环境影响与健康风险评估[J]. 气象与环境学报, 2010, **26**(6): 59-64.

## CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM <sub>10</sub> ) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China .....	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou .....	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou .....	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO <sub>2</sub> Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China .....	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China .....	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin .....	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter .....	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency .....	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process .....	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management .....	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period .....	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing .....	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain .....	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin .....	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI JIAN, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China .....	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet .....	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China .....	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China .....	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures .....	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Under Acidic Conditions .....	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron .....	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zelite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution .....	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor .....	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration .....	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies .....	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPG Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor .....	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane .....	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling .....	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular .....	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB .....	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application .....	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing .....	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks .....	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China .....	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil .....	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil .....	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil .....	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N <sub>2</sub> O Emission .....	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yan (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N <sub>2</sub> O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China .....	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping .....	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China .....	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize .....	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings .....	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice .....	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI) .....	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B <sub>12</sub> on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2 .....	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp. ....	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake .....	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol .....	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2 .....	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon .....	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment .....	CUI Yan-nui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD .....	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China .....	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH <sub>4</sub> Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak .....	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China .....	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行