

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



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 CO₂ 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, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 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, 欧阳溱, 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 N₂O 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 CO₂ 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)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究

赵亚南^{1,2}, 王跃思^{1*}, 温天雪¹, 戴冠华³

(1. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 3. 中国科学院长白山森林生态系统定位站, 吉林 133613)

摘要: 为了解长白山大气 PM_{2.5} 中水溶性离子的季节变化特征及其影响因素, 于 2005 年 6 月 ~ 2008 年 12 月, 在长白山北坡海拔 763 m 处利用大流量滤膜采样器采集 PM_{2.5} 样品, 并用离子色谱分析其中的主要水溶性离子成分含量。结果表明, 3 种最主要的水溶性离子 SO₄²⁻、NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 季节变化趋势明显, SO₄²⁻ 夏季浓度最高, 秋季浓度最低; NO₃⁻ 冬季浓度最高, 夏季浓度最低; NH₄⁺ 的季节变化趋势主要受到 SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 季节变化趋势的影响。不同方向后向轨迹所对应的总水溶性离子浓度存在明显差异, 浓度排序依次是 NE < NW < SW, 分别为 5.43、7.63 和 10.26 μg·m⁻³。Ca²⁺ 测量值与 CO₃²⁻ 计算值存在明显的相关性, 春季最好, 夏季最差, R 分别为 0.74 和 0.30。

关键词: PM_{2.5}; 水溶性; 离子; 季节变化; 长白山

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0009-06

Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM_{2.5} at Changbai Mountain

ZHAO Ya-nan^{1,2}, WANG Yue-si¹, WEN Tian-xue¹, DAI Guan-hua³

(1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081, China; 3. The Research Station of Changbai Mountain Forest Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Jilin 133613, China)

Abstract: To study seasonal variation of water-soluble ions in PM_{2.5} at Changbai Mountain. PM_{2.5} was collected with a high-volume sampler from Jun. 2005 to Dec. 2008, and the concentrations of water-soluble ions were analyzed using ion chromatography. The results showed that the three major ions of SO₄²⁻, NH₄⁺ and NO₃⁻ showed obvious seasonal variation. The mass concentration of SO₄²⁻ was the highest in summer and lowest in autumn. The mass concentration of NO₃⁻ was the highest in winter and lowest in summer. The seasonal variation of NH₄⁺ was influenced by SO₄²⁻ and NO₃⁻. The total concentrations of water-soluble ions in PM_{2.5} from different directions were evidently different, following the order of NE < NW < SW, with the average concentrations of 5.43, 7.63 and 10.26 μg·m⁻³, respectively. Ca²⁺ was strongly correlated with CO₃²⁻, and the correlation (R) was higher in spring (0.74) than that in summer (0.30).

Key words: PM_{2.5}; water-soluble; ion; seasonal variation; Changbai Mountain

由于大气气溶胶对全球气候变化、环境、人体健康及大气化学等的影响, 使其成为当今气候和环境研究的热点问题之一^[1~5]。大气气溶胶成分复杂, 水溶性离子是大气气溶胶的重要组成部分^[6,7], 二次离子作为最主要的水溶性离子主要以硫酸盐、硝酸盐、铵盐的形式存在, 这些物质可以通过吸湿作用改变气溶胶的大小、组分、酸碱度、数量和寿命^[8]。同时, 水溶性离子强烈的亲水性, 能够改变气溶胶作为云凝结核的能力, 影响云的形成和发展^[9~11]; 在低于水的饱和蒸汽压条件下形成雾滴, 从而影响大气的光学性质、能见度, 进而导致地球-大气系统能量平衡的变化^[12,13]。

国内外学者对不同背景区域大气气溶胶中水溶性离子组成和季节变化趋势进行了广泛深入的研究。孟昭阳等^[14]对长江三角洲临安本底站大气 PM_{2.5} 理化特征的研究结果表明, SO₄²⁻、NO₃⁻ 和

NH₄⁺ 是最主要的水溶性离子, 其浓度季节变化趋势相同, 表现为秋、冬季较高, 夏季最低; Suzuki 等^[15]对日本富士山顶大气气溶胶中水溶性离子的分析结果显示 NH₄⁺、SO₄²⁻ 和 Ca²⁺ 是最主要的水溶性离子, 且 3 种主要离子的季节变化趋势不同, NH₄⁺ 夏季浓度最高, SO₄²⁻ 和 Ca²⁺ 春季浓度最高; Henning 等^[16]对瑞士少女峰大气气溶胶中水溶性离子化学组成和季节变化趋势的研究发现, SO₄²⁻、Ca²⁺ 和 NH₄⁺ 是最主要的水溶性离子, 3 种离子占总离子浓度的 90.6%, NH₄⁺ 和 SO₄²⁻ 季节变化趋

收稿日期: 2013-01-09; 修订日期: 2013-06-24

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-Q02-03); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05100100)

作者简介: 赵亚南 (1982 ~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为大气化学, E-mail: sunny_11319@126.com

* 通讯联系人: E-mail: wys@dq.cern.ac.cn

势相同,夏季浓度最高,冬季浓度最低, Ca^{2+} 的季节变化趋势表现为春季浓度最高,秋季浓度最低. 气溶胶组成及其浓度的季节变化是理解大气化学行为的重要因素,作为气溶胶重要组成部分的水溶性离子对分析大气气溶胶的特性和来源具有重要作用. 但是,针对我国东北背景区域大气气溶胶中水溶性离子的季节变化趋势特征的研究较少. 因此,本研究以中国科学院长白山区域大气本底站的观测资料为例,分析我国东北背景区域大气气溶胶中水溶性离子季节变化特征及其影响因素,从而探讨东北背景区域气溶胶特征及其来源.

1 材料与方法

1.1 采样地点和方法

长白山位于吉林省东南部,位于我国东北地区(北纬 $41^{\circ}42'$ ~ $42^{\circ}25'$,东经 $127^{\circ}43'$ ~ $128^{\circ}48'$ 之间),属于温带大陆性山地气候,年平均气温 5.1°C ,最冷月(1月)和最热月(7月)的平均气温分别为 -14.5°C 和 20.8°C ,年平均降水量为 615 mm . 中国科学院东北区域大气背景观测点设在长白山国家级自然保护区,采样点位于吉林省延吉市安图县境内长白山北坡($128^{\circ}28'\text{E}$, $42^{\circ}24'\text{N}$),海拔 763 m (见图1). 采样期间气象条件见表1.

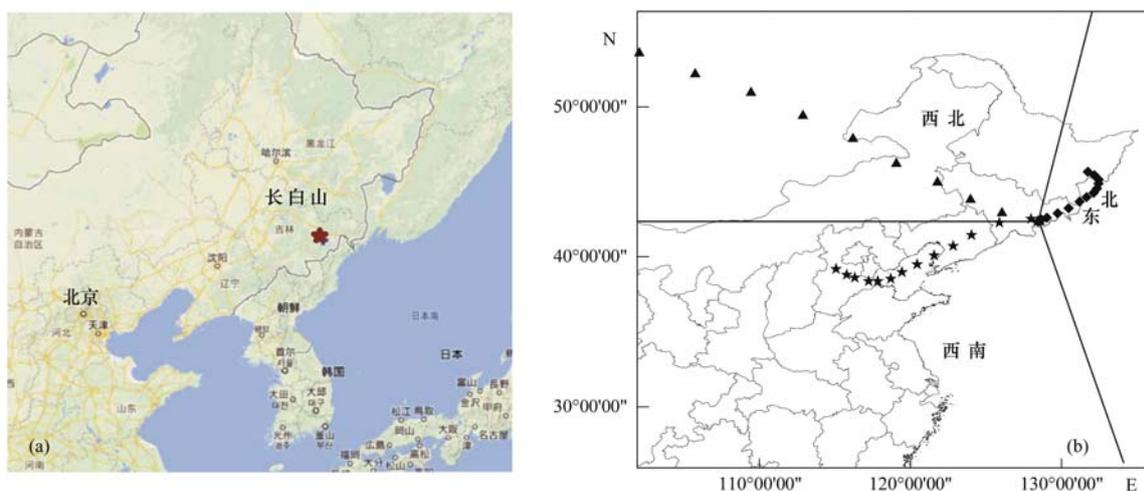


图1 采样点和长白山72 h后向轨迹聚类分析区域划分情况

Fig. 1 Sampling sites and the three sectors classified by the cluster analysis of 72 h back trajectories ending at Changbai Mountain

表1 采样期间气象条件

Table 1 Meteorological parameter during the sampling period

季节	温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿度/%	大气压/ Pa	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	降水量/ mm
春季	6.4	60.7	925.2	1.5	141.5
夏季	18.3	77.8	925.2	0.9	367.8
秋季	5.3	66.1	931.8	1.2	94.1
冬季	-12.3	61.8	932.7	1.4	16.8

2005年6月~2008年12月,采用大流量滤膜采样器(GUV-16HBL-1, Thermo Andersen)采集 $\text{PM}_{2.5}$ 气溶胶样品. 采样流量为 $1\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$,将样品收集在聚碳酸酯膜(Whatman 41)上用于水溶性无机离子分析. 每周三采样1次,采样开始时间是10:00,每次累积采样24 h.

1.2 样品分析方法

采样后将采样膜放入密封袋中,置于冰箱(-18°C)避光保存至分析. 取1/32滤膜放入塑料瓶中,加入50 mL去离子水,恒温超声0.5 h,静置,

用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜过滤后,利用离子色谱(ICS-90,美国戴安公司)分析气溶胶样品中阳离子(Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})和阴离子(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-})浓度. 阳离子检测采用CS12A色谱柱,CSRS II抑制器,淋洗液为 $22\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的甲烷磺酸,流速为 $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. 阴离子采样AS14A色谱柱,AMMS III抑制器,淋洗液浓度为 $3.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Na}_2\text{CO}_3$ 和 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaHCO}_3$ 混合溶液,流速 $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. 各离子的最低检测限均小于 $0.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 样品分析过程中进行了严格的质量控制.

1.3 后向轨迹分析和聚类分析

为了研究不同源区对采样点 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度影响的潜在重要性, 利用美国 NOAA 研制的轨迹模型 HYSPLIT4 (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated) 计算采样期间到达采样点气团的 72 h 后向轨迹^[17] (见图 1), FNL 气象数据是模型的输入数据. 考虑到边界层的扩散与混合, 气团后向轨迹的起始点设在海拔 1 000 m, 对应于该地区的中高层.

聚类分析是一种多元统计技术. 近年来越来越广泛地应用于大气污染研究^[18~20]. 该方法对大量的资料进行分组, 分组的原则是达到组间差异极大, 组内差异极小, 根据气团水平移动的速度和方向对 HYSPLIT4 计算得到气团的后向轨迹进行分组得到不同的输送轨迹组. 不同组别的气团经过不同的源区, 从而估计 PM_{2.5} 中水溶性离子的潜在源区. 本研究应用 Dorling 等^[21] 提出的聚类分析方法, 按季节对所有气团后向轨迹进行分类. 后向轨迹资料的时间间隔为 6 h, 每一根后向轨迹可以得到 12 组 (24 个) x (经度)- y (纬度) 坐标, 这些坐标值作为聚类分析算子的输入参数, 具体计算步骤和方法参见文献 [21, 22].

2 结果与分析

2.1 季节变化

表 2 给出了长白山大气 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度. 从中可以看出, 长白山大气 PM_{2.5} 中主要水溶性离子的浓度顺序依次是: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$. SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 是最

主要的水溶性离子, 占总离子质量分数分别为 49%、21% 和 17%, 共计 87%. 3 种离子浓度变化范围分别是 0.17~21.69、0.17~6.84 和 0.07~8.47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 平均浓度为 4.02、1.70 和 1.43 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 其它离子浓度共计 1.12 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 占总离子浓度质量分数为 13%. 结果表明, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 是长白山大气 PM_{2.5} 中最主要的酸性和碱性物质.

与城市采样点 PM_{2.5} 中 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 季节变化趋势相似不同^[23~25], 长白山大气 PM_{2.5} 中 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 的季节变化趋势存在差异. SO_4^{2-} 的季节变化趋势表现为夏季浓度最高, 秋季浓度最低, 平均浓度分别为 4.76 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 3.19 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 这主要是由于夏季较高的温度和湿度有利于 SO_2 的气-粒转化过程生成更多的 SO_4^{2-} , 且采样点夏季主要受到来自西南气团的影响.

NO_3^- 的季节变化趋势表现为冬季浓度最高, 夏季浓度最低, 平均浓度分别为 2.22 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 0.61 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. NO_3^- 主要来自 NO_x 在大气中的氧化过程. 因此, NO_3^- 与 NO_x 和气象因素密切相关. NO_x 主要来自机动车尾气排放, 由于采样点位于长白山国家级自然保护区内, 机动车尾气排放强度全年变化较小, NO_3^- 季节变化趋势可能主要受到气象因素的影响 (如温度、湿度)^[10]. 采样期间, 采样点大气相对湿度存在明显的季节变化趋势, 但是变化的幅度不大; 与大气相对湿度相比, 温度的季节变化十分明显, 夏季月平均最高浓度为 20.5℃, 冬季月平均最低温度为 -17.2℃. 冬季较低的温度有利于 HNO_3 (g) 向颗粒态的 NO_3^- 转化, 使得 NO_3^- 在冬季的浓度较高.

表 2 长白山大气 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Concentrations of water-soluble ions in PM_{2.5} at Changbai Mountain/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

离子	春季		夏季		秋季		冬季		年平均	
	平均值	SD								
Na ⁺	0.18	0.14	0.13	0.08	0.14	0.13	0.19	0.14	0.16	0.12
NH ₄ ⁺	1.86	1.16	1.73	1.57	1.48	1.64	1.75	1.18	1.70	1.31
K ⁺	0.20	0.10	0.22	0.11	0.25	0.21	0.30	0.20	0.24	0.16
Mg ²⁺	0.06	0.06	0.03	0.02	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.05
Ca ²⁺	0.38	0.29	0.25	0.22	0.32	0.20	0.38	0.38	0.33	0.28
Cl ⁻	0.38	0.16	0.26	0.11	0.37	0.29	0.39	0.15	0.35	0.20
NO ₃ ⁻	1.73	1.73	0.61	0.62	1.18	1.32	2.22	1.77	1.43	1.50
SO ₄ ²⁻	4.13	3.65	4.76	5.48	3.19	4.68	4.01	3.41	4.02	4.17
总和	8.93	5.53	8.02	7.02	6.99	7.40	9.31	6.59	8.30	6.20

NH_4^+ 的季节变化趋势主要受到 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 季节变化趋势的影响. 气溶胶中 NH_4^+ 主要来自 NH_3 (g) 与 H_2SO_4 和 HNO_3 中和反应生成颗粒态

NH_4^+ , 以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4HSO_4 和 NH_4NO_3 的形式存在^[26]. 长白山大气 PM_{2.5} 中 NH_4^+ 与 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 电荷的平均比值为 1.1, 表明长白山大气 PM_{2.5} 中

NH_4^+ 主要以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 NH_4NO_3 的形式存在.

Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 作为土壤、沙尘的示踪离子,具有相同的季节变化趋势^[6]. Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 平均浓度冬季最高,夏季最低,分别为 $0.25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.03 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.08 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 这可能由于夏季较多的降水,有利于大气中土壤、沙尘粒子在大气中的湿清除;冬季风速较大、降水较少,空气比较干燥有利于土壤、沙尘粒子的再悬浮,使得大气气溶胶中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度增加.

2.2 不同方向气团对水溶性离子浓度的影响

不同方向的气团经过的不同区域携带的气溶胶的化学成分不同,从而影响 $\text{PM}_{2.5}$ 中化学成分浓度水平. 对采样期间所有气团后向轨迹的聚类分析结果表明,长白山地区主要受到来自西北(NW)、东北(NE)、西南(SW)方向气团的影响,如图 1. 其中,春季主要受到来自西北(60%)和西南(34%)气团

的影响;夏季主要受到来自东北(20%)和西南(73%)气团的影响;秋季主要受到来自西北(58%)和西南(29%)气团的影响;冬季主要受到来自西北(83%)气团的影响.

表 3 给出了不同季节不同方向气团后向轨迹对应的 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子平均浓度. 不同方向轨迹气团对应的 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子有明显差异,总水溶性离子平均浓度顺序排列为 $\text{NE} < \text{NW} < \text{SW}$, 平均浓度分别为 5.43 、 7.63 和 $10.26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 除春季东北气团对应的总水溶性离子浓度较低外,其他季节东北和西北气团对应的总水溶性离子平均浓度水平相当,西南气团对应的总水溶性离子平均浓度最高. 西南气团分别是东北和西北气团平均浓度的 1.9 和 1.3 倍,这可能是由于西南气团运动速度较慢,且采样点西南区域经济和工业比较发达,气团携带了更多的污染物.

表 3 四季不同方向气团影响下 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Concentrations of ions from different air-mass origin in four seasons/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

季节	方向	No.	离子							总和	
			Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}		Ca^{2+}
春季	NW	19	0.36	1.70	3.42	0.20	1.75	0.21	0.05	0.33	8.02
	NE	2	0.28	1.10	1.26	0.08	0.76	0.18	0.02	0.22	3.90
	SW	11	0.36	1.91	5.66	0.15	2.17	0.26	0.07	0.35	10.93
夏季	NW	3	0.30	0.51	1.41	0.10	0.96	0.18	0.03	0.18	3.66
	NE	9	0.32	0.73	1.90	0.10	0.99	0.20	0.03	0.23	4.51
	SW	33	0.23	0.56	5.95	0.14	2.00	0.22	0.03	0.25	9.37
秋季	NW	22	0.40	1.11	2.08	0.13	1.25	0.25	0.05	0.29	5.56
	NE	5	0.45	0.65	2.68	0.22	1.54	0.28	0.05	0.42	6.28
	SW	11	0.28	1.80	6.17	0.13	2.23	0.29	0.09	0.37	11.35
冬季	NW	30	0.39	2.13	4.07	0.19	1.72	0.29	0.09	0.42	9.30
	NE	2	0.41	2.23	3.96	0.22	2.05	0.47	0.03	0.17	9.55
	SW	4	0.49	3.42	4.58	0.17	2.23	0.32	0.07	0.29	11.56

为了进一步了解不同输送条件下各轨迹组浓度的差异程度,计算不同轨迹组 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子平均浓度与该季节平均浓度之间的距平 ($\bar{c}_{\text{cluster}} - \bar{c}_{\text{season}}$) 和相对距平 ($(\bar{c}_{\text{cluster}} - \bar{c}_{\text{season}}) / \bar{c}_{\text{season}} \times 100\%$) (图 2), 其中 \bar{c}_{cluster} 是各轨迹组的平均浓度, \bar{c}_{season} 是不同季节的平均浓度. 从图 2 可以看出, 不同轨迹组在不同季节的距平不同, 正负距平的跨度在春季最大, 冬季最小. 除春季外, 东北轨迹和西北轨迹距平相差不大, 与西南轨迹差异显著, 且正距平主要出现在西南轨迹. 西南轨迹春、夏、秋、冬四季的相对距平分别为 29%、17%、55%、18%.

2.3 电荷平衡

离子电荷平衡通常被用于讨论大气气溶胶中离子的酸碱平衡情况, 阳离子与阴离子电荷比值是利

用所有检测的阳离子 (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+}) 和阴离子 (SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^-) 摩尔电荷浓度与相应离子电荷的乘积来计算. 图 3 给出了采样期间长白山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子的电荷平衡情况. 从中可以看出, 长白山大部分气溶胶样品 \sum 阳离子 / \sum 阴离子大于 1, 表明长白山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子存在一定的阴离子亏损, 这可能是由于没有检测 $\text{PM}_{2.5}$ 中的 CO_3^{2-} 造成的. Claquin 等^[27] 研究表明土壤、沙尘粒子是大气气溶胶中 CO_3^{2-} 的主要来源. 利用 \sum 阳离子 - \sum 阴离子用于估算大气气溶胶中 CO_3^{2-} 的浓度^[28], 计算得到采样期间长白山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中 CO_3^{2-} 的平均质量浓度为 1.04

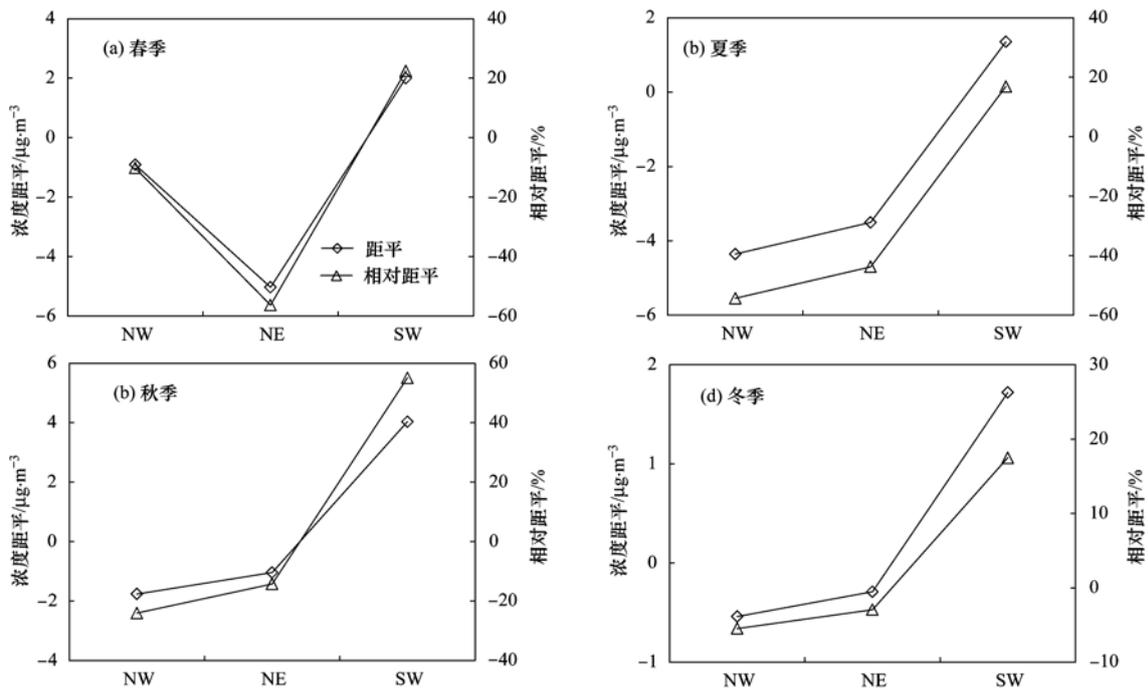


图2 四季各组轨迹 PM_{2.5} 中水溶性离子平均浓度距平及相对距平

Fig. 2 Difference and relative difference in the concentrations of water-soluble ions in PM_{2.5} of the three sectors in the four seasons

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. CO_3^{2-} 的季节变化趋势表现为秋季浓度最高,夏季浓度最低,平均浓度分别为 $1.18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.83 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ca^{2+} 作为土壤、沙尘粒子的示踪离子,与 CO_3^{2-} 有相同的来源. 将不同季节 PM_{2.5} 中 Ca^{2+} 测量值与 CO_3^{2-} 计算值的相关性进行相关性分析,如图 4. 从中可以看出, Ca^{2+} 测量值与 CO_3^{2-} 计算值在春季、秋季和冬季相关性较好,相关系数 R 分别为 0.74、0.74、0.56; 夏季相关性较差,相关系数 R 仅为 0.30. 结果表明春季、秋季和冬季,未检测到的 CO_3^{2-} 是长白山大气 PM_{2.5} 中阴离子亏损的主要原因. 夏季,采样点主要受到来自污染比较严

重西南区域的气团影响,阴离子亏损不仅受到 CO_3^{2-} 的影响,可溶性的有机酸离子可能也是导致夏季阴离子亏损的原因.

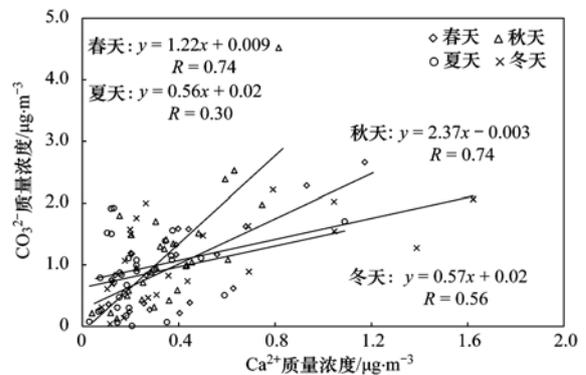


图4 Ca^{2+} 测量值与 CO_3^{2-} 计算值相关性分析

Fig. 4 Relationship between measured Ca^{2+} concentration and calculated CO_3^{2-} concentration

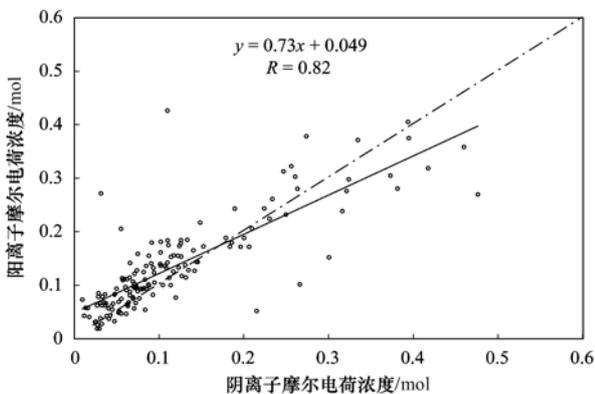


图3 \sum 阴离子电荷与 \sum 阳离子电荷相关性分析

Fig. 3 Relationship between \sum anion charge and \sum cation charge

3 结论

(1) 长白山大气 PM_{2.5} 中二次离子 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 季节变化趋势存在明显差异, SO_4^{2-} 夏季浓度最高,秋季浓度最低; NO_3^- 冬季浓度最高,夏季浓度最低; NH_4^+ 的季节变化趋势主要受到 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 季节变化趋势的影响.

(2) 长白山采样点主要受到西北、东北和西南气团的影响,不同方向轨迹气团对应的 PM_{2.5} 中水

溶性离子有明显差异,总水溶性离子平均浓度顺序排列为西北 < 东北 < 西南。

(3)PM_{2.5}中水溶性离子存在一定的阴离子亏损。其中,春、秋和冬季阴离子亏损可能主要来自未检测到的CO₃²⁻;夏季阴离子亏损不仅受到CO₃²⁻的影响,可溶性的有机酸离子可能也是导致夏季阴离子亏损的原因。

参考文献:

- [1] Lin J J. Characterization of the major chemical species in PM_{2.5} in the Kaohsiung City, Taiwan [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(12): 1911-1920.
- [2] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, *et al.* Climate effects of black carbon aerosols in China and India [J]. Science, 2002, **297**(5590): 2250-2253.
- [3] Lohmann U, Feichter J. Global indirect aerosol effects: a review [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005, **5**(3): 715-737.
- [4] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学 [M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 张敬巧,王淑兰,高健,等. 合肥市郊夏季PM₁₀浓度及其与能见度的关系 [J]. 环境科学研究, 2012, **25**(8): 864-869.
- [6] 万显烈. 大连市大气气溶胶的无机化学特征分析 [J]. 中国环境监测, 2005, **21**(1): 21-23.
- [7] Ho K F, Lee S C, Chan C K, *et al.* Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong [J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(1): 31-39.
- [8] 刘臻,祁建华,王琳,等. 青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 [J]. 环境科学, 2012, **33**(7): 2180-2190.
- [9] Wang G, Wang H, Yu Y, *et al.* Chemical characterization of water-soluble components of PM₁₀ and PM_{2.5} atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China [J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(21): 2893-2902.
- [10] Wang Y, Zhuang G S, Tang A H, *et al.* The ion chemistry and the source of PM_{2.5} aerosol in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(21): 3771-3784.
- [11] Leaitch W R, Strapp J W, Isaac G A, *et al.* Cloud droplet nucleation and cloud scavenging of aerosol sulphate in polluted atmospheres [J]. Tellus B, 1986, **38**(5): 328-344.
- [12] Seinfeld J H, Pandis S N. Atmospheric chemistry and physics [M]. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [13] Svenningsson B, Hansson H C, Wiedensohler A, *et al.* Hygroscopic growth of aerosol particles and its influence on nucleation scavenging in cloud: Experimental results from Kleiner Feldberg [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 1994, **19**(1-2): 129-152.
- [14] 孟昭阳,贾小芳,张仁健,等. 2010年长江三角洲临安本底站PM_{2.5}理化特征 [J]. 应用气象学报, 2012, **23**(4): 424-432.
- [15] Suzuki I, Hayashi K, Igarashi Y, *et al.* Seasonal variation of water-soluble ion species in the atmospheric aerosols at the summit of Mt. Fuji [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(34): 8027-8035.
- [16] Henning S, Weingartner E, Schwikowski M, *et al.* Seasonal variation of water-soluble ions of the aerosol at the high-alpine site Jungfraujoch (3580 m asl) [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, **108**(D1): ACH 8-1-ACH 8-10.
- [17] Draxler R R, Hess G D. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories [J]. Australian Meteorological Magazine, 1998, **47**: 295-308.
- [18] 石春娥,姚叶青,张平,等. 合肥市PM₁₀输送轨迹分类研究 [J]. 高原气象, 2008, **27**(6): 1383-1391.
- [19] Kahl J D. A cautionary note on the use of air trajectories in interpreting atmospheric chemistry measurements [J]. Atmospheric Environment Part A General Topics, 1993, **27**(17-18): 3037-3038.
- [20] Chen A L W, Doddridge B G, Dickerson R R, *et al.* Origins of fine aerosol mass in the Baltimore-Washington corridor: implications from observation, factor analysis, and ensemble air parcel back trajectories [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(28): 4541-4554.
- [21] Dorling S R, Davies T D, Pierce C E. Cluster analysis: A technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry-Method and applications [J]. Atmospheric Environment Part A General Topics, 1992, **26**(14): 2575-2581.
- [22] Brankov E, Rao S T, Porter P S. A trajectory-clustering-correlation methodology for examining the long-range transport of air pollutants [J]. Atmospheric Environment, 1998, **32**(9): 1525-1534.
- [23] Wang Y, Zhuang G S, Zhang X Y, *et al.* The ion chemistry seasonal cycle, and sources of PM_{2.5} and TSP aerosol in Shanghai [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(16): 2935-2952.
- [24] Zhang T, Cao J J, Tie X X, *et al.* Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: Seasonal variations and sources [J]. Atmospheric Research, 2011, **102**(1-2): 110-119.
- [25] Hu M, He L Y, Zhang Y H, *et al.* Seasonal variation of ionic species in fine particles at Qingdao, China [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(38): 5853-5859.
- [26] Wang Y, Zhuang G S, Sun Y L, *et al.* Water-soluble part of the aerosol in the dust storm season-evidence of the mixing between mineral and pollution aerosols [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(37): 7020-7029.
- [27] Claquin T, Schulz M, Balkanski Y. Modeling the mineralogy of atmospheric dust sources [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1999, **104**(D18): 22243-22256.
- [28] Jankowski N, Schmidl C, Marr I L, *et al.* Comparison of methods for the quantification of carbonate carbon in atmospheric PM₁₀ aerosol samples [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(34): 8055-8064.

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, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (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 Jun-shui, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (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 <i>Leymus chinensis</i> 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, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O 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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (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