ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第35卷 第1期
2014年1月15日

目 次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 $PM_{2.5}$ 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 …… 谢元博,陈娟,李巍(1)
长白山 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子季节变化特征研究 …… 赵亚南,王跃思,温天雪,戴冠华(9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 …… 柯馨姝,盛立芳,孔君,郝泽彤,屈文军(15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 …… 张晓岭,卢益,朱明吉,蹇川,郭志顺,邓力,孙静,张芹,罗财红(22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 …… 卢益,张晓岭,郭志顺,蹇川,朱明吉, 邓力,孙静,张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 …… 张晓岭,卢益,蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力,孙静,张芹(35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 …… 蒋欣慰,孙鑫,裴小强,金漫彤,李云龙,沈学优(41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 …… 符海欢,田娜,商惠斌,张彬,叶素芬,陈晓秋,吴水平(46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 …… 童晓宁,周厚云,游镇烽,汤静,刘厚均,黄颖,贺海波(53)
重庆市铁山坪 2001~2010 年酸沉降变化 …… 余德祥,马萧萧,谭炳全,赵大为,张冬保,段雷(60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降 …… 王金杰,张克荣,吴川,张全发(66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 …… 刘刚,李久海,吴丹,徐慧(73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 …… 吴铎,魏海涛,赵瑞瑞,张蕊,刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 …… 马明,王定勇,申源源,孙荣国,黄礼昕(85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO_2 释放的影响 …… 柯跃进,胡学玉,易卿,余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 …… 吴晓丹,宋金明,吴斌,李学刚(100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 …… 马迎群,时瑶,秦延文,郑丙辉,赵艳民,张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 …… 张利鹏,王新红,李永玉,吴玉玲,张祖麟(117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 …… 陈雪彬,杨平恒,蓝家程,莫雪,师阳(123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 ……
…… 唐玺雯,吴锦奎,薛丽洋,张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 …… 赵钰,单保庆,张文强,王超(143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 ……
…… 宋立芳,王毅,吴金水,李勇,李裕元,孟岑,李航,张满意(150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征 …… 宋国栋, 刘素美, 张国玲(157)
河流沉积物中有机磷提取剂(NaOH-EDTA)提取比例与机制研究 …… 张文强,单保庆,张洪,唐文忠(163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 …… 武晓飞,李大鹏,汪明(171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 …… 敖亮,雷波,王业春,周谐,张晟(179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 ……
…… 毛志刚,谷孝鸿,陆小明,曾庆飞,谷先坤,李旭光(186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 …… 王心宇,周丰,伊旋,郭怀成(194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 …… 王春艳,史晓凤,李文东,张金亮(202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 …… 王现丽,王世峰,吴俊峰, 濮文虹,杨昌柱,张敬东,杨家宽(208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 …… 刘小英,林慧,马兆瑞,王磊,刘静伟,郭超,姜应和(214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 …… 孙洪伟, 郭英, 彭永臻(221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究 …… 胡迪,李川,董倩倩,李立明,李广贺(227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 …… 谭立敏,彭佩钦,李科林,李宝珍,聂三安,葛体达,童成立,吴金水(233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 …… 廖洪凯,李娟,龙健, 张文娟, 刘灵飞(240)
水稻土团聚体 Cu^{2+} 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 …… 许海波,赵道远,秦超,李玉姣,董长勋(248)
Cr(Ⅵ)对两种黏土矿物在单一及复合溶液中Cu(Ⅱ)吸附的影响 …… 刘娟娟,梁东丽,吴小龙,屈广周,钱勋(254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根(AM)真菌侵染 2 种湿地植物的影响 …… 马雷猛,王鹏腾,王曙光(263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探 …… 周笑白,张宁红,张咏,牛志春,刘雷,于红霞(271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 …… 姜东生,石小荣,崔益斌,李梅(279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 … 杜丽娜,杨帆,穆玉峰,余若祯,左剑恶,高俊发,余忻,滕丽君,汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 …… 胡晓娜,张淑娟,陈彩东,刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 …… 王万宾,陈莎,吴敏,苏德丽,赵婧(299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 …… 郝天, 杜鹏飞,杜斌, 曾思育(304)
微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 …… 游狄杰,陈晓国,向荟圯,欧阳潦,杨冰(313)
硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 …… 杨德玉,张颖,史荣久,韩斯琴,李光哲,李国桥,赵劲毅(319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系 …… 吴俊妹,马安周,崔萌萌,于清,齐鸿雁,庄绪亮,庄国强(327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 …… 谢薇, 陈书涛, 胡正华(334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 …… 史晶晶,耿元波(341)
南京河流夏季水-气界面 N_2O 排放通量 …… 韩洋,郑有飞,吴荣军, 尹继福,孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响…… 肖启涛,胡正华,James Deng,肖薇,刘寿东,李旭辉(356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究…… 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣(365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 …… 卢仁杰,张新艳,郝郑平(371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 …… 严密,祁志福,李晓东,胡艳军,陈彤(380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO_2 排放时空演变特征 …… 汪浩,陈操操,潘涛,刘春兰,陈龙,孙莉(385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 …… 李希,刘玉荣,郑袁明,贺纪正(394)
《环境科学》征订启事(65) 《环境科学》征稿简则(220) 信息(226,270,298,364)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化

童晓宁[1],周厚云[1*],游镇烽[2],汤静[1],刘厚均[2],黄颖[1],贺海波[1]
(1. 华南师范大学地理科学学院,广州 510631; 2. 台湾成功大学地球动力系统中心,台南 701)

摘要: 从 2011 年 8 月 ~2012 年 7 月在川东北地区共收集 12 个月的大气沉降样品. 采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析了样品在弱酸性环境下(pH 值在 2 左右)溶解态组分中 Na、Mg、Ca、K、Si、Sr、Ba、Zn 等元素的含量,计算了这些元素的沉降通量. 结果表明:① 各元素的沉降通量存在显著的季节变化. Na 的沉降通量随着降水增加而显著增加,显示它主要以大气湿沉降为主; Ca、Si、Ba、Sr、Mg 的沉降通量在冬季或春季显著上升,显示这些元素的沉降可能主要与大气粉尘活动有关. ②不同的元素之间年沉降通量存在显著差异,Na 的沉降通量最大,达到30 497 μg·(10^2 cm^2·a)$^{-1}$,比最小的 Ba 沉降通量[27.4 μg·(10^2 cm^2·a)$^{-1}$]高出 3 个数量级.

关键词:大气沉降; 元素; 沉降通量; 川东北地区
中图分类号: X131.1; X169 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2014)01-0053-07

Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China

TONG Xiao-ning[1], ZHOU Hou-yun[1], YOU Chen-feng[2], TANG Jing[1], LIU Hou-chun[2], HUANG Ying[1], HE Hai-bo[1]
(1. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. The Earth Dynamic System Research Center, Cheng-Kung University, Tainan 701, Taiwan, China)

Abstract: Monthly atmospheric deposition was collected in Northeast of Sichuan Province from August 2011 to July 2012. Contents of Na, Mg, Ca, K, Si, Sr, Ba and Zn in weak-acid leachable fraction (with pH values of ca. 2) of the deposition were determined using ICP-MS. The results indicated that the deposition fluxes of all these elements exhibited notable seasonal variations. For example, the deposition flux of Na increased with precipitation, suggesting a dominant derivation from wet deposition; whereas the fluxes of Ca, Ba, Si, Sr and Mg displayed higher values during winter or spring season, suggesting that these elements may be closely associated with atmospheric dust activity. The annual fluxes of these elements were remarkably different in value. Na had the highest flux of 30 497 μg·(10^2 cm^2·a)$^{-1}$, more than three orders of magnitude higher than the lowest flux of Ba of 27.4 μg·(10^2 cm^2·a)$^{-1}$.

Key words: atmospheric deposition; elements; deposition fluxes; Northeast of Sichuan

由于大气沉降是有毒物质进入地表环境中的主要途径之一,对人体健康及生态系统具有重要的影响,因此一直是环境科学领域众多学者重点关注的研究对象之一[1~9]. 在过去气候环境变化研究领域,岩溶洞穴沉积是过去一、二十年来发展最迅速的方向之一[10,11]. 在岩溶洞穴沉积的研究指标中,除了传统的氧-碳稳定同位素组成($\delta^{18}O$-$\delta^{13}C$)之外,越来越多的研究发现部分微量元素和相关同位素可能记录了大气组成的变化. 例如,Wynn 等[12]对采自意大利和奥地利的石笋的高分辨率 S 含量及其同位素组成($\delta^{34}S$)分析发现人类活动(工业生产)和自然现象(火山喷发)都可能对石笋 $\delta^{34}S$ 变化产生了重要影响. Zhou 等[13,14]对川东北地区的石笋研究发现当地大气粉尘活动可能是石笋微量元素的重要来源,可能是影响部分石笋微量元素和 Sr 同位素组成($^{87}Sr/^{86}Sr$)变化的重要因素[15]. 不过,在国内外所有应用岩溶洞穴沉积探讨大气组成变化的研究中,均没有对研究地区大气沉降过程的实际观测资料. 要利用岩溶洞穴沉积可以精确定年和可以高分辨率采样的优势对地质历史时期的大气组成变化进行高分辨率重建,对相关岩溶地区的大气沉降过程进行实地观测和研究是重要的基础工作之一.

本文报道了在四川省东北部诺水河地区对大气沉降进行观测研究的初步分析结果. 在本研究中,采用被动采样的方式在四川省通江县诺水河溶洞群连续 12 个月采集大气沉降样品,共获取样品 12 个. 考虑到大气沉降的元素绝大部分是以溶解态的形式经雨水和土壤水携带进入岩溶洞穴并最终进入岩溶

收稿日期:2013-04-26; **修订日期**:2013-08-08
基金项目:国家自然科学基金项目(40973009); 广东省高等学校人才引进项目; 华南师范大学研究生科研创新基金项目
作者简介:童晓宁(1988 ~),女,硕士研究生,主要研究方向为第四纪地质与全球变化,E-mail:tongxiaoning@163.com
* 通讯联系人,E-mail:hyzhou@gig.ac.cn

洞穴沉积之中,在本研究中对采集的大气沉降样品在弱酸性环境下(pH 值在 2 左右)提取了溶解态组分并对部分元素(包括 Na、Mg、Ca、K、Si、Sr、Ba、Zn 等 8 个元素)的含量进行了测试,计算了这些元素的沉降通量,探讨了这些元素沉降通量的季节变化及其影响因素,以期为在这一地区应用岩溶洞穴沉积重建过去大气粉尘活动变化提供部分证据.

1 材料及方法

1.1 样品采集

大气沉降物质采用容积 4 L 的聚丙烯塑料盒接收. 在使用前用浓度 5% 的超纯 HNO_3 浸泡 24 h,之后用超纯水清洗干净. 采样点位于四川省通江县诺水河溶洞群的楼房洞(32°24′46″N,107°10′45″E),位于秦岭山地南麓,地处四川、陕西两省交界处,地势北高南低. 该区域现阶段为典型的季风气候,同时受到夏季风和冬季风的强烈影响:夏季高温多雨,冬季寒冷干旱,冬春季节粉尘活动强烈. 年均气温 ~15℃,年降水量1 000 ~ 1 200 mm[16]. 收容器置于距地面约 8 m 的楼顶开阔平台上. 周边无建筑物遮挡,远离工业区. 样品采集时间为 2011-08-01 ~ 2012-07-30 共 366 d,不间断采样. 每月采集样品一次,共采集了 12 个大气沉降样品. 采集的样品装入预先清洗干净的 500 或1 000 mL(视样品量的大小)聚丙烯塑料瓶中,滴入超纯浓 HNO_3 使样品 pH 值降低至 2 左右. 样品采集回来后放置于冰柜中低温保存(温度为 ~4℃).

1.2 样品处理与分析

由于部分样品明显含有颗粒物质,因此在进行分析之前对所有样品均进行了过滤. 过滤使用孔径 0.45 μm 的 Millipore 滤膜进行. 样品的 Na、Mg、Ca、K、Si、Sr、Ba、Zn 等元素含量在台湾成功大学地球动力系统研究中心进行,使用仪器为 ICP-MS,使用标准为多元素溶液标准. 各元素的检出限均低于 10^{-11},分析误差(RSD)中 Mn、Sr、Ba 一般优于 10%,其它元素优于 5%. 有关元素的检测限与误差等信息也可参考文献[17].

2 结果与讨论

2.1 元素沉降通量的季节变化

(1) Na

Na 的月沉降通量最大值为 407 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,出现在 2011 年 9 月; 最小值为 1.57 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,出现在 2012 年 1 月; 平均值为 83.7 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 1.46(表 1). 总体上,Na 的沉降通量 8 ~ 11 月较高,远大于其它月的沉降通量[1.57 ~ 6.09 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 之间](图 1). 根据气象资料,2011 年 9 月该地区曾连降 3 次暴雨(431.5 mm),显著高于正常年份平均水平(166.6 mm). 另外 Na 的沉降通量与降水量之间的相关系数是 0.709(P < 0.01)(表 2),因此可以推测这个月的 Na 的沉降通量显著升高可能与降水量大幅度增加有关. 以往的研究显示大气 Na 沉降大多数来自于湿沉降(大气降水)[18]. 本研究结果与此一致.

(2) Ca

Ca 的沉降通量落在 16.6 ~ 39.5 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 之间,平均值为 26.6 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.34(表 1). Ca 的沉降通量最大值出现在 3 月,最小值出现在 9 月. Ca 的沉降通量整体上冬半年明显高于夏半年,尤其以 3 ~ 5 月(春季)为一个主要峰值(图 1),这与大气粉尘活动的季节变化趋势一致. 由于大气粉尘中含有可以高达 20% 的碳酸盐[19],这些碳酸盐组分在较酸性环境下释放的 Ca,可能是造成冬半年(尤其是春季)Ca 的沉降通量显著上升的主要原因. 这一现象也与 Zhang 等[20]对北京沙尘暴的研究所得到的结论一致.

(3) K

K 的沉降通量在 0.54 ~ 6.09 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 之间变化,平均值为 1.89 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 1.03(表 1). K 的沉降通量整体上夏半年高于冬半年,在降水较多的 2011 年 9 月 K 的沉降通量也出现峰值(图 1),K 的沉降通量与降水的相关系数是 0.353(表 2),由此反映出 K 的沉降与 Na 的沉降类型类似,可能主要来自湿沉降. 这也与 Zheng 等[18]发现的大气沉降中 K 的绝大部分来自于湿沉降(大气降水)一致. 2012 年 6 月和 7 月的 K 沉降通量显著升高,可能也与这两个月的降水量较高有关(高于 2011 年 8 月). 不过,2011 年 9 月的降水量远大于其它月份的降水量,但这个月的 K 沉降通量明显低于 2012 年 6 月和 7 月的 K 沉降通量,其原因目前尚不清楚,有待进一步研究.

(4) Mg

Mg 的沉降通量变化范围为 2.01 ~ 4.91 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,平均值为 3.50 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.29(表 1). 2011

年 8 ~ 12 月 Mg 的沉降通量呈现总体上逐渐增加的趋势(图 1). Mg 沉降通量的最大值出现在 2012 年的 1 月份, 2 ~ 3 月有所下降,4 月稍微反弹, 5 ~ 6 月急剧降低, 7 月有一个显著的反弹(图 1),目前不清楚具体原因. 整体上,Mg 的沉降在冬半年的沉降通量比夏半年的大,与 Na 沉降通量的季节分布明显不同,说明这一地区大气中元素 Mg、Na 的沉降类型不同. 在川东北地区大气沉降中的 Mg 可能更多与大气粉尘有关. 这与 Zheng 等[18]的研究结果不同,可能由于在沿海地区海盐是大气沉降中元素 Mg 的主要来源[18,21],而在内陆地区 Mg 更多来自地壳源[22],以干沉降为主造成的.

(5)Si

Si 沉降通量的平均值为 1.38 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,其中 2012 年 4 月的沉降通量最大,达到 2.22 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$, 2011 年 8 月沉降通量最小,仅为 0.67 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.47(表 1). Si 的沉降通量季节变化明显,整体上春夏季高于秋冬季,但是同一季节内各月也有显著的差别,如春季沉降通量中 4 月 >3 月 >5 月(图

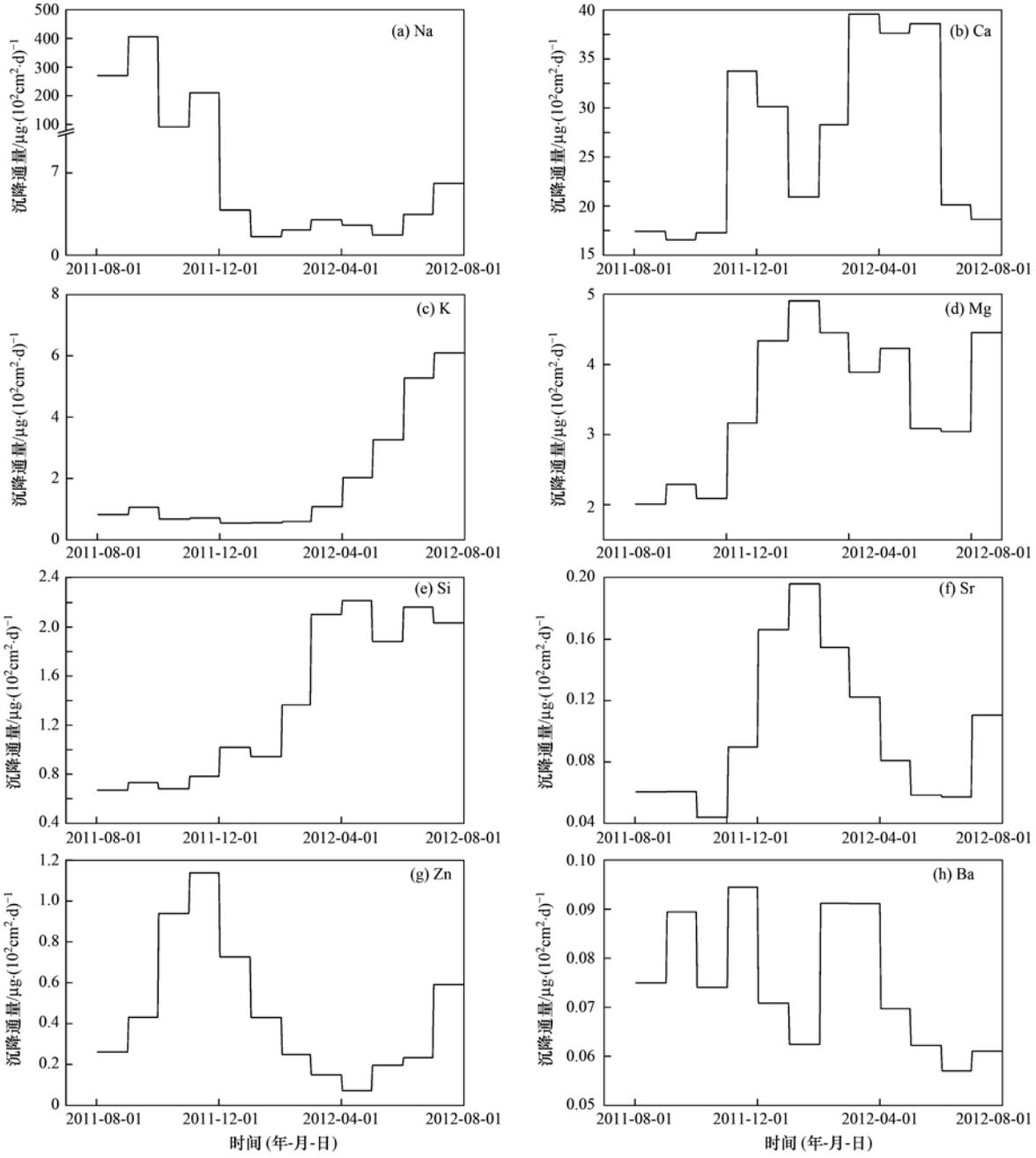

图 1　元素各月沉降通量

Fig. 1　Monthly deposition fluxes of elements

1). 2011 年 8 月的 Si 的沉降通量明显低于同为夏季的 2012 年 6 ~ 7 月的沉降通量,目前为止还不清楚具体原因.

(6) Ba

Ba 的沉降通量在 0.06 ~ 0.09 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 范围内变化,平均值为 0.07 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.18(表 1). Ba 的沉降通量最大值出现在 9 月,最小值出现在 1 月. 2011 年 9 和 11 月 Ba 的高沉降通量可能与同期降水的大幅度增加有关,这一点与 K、Na 沉降通量的影响机制相似. 而在 2012 年 2 ~ 3 月 Ba 的沉降通量也表现为一峰值,显示出 Ba 的沉降通量的增加还可能受到大气粉尘活动的影响. 这表明在不同季节 Ba 的沉降途径不同,进而说明影响大气沉降中元素 Ba 季节变化的因素更加复杂.

(7) Sr

Sr 的沉降通量最大值出现在 2012 年 1 月,最小值出现在 2011 年 10 月. Sr 的沉降通量落在 0.04 ~ 0.20 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 之间,平均值为 0.1 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.5(表 1). 整体上看,Sr 的沉降通量冬半年显著高于夏半年(图 1). 这可能是由于冬季西风的增强导致大气中微量元素的浓度增加[23]以及春季沙尘活动频繁造成的. 这一结果也进一步支持了 Zhou 等[13]的观点,即大气粉尘活动可能对当地岩溶沉积的 Sr 含量和 Sr 同位素组成($^{87}Sr/^{86}Sr$)变化具有重要影响. 尽管海水是 Sr 的重要来源,来自海水的飞沫会对离海岸较近地区的大气 Sr 有所贡献[24],但由于该地距离海洋较远,来自海洋的 Sr 的贡献应该非常有限.

(8) Zn

Zn 的沉降通量在 0.07 ~ 1.14 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$ 之间变化,平均值为 0.45 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$,变异系数为 0.74(表 1). Zn 沉降通量最大值出现在 2011 年 11 月,显著高于平均水平. 在珠江三角洲地区,Zn 沉降通量在夏季增加,与夏季降水量的增加有关[25],以湿沉降为主. 但在川东北地区,降水量最多的 2011 年 9 月 Zn 的沉降通量只有 0.43 μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$. 此外,川东北地区 Zn 沉降通量在 2011 年 10 ~ 12 月表现为较高值. 这说明该地区 Zn 的沉降类型与珠江三角洲地区不一样,可能主要以干沉降为主.

对各元素相关关系的分析结果如表 2. 从表中可以看出,Mg 和 Sr 之间呈显著的正相关关系,相关系数为 0.846(P < 0.01). Na-Mg、Si-Zn、Si-Na、Si-K 的相关性也都达到了显著水平(P < 0.05),相关系数分别为 -0.703、-0.603、-0.654 和 0.688. 其它元素之间的相关性较弱或者说不存在. Mg-Sr、Na-Mg、Si-Zn、Si-Na 和 Si-K 的显著相关性可能反映了这几组元素在来源上具有类似的控制机制. 例如,Sr 和 Mg 在冬半年的沉降通量上升可能都与大气粉尘活动增强有关; Na 和 Mg 的沉降通量在冬半年和夏半年变化趋势相反是因为 Na 以湿沉降为

表 1 元素各月沉降通量/μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$

Table 1 Monthly deposition fluxes of elements/μg·(10^2 cm^2·d)$^{-1}$

时间(年-月)	Mg	Zn	Sr	Ba	Na	Si	Ca	K
2011-08	2.01	0.26	0.06	0.07	271	0.67	17.4	0.82
2011-09	2.29	0.43	0.06	0.09	407	0.73	16.6	1.07
2011-10	2.09	0.94	0.04	0.07	91.9	0.68	17.3	0.67
2011-11	3.17	1.14	0.09	0.09	210	0.78	33.8	0.71
2011-12	4.34	0.73	0.17	0.07	3.83	1.02	30.1	0.54
2012-01	4.91	0.43	0.20	0.06	1.57	0.94	20.9	0.56
2012-02	4.45	0.25	0.15	0.09	2.14	1.37	28.3	0.59
2012-03	3.89	0.15	0.12	0.09	3.01	2.10	39.5	1.07
2012-04	4.23	0.07	0.08	0.07	2.54	2.22	37.6	2.03
2012-05	3.09	0.20	0.06	0.06	1.71	1.88	38.6	3.26
2012-06	3.05	0.23	0.06	0.06	3.48	2.16	20.1	5.27
2012-07	4.46	0.59	0.11	0.06	6.09	2.03	18.6	6.09
最大值	4.91	1.14	0.20	0.09	407	2.22	39.5	6.09
最小值	2.01	0.07	0.04	0.06	1.57	0.67	16.6	0.54
平均值	3.50	0.45	0.10	0.07	83.7	1.38	26.6	1.89
标准差	1.02	0.33	0.05	0.01	137	0.65	9.08	1.94
变异系数	0.29	0.74	0.50	0.18	1.64	0.47	0.34	1.03
年沉降通量/μg·(10^2·cm^2·a)$^{-1}$	1 279	166	36.6	27.4	30 497	506	9 722	693

表 2　大气沉降中各元素沉降通量的相关性分析[1)] ($n = 12$)

Table 2　Correlation analysis of deposition fluxes of elements

元素	Mg	Zn	Sr	Ba	Na	Si	Ca	K	降水
Mg	1								
Zn	−0.174	1							
Sr	0.846**	0.008	1						
Ba	−0.131	0.142	0.014	1					
Na	−0.703*	0.251	−0.447	0.455	1				
Si	0.423	−0.603*	−0.040	−0.278	−0.654*	1			
Ca	0.359	−0.228	0.148	0.245	−0.426	0.475	1		
K	0.100	−0.222	−0.275	−0.569	−0.325	0.688*	−0.137	1	
降水	−0.476	0.071	−0.519	0.135	0.709**	−0.107	−0.438	0.353	1

1) ** 表示显著性水平 $P < 0.01$，* 表示显著性水平 $P < 0.05$

主，而 Mg 以干沉降为主. Si 和 Zn、Na、K 都存在相关关系，说明 Si 的控制机制复杂，湿沉降或干沉降的增加都可以导致沉降样品中 Si 含量的增加.

2.2　元素的年沉降通量

川东北地区的各元素年沉降通量存在显著差异，由大到小依次排列为：Na，30 497 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Ca，9 722 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Mg，1 279 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；K，693 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Si，506 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Zn，166 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Sr，36.6 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$；Ba，27.4 $\mu g\cdot(10^2\ cm^2\cdot a)^{-1}$（表 1）. 这一趋势与 Huston 等[26]报道的澳大利亚的大气干湿沉降通量相似，可能反映这些元素具有类似的供应机制. 最高的 Na 的沉降通量超过最低的 Ba 的沉降通量的1 000倍. Na 的沉降通量高出 Si、Sr、Ba、Zn 的沉降通量 1 ~ 3 个数量级. 这与其它的报道一致[27].

表 3 将川东北地区大气沉降元素的年沉降通量与已发表的其它一些地区的结果进行了对比，包括北京平原区[28]、成都经济区[22]、香港[18]、澳大利亚的布里斯班[26]和意大利的威尼斯[29]. 其中香港、布里斯班和威尼斯报道的均为溶解态的元素年沉降通量，而北京平原区和成都经济区发表的数据则包含了溶解态和非溶解态两种相态. 在大多数地区元素 Na、Ca、Mg 的沉降通量都显著高于其它微量元素的沉降通量. 元素溶解态与非溶解态在沉降样品中的比例与研究地区有关，例如在北京平原区[28]和成都经济区[22]，除 Ca 以外的元素主要以难溶态存在于沉降样品中；但是在香港[18]（Sr 除外）和意大利威尼斯[29]（Si 除外），这些元素更多以溶解态形式存在. 例如在意大利威尼斯，样品中各元素溶解态组分的比例分别为：Na，>94%；Ca，>88%；Mg，>67%；K，>72%. 这可能反映在香港和威尼斯这两个地点，大气沉降元素主要来源于海水.

从表 3 可以看到，不同的地区之间元素的年沉降通量存在显著差异. 不同地区之间 Na 的年沉降通量从大到小依次为：四川通江 > 北京平原区 > 澳大利亚布里斯班 > 意大利威尼斯 > 成都经济区 > 香港. Na 的年沉降通量四川通江地区明显高于澳大利亚和香港，可能与该地区距离亚洲内陆干旱区较近、而亚洲内陆干旱区具有较多盐湖发育有关，因为内陆盐湖和沉积物中 Na 的含量较高[30]. 但这些 Na 是如何传输到川东北地区的，相关机制目前还不清楚. 不同地区之间 Ca 的年沉降通量排序依次为：成都经济区 > 北京平原区 > 澳大利亚布里斯班 > 意大利威尼斯 > 四川通江；Mg 的年沉降通量由大到小为：北京平原区 > 成都经济区 > 意大利威尼斯 > 澳大利亚布里斯班 > 香港 > 四川通江；K 的年沉降通量：北京平原区 > 成都经济区 > 香港 > 意大利威尼斯 > 澳大利亚布里斯班 > 四川通江. Ca、Mg、K 的年沉降通量都是北京平原区和成都经济区远高于三个沿海城市及四川通江地区（高出 1 ~ 2 个数量级），其中一个原因是这两个地区的 Ca、Mg、K 包括了所有干沉降和湿沉降的组分[22,28]，而在香港、布里斯班、威尼斯和本研究地区所测量的 Ca、Mg、K 只包括了水溶态[18,29]或弱酸性环境下[26]可溶解的组分. 3 个沿海城市（香港、布里斯班和威尼斯）的 Ca、Mg、K 的年沉降通量大致相近，可能说明这 3 个地区 Ca、Mg、K 具有相近的来源（比如海洋）. 四川通江的 Ca、Mg、K 年沉降通量明显小于这些沿海地区，说明该地区这些元素来源的控制机制不同，四川通江地区 Ca 和 Mg 主要来自地壳源（如土壤或扬尘），以大气干沉降为主，与大气粉尘活动有关；K 主要来自海洋源，以大气湿沉降为主，沉降通量的多少受降水量的影响.

表 3 不同地区的大气沉降通量[1)]/mg·(m²·a)⁻¹

Table 3 Annual bulk deposition fluxes in different regions/mg·(m²·a)⁻¹

地点	Na	Ca	Mg	K	Si	Ba	Zn	Sr	文献
四川通江	3 050	972	128	69.3	43.2	2.74	16.6	3.66	本研究
成都经济区[a]	1 125	18 074	1 016	2 009	—	—	148	—	[22]
北京平原区[a]	2 374	9 264	3 236	3 329	—	—	54.5	—	[28]
中国香港[b]	943	—	129.6	397.8	—	6.03	33.15	2.29	[18]
澳大利亚布里斯班[c]	2 146	2 518	309	333	—	2.65	16.6	3.12	[26]
意大利威尼斯[b]	1 462	1 683	367	290	24.8	—	21.8	—	[29]

1) a 表示干湿沉降通量; b 表示湿沉降通量; c 表示 pH < 2 的溶解态沉降通量; "—"表示文章中没有相关数据

3 结论

对在川东北诺水河溶洞群地区 2011 年 8 月 ~ 2012 年 7 月采集的大气沉降样品中 Na、Mg、Ca、K、Si、Sr、Ba、Zn 这 8 个元素在弱酸环境下(pH 值约在 2 左右)的溶解态组分进行了分析,结果发现,这些元素的沉降通量存在显著的季节变化. 元素 Na 的沉降通量在降水增加的时期显著增加,说明 Na 主要来自大气湿沉降. 元素 Mg、Sr 的沉降通量在 2011-12 ~ 2012-04 显著升高,Ca、Si、Ba 的沉降通量在 2012-03 ~ 2012-05 显著高于其它各月,显示这些元素沉降通量的变化都可能与大气粉尘活动强弱有关. 各个元素的年沉降通量存在显著的差异. 其中 Na、Ca、Mg、K 的年沉降通量较大,Si、Ba、Sr、Zn 的年沉降通量较小. 这与以往在其它地区的研究结果一致. Na 的年沉降通量最大,达到30 497 μg·(10² cm²·a)⁻¹,高出最小的 Ba 年沉降通量[27.4 μg·(10² cm²·a)⁻¹]3 个数量级.

参考文献:

[1] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution [J]. Environmental Pollution, 2008, **151**(2): 362-367.

[2] 杨懂艳, 李秀金, 陈圆圆, 等. 北京市湿沉降特征分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1867-1873.

[3] 孔祥胜, 祁士华, 黄保健, 等. 广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降[J]. 环境科学, 2012, **33**(3): 746-753.

[4] 王艳, 刘晓环, 金玲仁, 等. 泰山地区湿沉降中重金属的空间分布[J]. 环境科学, 2007, **28**(11): 2562-2568.

[5] 唐先干, 杨金玲, 张甘霖. 皖南山区降水酸性特征与元素沉降通量[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 356-361.

[6] 潘月鹏, 王跃思, 杨勇杰, 等. 区域大气颗粒物干沉降采集及金属元素分析方法[J]. 环境科学, 2010, **31**(3): 553-559.

[7] 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 等. 华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源[J]. 环境科学, 2012, **33**(11): 3712-3717.

[8] 李波, 刘娅, 姚艳, 等. 吉林省西部地区大气干湿沉降元素通量及来源[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, **40**(1): 176-182.

[9] Sakata M, Tani Y, Takagi T. Wet and dry deposition fluxes of trace elements in Tokyo Bay[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(23): 5913-5922.

[10] Fairchild I J, Smith C L, Baker A, *et al*. Modification and preservation of environmental signals in speleothems[J]. Earth-Science Reviews, 2006, **75**(1-4): 105-153.

[11] Henderson G M. Climate. Caving in to new chronologies[J]. Science, 2006, **313**(5787): 620-622.

[12] Wynn P M, Fairchild I J, Frisia S, *et al*. High-resolution sulphur isotope analysis of speleothem carbonate by secondary ionisation mass spectrometry[J]. Chemical Geology, 2010, **271**(3): 101-107.

[13] Zhou H Y, Feng Y X, Zhao J X, *et al*. Deglacial variations of Sr and $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio recorded by a stalagmite from Central China and their association with past climate and environment[J]. Chemical Geology, 2009, **268**(3-4): 233-247.

[14] Zhou H Y, Wang Y, Huang L Y, *et al*. Speleothem Mg, Sr and Ba records during the MIS 5c-d, and implications for paleoclimate change in NE Sichuan, Central China[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, **56**(32): 3445-3450.

[15] 周厚云, 童晓宁, 温小浩, 等. 川东北石笋 43 ~ 10 ka $^{87}Sr/^{86}Sr$变化记录大气粉尘活动历史[J]. 第四纪研究, 2012, **32**(2): 369-370.

[16] Zhou H Y, Zhao J X, Feng Y X, *et al*. Distinct climate change synchronous with Heinrich event one, recorded by stable oxygen and carbon isotopic compositions in stalagmites from China[J]. Quaternary Research, 2008, **69**(2): 306-315.

[17] Zhou H Y, Greig A, Tang J, *et al*. Rare earth element patterns in a Chinese stalagmite controlled by sources and scavenging from Karst groundwater[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2012, **83**: 1-18.

[18] Zheng M, Guo Z G, Fang M, *et al*. Dry and wet deposition of elements in Hong Kong[J]. Marine Chemistry, 2005, **97**(1): 124-139.

[19] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.4-6.

[20] Zhang D Z, Iwasaka Y. Nitrate and sulfate in individual Asian dust-storm particles in Beijing, China in spring of 1995 and 1996[J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(19): 3213-3223.

[21] 牛彧文, 何凌燕, 胡敏. 深圳大气降水的化学组成特征[J]. 环境科学, 2008, **29**(4): 1014-1019.

[22] 汤奇峰, 杨忠芳, 张本仁, 等. 成都经济区 As 等元素大气干湿沉降通量及来源研究[J]. 地学前缘, 2007, **14**(3): 213-

222.

[23] Kim J E, Han Y J, Kim P R, *et al*. Factors influencing atmospheric wet deposition of trace elements in rural Korea[J]. Atmospheric Research, 2012, **116**: 185-194.

[24] Bar-Matthews M, Ayalon A, Kaufman A, *et al*. The Eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, **166**(1-2): 85-95.

[25] Wong C S C, Li X D, Zhang G, *et al*. Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China[J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(6): 767-776.

[26] Huston R, Chan Y C, Gardner T, *et al*. Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks[J]. Water Research, 2009, **43**(6): 1630-1640.

[27] Tasdemir Y, Kural C. Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey[J]. Environmental Pollution, 2005, **138**(3): 462-472.

[28] 丛源, 陈岳龙, 杨忠芳, 等. 北京平原区元素的大气干湿沉降通量[J]. 地质通报, 2008, **27**(2): 257-264.

[29] Rossini P, Guerzoni S, Molinaroli E, *et al*. Atmospheric bulk deposition to the lagoon of Venice: Part I. Fluxes of metals, nutrients and organic contaminants[J]. Environment International, 2005, **31**(7): 959-974.

[30] 邵天杰, 赵景波, 董治宝. 巴丹吉林沙漠湖泊及地下水化学特征[J]. 地理学报, 2011, **66**(5): 662-672.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 35 No. 1

Jan. 15, 2014

CONTENTS

An Assessment of $PM_{2.5}$ Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days ····· XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)

Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in $PM_{2.5}$ at Changbai Mountain ····· ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, *et al.* (9)

Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility ····· KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, *et al.* (15)

Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation ····· ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, *et al.* (22)

Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China ····· LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, *et al.* (30)

Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China ····· ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, *et al.* (35)

Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou ····· JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, *et al.* (41)

Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources ····· FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, *et al.* (46)

Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China ····· TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, *et al.* (53)

Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chonging During 2001-2010 ····· YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, *et al.* (60)

Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River ····· WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, *et al.* (66)

Chemical Compositions of *n*-Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke ····· LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, *et al.* (73)

Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou ····· WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, *et al.* (79)

Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone ····· MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, *et al.* (85)

Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO_2 Release in Arable Soil ····· KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, *et al.* (93)

Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea ····· WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, *et al.* (100)

Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China ····· MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, *et al.* (108)

Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler ····· ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, *et al.* (117)

Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater ····· CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, *et al.* (123)

Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls ····· TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, *et al.* (131)

Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin ····· ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, *et al.* (143)

Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics ····· SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, *et al.* (150)

Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea ····· SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)

Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ^{31}P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments ····· ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, *et al.* (163)

Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance ····· WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)

Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges ····· AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, *et al.* (179)

Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu ····· MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, *et al.* (186)

Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake ····· WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, *et al.* (194)

Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra ····· WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, *et al.* (202)

Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process ····· WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, *et al.* (208)

Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge ····· LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, *et al.* (214)

Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate ····· SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)

Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields ····· HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, *et al.* (227)

Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment ····· TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, *et al.* (233)

Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China ····· LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, *et al.* (240)

Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil ····· XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, *et al.* (248)

Effect of Cr(Ⅵ) Anions on the Cu(Ⅱ) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution ····· LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, *et al.* (254)

Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants ····· MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)

Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake ····· ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, *et al.* (271)

Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria ····· JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, *et al.* (279)

Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria ····· DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, *et al.* (286)

Influence of the Coexistence of Zn^{2+} on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to *Scenedesmus obliquus* ····· HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, *et al.* (292)

Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results ····· WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, *et al.* (299)

Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model ····· HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, *et al.* (304)

Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium *Paucibacter* sp. Strain CH ····· YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, *et al.* (313)

Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate ····· YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, *et al.* (319)

Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains ····· WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, *et al.* (327)

Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China ····· XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)

Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a *Leymus chinensis* Steppe in Inner Mongolia, China ····· SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)

Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer ····· HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, *et al.* (348)

Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water ····· XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, *et al.* (356)

Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant ····· PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, *et al.* (365)

Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N_2O Catalytic Decomposition ····· LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)

Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea ····· YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, *et al.* (380)

County Scale Characteristics of CO_2 Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region ····· WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, *et al.* (385)

Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application ····· LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, *et al.* (394)

《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 1 月 15 日　35 卷　第 1 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 35　No. 1　Jan. 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