

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第11期

Vol.34 No.11

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

北京不同污染事件期间气溶胶光学特性 施禅臻,于兴娜,周斌,项磊,聂皓浩 (4139)

秋季渤海、北黄海大气气溶胶中水溶性离子组成特性与来源分析 张岩,张洪海,杨桂朋 (4146)

中国北部湾地区夏季大气碳气溶胶的空间分布特征 杨毅红,陶俊,高健,李雄,施展,韩保新,谢文彰,曹军骥 (4152)

改进的大气 CO₂、CH₄、N₂O、CO 在线观测 FTIR 系统 夏玲君,刘立新,周凌晔,方双喜,王红阳,张振波 (4159)

长沙市郊大气 CH₄ 浓度变化特征 刘鲁宁,王迎红,徐小娟,王卫东,王跃思 (4165)

麦草及其烟尘中正构烷烃的组成 刘刚,李久海,徐慧,吴丹 (4171)

过二硫酸盐降解碱液吸收的甲硫醇恶臭 杨世迎,王雷雷,冯琳玉,赵腊娟,石超 (4178)

污泥堆肥及其土地利用全过程的温室气体与氨气排放特征 钟佳,魏源送,赵振凤,应梅娟,周国胜,熊建军,刘培财,葛振,丁刚强 (4186)

长江口滨岸及近海水体中胶体的分布和理化性质研究 顾丽军,杨毅,刘敏,聂明华,李涛,侯立军 (4195)

海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评价 吕书丛,张洪,单保庆,李立青 (4204)

汾河流域太原段河水及沉积物中 PFOS 和 PFOA 的浓度分布特征 东口朋宽,史江红,张晖,刘晓薇 (4211)

基于 L-THIA 模型的市桥河流域非点源氮磷负荷分析 李凯,曾凡棠,房怀阳,林澍 (4218)

合流制排水系统雨天溢流污染 CMB 法源解析 戴梅红,李田,张伟 (4226)

微藻脂肪酸在中国近海缺氧海水-沉积物界面中的降解模拟研究 随伟伟,丁海兵,杨桂朋,陆小兰,李文娟,孙立群 (4231)

太湖两种水生植物群落对沉积物中氮素的影响 马久远,王国祥,李振国,许宽,周锋,张佳 (4240)

表面流人工湿地中硫丹的去除规律研究 秦晶,高甫威,谢慧君 (4251)

带菌盐藻对不同形态砷的富集和转化研究 王亚,张春华,王淑,申连玉,葛滢 (4257)

镧改性沸石活性覆盖控制重污染河道底泥溶解性磷酸盐和铵释放研究 李佳,林建伟,詹艳慧 (4266)

底栖动物扰动对河床渗透性的影响研究 任朝亮,宋进喜,杨小刚,薛健 (4275)

铜绿微囊藻胞内物消毒副产物生成:氯化化和溴化比较 田川,郭婷婷,刘锐平,William Jefferson,刘会娟,曲久辉 (4282)

天然有机物对混凝效果影响机制及絮体特性分析 徐磊,俞文正,梁亮,王彤 (4290)

DOM 纳滤膜污染及对膜截留卡马西平性能的影响 丰桂珍,董秉直 (4295)

零价铁去除废水中的汞 周欣,张进忠,邱昕凯,王定勇 (4304)

Fe₃O₄ 稳定化纳米 Pd/Fe 对水中 2,4-D 的催化还原脱氯研究 周红艺,梁思,雷思思,雷双健 (4311)

不同粒径粉末活性炭对水中天然有机物吸附性能的比较研究 李政剑,石宝友,王东升 (4319)

氯化十六烷基吡啶改性活性炭对水中硝酸盐的吸附作用 郑雯婧,林建伟,詹艳慧,方巧,杨孟娟,王虹 (4325)

改性石墨烯对水中亚甲基蓝的吸附性能研究 吴艳,罗汉金,王侯,张子龙,王灿,王雨微 (4333)

经典等温吸附模型在重金属离子/硅藻土体系中的应用及存在问题 朱健,吴庆定,王平,李科林,雷明婧,张伟丽 (4341)

硝酸盐对矿化垃圾中兼/厌氧甲烷氧化的影响 刘妍妍,龙焰,尹华,叶锦韶,何宝燕,张娜 (4349)

硫酸盐/氨的厌氧生物转化试验研究 张丽,黄勇,袁怡,李祥,刘福鑫 (4356)

硫酸盐还原-氨氧化反应的特性研究 袁怡,黄勇,李祥,张春蕾,张丽,潘杨,刘福鑫 (4362)

UASB 系统低 pH 运行时对产氢性能的分析 赵健慧,张百惠,李宁,王兵,李永峰 (4370)

响应面法优化赤泥负载 Co 催化剂制备及活性评价 李华楠,徐冰冰,齐飞,孙德智 (4376)

高浓度氨氮胁迫对纤细裸藻的毒性效应 刘炎,石小荣,崔益斌,李梅 (4386)

NAPLs 污染物垂向指流迁移分形表征中图像处理的影响研究 李慧颖,杜晓明,杨宾,伍斌,徐竹,史怡,房吉敦,李发生 (4392)

近 50 年浙江省耕作土壤有机质和酸碱度的变化特征 章明奎,常跃畅 (4399)

浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨 黄春雷,宋明义,魏迎春 (4405)

黄河口新生湿地土壤 Fe 和 Mn 元素的空间分布特征 孙文广,甘卓亭,孙志高,李丽丽,孙景宽,孙万龙,牟晓杰,王玲玲 (4411)

崇明岛土壤中 MCCPs 的污染水平、组成与来源研究 孙阳昭,王学彤,张媛,孙延枫,李梅,马中 (4420)

福建戴云山山脉土壤有机氯农药残留及空间分布特征 瞿程凯,祁士华,张莉,黄焕芳,张家泉,张原,杨丹,刘红霞,陈伟 (4427)

电子垃圾拆解地周边土壤中二噁英和二噁英类多氯联苯的浓度水平 邵科,尹文华,朱国华,巩宏平,周欣,王玲,刘劲松 (4434)

外源水溶性氟在茶园土壤中赋存形态的转化及其生物有效性 蔡荟梅,彭传燧,陈静,侯如燕,宛晓春 (4440)

丛枝菌根真菌在不同类型煤矸石山植被恢复中的作用 赵仁鑫,郭伟,付瑞英,赵文静,郭江源,毕娜,张君 (4447)

丛枝菌根真菌在矿区生态环境修复中应用及其作用效果 李少朋,毕银丽,孔维平,王瑾,余海洋 (4455)

超积累植物垂序商陆 (*Phytolacca americana* L.) 吸收锰机制的初步探讨 徐向华,李仁英,刘翠英,施积炎,林佳 (4460)

Shewanella oneidensis MR-1 对硫化汞的生物利用性研究 陈艳,王卉,司友斌 (4466)

基于我国西南地区儿童行为模式的 IEUBK 模型本地化研究 蒋宝,崔晓勇 (4473)

不同结构有机磷在(氢)氧化铝表面的吸附与解吸特征 柳飞,张延一,严玉鹏,刘凡,谭文峰,刘名茗,冯雄汉 (4482)

煤中铁元素赋存状态的超声逐级化学提取研究 熊金钰,李寒旭,董众兵,张颂,钱宁波,武成利 (4490)

植物对纳米颗粒的吸收、转运及毒性效应 杨新萍,赵方杰 (4495)

《环境科学》征订启事 (4239) 《环境科学》征稿简则 (4369) 信息 (4225, 4265, 4303, 4375)

秋季渤海、北黄海大气气溶胶中水溶性离子组成特性与来源分析

张岩, 张洪海, 杨桂朋*

(中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 于2010年秋季在渤海、北黄海海域采集大气气溶胶总悬浮颗粒物(TSP)样品, 运用离子色谱法测定了主要水溶性阳离子(Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})和阴离子[Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 CH_3SO_3^- (MSA)]的浓度, 并结合富集因子、相关性因子分析等方法探讨了其来源。结果表明, 渤海、北黄海气溶胶样品中主要水溶性离子总浓度分别为 $30.9 \sim 58.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $5.03 \sim 39.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 平均值分别为 $(40.3 \pm 10.1) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(19.2 \pm 11.8) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。二次离子(非海盐硫酸盐 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+)浓度最高, 分别占测定离子总浓度的87.5%和62.8%。富集因子分析表明, Mg^{2+} 、 Cl^- 主要来自海源, K^+ 主要来自地壳源。来源分析结果表明, 渤海、北黄海 TSP 中海盐硫酸盐分别占总 SO_4^{2-} 浓度的1.2%和12.1%, 生源硫酸盐($\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$)对 nss-SO_4^{2-} 的平均贡献分别为5.0%和14.6%, 说明人为活动输入仍是气溶胶中 SO_4^{2-} 的主要来源。

关键词: 大气气溶胶; 水溶性离子; 甲基磺酸盐; 非海盐硫酸盐; 渤海; 北黄海

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)11-4146-06

Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Aerosol Ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea in Autumn

ZHANG Yan, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The total suspended particulate (TSP) samples in aerosol were collected over the Bohai Sea (BS) and the North Yellow Sea (NYS) during Autumn 2010 to determine the concentration of main water-soluble cations (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) and anions [Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CH_3SO_3^- (MSA)] by ion chromatography. Main sources of these ions were discussed by combined enrichment factors and correlation analyses. The concentration of total water-soluble ions ranged from $30.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ to $58.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ over the BS and from $5.03 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ to $39.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ over the NYS, respectively, with averages of $(40.3 \pm 10.1) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $(19.2 \pm 11.8) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Analytical results showed that the level of the second ions (nss-SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+) were the highest, accounting for 87.5% and 62.8% of total identified ions over the BS and the NYS. Enrichment factors showed that Mg^{2+} and Cl^- mainly came from oceanic sources and the main source of K^+ was crust. The analysis of sulfate source showed that sea-salt sulfates over the BS and the NYS accounted for 1.2% and 12.1% of the total sulfate and contributions of biogenic sulfates to nss-SO_4^{2-} were 5.0% and 14.6%, respectively, indicating that human activities were the main source of sulfate in aerosol in the study area.

Key words: atmosphere aerosol; water-soluble ions; methanesulfonic acid; non-sea-salt sulfate; Bohai Sea; North Yellow Sea

海洋是大气沉降的源和汇之一, 陆源气溶胶经过长距离输送沉降于海洋, 海洋通过海浪破碎和气泡破裂过程形成气溶胶输送到大气, 从而构成了海-气、海-陆环境之间的相互作用^[1]。气溶胶是影响气候变化的重要因子, 可通过散射、吸收太阳辐射或形成云凝结核改变云的特性结构, 直接或间接影响气候系统的辐射平衡^[2-4]。

近海海域是大气污染物从陆地向大洋迁移、扩散的过渡带。经研究发现, 在人为活动影响大的近岸海域, 气溶胶中二次离子(非海盐硫酸盐 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+)的浓度比远海高得多^[5-7]。另外, 来自中国西北部地区的沙尘气溶胶在季风作用

下被输送到我国东部海域, 甚至北太平洋地区, 极大改变了这些地区大气气溶胶的组成及浓度, 同时为海洋提供了丰富的微量和痕量元素, 进而影响近海和大洋的生态系统和初级生产力^[8,9]。近年来, ACE-Asia (Aerosol Characterization Experiment-NW Pacific Ocean) 及 SOLAS (Surface Ocean and Lower Atmosphere Study) 等国际热点研究计划的提出也表明东亚地区大气气溶胶对局部乃至全球大气物理和

收稿日期: 2013-02-15; 修订日期: 2013-04-24

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030858); 教育部“长江学者”奖励计划项目; 山东省“泰山学者”建设工程项目

作者简介: 张岩(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋大气气溶胶, E-mail: zhangyanyiren@163.com

* 通讯联系人, E-mail: gpyang@mail.ouc.edu.cn

化学过程有重要的影响,已引起人们的广泛重视。

此外,性质稳定的矿物气溶胶是一种研究大气运动的良好示踪物,通过分析元素与陆地、海洋参比元素间富集因子的大小,可以来探究气溶胶离子浓度变化特征及其来源^[10-12]。渤海、北黄海毗邻东亚大陆,被山东半岛、辽东半岛等经济发达地区围绕,是接受亚洲沙尘的重要海域,同时在陆地和海洋的双重影响下,该海域大气气溶胶中离子组成和来源变化复杂。本文以渤海、北黄海为研究对象,分析气溶胶中主要水溶性离子浓度分布特征,并运用富集因子和相关性因子等分析方法对其来源进行探讨,此研究有助于了解我国陆源污染物的迁移变化规律,旨在为研究我国渤海、北黄海大气的化学组成及环境效应提供最新的研究资料。

1 材料与方 法

1.1 采样信息及分析方法

2010年秋季(9月14~20日)搭载“东方红2号”科学考察船在渤海、北黄海海域对总悬浮颗粒物(TSP)样品进行采集,采样范围主要覆盖118.27°~123.33°E、36.02°~39.31°N之间的海域(图1)。选用KB-1000型大流量采样器(青岛金仕达电子科技有限公司),以高效Whatman 41纤维滤膜(英国Whatman公司)为介质,采样流量设定为1.05 m³·min⁻¹,共采集TSP样品12个,其中渤海、北黄海样品各6个,空白样品3个。采样器固定在顶部甲板,距海平面10 m左右,且只在航行过程中并且风向不受船体烟囱排放污染的情况下开启。采样结束后,将滤膜对折放入洁净的聚乙烯封口袋于

-20℃冷冻保存。

样品预处理:截取样品膜的1/4(对角的两个1/8),置于15 mL离心管中,加入10 mL超纯水(Milli-Q System,电阻率 $\rho > 18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$,美国Millipore公司),超声振荡萃取40 min。萃取液经0.45 μm 滤膜(天津津腾,一次性针头过滤器)过滤后,转移到25 mL容量瓶中定容,待分析。

样品测定:阴离子(Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-})使用离子色谱(ICS-3000,美国戴安公司)AS11-HC分离柱进行测定,以30 mmol·L⁻¹的NaOH为淋洗液,流速1.2 mL·min⁻¹,检出限(S/N=3)低于0.02 mg·L⁻¹;甲基磺酸盐(MSA)使用5 mmol·L⁻¹的NaOH为淋洗液进行单独测定,流速为1.2 mL·min⁻¹,检出限低于0.02 mg·L⁻¹;阳离子(Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+})使用CS12A分离柱进行测定,以20 mmol·L⁻¹的MSA淋洗液,流速1.05 mL·min⁻¹,检出限低于0.01 mg·L⁻¹。各离子测量相对标准偏差均低于5%。另外,空白样品分析结果显示,各离子浓度均低于检出限,对样品分析测定结果无影响。

1.2 天气情况和后向轨迹

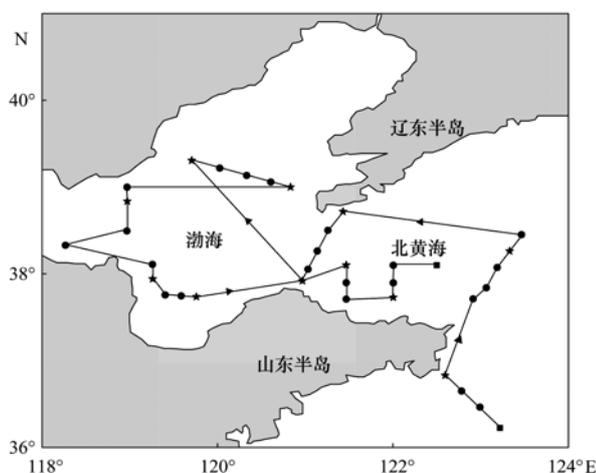
本航次采样期间温度变化范围为17.5~26.2℃,平均值为(21.2±2.2)℃,风速变化范围为0.9~13.0 m·s⁻¹,平均值为(5.0±3.7) m·s⁻¹。为进一步确定大气气团的来源和输送路径,选取采样期间典型样品,运用美国国家海洋与大气局(NOAA)大气资源实验室的HYSPLIT4模型^[13],计算得到以采样终止位置为起始点的72 h后向轨迹代表图。如图2所示,采样期间渤海、北黄海海域上空大气气团主要来源于中国东北部及西北地区的长距离输入,其中3条轨迹分别代表采样高度设定为海平面上500、1000和1500 m时的气团输入途径。

2 结果与讨论

2.1 TSP中主要水溶性离子的浓度水平及影响因素

对秋季渤海、北黄海海域TSP样品中主要水溶性离子的浓度进行测定,调查结果如图3所示。其中,非海盐成分用 Na^+ 作为海源参比元素从总浓度中扣除海盐浓度计算而得^[14]。

秋季航次调查期间,渤海、北黄海气溶胶中水溶性阴阳离子总浓度变化范围分别为30.9~58.8 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和5.03~39.8 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,平均值分别为(40.3±10.1) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和(19.2±11.8) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,均低于同年春季相同海域的调查结果^[15];二次离子组分(nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+)浓度依然较高,分别



▲代表航向,★代表换膜站位,■代表采样起始和终止站位

图1 大气气溶胶样品采样区域和走航示意

Fig. 1 Study area and aerosol sampling sites along the cruise track

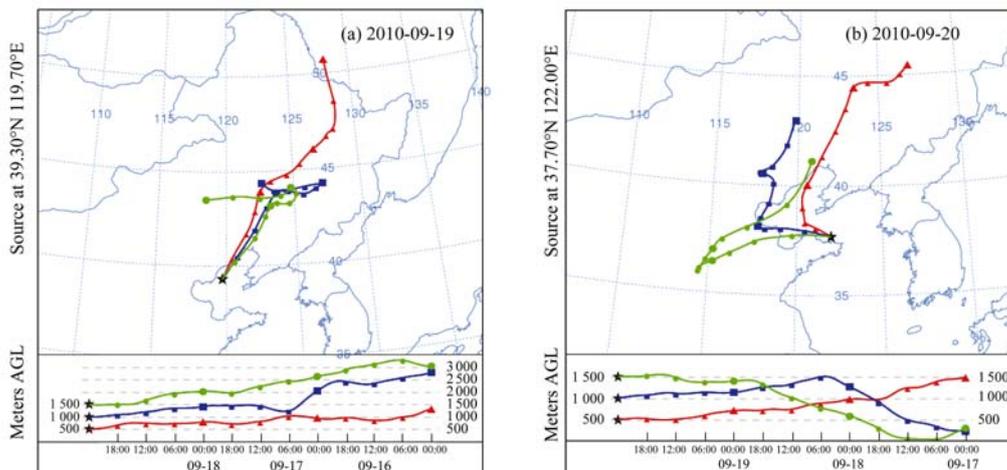


图 2 气溶胶离子 72 h 后向轨迹图

Fig. 2 Results of backward air-mass trajectory analysis before 72 hours

占测定离子总浓度的 87.5% 和 62.8%, 渤海高于北黄海, 表现出显著的区域差异。渤海被大中型城市围绕, 地理位置相对封闭, 气溶胶中离子的浓度水平受人为活动的影响较北黄海更加显著。与此同时, 气团由内陆向西北太平洋迁移过程中, 在西北或北方的季风作用下, 颗粒物的沉降使得下风向的北黄海海域气溶胶总离子浓度和二次离子浓度均低于渤海。春季沙尘天气频繁, 春季航次调查期间气溶胶输送强度较大 (平均风速为 $7.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 这应是春季调查航次中总离子浓度高于秋季的主要原因。

如图 3 所示, 渤海、北黄海气溶胶中金属离子浓度水平略有不同, 除 Na^+ 外, 渤海金属离子浓度整体略高于北黄海, 其中 Ca^{2+} 浓度最高, Mg^{2+} 次之, K^+ 浓度最低, 四者对渤海和北黄海离子总浓度的贡献分别为 8.3% 和 18.0%。北黄海 Na^+ 浓度最高, 平均值为 $(1.79 \pm 0.72) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 约为渤海 Na^+ 浓度的 2 倍。 Na^+ 是典型的海盐离子, 主要通过风对表面海水的扰动以海盐飞沫的形式进入大气。北黄海海域相对宽阔, 且采样期间平均风速 ($6.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) 高于渤海 ($4.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 这导致了两海域间 Na^+ 的差异。

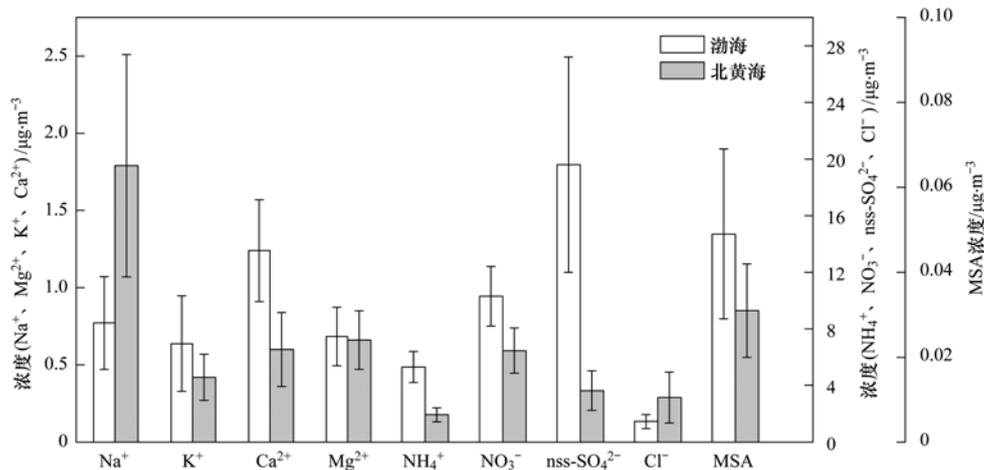


图 3 渤海、北黄海大气主要水溶性离子的平均浓度

Fig. 3 Average concentration of main water-soluble ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea

2.2 主要水溶性离子间的相关性及来源分析

来源相同的元素在大气传输过程中会保持着较好的化学定量关系, 因此可通过气溶胶中该元素与来源指示元素的浓度比值鉴别其来源^[16]。本研究以 TSP 样品中的 Na^+ 和 Ca^{2+} 分别作为海源和地壳

源的参比元素^[17], 主要水溶性离子相对于海水和地壳源的富集因子计算如下, 并通过相关性因子分析对各离子的来源特征进行验证。离子 X 的富集因子 (enrichment factor, EF) 表达式为:

$$\text{EF}_{\text{seawater}} = (c_X/c_{\text{Na}^+})_{\text{aerosol}} / (c_X/c_{\text{Na}^+})_{\text{seawater}}$$

$$EF_{\text{crust}} = (c_X/c_{\text{Ca}^{2+}})_{\text{aerosol}} / (c_X/c_{\text{Ca}^{2+}})_{\text{crust}}$$

式中, c_X 、 c_{Na^+} 和 $c_{\text{Ca}^{2+}}$ 分别代表测定离子的浓度, 下标 aerosol 代表气溶胶中两种离子的浓度比值, 下标 seawater 和 crust 分别代表海水和地壳中两种元素的比值. EF 越接近 1, 表明该离子与参比元素来源越相近. 具体计算结果列于表 1 中.

表 1 渤海、北黄海大气气溶胶中主要水溶性离子的富集因子

Table 1 Enrichment factors of main water-soluble ions in the TSP over the Bohai Sea and the North Yellow Sea

离子	海源 ^[18]	地壳源 ^[19]
Na ⁺	1.00	2.38
Mg ²⁺	1.32	0.572
Ca ²⁺	15.2	1.00
K ⁺	18.3	1.04
Cl ⁻	1.12	32.7

由表 1 可见, Mg²⁺ 和 Cl⁻ 相对于海源参比元素 Na⁺ 的富集因子分别为 1.32 和 1.12, 这说明 TSP 中的 Mg²⁺ 和 Cl⁻ 的来源与 Na⁺ 相似, 即主要来自于海洋源. K⁺ 相对于海源的富集因子为 18.3, 相对于地壳源的富集因子为 1.04, 说明 K⁺ 与 Ca²⁺ 有相似的来源, 即地壳源. 另外根据相关性因子分析结果显示(表 2), K⁺ 与 Ca²⁺ 之间以及两者与二

次离子的相关性均十分显著. 生物质的燃烧、再悬浮土壤和岩石风化分别是 K⁺、Ca²⁺ 的主要来源, 调查期间中国北方干旱、半干旱地区的沙尘颗粒中的黏土矿物和碳酸盐矿物在长距离输送过程中与 HNO₃ 和 SO₂ 等酸性气体组分在气溶胶表面发生非均相反应. 此外, Hegde 等^[20] 和 Sullivan 等^[21] 认为, K⁺ 和 Ca²⁺ 更容易富集在含 NO₃⁻ 和 nss-SO₄²⁻ 的颗粒上, 因此地壳元素 K⁺ 和 Ca²⁺ 与二次离子具有较好的相关性.

由表 2 中各离子的相关性矩阵看出, NH₄⁺ 与 nss-SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 显著相关, 但 NH₄⁺ 与 nss-SO₄²⁻ 相关性高于 NO₃⁻, 相关性系数分别为 0.919 和 0.814, 这表明 nss-SO₄²⁻ 相对于 NO₃⁻ 更容易与 NH₄⁺ 结合^[22]. 空气质点后向轨迹图分析表明(图 2), 采样期间气团由北而南经过东北及京津地区, 该地区工农业发达、人口密集, 煤、石油、天然气等矿物燃料的消耗巨大, 生产生活排放污染物较多; 在长距离传输过程中, 适宜的温度及相对湿度加速了从辽东半岛及华北地区带来的高浓度污染气体(SO₂、NO_x 和 NH₃) 的气-粒转化过程, 从而导致二次离子具有较好的相关性.

表 2 大气气溶胶主要水溶性离子相关性矩阵

Table 2 Correlations of the concentration of major soluble ions

	Na ⁺	Cl ⁻	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	MSA
Na ⁺	1									
Cl ⁻	0.968 **	1								
Mg ²⁺	0.729 **	0.686 *	1							
K ⁺	-0.392	-0.394	0.240	1						
Ca ²⁺	-0.401	-0.363	0.275	0.849 **	1					
NO ₃ ⁻	-0.366	-0.349	0.312	0.841 **	0.962 **	1				
NH ₄ ⁺	-0.487	-0.550	0.181	0.844 **	0.840 **	0.814 **	1			
SO ₄ ²⁻	-0.389	-0.497	0.135	0.763 **	0.598 *	0.556	0.915 **	1		
nss-SO ₄ ²⁻	-0.418	-0.524	0.108	0.766 **	0.603 *	0.561	0.919 **	0.999 **	1	
MSA	-0.311	-0.330	-0.029	0.583 *	0.523	0.471	0.493	0.445	0.449	1

2.3 TSP 中的 MSA 和 nss-SO₄²⁻

2.3.1 MSA 的浓度分布

秋季渤海、北黄海 MSA 的浓度在 0.013 ~ 0.091 μg·m⁻³ 和 0.0067 ~ 0.060 μg·m⁻³ 之间, 平均值分别为 (0.049 ± 0.021) μg·m⁻³ 和 (0.031 ± 0.011) μg·m⁻³, 低于春季相同海域 (0.077 ± 0.026) μg·m⁻³ 和 (0.052 ± 0.032) μg·m⁻³ 的测定值^[15], 存在一定的季节差异, 这与 Yang 等^[23] 报道的北黄海大气中二甲基硫(DMS)浓度季节差异相一致. 海洋边界层中的 MSA 主要来自于表层海水释放到大气中的 DMS 的氧化过程, 而 DMS 作为海洋浮游植物

释放的最主要的生源硫化物, 其浓度水平受到海洋初级生产力水平的影响. 春季, 河流的输入以及来自内陆和西北沙漠地区的沙尘沉降为渤海、北黄海带来丰富的营养元素, 藻类生长比较旺盛, 初级生产力水平较高, 导致 DMS 的海-气通量较大, 进而导致春季 MSA 浓度较大.

研究表明, 海洋边界层中 MSA 的产生还受到大气温度和氧化基团的影响^[24], 较低的大气温度更有利于 DMS 氧化生成 MSA^[25,26]. 春、秋季采样期间平均温度分别为 10.6℃ 和 21.2℃, 因此, 较高的大气温度可能也是秋季 MSA 浓度水平较低的原

因之一. 此外, 对本航次的数据统计分析发现, 气溶胶中 NO_3^- 与 MSA 浓度存在较好的线性关系(图 4, $r=0.74, P<0.005$). Yin 等^[27] 研究发现高浓度的 NO_x 也能够促进 DMS 向 MSA 的转化, 尤其是在大气污染比较严重的近海海域. 此研究结果表明渤海、北黄海气溶胶中 MSA 可能主要来源于 $\text{NO}_3\cdot$ 自由基对 DMS 的氧化.

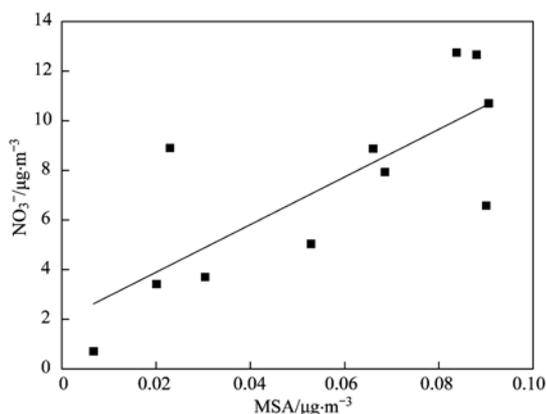


图 4 气溶胶中 MSA 与 NO_3^- 之间的线性关系

Fig. 4 Correlation between MSA and NO_3^- concentrations in aerosol samples

2.3.2 生源硫对 nss-SO_4^{2-} 的贡献

生源硫酸盐 ($\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$) 和人为源硫酸盐是大气气溶胶中 nss-SO_4^{2-} 的组成部分. MSA 作为 DMS 的稳定氧化产物之一, 常被用来计算大气气溶胶中 $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 对 nss-SO_4^{2-} 的贡献率^[28]. 在开阔的大洋海域, $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{MSA}$ 的质量比值维持在 18 ~ 20 之间^[29], 因此本研究采用 $c(\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}) = c(\text{MSA}) \times 19$ 来计算近岸海域来自 DMS 氧化的 $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 浓度, 并由此估算 $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 对 nss-SO_4^{2-} 的贡献. 计算结果表明, 秋季渤海、北黄海水域海盐硫酸盐分别占总 SO_4^{2-} 浓度的 1.2% 和 12.1%, $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 对 nss-SO_4^{2-} 的贡献分别为 5.0% 和 14.6%. 同时, 对比北黄海其它季节的大气 SO_4^{2-} 的调查数据发现, $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 对 nss-SO_4^{2-} 的贡献在 2.3% ~ 18.1% 之间^[15,30], 并存在夏季最高、春秋次之、冬季最低的季节变化规律. 由上述分析可以看出, 中国近海人为输入源对 nss-SO_4^{2-} 的贡献远大于海洋自身 $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 的贡献, 陆源人为输入是该海域气溶胶中 nss-SO_4^{2-} 的主要来源.

2.3.3 TSP 中的 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$

东部沿海地区大气中污染性气体 SO_2 和 NO_x 主要来自生产生活中燃煤与燃油的排放, 因此气溶胶中 nss-SO_4^{2-} 和 NO_3^- 比值可以用来指示固定污染

源和移动污染源对大气中硫和氮的相对贡献^[28,31]. 据 Arimoto 等^[28] 估算, 1987 年中国各省份 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值均大于 3.0. 随着工业生产中脱硫技术的应用和小型高污染排放工厂的取缔, 1996 年和 2006 年后我国 SO_2 的释放总量出现两次回落^[32,33]; 同时, 机动车数量的增加导致 NO_x 排放激增, 这两者导致近年来 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值存在很大的变化. 2000 年北京和上海地区 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的质量比值分别为 1.7 和 2.3^[34], 与同年 Wang 等^[35] 的报道相接近 (1.7), 这表明近年来我国经济 and 能源的结构调整起到了一定的作用. 本航次调查中大气气溶胶中 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值为 2.3, 与石金辉等^[36] 在东海海域比值为 2.22 的调查结果接近, 但高于同年春季的测定结果 1.52. 尽管近年来 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值有所下降, 但比值明显大于 1, 表明在渤海和北黄海水域固定污染源对大气气溶胶的贡献仍大于移动污染源.

3 结论

(1) 秋季渤海、北黄海大气气溶胶水溶性离子中二次离子 (nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+) 的浓度最高, 分别占水溶性离子总浓度的 87.5% 和 62.8%.

(2) 水溶性离子相对于海源和地壳源表现出不同程度的富集. Mg^{2+} 、 Cl^- 相对于 Na^+ 的富集因子接近于 1, 主要来自海源; K^+ 相对于 Ca^{2+} 的富集因子接近于 1, 主要来自地壳源.

(3) 气溶胶中的 MSA 表现出春季高于秋季的季节差异. 另外秋季渤海、北黄海水域海盐硫酸盐分别占总 SO_4^{2-} 浓度的 1.2% 和 12.1%, $\text{SO}_4^{2-}_{\text{bio}}$ 对 nss-SO_4^{2-} 的贡献分别为 5.0% 和 14.6%, 陆源人为活动输入对两海域大气 SO_4^{2-} 的贡献仍占有主导地位.

参考文献:

- [1] 王明星. 气溶胶与气候[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 1-5.
- [2] 王明星, 张仁健. 大气气溶胶研究的前沿问题[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(1): 119-124.
- [3] 王珉, 胡敏. 陆地与海洋气溶胶的相互输送及其对彼此环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 69-73.
- [4] 徐建中, 孙俊英, 秦大河, 等. 中国第二次北极科学考察沿线气溶胶可溶性离子分布特征和来源[J]. 环境科学学报, 2007, 27(9): 1417-1424.
- [5] Maenhaut W, Raemdonck H, Selen A, et al. Characterization of the atmospheric aerosol over the eastern equatorial Pacific[J]. Journal of Geophysical Research, 1983, 88(C9): 5353-5364.
- [6] Saltzman E S, Savoie D L, Prospero J M, et al. Methanesulfonic

- acid and non-sea-salt sulfate in pacific air: Regional and seasonal variations[J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1986, **4**(2): 227-240.
- [7] Mukai H, Yokouchi Y, Suzuki M. Seasonal variation of methanesulfonic acid in the atmosphere over the Oki Islands in the Sea of Japan [J]. *Atmospheric Environment*, 1995, **29**(14): 1637-1648.
- [8] Uematsu M, Toratani M, Kajino M, *et al.* Enhancement of primary productivity in the western North Pacific caused by the eruption of the Miyake-jima Volcano [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(6), doi: 10.1029/2003GL018790.
- [9] Zhang J, Zou L, Wu Y, *et al.* Atmospheric wet deposition and changes in phytoplankton biomass in the surface ocean [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(11), doi: 10.1029/2004GL019464.
- [10] 曲绍厚, 李玉英, 周明煜, 等. 北京地区的气溶胶特性及其变化规律[J]. *环境科学学报*, 1982, **2**(4): 317-328.
- [11] 盛立芳, 郭志刚, 高会旺, 等. 渤海大气气溶胶元素组成及物源分析[J]. *中国环境监测*, 2005, **21**(1): 16-21.
- [12] Yuan H, Zhuang G S, Li J, *et al.* Mixing of mineral with pollution aerosols in dust season in Beijing: Revealed by source apportionment study [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(9): 2141-2157.
- [13] Draxler R R, Rolph G D. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) [EB/OL]. Silver Spring: NOAA Air Resources Laboratory, <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, 2013-02-21.
- [14] Gao Y, Arimoto R, Duce R A, *et al.* Atmospheric non-sea-salt sulfate, nitrate and methanesulfonate over the China Sea [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D7): 12601-12611.
- [15] 薛磊, 张洪海, 杨桂朋. 春季黄渤海大气气溶胶的离子特征与来源分析[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(11): 2329-2335.
- [16] 李连科, 栗俊, 范国全, 等. 大连海域大气气溶胶物质来源分析[J]. *重庆环境科学*, 1997, **19**(5): 18-23.
- [17] Odabasi M, Muezzinoglu A, Bozlaker A. Ambient concentrations and dry deposition fluxes of trace elements in Izmir, Turkey [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(38): 5841-5851.
- [18] Millero F J. *Chemical Oceanography* [M]. (3rd ed.). New York: CRC Press, 2006. 496.
- [19] Wei F S, Zheng C J, Chen J S, *et al.* Study on the background contents on 61 elements of soils in China [J]. *Environmental Science*, 1991, **12**(4): 12-19.
- [20] Hegde P, Sudheer A K, Sarin M M, *et al.* Chemical characteristics of atmospheric aerosols over southwest coast of India [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(36): 7751-7766.
- [21] Sullivan R C, Guazzotti S A, Sodeman D A, *et al.* Direct observations of the atmospheric processing of Asian mineral dust [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, **7**(5): 1213-1236.
- [22] 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 Science*, 2007, **19**(8): 939-947.
- [23] Yang G P, Zhang H H, Su L P, *et al.* Biogenic emission of dimethylsulfide (DMS) from the North Yellow Sea, China and its contribution to sulfate in aerosol during summer [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(13): 2196-2203.
- [24] Nakamura T, Matsumoto K, Uematsu M. Chemical characteristics of aerosols transported from Asia to the East China Sea: an evaluation of anthropogenic combined nitrogen deposition in autumn [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(9): 1749-1758.
- [25] Atkinson R, Pitts J N Jr, Aschmann S M. Tropospheric reactions of dimethyl sulfide with nitrogen oxide (NO₃) and hydroxyl radicals (OH) [J]. *Journal of Physical Chemistry*, 1984, **88**(8): 1584-1587.
- [26] Grosjean D. Photooxidation of methyl sulfide, ethyl sulfide, and methanethiol [J]. *Environment Science of Technology*, 1984, **18**(6): 460-468.
- [27] Yin F D, Grosjean D, Flagan R C, *et al.* Photooxidation of dimethyl sulfide and dimethyl disulfide. II: Mechanism evaluation [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1990, **11**(4): 365-399.
- [28] 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.
- [29] Savoie D L, Prospero J M, Saltzman E S. Nitrate, non-sea-salt Sulfate and Methanesulfonate over the Pacific Ocean [A]. In: Riley J P, Chester R, Duce R A (Eds.). *Chemical Oceanography* [M]. Vol. X. London: Academic Press, 1989. 219-250.
- [30] 张洪海, 杨桂朋. 北黄海二甲基硫(DMS)的海-气释放及其对气溶胶中非海盐硫酸盐的贡献 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2009, **39**(4): 750-756.
- [31] 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.
- [32] Streets D G, Yu C, Wu Y, *et al.* Aerosol trends over China, 1980-2000 [J]. *Atmospheric Research*, 2008, **88**(2): 174-182.
- [33] Su S S, Li B G, Cui S Y, *et al.* Sulfur dioxide emissions from combustion in China: from 1990 to 2007 [J]. *Environmental Science and Technology*, 2011, **45**(19): 8403-8410.
- [34] Yao X H, Chan C K, Fang M, *et al.* The water-soluble ionic composition of PM_{2.5} in Shanghai and Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(26): 4223-4234.
- [35] 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.
- [36] 石金辉, 张云, 高会旺, 等. 东海大气气溶胶的化学特征及来源 [J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(8): 1750-1757.

CONTENTS

Aerosol Optical Properties During Different Air-Pollution Episodes over Beijing	SHI Chan-zhen, YU Xing-na, ZHOU Bin, <i>et al.</i> (4139)
Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Aerosol Ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea in Autumn	ZHANG Yan, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (4146)
Spatial Distribution Characteristics of Carbonaceous Aerosol During Summer in Beibu Gulf Zone, China	YANG Yi-hong, TAO Jun, GAO Jian, <i>et al.</i> (4152)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Greenhouse Gas by an Improved FTIR	XIA Ling-jun, LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (4159)
Distribution of CH ₄ in the Suburb of Changsha City, China	LIU Lu-ning, WANG Ying-hong, XU Xiao-juan, <i>et al.</i> (4165)
Chemical Composition of <i>n</i> -Alkanes in Wheat Straw and Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (4171)
Degradation of the Absorbed Methyl Mercaptan by Persulfate in Alkaline Solution	YANG Shi-ying, WANG Lei-lei, FENG Lin-yu, <i>et al.</i> (4178)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from the Full Process of Sewage Sludge Composting and Land Application of Compost	ZHONG Jia, WEI Yuan-song, ZHAO Zhen-feng, <i>et al.</i> (4186)
Distribution and Physicochemical Properties of Aquatic Colloids in the Yangtze Estuarine and Coastal Ecosystem	GU Li-jun, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4195)
Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Estuaries Surface Sediments from the Haihe River Basin	LÜ Shu-cong, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (4204)
Distribution of Perfluorooctanesulfonate and Perfluorooctanoate in Water and the Sediment in Fenhe River, Shanxi Province	Higashiguchi Tomohiro, SHI Jiang-hong, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (4211)
Analysis on Nitrogen and Phosphorus Loading of Non-point Sources in Shiqiao River Watershed Based on L-THIA Model	LI Kai, ZENG Fan-tang, FANG Huai-yang, <i>et al.</i> (4218)
Pollutant Source Apportionment of Combined Sewer Overflows Using Chemical Mass Balance Method	DAI Mei-hong, LI Tian, ZHANG Wei (4226)
Simulated Study of Algal Fatty Acid Degradation in Hypoxia Seawater-Sediment Interface Along China Coastal Area	SUI Wei-wei, DING Hai-bing, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4231)
Influence of Two Different Species of Aquatic Plant Communities on the Concentration of Various Nitrogen Forms in Sediment of Lake Taihu	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (4240)
Study on Removal Rule of Endosulfan in Surface Flow Constructed Wetland	QIN Jing, GAO Fu-wei, XIE Hui-jun (4251)
Accumulation and Transformation of Different Arsenic Species in Nonaxenic <i>Dunaliella salina</i>	WANG Ya, ZHANG Chun-hua, WANG Shu, <i>et al.</i> (4257)
Evaluation of <i>in situ</i> Capping with Lanthanum-Modified Zeolite to Control Phosphate and Ammonium Release from Sediments in Heavily Polluted River	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui (4266)
Effects of Invertebrate Bioturbation on Vertical Hydraulic Conductivity of Streambed for a River	REN Chao-liang, SONG Jin-xi, YANG Xiao-gang, <i>et al.</i> (4275)
Formation of Disinfection By-products by <i>Microcystis aeruginosa</i> Intracellular Organic Matter; Comparison Between Chlorination and Bromination	TIAN Chuan, GUO Ting-ting, LIU Rui-ping, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency and Characterization of the Floes Formed	XU Lei, YU Wen-zheng, LIANG Liang, <i>et al.</i> (4290)
DOM Membrane Fouling and Effects on Rejection Behaviors of NF Membranes	FENG Gui-zhen, DONG Bing-zhi (4295)
Removal of Hg in Wastewater by Zero-Valent Iron	ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, QIU Xin-kai, <i>et al.</i> (4304)
Catalytic Dechlorination of 2,4-D in Aqueous Solution by Fe ₃ O ₄ -Stabilized Nanoscale Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, LIANG Si, ZENG Si-si, <i>et al.</i> (4311)
Comparative Study on Adsorption Behaviors of Natural Organic Matter by Powered Activated Carbons with Different Particle Sizes	LI Zheng-jian, SHI Bao-you, WANG Dong-sheng (4319)
Removal of Nitrate from Aqueous Solution Using Cetylpyridinium Chloride (CPC)-Modified Activated Carbon as the Adsorbent	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4325)
Adsorption Properties of Modified Graphene for Methylene Blue Removal from Wastewater	WU Yan, LUO Han-jin, WANG Hou, <i>et al.</i> (4333)
Application of Classical Isothermal Adsorption Models in Heavy Metal Ions/Diatomite System and Related Problems	ZHU Jian, WU Qing-ding, WANG Ping, <i>et al.</i> (4341)
Effects of Nitrate on Anoxic/Anaerobic Oxidation of Methane in the Aged Refuse	LIU Yan-yan, LONG Yan, YIN Hua, <i>et al.</i> (4349)
Study on the Biotransformation of Sulfate and Ammonia in Anaerobic Conditions	ZHANG Li, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4356)
Characteristics of Sulfate Reduction-Ammonia Oxidation Reaction	YUAN Yi, HUANG Yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (4362)
Analysis of Hydrogen-production Performance in a UASB System at Low pH	ZHAO Jian-hui, ZHANG Bai-hui, LI Ning, <i>et al.</i> (4370)
Preparation of Red Mud Loaded Co Catalysts; Optimization Using Response Surface Methodology (RSM) and Activity Evaluation	LI Hua-nan, XU Bing-bing, QI Fei, <i>et al.</i> (4376)
Toxic Effects of High Concentrations of Ammonia on <i>Euglena gracilis</i>	LIU Yan, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (4386)
Influence of Image Process on Fractal Morphology Characterization of NAPLs Vertical Fingering Flow	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4392)
Changing Characteristics of Organic Matter and pH of Cultivated Soils in Zhejiang Province over the Last 50 Years	ZHANG Ming-kui, CHANG Yue-chang (4399)
Study on Selenium Contents of Typical Selenium-rich Soil in the Middle Area of Zhejiang and Its Influencing Factors	HUANG Chun-lei, SONG Ming-yi, WEI Ying-chun (4405)
Spatial Distribution Characteristics of Fe and Mn Contents in the New-born Coastal Marshes in the Yellow River Estuary	SUN Wen-guang, GAN Zhuo-ting, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (4411)
Level, Composition and Sources of Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soils from Chongming Island	SUN Yang-zhao, WANG Xue-tong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4420)
Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides in Soil from Daiyun Mountain Range in Fujian, China	QU Cheng-kai, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (4427)
Levels of PCDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Soils Near E-Waste Dismantling Sites	SHAO Ke, YIN Wen-hua, ZHU Guo-hua, <i>et al.</i> (4434)
Chemical Form Changes of Exogenous Water Solution Fluoride and Bioavailability in Tea Garden Soil	CAI Hui-mei, PENG Chuan-yi, CHEN Jing, <i>et al.</i> (4440)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Vegetation Restoration of Different Types of Coal Mine Spoil Banks	ZHAO Ren-xin, GUO Wei, FU Rui-ying, <i>et al.</i> (4447)
Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Environmental Phytoremediation in Coal Mine Areas	LI Shao-peng, BI Yin-li, KONG Wei-ping, <i>et al.</i> (4455)
Preliminary Analysis of Manganese Uptake Mechanism in the Hyperaccumulator <i>Phytolacca americana</i> L.	XU Xiang-hua, LI Ren-ying, LIU Cui-ying, <i>et al.</i> (4460)
Research on the Bioaccessibility of HgS by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	CHEN Yan, WANG Hui, SI You-bin (4466)
Study on IEUBK Model Localization Based on Behavior Parameters of Children from Southwestern China	JIANG Bao, CUI Xiao-yong (4473)
Sorption and Desorption Characteristics of Different Structures of Organic Phosphorus onto Aluminum (Oxyhydr) Oxides	LIU Fei, ZHANG Yan-yi, YAN Yu-peng, <i>et al.</i> (4482)
Study on the Occurrence of Ferrum in Coal by Ultrasound-assisted Sequential Chemical Extraction	XIONG Jin-yu, LI Han-xu, DONG Zhong-bing, <i>et al.</i> (4490)
A Review of Uptake, Translocation and Phytotoxicity of Engineered Nanoparticles in Plants	YANG Xin-ping, ZHAO Fang-Jie (4495)

《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11月15日 34卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 11 Nov. 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