

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究	苗红妍, 温天雪, 王丽, 李杏茹, 王跃思 (1225)
鼎湖山 PM ₁₀ 中水溶性离子浓度特征分析	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 刘全 (1232)
北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征	黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 王跃思 (1236)
深圳市 PM ₁₀ 化学组成与时空分布特征	云慧, 何凌燕, 黄晓峰, 兰紫娟, 李响, 曾立武 (1245)
福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究	易志刚, 黄幸然, 毕峻奇, 郭萍萍, 郑丽丽 (1252)
河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征	丁中原, 毛潇萱, 马子龙, 田慧, 郭强, 黄韬, 高宏, 李军, 张干 (1258)
淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算	薛文博, 王金南, 杨金田, 雷宇, 燕丽, 贺晋瑜, 韩宝平 (1264)
香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析	黄文敏, 朱孔贤, 赵玮, 余博识, 袁希功, 冯瑞杰, 毕永红, 胡征宇 (1270)
变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响	赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰 (1277)
基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析	邓欧平, 孙嗣咏, 吕军 (1284)
西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探	郭威, 李祥忠, 刘卫国 (1291)
滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应	郭怀成, 向男, 周丰, 王永华, 李发荣, 朱翔, 毛国柱, 于书霞, 李娜, 盛虎, 杨永辉, 何成杰, 王翠榆 (1298)
三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算	牛凤霞, 肖尚斌, 王雨春, 刘德富, 黎国育, 王亮, 纪道斌, 杨正健 (1308)
海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况	辛成林, 任景玲, 张桂玲, 郭亚平, 张国玲, 刘素美 (1315)
黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征	吴斌, 宋金明, 李学刚 (1324)
扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价	叶华香, 臧淑英, 张丽娟, 张玉红 (1333)
上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价	唐庆丽, 程金平, 高昊旻, 姚磊, 蒋真毅, 吴旻, 谢翠松, 梁海, 王鹤, 皮帅帅, 余朝毅 (1340)
我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析	张灿, 陈虹, 余忆玄, 王立军, 韩建波, 陶平 (1345)
江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较	金涛, 吕学敏, 曾一凡, 张冰冰, 马鲲鹏, 姜朴, 唐非 (1351)
北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋	周益奇, 刘云霞 (1357)
降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究	胡园园, 杨娜, 丁毅, 徐文璐, 陈秀荣, 艾奇峰, 陈善佳, 王利鹏, 黄华 (1363)
渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险	安立会, 张燕强, 宋双双, 刘玥, 高俊敏, 陈浩, 赵兴茹, 雷坤, 郑丙辉 (1369)
巨牡蛎 (<i>Crassostrea</i> sp.) 对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积	刘锡尧, 袁东星, 陈耀瑾 (1374)
咪唑盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究	黄若男, 范军杰, 涂宏志, 谭凌燕, 刘惠君, 徐冬梅 (1380)
铝盐混凝除砷影响因素及机制研究	陈桂霞, 胡承志, 朱灵峰, 童华卿 (1386)
混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究	刘冰, 余国忠, 古励, 赵承美, 李清飞, 翟慧敏 (1392)
活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究	王佳裕, 戴启洲, 鱼杰, 颜亦舟, 陈建孟 (1402)
氯酚溶液的 γ 辐照还原降解研究	彭云霞, 何仕均, 龚文琪, 王建龙 (1411)
C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析	袁怡, 黄勇, 邓慧萍, 盛学敏, 潘杨, 李祥 (1416)
以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究	翟晓峰, 蒋成爱, 吴光学, 曾运涛 (1421)
固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选	李斌, 郝瑞霞 (1428)
基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺	卢健聪, 高大文, 孙学影 (1435)
多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟	周振, 吴志超, 王志伟, 杜兴治, 蒋玲燕, 邢灿 (1442)
高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较	赵志瑞, 马斌, 张树军, 李滨, 白志辉, 王晓辉, 庄国强, 张洪助 (1448)
活性污泥絮体的分形结构分析	阮晓东, 刘俊新 (1457)
负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究	沈娜, 杨昌柱, 濮文虹, 罗应东 (1464)
预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响	熊光城, 濮文虹, 杨昌柱 (1472)
同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究	张超, 陈银广, 顾国维 (1479)
利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性	谢薇薇, 龚伊, 王张伟, 孔繁翔, 史小丽 (1485)
阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用	郭亚丽, 傅海燕, 黄国和, 高攀峰, 柴天, 严滨, 廖欢 (1492)
象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征	朱艺峰, 黄简易, 林霞, 杨莹, 邢超, 严小军 (1498)
环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究	王进, 徐真, 彭书传, 夏明山, 岳正波, 陈天虎 (1510)
铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解	史广宇, 尹华, 叶锦韶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1517)
酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 的影响	黄翔峰, 王凯, 黎明霞, 王彩林, 陆丽君, 刘佳 (1524)
玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构	乔江涛, 郭荣波, 袁宪正, 师晓爽, 许晓晖, 范晓蕾, 邱艳玲 (1531)
红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化	刘子旭, 孙力平, 李玉友, 邱春生 (1540)
4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究	杨宾, 李慧颖, 伍斌, 杜晓明, 李发生 (1545)
污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源	姚林林, 张彩香, 李佳乐, 廖小平, 王焰新 (1553)
呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价	郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 张君 (1561)
水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征	李苗苗, 聂三安, 陈晓娟, 罗璐, 朱捍华, 石辉, 葛体达, 童成立, 吴金水 (1568)
亚热带不同稻田土壤微生物量碳的剖面分布特征	盛浩, 周萍, 袁红, 廖超林, 黄运湘, 周清, 张杨珠 (1576)
施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响	刘翠英, 蒋新 (1583)
螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复	刘霞, 王建涛, 张萌, 王力, 杨亚提 (1590)
不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响	蒋田雨, 姜军, 徐仁扣, 周立祥, 王世梅 (1598)
绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究	蓝丹琳, 彭丹, 郭楚玲, 朱超飞, 薛秀玲, 党志 (1605)
改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO ₄ ³⁻ 的脱除性能	邢坤, 王海增 (1611)
羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响	涂丽杏, 朱能武, 吴平霄, 李平, 吴锦华 (1617)
新型生物质活性炭烟气脱硫研究	刘洁岭, 汤争光, 陈杰, 蒋文举, 江霞 (1623)
城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用	毛建素, 马兰 (1628)
厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷	闫祯, 崔胜辉, 李桂林, 任引, 徐礼来 (1636)
《环境科学》征订启事 (1283)	
《环境科学》征稿简则 (1332)	
信息 (1350, 1509, 1582, 1644)	
专辑征稿通知 (1523)	

鼎湖山 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度特征分析

赵亚南^{1,2}, 王跃思^{1*}, 温天雪¹, 刘全¹

(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)

摘要: 为研究珠江三角洲背景区域大气气溶胶中水溶性离子的特征及其来源, 于2007年1月~2008年12月, 在鼎湖山利用大流量滤膜采样器采集 PM_{2.5} 样品, 并用离子色谱(IC)分析其中的水溶性离子成分含量。结果表明, PM_{2.5} 中总水溶性离子年平均浓度为 $(36.3 \pm 16.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。其中, 3种主要离子 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 占总离子浓度的89%; 夏季受到来自海洋气团的影响, Na^+ 和 Cl^- 相关性明显增强, 相关系数 R^2 为0.91; $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的平均值为0.32, 表明固定源对鼎湖山地区污染的贡献更大; PM_{2.5} 中 $\sum$ 阳离子电荷/ $\sum$ 阴离子电荷的变化范围为0.44~2.59, 平均值是1.03, 水溶性离子电荷基本平衡。

关键词: PM_{2.5}; 水溶性; 离子; 浓度; 鼎湖山

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1232-04

Characterization of Water-soluble ions in PM_{2.5} at Dinghu Mount

ZHAO Ya-nan^{1,2}, WANG Yue-si¹, WEN Tian-xue¹, LIU Quan¹

(1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081, China)

Abstract: To study the characteristics and source of aerosol in the background region of the Pearl River Delta, PM_{2.5} samples were collected with a high volume sampler from Jan. 2007 to Dec. 2008 at Dinghu Mountain. Water-soluble ions in PM_{2.5} were analyzed by ion chromatography (IC). The results showed that the annual concentrations of total water-soluble ions was $(36.3 \pm 16.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. The three major ions SO_4^{2-} , NH_4^+ and NO_3^- , accounted for 89% of the total water-soluble ions. The correction of Na^+ and Cl^- was significantly enhanced in summer by the marine air mass, and the correlation coefficient R^2 was 0.91. The mean value of $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ was 0.32, indicating that stationary sources had more contributions to Dinghu Mountain. The range of $\sum$ cation/ $\sum$ anion was 0.44-2.59, with a mean of 1.03 in PM_{2.5}. The charge of water-soluble ions almost achieved balance in PM_{2.5}.

Key words: PM_{2.5}; water-soluble; ions; concentration; Dinghu Mount

气溶胶粒子是悬浮在大气中的空气动力学直径为 $10^{-3} \sim 100 \mu\text{m}$ 的固体或液体粒子, 其质量仅占整个大气质量的十亿分之一。气溶胶粒子在大气中的生成、传输、转化和去除, 与其粒径分布和化学组成密切相关^[1~5]。水溶性离子是大气气溶胶的重要组成部分, 具有很强的吸湿性, 可以直接影响云、雾的形成和降水酸度^[6~7], 进而导致地-气系统能量平衡的变化^[8~11]。

珠江三角洲是我国最活跃的经济区之一, 随着城市化进程加快、人口急剧增加, 大气气溶胶污染日趋严重, 针对该区域的大气气溶胶污染已经开展了广泛的研究, 但这些研究多针对城市大气气溶胶开展^[12~16], 对于背景区域大气气溶胶的研究较少。鼎湖山位于珠江三角洲的西北, 属于国家级自然保护区, 其大气环境主要受到珠江三角洲区域的影响, 是研究珠江三角洲区域大气环境的理想观测站点。国内外学者对鼎湖山地区大气气溶胶中的元素组成、降水中的化学成分、气态污染物及其前体物等进行了广泛而深入的研究。朱圣洁等^[17]分析了鼎

湖山降水中无机化学成分变化特征; 白建辉等^[18]对鼎湖山森林地区臭氧及其前体物的变化特征进行了分析; 杨勇杰等^[19]对鼎湖山 PM_{2.5} 中化学元素的组成及其浓度特征和来源进行了探讨。但是, 针对鼎湖山大气气溶胶中水溶性离子浓度变化特征的研究鲜有报道。本研究于2007年1月~2008年12月对鼎湖山 PM_{2.5} 进行采样分析, 探讨珠江三角洲背景地区 PM_{2.5} 中水溶性离子的组成及变化特征, 并对其来源进行初步分析。

1 材料与方法

1.1 采样地点和方法

鼎湖山位于广东省中西部, 属于我国华南地区, 在北回归线附近, 东距广州市区 86 km, 西离肇庆市

收稿日期: 2012-07-09; 修订日期: 2012-09-21

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

区 18 km,居于北纬 23°09′~23°11′,东经 112°30′~112°33′之间,属于亚热带季风气候,年平均气温 20.9℃,最冷月(1月)和最热月(7月)的平均温度分别为 12.6℃和 28.0℃,年平均降水量和蒸发量分别为 1 929 mm 和 1 115 mm,4~9 月为湿季,10 月~次年 3 月为干季,干湿季明显,年均相对湿度 81.5%。中国科学院鼎湖山区域大气背景观测站点设在鼎湖山自然保护区内(23.2°N,112.5°E),海拔 100 m。

2007 年 1 月~2008 年 12 月采用大流量滤膜采样器(GUV-16HBL-1,Thermo Andersen)采集 PM_{2.5} 样品。采样流量为 1 m³·min⁻¹,将样品收集在聚碳酸酯膜(Whatman41)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℃)避光保存至分析。取 1/2 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 μm 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⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺)和阴离子(Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻)浓度。阳离子检测采用 CS12A 色谱柱,CSRS II 抑制器,淋洗液为 22 mmol·L⁻¹ 的甲烷磺酸,流速为 1 mL·min⁻¹。阴离子采样 AS14A 色谱柱,AMMS III 抑制器,淋洗液浓度为 3.5 mmol·L⁻¹ Na₂CO₃ 和 1 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 混合溶液,流速 1 mL·min⁻¹。各离子的最低检测限均小于 0.3 μg·m⁻³。样品分析过程中进行了严格的质量控制。

2 结果与分析

2.1 浓度水平

鼎湖山 PM_{2.5} 中总水溶性离子平均浓度为 (36.3 ± 16.4) μg·m⁻³。其中,SO₄²⁻、NH₄⁺ 和 NO₃⁻

是最主要的水溶性离子,3 种离子浓度变化范围分别是 2.5~47.8、1.4~14.1 和 0.8~20.9 μg·m⁻³,平均浓度为 19.1、6.8 和 6.1 μg·m⁻³。SO₄²⁻、NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 占总离子浓度质量分数分别为 53%、19% 和 17%,共计 89%。其它离子浓度共计 4.3 μg·m⁻³,占总离子浓度质量分数为 11%。

从表 1 可以看出,鼎湖山 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度与其它本底站浓度差异十分显著。其中,最主要的 3 种离子,NO₃⁻ 浓度差异最大,其次是 NH₄⁺,SO₄²⁻ 浓度差异最小,分别是其它本底站浓度的 4.7~75.6 倍、5.3~42.8 倍、5.3~15.2 倍。与城市采样点相比,NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 浓度低于北京、广州、西安等的浓度,但高于香港;SO₄²⁻ 与北京、广州等的浓度水平相当。SO₄²⁻ 是对流层大气气溶胶中普遍存在的组分,在海洋和大陆环境下都能检测到。但是,海洋和大陆环境下 SO₄²⁻ 的气态前体物不同,大陆硫酸盐粒子的气态前体物主要来自人为源排放的 SO₂ 在大气中的化学转化。鼎湖山作为华南区域本底站,SO₄²⁻ 主要来自人为源排放的 SO₂ 在大气中的化学转化。与 SO₄²⁻ 相比,大气中的 NO₃⁻ 的一次排放很少,仅在硝酸铵肥料厂附近能够观测到^[20],气溶胶中的 NO₃⁻ 主要来自 NO_x 在大气中的化学转化过程,而 NO_x 主要来自机动车尾气。与本底站和城市采样点的对比结果表明,鼎湖山大气气溶胶中二次粒子污染严重,主要受到人为源排放的污染物的影响,说明珠江三角洲区域污染十分严重。

2.2 季节变化

表 2 给出了鼎湖山大气 PM_{2.5} 中主要水溶性离子浓度和总水溶性离子季节变化趋势,从中可以看出,贡嘎山 PM_{2.5} 中总水溶性离子秋季浓度最高,为 40.9 μg·m⁻³;其次是冬季和春季,浓度分别为 34.8 μg·m⁻³ 和 28.0 μg·m⁻³;夏季浓度最低,为 24.5 μg·m⁻³。

表 1 不同采样点大气 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度/μg·m⁻³

Table 1 Concentration of water-soluble ions in PM_{2.5} at different locations/μg·m⁻³

采样地点	采样时间(年-月)	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
鼎湖山(本研究)	2007-01~2008-12	0.7	6.8	1.4	0.2	0.6	1.3	6.1	19.1
长白山 ^[21]	2005-12~2006-11	0.2	1.3	0.3	0.05	0.4	0.34	1.3	3.6
鹿林山,台湾 ^[22]	2003-04~2009-04		0.8	0.1		0.1		0.2	2.7
Norikura,日本 ^[23]	2000-09~2000-10		0.2	0.01		0.06		0.08	1.3
济南 ^[24]	2007-10~2008-12	1.2	21.3	2.4	0.1	0.8	4.2	15.8	38.3
北京 ^[7]	2001~2003	0.6	8.7	1.6	0.2	1.6	3.1	11.5	17.1
西安 ^[25]	2006-10~2007-09		7.6					12.0	27.9
广州 ^[26]	2002	5.3	7.4	2.2			6.3	11.2	17.3
香港 ^[27]	2000-11~2001-02		3.0				0.5	2.5	15.3

表 2 鼎湖山 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子季节平均浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Table 2 Average concentrations of water-soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ in the four seasons at Dinghu Mount/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

季节	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	总和
春季	0.7	5.5	0.7	0.3	0.9	1.4	3.7	15.0	28.0
夏季	1.0	4.5	1.3	0.2	0.5	1.3	3.3	12.3	24.5
秋季	0.5	8.1	1.5	0.1	0.6	0.8	5.6	23.9	40.9
冬季	0.5	6.9	1.2	0.3	0.6	1.1	6.3	17.6	34.8

SO_4^{2-} 浓度季节变化趋势与总水溶性离子季节变化趋势相同,秋季浓度最高,夏季浓度最低. 秋季 SO_4^{2-} 浓度分别是夏季浓度的 1.9 倍,这与鼎湖山地区降水主要集中在夏季有关. 采样期间,鼎湖山地区夏季累计平均降水量为 978 mm,占全年降水量的 46%,夏季较多的降水有利于大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的湿清除;秋季温度较高,湿度较大有利于 SO_4^{2-} 在大气中的生成和积累,且由于秋季鼎湖山地区主要受到来自偏东方向气团的影响^[28],气团途经的主要区域为汕头、惠州、广州等工业污染比较严重的地区,这也是导致鼎湖山秋季 SO_4^{2-} 高浓度的原因. NH_4^+ 浓度变化趋势与 SO_4^{2-} 相同, NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 的相关系数 R 为 0.80,摩尔电荷浓度比值为 1.27,表明鼎湖山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中 NH_4^+ 主要以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的形式存在.

Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 作为土壤、沙尘气溶胶中的典型离子^[20],具有相同的季节变化趋势. 冬、春季浓度高于夏、秋季,与贡嘎山地区雨季和非雨季交替变化有关. 夏季较多的降水有利于气溶胶粒子的湿清除;冬季降水较少,空气干燥,有利于气溶胶粒子的再悬浮,使得大气气溶胶中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度增加.

Na^+ 季节变化趋势与 SO_4^{2-} 不同,夏季浓度最高. 这主要是由于夏季来自西南的海洋气团带来了大量的海盐粒子,使得鼎湖山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中 Na^+ 浓度升高. 对不同季节 Na^+ 与 Cl^- 的相关性分析结果表明, Na^+ 与 Cl^- 相关性夏季最好,秋季最差,相关系数 R^2 分别为 0.91 和 0.16. 表明夏季 Na^+ 与 Cl^- 具有相同的来源,且 Cl^-/Na^+ 的比值是 1.57,略低于海盐中 Cl^-/Na^+ (1.81) 的比值,这主要是由于大气气溶胶在输送过程中存在 Cl^- 亏损^[24].

2.3 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$

NO_3^- 与 SO_4^{2-} 质量浓度的比值被视为大气中移动源(NO_x)与固定源(SO_x)相对重要性的指标. Arimoto 等^[29]将较大的 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 归因于移动源比固定源对局地污染物浓度有更大的贡献. 我国使用的汽油和柴油燃料中含硫量分别是 0.12% 和 0.2%,汽油和柴油燃料燃烧产生的 NO_x 和 SO_x 的比值约为 13:1 和 8:1. 煤炭的含硫量是 1%,煤炭燃

烧产生的 NO_x 和 SO_x 的比值约为 1:2. 因此,将 NO_x 和 SO_x 分别作为移动源和固定源的示踪物^[30~31]. 故常用 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值是否大于 1 判断采样点是以流动源污染还是以固定源污染为主. 鼎湖山 $\text{PM}_{2.5}$ 中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的变化范围是 0.10 ~ 0.76,平均值是 0.32,低于北京(0.64)、南京(0.46)、上海(0.83)等大城市,与长白山(0.36)水平相当,但高于贡嘎山(0.17),表明鼎湖山地区污染以固定源为主,与朱圣洁等^[17]根据降水中无机化学成分进行分析的结果一致.

2.4 电荷平衡

通过大气气溶胶中水溶性离子总阳离子电荷与总阴离子电荷的比值来表示大气气溶胶中离子平衡状况,讨论大气气溶胶粒子的酸碱度. 阳离子与阴离子电荷比值是利用所检测的阳离子(Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})和阴离子(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-})浓度与相应离子电荷的乘积来计算. 鼎湖山 $\text{PM}_{2.5}$ 中 $\sum$ 阳离子电荷/ $\sum$ 阴离子电荷的变化范围为 0.44 ~ 2.59,平均值是 1.03,表明鼎湖山大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子电荷基本平衡. 其中,秋季 $\text{PM}_{2.5}$ 中存在一定的阳离子亏损,这可能是由于秋季主要致酸离子 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 污染比较严重,阳离子不能将 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 全部中和,以 HSO_4^- 、 H_2SO_4 或 HNO_3 等形式存在,没有检测的 H^+ 是造成阳离子亏损的原因.

3 结论

(1) 鼎湖山 $\text{PM}_{2.5}$ 中总离子浓度处于较高的水平,二次离子 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 NO_3^- 是最主要的 3 种水溶性离子,表明珠江三角洲区域二次粒子污染十分严重.

(2) $\text{PM}_{2.5}$ 中总水溶性离子浓度季节变化由高到低依次是秋、冬、春、夏,较多的降水是导致夏季水溶性离子浓度降低的主要原因.

(3) $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子电荷基本平衡. 其中,秋季存在一定的阳离子亏损.

参考文献:

- [1] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, *et al.* Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia[J]. *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(22): 3773-3785.
- [2] 汪安璞. 大气气溶胶研究新动向[J]. *环境化学*, 1999, **18**(1): 10-15.
- [3] 刘强, 王明星, 李晶, 等. 大气气溶胶研究现状和发展趋势[J]. *中国粉体技术*, 1999, **5**(3): 20-26.
- [4] 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.
- [5] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, *et al.* Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. *Science*, 2002, **297**: 2250-2253.
- [6] Wang G H, Wang H, Yu Y J, *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.
- [7] 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.
- [8] Lohmann U, Feichter J. Global indirect aerosol effects: a review[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(3): 715-737.
- [9] Yokouchi Y, Ambe Y. Aerosols formed from the chemical reaction of monoterpenes and ozone[J]. *Atmospheric Environment*, 1985, **19**(8): 1271-1276.
- [10] 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, **38B**(5): 328-344.
- [11] Seinfeld J H, Pandis S N. *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [12] Wang X M, Carmichael G, Chen D L, *et al.* Impacts of different emission sources on air quality during March 2001 in the Pearl River Delta (PRD) region[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(29): 5227-5241.
- [13] Lai Y L, Sequeira R. Visibility degradation across Hong Kong: Its components and their relative contributions[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(34): 5861-5872.
- [14] Wang T, Ding A J, Blake D R, *et al.* Chemical characterization of the boundary layer outflow of air pollution to Hong Kong during February-April 2001[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**(D20): 8787-8801.
- [15] Wu D, Tie X X, Li C C, *et al.* An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(35): 6568-6577.
- [16] Feng Y R, Wang A Y, Wu D, *et al.* The influence of tropical cyclone Melor on PM₁₀ concentrations during an aerosol episode over the Pearl River Delta region of China: Numerical modeling versus observational analysis[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(21): 4349-4365.
- [17] 朱圣洁, 王雪梅, 龙晓娟, 等. 鼎湖山降水无机化学成分变化特征[J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2011, **50**(5): 135-141.
- [18] 白建辉, 徐永福, 陈辉, 等. 鼎湖山森林地区臭氧及其前体物的变化特征和分析[J]. *气候与环境研究*, 2003, **8**(3): 370-380.
- [19] 杨勇杰, 王跃思, 温天雪, 等. 鼎湖山 PM_{2.5} 中化学元素的组成及浓度特征和来源[J]. *环境科学*, 2009, **30**(4): 988-982.
- [20] 唐孝炎, 张远航, 邵敏, 等. *大气环境化学*[M]. (第二版) 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [21] 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 等. 长白山 PM_{2.5} 中水溶性无机离子观测研究[J]. *环境化学*, 2011, **30**(4): 812-815.
- [22] Lee C T, Chuang M T, Lin N H, *et al.* The enhancement of PM_{2.5} mass and water-soluble ions of biosmoke transported from Southeast Asia over the Mountain Lulin site in Taiwan[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(32): 5784-5794.
- [23] Osada K, Kido M, Nishita C, *et al.* Changes in ionic constituents of free tropospheric aerosol particles obtained at Mt. Norikura (2770m a. s. l.), central Japan, during the Shurin period in 2000[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(35): 5469-5477.
- [24] Gao X M, Yang L X, Cheng S H, *et al.* Semi-continuous measurement of water-soluble ions in PM_{2.5} in Jinan, China: Temporal variations and source apportionments[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(33): 6048-6056.
- [25] 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.
- [26] Lai S C, Zou S C, Cao J J, *et al.* Characterizing ionic species in PM_{2.5} and PM₁₀ in four Pearl River Delta cities, South China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(8): 939-947.
- [27] 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.
- [28] 刘子锐, 王跃思, 刘全, 等. 鼎湖山秋季大气细粒子及其二次无机组分的污染特征及来源[J]. *环境科学*, 2011, **32**(11): 3160-3166.
- [29] Arimoto R, Duce R A, Savoie D L, *et al.* Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during Pem-West A[J]. *Journal of geophysical Research*, 1996, **101**(D1): 2011-2023.
- [30] 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.
- [31] 李彩霞, 李彩亭, 曾光明, 等. 长沙市夏季 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中水溶性离子的污染特征[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(5): 599-603.

CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM _{2.5} at Dinghu Mount	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing	HUANG Yi-min, LIU Zi-rui, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM _{2.5} Species in Shenzhen	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changhe River	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorous in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Flocs	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk (<i>Rapana venosa</i>) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Flocs	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-xue, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i>	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO ₄ ³⁻ from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

《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)

2013年4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 15, 2013

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