

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第6期

Vol.35 No.6

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

北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析·····	廖晓农, 张小玲, 王迎春, 刘伟东, 杜佳, 赵玲慧 (2031)
阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究·····	苗红妍, 温天雪, 王跃思, 刘子锐, 王丽, 兰中东 (2045)
上海地铁站台大气颗粒物中过渡金属研究·····	包良满, 雷前涛, 谈明光, 李晓林, 张桂林, 刘卫, 李燕 (2052)
七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究·····	马娟娟, 李真 (2060)
冬季东海、南黄海中 DMS 和 DMSP 浓度分布及影响因素研究·····	宋以柱, 张洪海, 杨桂朋 (2067)
大亚湾石化排污海域重金属污染及生态风险评价·····	徐姗姗, 李纯厚, 徐娇娇, 肖雅元, 林琳, 黄小平 (2075)
深圳水库群表层水中全氟化合物的分布特征·····	王鑫璇, 张鸿, 何龙, 沈金灿, 柴之芳, 杨波, 王艳萍 (2085)
表层岩溶泉水中多环芳烃污染特征及来源解析·····	孙玉川, 沈立成, 袁道先 (2091)
桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程·····	唐文魁, 陶贞, 高全洲, 毛海若, 姜光辉, 焦树林, 郑雄波, 张乾柱, 马赞文 (2099)
汾河源区不同景观带水文过程研究·····	杨永刚, 李彩梅, 秦作栋, 邹松兵 (2108)
北京市通州区地下水分层质量评价及水化学特征·····	郭高轩, 琚宜文, 翟航, 许亮, 沈媛媛, 纪轶群 (2114)
光透法定量两相流中流体饱和度的模型及其应用·····	章艳红, 叶淑君, 吴吉春 (2120)
紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应·····	陈维梁, 高扬, 林勇明, 朱波, 徐亚娟, 于贵瑞, 吴承祯 (2129)
基于非点源溶解态氮负荷估算的率水流域土地利用结构优化研究·····	陆宇超, 毕孟飞, 李泽利, 沙健, 王玉秋, 钱丽萍 (2139)
镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价·····	周晓红, 李义敏, 周艺, 卫安平, 周广顺, 肖思思 (2148)
两种沉水植物对上覆水和间隙水中可溶性无机氮的影响·····	杨文斌, 李阳, 孙共献 (2156)
湖泊沉积物短时间反复扰动下悬浮物上生物有效磷的动态变化·····	武晓飞, 李大鹏 (2164)
不同扰动强度下城市重污染河道底泥对磷吸收和固定的影响·····	王尚, 李大鹏 (2171)
池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究·····	吕元蛟, 李瑞娇, 张念, 赵峰, 谢从新, 张敏 (2178)
再悬浮过程中河流底泥 PAHs 的迁移与释放·····	王晓慧, 毕春娟, 韩景超 (2185)
低分子有机酸对汞氧化还原反应的影响·····	赵士波, 孙荣国, 王定勇, 王小文, 张成 (2193)
活性炭催化过氧化氢去除荧光增白剂·····	刘海龙, 张忠民, 赵霞, 焦茹媛 (2201)
准分子灯光照降解水中烷基酚的动力学·····	刘玉海, 叶招莲, 文颖频, 毕承路 (2209)
AF + BAF 用于处理树脂化工集中区废水厂尾水的研究·····	涂勇, 刘伟京, 张耀辉, 徐军, 唐敏, 陈勇, 白永刚 (2216)
镉(II)-8-羟基喹啉分子印迹聚合物微球的合成及吸附性能研究·····	杨春艳, 陈复彬, 赵慧, 常自强, 章竹君 (2223)
微气泡曝气生物膜反应器同步硝化反硝化研究·····	刘春, 年永嘉, 张静, 张明, 张磊, 龚鹏飞, 肖太民, 李星 (2230)
聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究·····	唐丹琦, 王娟, 郑天龙, 刘建国, 汪群慧 (2236)
丝状菌膨胀对无纺布生物反应器处理效果及膜污染特征的影响·····	侍宽, 薛罡, 高品, 吴凡 (2241)
聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化·····	周振, 胡大龙, 乔卫敏, 陈冠翰, 蒋玲燕, 李震, 麦穗海 (2249)
鄱阳湖持久性有机污染物(POPs)长距离传输潜力模拟·····	弓晓峰, 向洪锐, 陈春丽, 周文斌, 王佳佳, 刘春英, 曾艳 (2256)
基于不确定性分析的垃圾焚烧烟气中重金属的土壤沉积及生态风险评估·····	廖志恒, 孙家仁, 吴兑, 范绍佳, 任明忠, 吕家扬 (2264)
农药企业场地土壤中苯系物污染风险及管理对策·····	谭冰, 王铁宇, 李奇峰, 张海燕, 庞博, 朱朝云, 王道涵, 吕永龙 (2272)
渤海湾海域 10 种鱼类中二噁英类及指示性多氯联苯的污染特征研究及风险评价·····	王莎莎, 高丽荣, 田益玲, 朱帅, 张芹 (2281)
基于荧光传感器 Frex 的特性检测水质环境中生物毒性物质·····	赵巍, 汪钊, 蔡强, 欧文斌, 孟凡国 (2287)
对苯二酚抑制铜绿微囊藻生长下藻毒素的产生与释放·····	张元春, 梁文艳, 赵远, 李飞贞, 曹敬灿, 胡绍杰 (2294)
基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育·····	赵凤敏, 梅帅, 曹有福, 丁进锋, 徐嘉杰, 李树君 (2300)
酸性矿山废水库周边土壤微生物多样性及氨氧化菌群落研究·····	刘莹, 王丽华, 郝春博, 李璐, 李思远, 冯传平 (2305)
河蚬(<i>Corbicula fluminea</i>)扰动对表层沉积物中氨氧化菌群落结构和丰度的影响·····	王雪, 赵大勇, 曾巾, 余多慰, 吴庆龙 (2314)
海洋油气田沉积物产甲烷活性及微生物生态·····	田琪, 王佳, 范晓蕾, 罗生军, 郭荣波, 邱艳玲 (2322)
DGGE 及 T-RFLP 分析光照下电位对细菌群落的影响·····	吴义诚, 邓欢, 肖勇, 赵峰 (2328)
重金属抗性解磷细菌的磷溶解特性研究·····	田江, 彭霞薇, 李霞, 孙雅君, 冯红梅, 江泽平 (2334)
1 株耐冷兼性嗜碱好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性·····	王兆阳, 陈国耀, 姜珂, 许培雅 (2341)
黑麦草-丛枝菌根对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响·····	江玲, 杨芸, 徐卫红, 王崇力, 陈蓉, 熊仕娟, 谢文文, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (2349)
黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应·····	李玲, 仇少君, 陈印平, 赵西梅, 刘京涛, 陆兆华 (2358)
宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征·····	蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 黄懿梅 (2365)
长期施用四环素残留猪粪对土壤中耐药菌及抗性基因形成的影响·····	张俊, 杨晓洪, 葛峰, 王娜, 焦少俊, 叶波平 (2374)
长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响·····	常同举, 崔孝强, 阮震, 赵秀兰 (2381)
伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价·····	赵新儒, 特拉津·那斯尔, 程永毅, 詹江渝, 杨剑虹 (2392)
江苏如东互花米草盐沼湿地重金属分布及其污染评价·····	张龙辉, 杜永芬, 王丹丹, 高抒, 高文华 (2401)
小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析·····	欧阳威, 蔡冠清, 黄浩波, 耿晓君 (2411)
保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究·····	张赛, 王龙昌, 黄召存, 贾会娟, 冉春燕 (2419)
米楮天然林和人工林土壤呼吸的比较研究·····	吴君君, 杨智杰, 翁发进, 刘小飞, 陈朝琪, 林伟盛, 王小红, 陈坦 (2426)
水力停留时间对复合式厌氧折流板反应器乙醇型发酵制氢系统的影响·····	刘晓桦, 张洪, 李永峰 (2433)
《环境科学》征订启事 (2208)	
《环境科学》征稿简则 (2400)	
信息 (2084, 2200, 2229, 2391)	

阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究

苗红妍^{1,2}, 温天雪^{1*}, 王跃思¹, 刘子锐¹, 王丽¹, 兰中东³

(1. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆阜康荒漠生态国家野外科学观测研究站, 阜康 830011)

摘要: 为了了解阜康大气气溶胶中水溶性无机离子的浓度水平、来源以及粒径分布, 本研究于2011年2月~2012年2月利用8级惯性撞击式分级采样器采集了阜康大气气溶胶样品, 使用离子色谱测定了其中水溶性无机离子含量. 分析比较了非采暖期和采暖期主要离子的变化趋势、浓度水平、构成、来源以及粒径分布, 在此基础上选取特殊采样日分析了重污染、秸秆燃烧以及春耕期的离子组成以及粒径分布的差异. 结果表明, 阜康细粒子、粗粒子中总水溶性无机离子(TWSI)在非采暖期和采暖期的浓度分别为11.17、12.68 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和35.98、22.22 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 非采暖期的 SO_4^{2-} 主要来自盐碱土扬尘, NO_3^- 和 NH_4^+ 主要来自农田土壤扬尘, 而采暖期的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 主要来自煤炭等化石燃料燃烧. 8种离子在非采暖期和采暖期均呈现双峰分布, 相对于非采暖期, 采暖期的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 在细粒径段的峰值发生了粒径增长, SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 在粗粒径段的峰值出现在3.3~4.7 μm 处. 重污染期间二次污染严重, 离子主要分布在1.1~2.1 μm 处; 秸秆燃烧期受生物质燃烧影响大, 离子主要分布在<0.65 μm 粒径段; 春耕期土壤扬尘较多, 离子主要分布在>3.3 μm 粒径段.

关键词: 粒径分布; 采暖期和非采暖期; 水溶性无机离子; 重污染; 农业活动; 阜康

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)06-2045-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2014.06.002

Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang

MIAO Hong-yan^{1,2}, WEN Tian-xue¹, WANG Yue-si¹, LIU Zi-rui¹, WANG Li¹, LAN Zhong-dong³

(1. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Xinjiang Fukang Desert Ecological State Field Scientific Observation Station, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Fukang 830011, China)

Abstract: To investigate the levels and size distributions of water soluble inorganic components, samples were collected with Andersen cascade sampler from Feb. 2011 to Feb. 2012, in Fukang, and were analyzed by IC. The variation trend, concentration level, composition, sources and size distribution of major ions during non-heating period were compared with heating period. Based on the specific samples, ionic compositions and size distributions were analyzed during heavy pollution, straw burning and spring planting periods. The results showed that inorganic components in Fukang were severely affected by heating. The total water soluble ions in fine and coarse particles during non-heating and heating periods were 11.17, 12.68 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and 35.98, 22.22 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. SO_4^{2-} was mainly from saline-alkali soil, NO_3^- and NH_4^+ were from resuspension of farmland soil during non-heating period, while SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ were all from the fossil fuel consumption during the heating period. All ions were bimodal distribution during non-heating and heating periods. During the heating period, the particle size growth of SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ in fine mode was found, SO_4^{2-} and NH_4^+ peaked at 3.3~4.7 μm in coarse particles. Secondary pollutions were serious during heavy pollution days with high levels of secondary ions between 1.1 and 2.1 μm . Biomass burning obviously affected the size distribution of ions during the straw burning period and ions focused on smaller than 0.65 μm , while there were more soil dusts during spring planting periods and ions concentrated in larger than 3.3 μm .

Key words: size distribution; heating and non-heating periods; water-soluble inorganic ions; heavy pollution; agricultural activity; Fukang

我国西北地区的地理和气候环境与中东部地区存在较大的差异, 气溶胶的质量浓度和化学组成也与中东部地区存在一定的差别^[1~4]. 但是以往关于西北气溶胶的研究主要集中于兰州^[5]、乌鲁木齐^[6]等城市, 并且绝大多数研究关注可吸入颗粒物和细粒子, 对气溶胶粒径分布研究很少. 已有研究显示, 认知气溶胶中化学组分粒径分布对气溶胶的气候和

环境效应研究具有重要作用^[7~9].

阜康荒漠生态国家野外科学观测研究站(阜康

收稿日期: 2013-09-25; 修订日期: 2013-12-04

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05100100, XDB05020000); 国家自然科学基金项目(41230642, 41375128)

作者简介: 苗红妍(1985~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为大气化学和大气环境, E-mail: mhy@dq.cern.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: wtx@dq.cern.ac.cn

站)位于新疆维吾尔自治区阜康市北亭镇,准葛尔盆地南缘,阜康县的三工河流域,往南距阜康市中心 18 km,往西南距乌鲁木齐市 76 km(图 1)。属于典型的大陆性干旱气候,夏季炎热干燥,冬季酷寒潮湿,每年的采暖时间长达 6 个月(当年 10 月 15 日~次年 4 月 15 日)。阜康站是绿洲与荒漠之间的过渡区,对该站点的观测不仅可以补充城市的观测,也有助于全面了解过渡区的大气状况。站点周边以农田为主,除施肥、犁地、秋割等农业活动外无其他明显的人为污染源。本研究于 2011 年 2 月~2012 年 2 月对阜康大气气溶胶进行了分级采样,分析了大气气溶胶中水溶性无机离子的年均浓度水平、构成、来源以及粒径分布,探究了重污染、秸秆燃烧以及春耕期间大气气溶胶中水溶性无机离子的特征。

1 材料与方法

采样点位于阜康站(E 87.92°,N 44.28°)实验楼二楼楼顶,使用安德森 8 级撞击式分级采样器(Andersen impacter serial L-8996)采集大气气溶胶样品,流速为 28.3 L·min⁻¹,粒子 50% 切割等效空气动力学粒径为 9.0、5.8、4.7、3.3、2.1、1.1、0.65 和 0.43 μm。2011 年 2 月~2012 年 2 月,每两周采样一次,连续采集 48 h,采样时间从当日 10:00 至第 3 日上午 10:00,使用混合纤维素酯膜采样。采集后的膜样品置于冰箱内冷冻避光保存至分析,共采集有效样品 30 组。

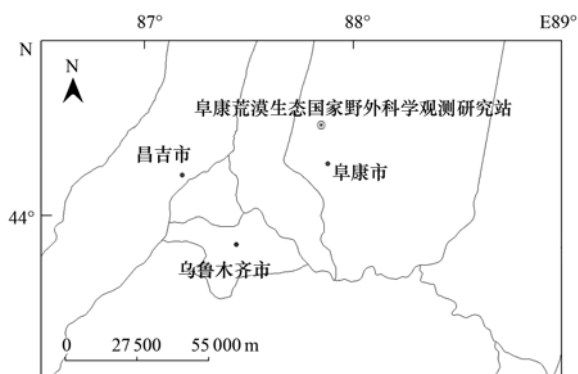


图 1 采样点示意

Fig. 1 Location of the sampling station

取 1/2 张膜置于 PET 瓶中,加入 25 mL 去离子水,恒温超声提取 30 min,经 0.22 μm 滤膜过滤后用 ICS-90 离子色谱测定其中阳离子 Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 和阴离子 Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻ 的含量。阳离子检测采用 Ionpac CS12A 4×250 mm 分离

柱、CSRS 300-4mm 抑制器,淋洗液为 22 mmol·L⁻¹ 的 MSA; 阴离子检测采用 Ionpac AS14A 4×250 mm 分离柱,ASRS 300-4 mm 抑制器,淋洗液为 3.5 mmol·L⁻¹ 的 Na₂CO₃ 和 1.0 mmol·L⁻¹ 的 NaHCO₃ 混合溶液。进样量为 10 μL 时,各离子的最低检测限均小于 0.12 μg·m⁻³。

2 结果与讨论

2.1 水溶性离子浓度变化趋势

由于 Andersen 采样器没有 2.5 μm 的切割粒径,因此本研究把空气动力学直径 2.1 μm 作为粗、细粒子的分界, $D_p \leq 2.1 \mu\text{m}$ 的粒子称为细粒子, $D_p > 2.1 \mu\text{m}$ 的粒子称为粗粒子。

如图 2 所示,阜康大气气溶胶中水溶性离子受采暖影响较大,离子浓度水平和变化幅度在非采暖期和采暖期明显不同,细粒子表现更为突出。非采暖期水溶性无机离子浓度较低,变化小,细粒子和粗粒子中的总水溶性离子(TWSI)分别为 11.17 μg·m⁻³ 和 12.68 μg·m⁻³。采暖期水溶性无机离子浓度高,多次出现污染过程,细粒子和粗粒子中的 TWSI 分别为 35.98 μg·m⁻³ 和 22.22 μg·m⁻³,是非采暖期的 3.2 和 1.8 倍。并且采暖期水溶性离子浓度水平变化幅度大,细粒子中 TWSI 的全年最高值和最低值均出现在采暖期,最低值(2012-01-18)仅有 4.83 μg·m⁻³,最高值(2012-01-10)达到了 115.70 μg·m⁻³,是最低值的 24 倍。与西北的乌鲁木齐^[10]、西安^[11]、兰州^[5]等城市相比,阜康大气气溶胶中水溶性无机离子含量较低,但是高于北部的阿克达拉^[2]背景区,表明阜康仍然受到部分人为污染,可能与周边的农业活动及采暖期化石燃料燃烧有关。

除 Ca²⁺ 以外,各水溶性离子的浓度变化与 TWSI 总体一致,采暖期明显高于非采暖期。而 Ca²⁺ 无论是粗粒子还是细粒子,均是非采暖期高于采暖期,特别是在 6~11 月期间粗粒子浓度较高,并且变化幅度更大,土壤尘来源的 Mg²⁺ 在此期间变化较小,周边也没有明显的建筑活动,表明非采暖期 Ca²⁺ 可能有其它未知的来源。

虽然除 Ca²⁺ 外其它离子浓度变化趋势基本一致,但部分离子在某些特定时期呈现一定的独特变化。每年 4~5 月是阜康的春耕时期,在这期间水溶性离子浓度在粗粒子中显著升高,而细粒子中无明显变化,如 2011 年 4 月 12 日的样品,粗粒子中 NO₃⁻、NH₄⁺、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 Na⁺ 的浓度分别是

前后两次采样的 1.0 ~ 2.8 倍,而细粒子中这几种离子浓度仅是前后两次的 0.8 ~ 1.5 倍。此外,在 10 月中旬到 11 月初农民集中整地焚烧秸秆期间,生物质燃烧的示踪离子 K^+ 和 Cl^- [12] 浓度较平时出现了显

著增加,如 2011 年 11 月 1 日样品,细粒子中的 Cl^- 浓度为全年最高值, K^+ 也显著高于非秸秆燃烧期, S-N-A ($S:SO_4^{2-}$, $N:NO_3^-$, $A:NH_4^+$) 浓度水平也相对较高。

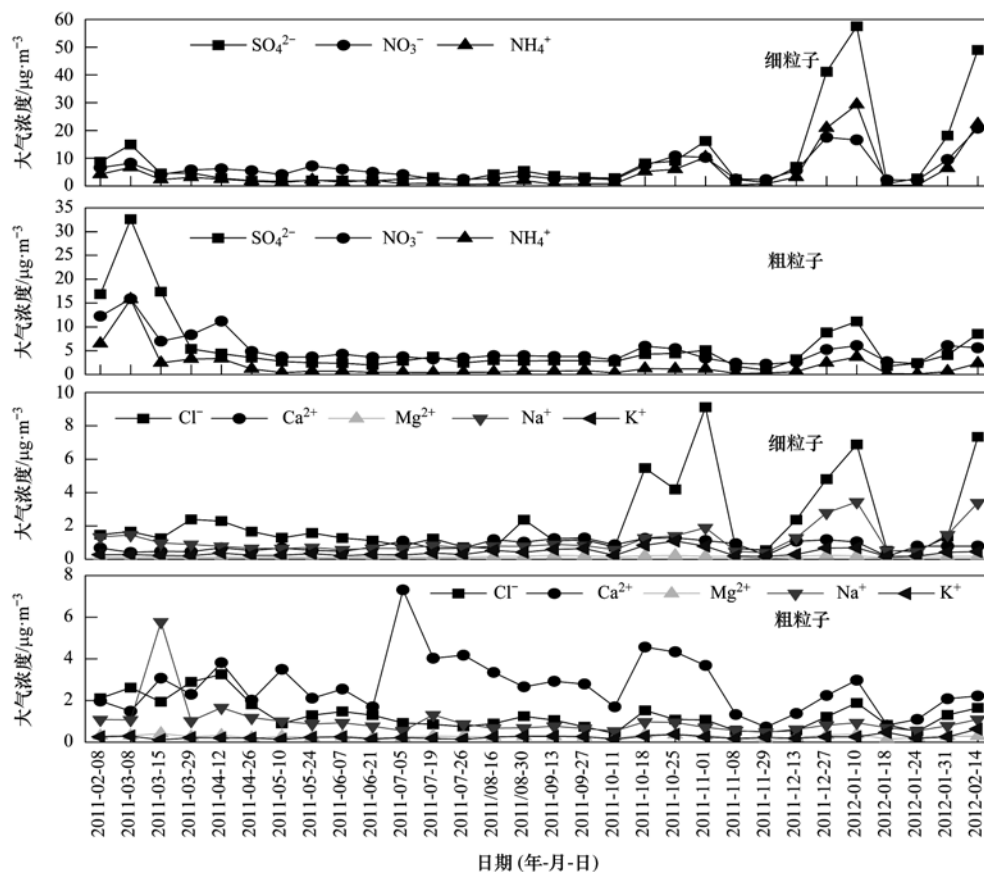


图2 阜康气溶胶中水溶性无机离子的时间变化

Fig. 2 Temporal variation of water soluble inorganic ions in atmospheric aerosols in Fukang

2.2 无机离子构成及来源

非采暖期和采暖期气溶胶中水溶性无机离子的构成以及在粗、细粒子中的分布存在一定的差别。由表 1 可知,非采暖期细粒子中含量最高的 3 种离子依次是 $NO_3^- > SO_4^{2-} > NH_4^+$,粗粒子中为 $NO_3^- > Ca^{2+} > SO_4^{2-}$,说明 NO_3^- 对当地大气质量的影响很大,下文将进一步探究 NO_3^- 的来源;非采暖期气溶胶中水溶性离子在粗粒子中分布较多,气溶胶中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 和 Cl^- 在粗粒子中的分布比例分别为 50%、49%、33% 和 47%,高于我国其他地区 [13]。采暖期细粒子和粗粒子中含量最高的 3 种离子都依次为: $SO_4^{2-} > NO_3^- > NH_4^+$,这说明采暖期煤炭燃烧对粗、细粒子都造成了一定的影响,致使与煤炭燃烧密切相关的 SO_4^{2-} 成为气溶胶中含量最高的离子。采暖期除了 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 之外的 6 种离子都主要分布在细粒子中,细粒子中 S-N-A 以及

Cl^- 的浓度分别是非采暖期的 5.2、2.1、5.9 和 2.6 倍,与其它地区类似。

鉴于气溶胶中的 3 种主要成分 S-N-A 在非采暖期和采暖期的构成比例存在一定的差别,对三者进行了相关分析。非采暖期气溶胶中 SO_4^{2-} 与 NO_3^- 和 NH_4^+ 相关性差,与 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 显著相关 ($R^2 \geq 0.64$, $n = 13$),考虑到西北盐渍区离子主要以 SO_4^{2-} - Na^+ 为主 [14], Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 又是沙尘的主要离子,加上 SO_4^{2-} 在粗粒子中分布较多,因此推测非采暖期的 SO_4^{2-} 主要来自盐碱土扬尘,而不是二次转化;气溶胶中的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Cl^- 三者相关性很好 ($R^2 \geq 0.74$, $n = 13$),这 3 种离子正是肥料的主要成分,推测非采暖期这 3 种离子主要来自肥料残留的农田土壤扬尘;可见非采暖期阜康气溶胶中 S-N-A 与其他地区二次转化同源性的观测结果不同 [15~17]。采暖期气溶胶中 S-N-A 三者之间呈现显著相关 (R^2

≥0.80, $n = 17$), 同源性强, 而且三者主要分布在细粒子中, 因此推测这 3 种离子与乌鲁木齐^[18,19]、北京^[20]、西安^[21]等地一样, 主要来自煤炭等化石燃料燃烧.

表 1 阜康气溶胶中水溶性无机离子浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Concentration of water-soluble inorganic ions in atmospheric aerosols in Fukang/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

项目	非采暖期 (2012-04-26 ~ 2012-10-11)		采暖期 (2011-02-08 ~2011-04-12, 2011-10-18 ~2012-02-14)		重污染期 (2012-01-10 ~ 2012-01-13)		秸秆燃烧期 (2011-11-01 ~ 2011-11-03)		春耕期 (2011-04-12 ~ 2011-04-15)	
	细粒子	粗粒子	细粒子	粗粒子	细粒子	粗粒子	细粒子	粗粒子	细粒子	粗粒子
TWSI	11.17	12.68	35.98	22.22	115.69	27.28	49.95	15.69	15.72	28.12
SO_4^{2-}	2.79	2.82	14.65	7.82	57.54	11.15	16.20	5.05	2.82	4.39
NO_3^-	3.91	3.77	8.16	6.16	16.61	6.05	10.32	3.47	6.18	11.20
NH_4^+	1.24	0.61	7.30	2.67	29.29	3.66	10.37	1.14	2.51	3.30
Cl^-	1.21	1.05	3.10	1.50	6.89	1.88	9.11	1.07	2.28	3.25
Ca^{2+}	0.83	3.14	0.78	2.36	1.04	2.98	1.11	3.68	0.68	3.81
Mg^{2+}	0.14	0.25	0.15	0.28	0.20	0.37	0.17	0.32	0.12	0.32
Na^+	0.70	0.83	1.42	1.16	3.44	0.94	1.89	0.71	0.76	1.65
K^+	0.35	0.21	0.42	0.27	0.68	0.25	0.78	0.25	0.37	0.20

$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值通常用来判断固定源和移动源对大气质量的相对贡献. 阜康非采暖期粗、细粒子中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 分别为 1.3 和 1.4, 采暖期比值为 0.8 和 0.6. 从比值看, 采暖期比值小于 1, 这符合采暖期煤烟型污染的特点. 非采暖期的比值大于 1, 与我国北京^[22]、上海^[23]等大城市的观测结果接近, 但是与交通发达的城市不同, 本研究采样点周边受机动车影响很小. 因此推测 NO_3^- 显著高于 SO_4^{2-} 主要有以下两点原因: 首先, 阜康站位于乡镇, 采样点周边无明显 SO_2 排放源, 非采暖期 SO_4^{2-} 量较低; 其次, 非采暖期的肥料挥发以及肥料残留的农田土壤扬尘致使大气中 NO_3^- 的含量相对较高, 两点共同导致 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 高值的出现. 由此可知, 阜康的非采暖期用 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 来判断固定源和移动源的贡献并不恰当, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值并不总能判断固定源和移动源的相对贡献, 需要根据采样点的情况具体分析.

2.3 气溶胶中水溶性无机离子粒径分布

图 3 给出了 8 种离子在非采暖期以及采暖期的平均粒径分布. 非采暖期气溶胶中的水溶性无机离子都呈双峰分布, 其中 NH_4^+ 以细粒径段的峰值为主, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 以及 K^+ 在粗细粒径段分布相当, 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 以粗粒径段的峰值为主. 细粒径段中除了 NO_3^- 之外的 7 种离子都在 0.43 ~ 0.65 μm 处出现峰值, 而 NO_3^- 在 0.43 ~ 2.1 μm 处出现峰值; 8 种离子在粗粒径段的峰值都出现在 4.7 ~ 5.8 μm 处. 相比较而言, 非采暖期阜康气溶胶中水溶性离子在粗粒径段的分布比例高于我国中东部地区^[24~26], 推测这主要与当地距离荒漠较近有关.

采暖期部分离子粒径分布的峰值和出峰位置较非采暖期存在一定的差别. 采暖期的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 Na^+ 虽然也呈现双峰分布, 但 5 种离子在细粒径段的峰值均显著高于粗粒径段, 而且这 5 种离子在细粒径段峰值较非采暖期的增加量显著高于粗粒径段峰值的增加量; 采暖期的 K^+ 也呈现双峰分布, 其在采暖期粗粒径的峰值略高于非采暖期; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的粒径分布受采暖影响较小, Ca^{2+} 在粗粒径段的峰值略低于非采暖期. 采暖期的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 在细粒径段的峰值均出现在 0.43 ~ 1.1 μm 处, 较非采暖期发生了向较大粒径段移动的趋势, 以往在京津冀^[15~17]、珠三角^[27]湿度增加的情况下也都观测到了离子向较大粒径转移的现象, 只是这些地区均是夏季湿度大, 冬季湿度小, 所以吸湿增长往往发生在夏季, 而阜康则是采暖期湿度大、非采暖期湿度小, 而且采暖期气体污染物增加迅速, 气粒转化强烈, 导致阜康水溶性离子在采暖期出现明显粒径增长. 粗粒径段中除了 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 之外的 6 种离子均在 4.7 ~ 5.8 μm 处出现峰值, 而 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 的峰值出现在 3.3 ~ 4.7 μm 处, 这两种离子受采暖影响较大, 推测该峰值可能是受到煤炭粉尘以及飞灰颗粒的影响. 乔佳佳等^[28]在青岛的采暖期也观测到了颗粒物在 3.3 ~ 4.7 μm 出现峰值的现象.

2.4 重污染、秸秆燃烧和春耕期的水溶性离子特征

根据 2.1 节的描述, 选择 2012-01-10、2011-11-01 和 2011-04-12 这 3 个样品作为重污染、秸秆燃烧期以及春耕期的代表, 在此基础上对 3 个特定采样日水溶性离子特征进行比较分析.

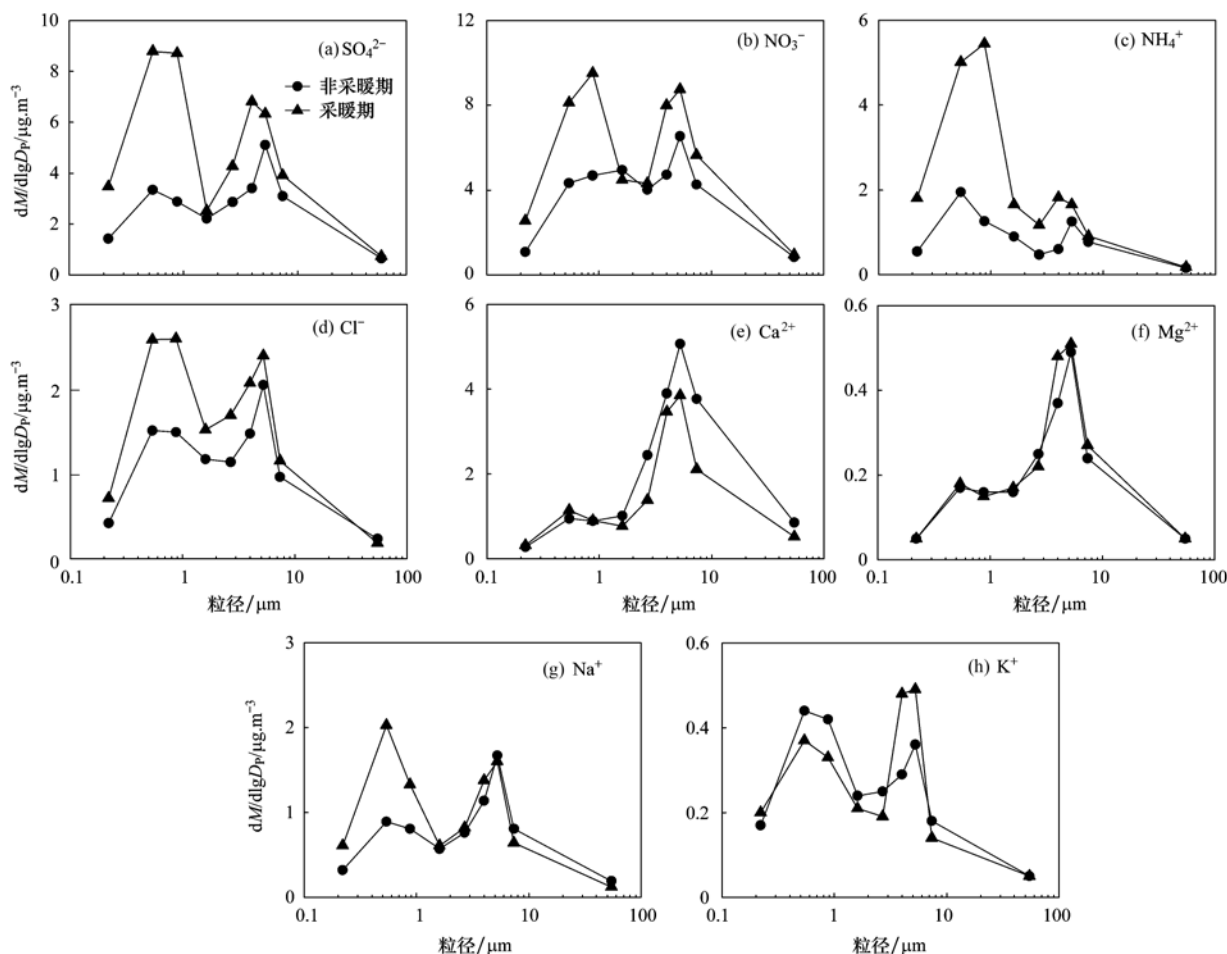


图3 气溶胶中水溶性无机离子粒径分布

Fig. 3 Mass size distributions of water-soluble inorganic ions

2.4.1 离子构成

表1给出了冬季重污染、秸秆燃烧以及春耕三段时期水溶性无机离子的浓度水平. 从离子构成来看,在细粒子中,重污染期和秸秆燃烧期3种主要离子都是S-A-N,但是两段时期主要离子的构成比例存在较大的差别,重污染期间S-A-N总和高达TWSI的89%,其他离子含量均较低,而秸秆燃烧期的S-A-N总和占TWSI的74%,除了这3种主要离子外,秸秆燃烧期的 Cl^- 含量较高,占TWSI的18%,而且 K^+ 的绝对浓度和所占比例也均高于重污染期,可见重污染期二次离子污染十分严重,与其他地区污染期的观测结果一致^[19,29,30],除二次离子外, Cl^- 与 K^+ 也是影响秸秆燃烧期质量的主要因素. 春耕期离子构成与重污染和秸秆燃烧期不同,3种主要离子是N-S-A,而且 Cl^- 含量较高,与 NH_4^+ 接近.

在粗粒子中,重污染期的3种主要离子是S-N-A,说明化石燃料燃烧对粗粒子也造成了一定的影响,而秸秆燃烧期和春耕期分别是S- Ca^{2+} -N和N-S-

Ca^{2+} ,并且两段时期 Na^+ 比例较高,因此推测这两段时期粗粒子中的离子组成主要与农业活动有关,田间耕作和整理秸秆过程中会将土壤扬尘带至大气中,进而影响大气质量,赵鹏等^[31]关于北京郊区菜地的研究中也发现了类似的现象.

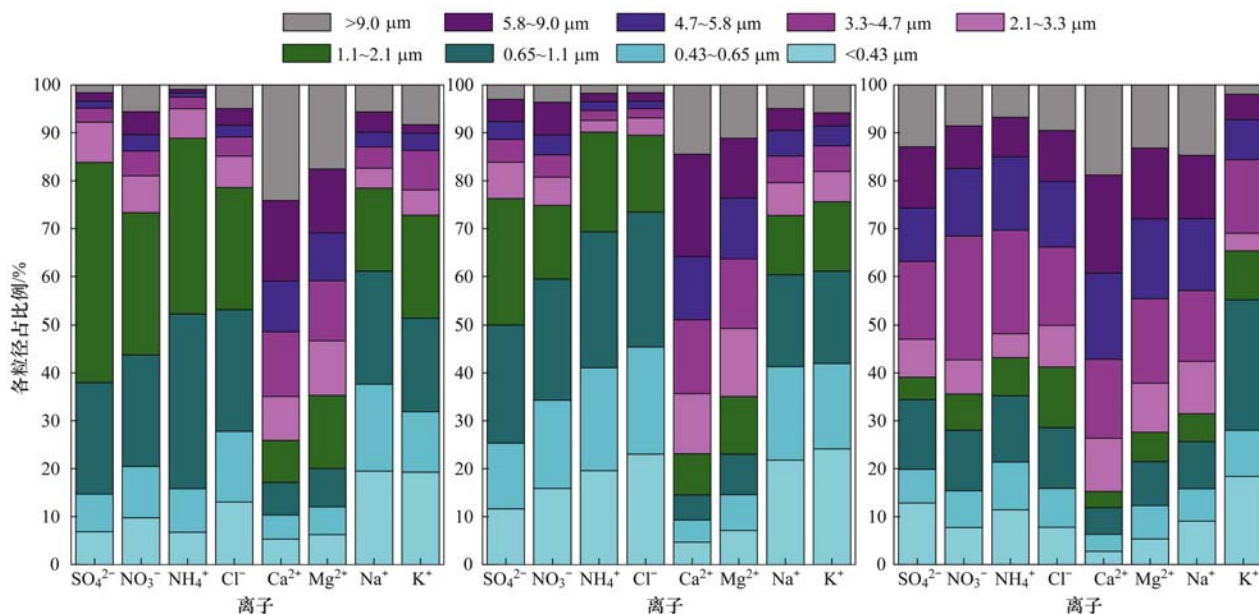
2.4.2 粒径分布

重污染、秸秆燃烧以及春耕期水溶性无机离子在不同粒径段的分布比例存在较明显的差别. 如图4所示,重污染和秸秆燃烧期的离子除了 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 之外都主要分布在细粒子中,而春耕期除 K^+ 外都主要分布在粗粒子中,并且 K^+ 在粗粒径段的分布与其他两段时期相似,由此可见,重污染期和秸秆燃烧期主要是细粒子污染,而春耕期主要是粗粒子污染.

从各个粒径段的分布来看,重污染期的离子主要集中在 $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 处,3种主要离子S-N-A在该段的比例分别达到了46%、30%和37%. 这是因为一方面重污染期间大气相对稳定,已经生成的粒

子不断地积累老化,进而增大了离子粒径,另一方面,重污染期大气湿度高于 75%,离子极易吸湿增长,或者与非降水的云滴或雾滴结合进而增加了其在大粒径段的含量. 秸秆燃烧期的离子主要集中在 $<0.65\ \mu\text{m}$ 粒径段,除 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 外其它 6 种离子在该粒径段的比例均超过了 25%, Cl^- 和 K^+ 分别达到了 45% 和 42%,而且二者在 $<0.43\ \mu\text{m}$ 的比例均超过了 20%. 已有研究报道,凝结模态的粒子主要来自燃烧源的直接排放或二次物种的气-粒转化反应,包

括大气中燃烧产生的热蒸汽的凝结以及成核的气态反应产物,加上本次秸秆燃烧期间大气的相对湿度高于 70%,离子会进一步吸湿增长,因此,秸秆燃烧过程中的离子多集中在 $<0.65\ \mu\text{m}$ 粒径段也就不足为奇. 春耕期的离子主要分布在 $>3.3\ \mu\text{m}$ 粒径段,除 K^+ 之外的 7 种离子在该粒径段的分布比例均超过了 50%,这是由于相对于其他两个季节,春季风速较大,湿度较小($\text{RH}\approx 40\%$),加上农田耕作对土壤的扰动,沙尘、农田土壤更容易进入大气中.



分别是 2012-01-10、2011-11-01 以及 2011-04-12 的样品

图 4 重污染、秸秆燃烧以及春耕期水溶性无机离子在不同粒径段的分布比例

Fig. 4 Size distributions of ions during heavy pollution, straw burning and spring planting periods

3 结论

(1) 阜康气溶胶中水溶性无机离子受采暖影响较大,非采暖期离子含量较低,浓度水平变化小,采暖期离子含量较高,浓度水平变化大.

(2) 非采暖期和采暖期气溶胶中主要离子构成比例存在一定的差别,非采暖期的 SO_4^{2-} 主要来自盐碱土, NO_3^- 和 NH_4^+ 来自农田土壤扬尘,采暖期的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 都主要来自煤炭等化石燃料燃烧.

(3) 水溶性无机离子在非采暖期和采暖期均呈现双峰分布,采暖期 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Cl^- 和 Na^+ 较非采暖期在细粒径段峰值的增加量大于粗粒径段,并且 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 在细粒径段的峰值较非采暖期发生了位移,而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 受采暖影响很小.

(4) 重污染期以二次污染为主,离子主要集中在 $1.1\sim 2.1\ \mu\text{m}$ 处,秸秆燃烧期除 S-A-N 外,还受到 Cl^- 和 K^+ 的影响,离子主要集中在 $<0.65\ \mu\text{m}$ 粒径段,春耕时期 Ca^{2+} 和 Na^+ 的含量较高,离子主要分布在 $>3.3\ \mu\text{m}$ 粒径段.

参考文献:

- [1] Cheng M C, You C F, Cao J J, *et al.* Spatial and seasonal variability of water-soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ aerosols in 14 major cities in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **60**: 182-192.
- [2] Zhang X Y, Wang Y Q, Niu T, *et al.* Atmospheric aerosol compositions in China: spatial/temporal variability, chemical signature, regional haze distribution and comparisons with global aerosols[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12** (2): 779-799.
- [3] Hu H, Yang Q, Lu X, *et al.* Air pollution and control in different areas of China[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2010, **40**(6): 452-518.
- [4] 郑小波, 罗宇翔, 赵天良, 等. 中国气溶胶分布的地理学和

- 气候学特征[J]. 地理科学, 2012, **32**(3): 265-272.
- [5] 张宁, 李利平, 王式功, 等. 兰州市城区与背景点冬季大气气溶胶中主要无机离子的组成特征[J]. 环境化学, 2008, **27**(4): 494-498.
- [6] 杨浩. 乌鲁木齐市 TSP 浓度、形貌及水溶性离子特性分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2011.
- [7] Spindler G, Gnauk T, Gruner A, *et al.* Size-segregated characterization of PM₁₀ at the EMEP site Melpitz (Germany) using a five-stage impactor; a six year study [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2012, **69**(2): 127-157.
- [8] Quinn P K, Covert D S, Bates T S, *et al.* Dimethylsulfid cloud condensation nuclei climate system: Relevant size-resolved measurements of the chemical physical properties of atmospheric aerosol particles [J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 1993, **98**(D6): 10411-10427.
- [9] Wang M, Penner J E. Aerosol indirect forcing in a global model with particle nucleation [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(1): 239-260.
- [10] 刘新春, 钟玉婷, 何清, 等. 乌鲁木齐市不同天气条件下 TSP 水溶性离子特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, **6**(5): 60-66.
- [11] 张碧云, 张承中, 周变红, 等. 西安采暖期 PM_{2.5} 及其水溶性无机离子的时段分布特征[J]. 环境工程学报, 2012, **6**(5): 1643-1646.
- [12] 祝斌, 朱先磊, 张元勋, 等. 农作物秸秆燃烧 PM_{2.5} 排放因子的研究[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(2): 29-33.
- [13] 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 等. 贡嘎山大气气溶胶中水溶性无机离子的观测与分析研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(1): 9-13.
- [14] 顾峰雪, 张远东, 刘永强, 等. 阜康绿洲土壤盐渍化特征及其与肥力的相关性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, **17**(2): 78-82.
- [15] 胡敏, 赵云良, 何凌燕, 等. 北京冬、夏季颗粒物及其离子成分质量浓度谱分布[J]. 环境科学, 2005, **26**(4): 1-6.
- [16] Cheng S H, Yang L X, Zhou X H, *et al.* Size-fractionated water-soluble ions, situ pH and water content in aerosol on hazy days and the influences on visibility impairment in Jinan, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(27): 4631-4640.
- [17] 苗红妍, 温天雪, 王丽, 等. 唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1225-1231.
- [18] 亚力昆江·吐尔逊, 迪丽努尔·塔力甫, 阿不力克木·阿布力孜, 等. 乌鲁木齐市冬季大气 PM_{10-2.5}、PM_{2.5} 中水溶性无机离子的化学特征[J]. 环境工程, 2010, **28**(S1): 196-199.
- [19] Li J, Zhuang G S, Huang K, *et al.* The chemistry of heavy haze over Urumqi, Central Asia [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2008, **61**(1): 57-72.
- [20] 张凯, 王跃思, 温天雪, 等. 北京大气重污染过程 PM₁₀ 中水溶性盐的研究[J]. 中国环境科学, 2006, **26**(4): 385-389.
- [21] 韩月梅, 沈振兴, 曹军骥, 等. 西安市大气颗粒物中水溶性无机离子的季节变化特征[J]. 环境化学, 2009, **28**(2): 261-266.
- [22] 赵普生, 张小玲, 孟伟, 等. 京津冀区域气溶胶中无机水溶性离子污染特征分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(6): 1546-1549.
- [23] 徐昶. 中国特大城市气溶胶的理化性质、来源及其形成机制[D]. 上海: 复旦大学, 2010.
- [24] 王丽, 温天雪, 苗红妍, 等. 保定大气颗粒物中水溶性无机离子质量浓度及粒径分布[J]. 环境科学研究, 2013, **26**(5): 516-521.
- [25] 于阳春. 济南市大气颗粒物中水溶性无机离子的粒径分布研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [26] 耿彦红, 刘卫, 单键, 等. 上海市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布特征[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(12): 1585-1589.
- [27] Liu S, Hu M, Slanina S, *et al.* Size distribution and source analysis of ionic compositions of aerosols in polluted periods at Xinken in Pearl River Delta (PRD) of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(25): 6284-6295.
- [28] 乔佳佳, 祁建华, 刘苗苗, 等. 青岛采暖期不同天气状况下大气颗粒态无机氮分布研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(1): 29-35.
- [29] Tan J H, Duan J C, Chen D H, *et al.* Chemical characteristics of haze during summer and winter in Guangzhou [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 238-245.
- [30] Shen Z X, Cao J J, Arimoto R, *et al.* Ionic composition of TSP and PM_{2.5} during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(18): 2911-2918.
- [31] 赵鹏, 朱彤, 梁宝生, 等. 北京郊区农田夏季大气颗粒物质量和离子成分谱分布特征[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 193-199.

CONTENTS

Comparative Analysis on Meteorological Condition for Persistent Haze Cases in Summer and Winter in Beijing	LIAO Xiao-nong, ZHANG Xiao-ling, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2031)
Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2045)
Study on Transition Metals in Airborne Particulate Matter in Shanghai City's Subway	BAO Liang-man, LEI Qian-tao, TAN Ming-guang, <i>et al.</i> (2052)
Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiye Glacier Region	MA Juan-juan, LI Zhen (2060)
Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter	SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (2067)
Pollution by Heavy Metals in the Petrochemical Sewage Waters of the Sea Area of Daya Bay and Assessment on Potential Ecological Risks	XU Shan-nan, LI Chun-hou, XU Jiao-jiao, <i>et al.</i> (2075)
Distribution of Perfluorinated Compounds in Surface Water of Shenzhen Reservoir Groups	WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, HE Long, <i>et al.</i> (2085)
Contamination and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Epikarst Spring Water	SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, YUAN Dao-xian (2091)
Biogeochemical Processes of the Major Ions and Dissolved Inorganic Carbon in the Guijiang River	TANG Wen-kui, TAO Zhen, GAO Quan-zhou, <i>et al.</i> (2099)
Hydrologic Processes of the Different Landscape Zones in Fenhe River Headwater Catchment	YANG Yong-gang, LI Cai-mei, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i> (2108)
Assessment of Groundwater Quality of Different Aquifers in Tongzhou Area in Beijing Plain and Its Chemical Characteristics Analysis	GUO Gao-xuan, JU Yi-wen, ZHAI Hang, <i>et al.</i> (2114)
Models for Quantification of Fluid Saturation in Two-Phase Flow System by Light Transmission Method and Its Application	ZHANG Yan-hong, YE Shu-jun, WU Ji-chun (2120)
Nitrogen Leaching and Associated Environmental Health Effect in Sloping Cropland of Purple Soil	CHEN Wei-liang, GAO Yang, LIN Yong-ming, <i>et al.</i> (2129)
Research on Land Use Structure Optimization Based on Nonpoint Source Dissolved Nitrogen Load Estimation in Shuashui Watershed	LU Yu-chao, BI Meng-fei, LI Ze-li, <i>et al.</i> (2139)
Nitrogen and Organic Matter Vertical Distribution Characteristics and Evaluation in Ancient Canal Sediments of Zhenjiang Old Town	ZHOU Xiao-hong, LI Yi-min, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (2148)
Effects of Two Submerged Macrophytes on Dissolved Inorganic Nitrogen in Overlying Water and Interstitial Water	YANG Wen-bin, LI Yang, SUN Gong-xian (2156)
Bioavailable Phosphorus on Suspended Solids of Lake Under Short-term and Repeated Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng (2164)
Influence of Different Disturbance Intensity on the Phosphorus Adsorption and Immobilization by the Sediments from an Inner City Heavily Polluted Canal	WANG Shang, LI Da-peng (2171)
Effect of Feed Residues on the Release of Nitrogen and Phosphorus of Pond Sediment	LÜ Yuan-jiao, LI Rui-jiao, ZHANG Nian, <i>et al.</i> (2178)
Delivery and Release of Sediment PAHs During Resuspension	WANG Xiao-hui, BI Chun-juan, HAN Jing-chao (2185)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Redox Reactions of Mercury	ZHAO Shi-bo, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2193)
Removal of Fluorescent Whitening Agent by Hydrogen Peroxide Oxidation Catalyzed by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhong-min, ZHAO Xia, <i>et al.</i> (2201)
Kinetics of Alkylphenols Degradation in Aqueous Phase with Excilamp Irradiation	LIU Yu-hai, YE Zhao-lian, WEN Ying-pin, <i>et al.</i> (2209)
AF + BAF for Treating Effluent in the Sewage Plant of the Resin and Chemical Industry Park	TU Yong, LIU Wei-jing, ZHANG Yao-hui, <i>et al.</i> (2216)
Synthesis and Adsorption Property of Cd(II)-8-hydroxyquinoline Molecularly Imprinted Polymer Microspheres	YANG Chun-yan, CHEN Fu-bin, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2223)
Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Microbubble-aerated Biofilm Reactor	LIU Chun, NIAN Yong-jia, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2230)
Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification	TANG Dan-qi, WANG Juan, ZHENG Tian-long, <i>et al.</i> (2236)
Impacts of Filamentous Bulking on Treatment Effect and Fouling Characteristics of Nonwoven Bioreactor	SHI Kuan, XUE Gang, GAO Pin, <i>et al.</i> (2241)
Optimization for Phosphorous Removal in Thickening and Dewatering Sludge Water by Polyaluminum Chloride	ZHOU Zhen, HU Da-long, QIAO Wei-min, <i>et al.</i> (2249)
Simulation of Long-Range Transport Potential of POPs in Poyang Lake	GONG Xiao-feng, XIANG Hong-rui, CHEN Chun-li, <i>et al.</i> (2256)
Uncertainty Analysis of Ecological Risk Assessment Caused by Heavy-metals Deposition from MSWI Emission	LIAO Zhi-heng, SUN Jia-ren, WU Dui, <i>et al.</i> (2264)
Risk Assessment and Countermeasures of BTEX Contamination in Soils of Typical Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (2272)
Levels Distribution and Risk Assessment of the Indicator and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Ten Different Species of Marine Fish of Bohai Bay, China	WANG Sha-sha, GAO Li-rong, TIAN Yi-ling, <i>et al.</i> (2281)
Detection of Biohazardous Materials in Water upon the Characteristics of Fluorescent Sensor Frex	ZHAO Wei, WANG Zhao, CAI Qiang, <i>et al.</i> (2287)
Generation and Release of Microcystin-LR by <i>Microcystis aeruginosa</i> Under Hydroquinone Inhibition	ZHANG Yuan-chun, LIANG Wen-yan, ZHAO Yuan, <i>et al.</i> (2294)
Culture Medium Based on Biogas Slurry and Breeding of Oil Chlorella	ZHAO Feng-min, MEI Shuai, CAO You-fu, <i>et al.</i> (2300)
Microbial Diversity and Ammonia-Oxidizing Microorganism of a Soil Sample Near an Acid Mine Drainage Lake	LIU Ying, WANG Li-hua, HAO Chun-bo, <i>et al.</i> (2305)
Effects of <i>Corbicula fluminea</i> Bioturbation on the Community Composition and Abundance of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in Surface Sediments	WANG Xue, ZHAO Da-yong, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2314)
Methanogenic Activity and Methanogen Diversity in Marine Gas Field Sediments	TIAN Qi, WANG Jia, FAN Xiao-lei, <i>et al.</i> (2322)
Effect of the Potential on Bacterial Community Under Illumination by DGGE and T-RFLP	WU Yi-cheng, DENG Huan, XIAO Yong, <i>et al.</i> (2328)
Isolation and Characterization of Two Bacteria with Heavy Metal Resistance and Phosphate Solubilizing Capability	TIAN Jiang, PENG Xia-wei, LI Xia, <i>et al.</i> (2334)
Identification and Denitrification Characteristics of a Psychrotolerant Facultative Basophilic Aerobic Denitrifier	WANG Zhao-yang, CHEN Guo-yao, JIANG Ke, <i>et al.</i> (2341)
Effects of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhiza on Activities of Antioxidant Enzymes, Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Different Varieties of Tomato	JIANG Ling, YANG Yun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (2349)
Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta	LI Ling, QIU Shao-jun, CHEN Yin-ping, <i>et al.</i> (2358)
Variation of Soil Nitrogen During <i>in situ</i> Mineralization Process Under Different Grasslands in the Mountainous Area of Southern Ningxia, Northwest China	JIANG Yue-li, ZHAO Tong, YAN Hao, <i>et al.</i> (2365)
Effects of Long-Term Application of Pig Manure Containing Residual Tetracycline on the Formation of Drug-Resistant Bacteria and Resistance Genes	ZHANG Jun, YANG Xiao-hong, GE Feng, <i>et al.</i> (2374)
Long-Term Effects of Tillage Methods on Heavy Metal Accumulation and Availability in Purple Paddy Soil	CHANG Tong-ju, CUI Xiao-qiang, RUAN Zhen, <i>et al.</i> (2381)
Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Soils of the Ili River Basin and Pollution Evaluation	ZHAO Xin-ru, Telajin Nasier, CHENG Yong-yi, <i>et al.</i> (2392)
Distribution Patterns and Pollution Assessments of Heavy Metals in the <i>Spartina alterniflora</i> Salt-Marsh Wetland of Rudong, Jiangsu Province	ZHANG Long-hui, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (2401)
Temporal-Spatial Distribution of Agricultural Diffuse Nitrogen Pollution and Relationship with Soil Respiration and Nitrification	OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, <i>et al.</i> (2411)
Soil Respiration and Carbon Balance in Wheat Field Under Conservation Tillage	ZHANG Sai, WANG Long-chang, HUANG Zhao-cun, <i>et al.</i> (2419)
Comparison of Soil Respiration in Natural <i>Castanopsis carlesii</i> Forest and Plantation Forest	WU Jun-jun, YANG Zhi-jie, WENG Fa-jin, <i>et al.</i> (2426)
Influences of Hydraulic Retention Time on the Ethanol Type Fermentation Hydrogen Production System in a Hybrid Anaerobic Baffled Reactor	LIU Xiao-ye, ZHANG Hong, LI Yong-feng (2433)

《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6月15日 第35卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 6 Jun. 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