

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)

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^{1,2}, 陶俊^{2*}, 高健³, 李雄⁴, 施展², 韩保新², 谢文彰², 曹军骥⁵

(1. 北京理工大学珠海学院化工与材料学院, 珠海 519088; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 4. 广西气象服务中心, 南宁 530022; 5. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075)

摘要: 于 2009 年 8 月在北部湾地区的南宁、钦州、防城港、北海、湛江、茂名、海口、洋浦、东方等 9 个城市的城区和郊区同步采集 PM_{2.5} 样品, 采用热光反射碳分析仪分析得到有机碳(organic carbon, OC)、元素碳(elemental carbon, EC)的质量浓度, 对 OC、EC 浓度水平、空间分布及其可能的来源进行分析。结果表明, 观测期间北部湾 9 个城市 PM_{2.5}、OC 和 EC 的浓度均值分别为(38.4 ± 17.7)、(9.2 ± 2.6)和(1.9 ± 1.1) μg·m⁻³, 总碳气溶胶(total carbonaceous aerosol, TCA)占 PM_{2.5} 质量的 56.8%。北部湾地区夏季 OC 主要来源于生物质燃烧和二次生成的有机碳(secondary organic carbon, SOC), EC 主要来源于机动车和工业排放。

关键词: 北部湾; PM_{2.5}; 有机碳; 元素碳; 来源

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)11-4152-07

Spatial Distribution Characteristics of Carbonaceous Aerosol During Summer in Beibu Gulf Zone, China

YANG Yi-hong^{1,2}, TAO Jun², GAO Jian³, LI Xiong⁴, SHI Zhan², HAN Bao-xin², XIE Wen-zhang², CAO Jun-ji⁵

(1. School of Chemical Engineering and Materials Science, Zhuhai Campus, Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519088, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 4. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022, China; 5. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

Abstract: Daily (24-h average) PM_{2.5} samples were collected simultaneously at urban and suburban sites of nine cities (Nanning, Qinzhou, Fangchenggang, Beihai, Zhanjiang, Maoming, Haikou, Yangpu and Dongfang) in Beibu Gulf Zone during August 2009. All samples were analyzed for organic and elemental carbon (OC and EC) analyses by the thermal/optical reflectance following IMPROVE protocol. Characteristics of OC and EC concentration levels, spatial distribution, and the possible sources were discussed. The average concentrations of PM_{2.5}, OC and EC in Beibu Gulf zone were (38.4 ± 17.7), (9.2 ± 2.6) and (1.9 ± 1.1) μg·m⁻³, respectively. The total carbonaceous aerosol (TCA) accounted for over 56.8% of PM_{2.5}. OC mainly came from biomass burning and secondary organic carbon (SOC), while motor exhaust and industrial emissions were the primary source of EC during summer in Beibu Gulf Zone.

Key words: Beibu Gulf Zone; PM_{2.5}; OC; EC; source

碳气溶胶主要包括 OC、EC 和少量碳酸盐, 其中 OC 和 EC 是大气颗粒物的重要组成部分, 对人体健康、大气能见度、空气质量以及区域甚至全球气候变化均有重要影响^[1-3]。OC 和 EC 主要分布于细颗粒物中^[4, 5], 在城市地区大气中含碳物质对 PM_{2.5} 的贡献可高达 54%^[6]。其中, OC 可来自各种燃烧过程的直接排放或者生物排放等非燃烧过程的直接排放, 也可来自挥发性有机物经反应生成的 SOC^[7]。EC 则主要来源于各种不完全燃烧过程^[8]。近年来, 国内有关碳气溶胶研究相当丰富, 但主要集中在京津冀^[9-14]、长三角^[15-19]、珠三角^[20-24]、成渝^[25, 26]以及西安^[27-29]等地区, 而在北部湾地区有关 PM_{2.5} 及其碳组分的研究还未见报道。

北部湾地区作为中国参与东盟“10 + 1”战略的

重要门户和前沿地带, 其区域经济发展正在加速。由于北部湾经济区各地的重点产业规划仍然以传统的高耗能、高污染的钢铁、石化和能源项目为主(例如北部湾沿海城市防城港、北海市、钦州市等 1 000 万 t 石化项目、大型冶炼厂、纸浆厂、沥青厂、燃煤发电厂、核电厂等诸多大气污染型项目), 随着上述项目相继投产运行, 难免会对区域内大气环境质量带来一定压力。因此在北部湾开发初期阶段, 选择北部湾地区 9 个城市, 每个城市分城区和郊区, 共 18 个采样点, 同步采集 PM_{2.5} 样品获取 OC 和 EC

收稿日期: 2013-02-16; 修订日期: 2013-05-17

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201009001)

作者简介: 杨毅红(1982~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为大气化学与大气环境, E-mail: yang_yihong@163.com

* 通讯联系人, E-mail: taojun@scies.org

浓度等第一手的观测数据,分析夏季北部湾地区城市大气碳气溶胶的变化及空间分布特征,探讨其可能的来源,以期为区域内环保主管部门制定相应的大气污染防治政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集地点

北部湾位于我国南海的西北部,东临雷州半岛和海南岛,北临广西壮族自治区,西临越南,南与南海相连,是一个半封闭的大海湾。其地处热带和亚热带,冬季受大陆冷空气的影响,多东北风。夏季受热带海洋气流影响,多西南风并时常受到台风的侵袭。

本研究中的 9 个城市地跨我国广西、广东和海南三省,其中南宁、北海、钦州和防城港属于广西,湛江和茂名属于广东,海口、洋浦和东方属于海南(见图 1)。考虑到城区和郊区主要污染排放来源不同,每个城市分别设置城区和郊区两个采样点。采

样点具体位置及周边概况见表 1。采样期间的主要气象要素见表 2,其数据来源于各城市当地气象站资料。

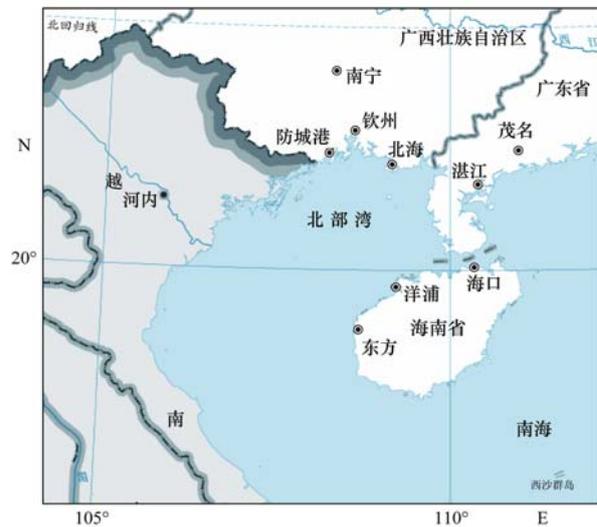


图 1 北部湾地区 9 城市地理位置分布示意

Fig. 1 Geographical locations of 9 cities in Beibu Gulf Zone

表 1 北部湾 9 城市采样点概况

Table 1 Surrounding environment of sampling sites of 9 cities in Beibu Gulf Zone

城市	城区采样点		郊区采样点		城市总人口
	地理位置	采样高度	地理位置	采样点高度	
南宁	22.82°N, 108.32°E	南宁市监测站实验楼楼顶(21 m)	23.37°N, 108.07°E	仙湖边一建筑楼顶(15 m)	666 万
钦州	21.96°N, 108.63°E	钦州市监测站办公楼楼顶(18 m)	21.99°N, 108.71°E	田寥水库旁一建筑的楼顶(5 m)	379 万
防城港	21.63°N, 108.35°E	原防城港环保局大楼楼顶(15 m)	21.76°N, 108.41°E	三波水库管理所楼顶(5 m)	86 万
北海	21.46°N, 109.10°E	北海市环保局大楼六楼天台(21 m)	21.60°N, 109.56°E	铁山港工业区内建筑楼顶(15 m)	174 万
湛江	21.23°N, 110.39°E	湛江市环保局大楼楼顶(18 m)	21.01°N, 110.53°E	东海岛度假村建筑楼顶(15 m)	725 万
茂名	21.66°N, 110.91°E	茂名市环境监测站大楼楼顶(15 m)	21.57°N, 110.96°E	乙烯基地空气自动监测子站的楼顶(15 m)	725 万
海口	20.01°N, 110.29°E	秀英海南医院楼顶(12 m)	20.02°N, 110.33°E	东寨港海南省环科院内建筑物楼顶(12 m)	204 万
洋浦	19.74°N, 109.19°E	山尾村村民楼的房顶(8 m)	19.85°N, 109.27°E	峨蔓镇一农户家楼顶(5 m)	3.7 万
东方	19.09°N, 108.65°E	东方市市委大楼楼顶(18 m)	19.10°N, 108.83°E	大田坡鹿自然保护区内(8 m)	35 万

表 2 采样期间的气象条件¹⁾

Table 2 Meteorological parameters during the sampling period

城市	平均气压 /kPa	日均气温 /°C	相对湿度 /%	平均风速 /m·s ⁻¹	降水量 /mm
南宁	988.5	28.7	77.9	1.99	8.8
钦州	1 001.1	29.9	77.5	1.87	6.8
防城港	998.2	29.1	80.3	2.37	9.5
北海	1 000.1	28.9	84.7	2.35	27.5
湛江	995.1	28.1	84.2	2.45	28.6
茂名	997.9	27.8	88.0	2.88	29.4
海口	994.1	27.5	85.8	3.07	28.0
洋浦	—	—	—	—	—
东方	1 001.1	28.1	82.9	4.39	44.0

1) “—”无气象数据

1.2 采样方案及采样方法

于 2009 年 8 月 3 ~ 17 日利用小流量便携式采样器 MiniVOL (Air Metrics Corporation) 每天采集 1 个 PM_{2.5} 样品。采样时段从当日 10:00 ~ 次日 09:

30, 连续采集 23.5 h, 采样器流量为 5.0 L·min⁻¹, 使用直径为 47 mm 的石英滤膜(Whatman QM/A, England)。采样前, 全部仪器统一进行流量校准, 保证流量偏差在 ±2% 之内。采集完成的滤膜全部放

在 -21°C 的冷藏柜中临时保存,传输过程利用密封袋保存并包上冰袋,以降低样品的挥发。

所有使用的石英滤膜需在 800°C 的马弗炉中高温烘烤 3 h(以防止可能的含碳物质污染),冷却后放在恒温恒湿箱(温度 $20 \sim 23^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $35\% \sim 45\%$)平衡 24 h,然后再用精度为 $1 \mu\text{g}$ 的电子天平(Mettler M3, Switzerland)进行称量,且前后两次称量的误差小于 $10 \mu\text{g}$ 。

1.3 OC 和 EC 分析方法

所有样品的 OC 和 EC 均采用美国沙漠研究所研制,中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室的 DRI Model 2001 热光碳分析仪(Thermal/Optical Carbon Analyzer)进行分析. 分析方法为 IMPROVE 热光反射(TOR, Thermal Optical Reflectance)^[30]. 具体分析过程为:从采样滤膜上截取 0.526 cm^2 圆形滤膜,在纯氦气环境中,分别以 140°C (OC1), 280°C (OC2), 480°C (OC3) 和 580°C (OC4) 对滤膜片进行加热,将滤纸上的颗粒态碳转化为 CO_2 ; 然后在含 2% 氧气的氦气环境下,分别于 580°C (EC1),

740°C (EC2) 和 840°C (EC3) 对样品再次逐步加热,使样品中的元素碳也转化为 CO_2 ^[8]. 上述各温度梯度下产生的 CO_2 ,经 MnO_2 催化还原转化为 CH_4 . 通过火焰离子检测器(FID)检测其浓度,从而得到各个温度条件下的 OC 和 EC 的浓度. 在加热过程中,部分有机碳可发生碳化现象而形成黑碳,为检测出此部分转化为黑炭的有机碳浓度,采用 633 nm 的氦-氖激光监测滤纸的透射光强,利用光强的变化明确指示出元素碳氧化的起始点. 有机碳碳化过程中形成的碳化物称之为光学检测裂解碳(OP). 根据 IMPROVE 协议将有机碳定义为 $\text{OC1} + \text{OC2} + \text{OC3} + \text{OC4} + \text{OP}$,元素碳定义为 $\text{EC1} + \text{EC2} + \text{EC3} - \text{OP}$.

2 结果与讨论

2.1 $\text{PM}_{2.5}$ 、OC 和 EC 浓度水平

观测期间,北部湾 9 个城市 18 个采样点合计采集有效样品 246 个,18 个采样点的 $\text{PM}_{2.5}$ 、OC 和 EC 质量浓度统计结果见表 3. 从中可知,北部湾地区 $\text{PM}_{2.5}$ 总平均浓度为 $(38.4 \pm 17.7) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,18 个采

表 3 北部湾 9 城市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 、OC、EC 的浓度,OC/EC 及 OC、EC 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献

Table 3 Average mass concentration of $\text{PM}_{2.5}$, OC and EC, OC/EC ratio and contributions of OC, EC to $\text{PM}_{2.5}$ in Beibu Gulf cities

城市	采样点 (样品数)	$\text{PM}_{2.5}$ $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	OC $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	OC/EC	OC/%	EC/%
南宁	城区(15)	58.0 ± 21.5	10.5 ± 3.3	3.4 ± 1.4	3.2	18.6	5.8
	郊区(13)	61.3 ± 33.6	12.1 ± 2.8	2.4 ± 1.0	5.4	22.7	4.4
	平均(28)	59.5 ± 27.3	11.3 ± 3.1	2.9 ± 1.3	4.3	20.5	5.1
钦州	城区(15)	54.9 ± 17.2	9.5 ± 1.8	2.3 ± 0.4	4.2	18.1	4.4
	郊区(11)	36.6 ± 13.3	8.7 ± 1.8	1.7 ± 0.8	6.3	25.6	4.8
	平均(26)	47.1 ± 17.9	9.2 ± 1.8	2.0 ± 0.6	5.1	21.3	4.6
防城港	城区(13)	40.4 ± 8.5	9.4 ± 2.1	2.2 ± 0.6	4.5	23.5	5.6
	郊区(14)	30.1 ± 9.8	8.0 ± 1.9	1.7 ± 0.5	4.9	27.6	5.8
	平均(27)	35.1 ± 10.5	8.7 ± 2.1	1.9 ± 0.6	4.7	25.6	5.7
北海	城区(15)	39.0 ± 11.3	7.5 ± 1.7	1.9 ± 0.6	4.2	19.6	4.9
	郊区(13)	33.2 ± 11.5	8.6 ± 2.7	1.0 ± 0.7	20.8	26.5	2.8
	平均(28)	36.3 ± 11.6	8.0 ± 2.2	1.5 ± 0.8	11.9	22.8	3.9
湛江	城区(13)	44.4 ± 7.3	11.0 ± 2.4	3.4 ± 0.8	3.3	24.8	7.6
	郊区(15)	25.8 ± 5.8	7.5 ± 2.3	1.0 ± 0.6	10.6	28.8	3.7
	平均(28)	34.5 ± 11.4	9.1 ± 2.9	2.1 ± 1.4	7.2	27.0	5.5
茂名	城区(13)	51.0 ± 14.6	11.0 ± 2.8	3.1 ± 1.5	4.0	22.4	6.0
	工业区(11)	58.3 ± 10.9	12.0 ± 2.8	3.1 ± 0.7	3.9	20.8	5.3
	平均(24)	54.4 ± 13.2	11.5 ± 2.7	3.1 ± 1.2	3.9	21.7	5.7
海口	城区(14)	31.5 ± 4.4	7.2 ± 1.0	2.4 ± 0.5	3.1	23.2	7.6
	郊区(15)	25.9 ± 5.3	7.7 ± 1.5	0.8 ± 0.3	10.3	30.4	3.3
	平均(29)	28.6 ± 6.4	7.5 ± 1.3	1.6 ± 0.9	6.8	26.8	5.4
洋浦	城区(15)	26.5 ± 4.0	7.8 ± 1.0	1.2 ± 0.5	10.3	29.7	4.2
	郊区(12)	27.3 ± 5.0	8.3 ± 1.7	1.0 ± 0.4	9.9	30.6	3.4
	平均(27)	26.9 ± 4.8	8.0 ± 1.4	1.0 ± 0.5	10.1	30.1	3.9
东方	城区(15)	28.7 ± 4.8	11.1 ± 1.2	1.1 ± 0.5	14.0	39.2	3.8
	郊区(14)	23.0 ± 4.6	8.0 ± 1.7	0.7 ± 0.5	20.7	34.7	3.0
	平均(29)	26.0 ± 5.4	9.6 ± 2.2	0.9 ± 0.5	17.3	37.0	3.4
北部湾	总平均(246)	38.4 ± 17.7	9.2 ± 2.6	1.9 ± 1.1	8.0	26.0	4.8

样点平均浓度变化范围为 $23.0 \sim 61.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均小于我国空气质量标准(GB 3095-2012)中 $\text{PM}_{2.5}$ 的二级标准 $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 略微高于一级标准 $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 其中广东湛江和海南省的海口、洋浦、东方等 4 个城市 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度达到一级标准, 其它城市均低于二级标准. 与我国夏季其它城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度比较^[6], 北部湾地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值与香港 ($40.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 比较接近, 略微高于青岛 ($30.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和厦门 ($25.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 但显著低于北京 ($117.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、长春 ($59.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、天津 ($103.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、重庆 ($116.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、广州 ($49.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、杭州 ($90.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、上海 ($52.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、武汉 ($70.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). 由此可见, 北部湾地区夏季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度处于相对较低的水平.

北部湾 9 个城市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC、EC 的平均浓度分别为 $(9.2 \pm 2.6) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(1.9 \pm 1.1) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 分别占 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的 26.0% 和 4.8%. 与夏季国内其它城市相同季节 OC 和 EC 质量浓度比较, 北部湾 9 个城市 OC 和 EC 浓度低于北京 (OC: $17.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $4.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、天津 (OC: $16.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $3.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、广州 (OC: $10.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $3.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、上海 (OC: $13.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $2.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)、武汉 (OC: $14.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $3.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)^[6], 但略高于海滨城市青岛^[6] (OC: $5.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $1.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和厦门^[6] (OC: $4.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC: $1.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). 与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的比较结果类似, 北部湾地区 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 浓度处于相对较低的水平.

为了进一步估算碳气溶胶对 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的贡献率, 采用有机物 (organic mass, OM) 与 EC 之和得到 TCA 质量浓度. 其中 OM 包括有机碳及未测量的氢、氧等元素, 可通过 OC 乘以一定的转换系数获得, 不同研究地点得到 OM 和 OC 之间的转换系数并不相同^[31-33]. 例如, 根据 Turpin 等^[32] 的研究, 城市大气中的有机质 $\text{OM} = 1.6 \times \text{OC}$; 而 Chen 等^[33] 在香港研究得到的转换公式为 $\text{OM} = 2.0 \times \text{OC}$. 考虑到香港与北部湾距离相近且同属亚热带海滨城市, 因此在本研究中采用 $\text{OM}/\text{OC} = 2.0$ 转换系数计算 OM 值. 本次观测期间, 北部湾 9 城市 18 个采样点大气有机物 OM 估算值、TCA 浓度及 TCA 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献率统计见图 2. 结果显示, 在夏季北部湾城市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OM 平均浓度为 $(18.3 \pm 5.2) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, TCA 平均浓度为 $(20.2 \pm 6.0) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, TCA 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均贡献率为 56.8%, 范围为

$39.3\% \sim 76.5\%$. 其中, 东方市 TCA 占 $\text{PM}_{2.5}$ 的 76.5%, 南宁市 TCA 占 $\text{PM}_{2.5}$ 的 39.3%. 由此可见, 北部湾地区夏季碳气溶胶是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要组成部分.

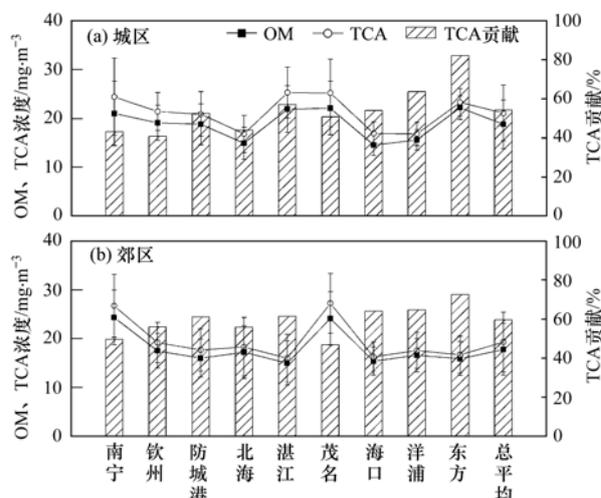


图 2 OM、TCA 估算值及 TCA 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献

Fig. 2 Estimates of OM, TCA and the contribution of TCA to $\text{PM}_{2.5}$

2.2 $\text{PM}_{2.5}$ 空间分布特征

从空间分布上看, 除茂名外, 其它城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度整体上从北至南呈逐渐下降的趋势, 一方面是由于夏季北部湾地区盛行西南风, 洁净的海洋气流对沿海城市大气污染物有一定的清除作用, 另一方面沿海城市水平风速较大, 风速越大其扩散能力越强. 如防城港、北海、湛江、海口和东方水平风速均超过 $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 其 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度均低于 $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 南宁不仅风速最小, 且四周环山不利于污染物扩散, 因此其 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度也最高. 尽管茂名风速较大, 但 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度依然较高, 其可能的原因是茂名城区石油化工等工业大气污染物排放强度较大. 就城区与郊区比较来看, 南宁、茂名、洋浦这 3 个城市城郊采样点的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高于城区采样点, 其可能的原因是上述 3 个城市郊区工业相对比较密集, 大气污染物排放强度相对较大.

2.3 OC 和 EC 空间分布特征

就 OC 和 EC 空间分布来看, 北部湾各城市 OC、EC 浓度空间分布特征明显, 其中 OC 浓度顺序为: 茂名 > 南宁 > 东方 > 钦州 > 湛江 > 防城港 > 北海 = 洋浦 > 海口, EC 浓度顺序为: 茂名 > 南宁 > 湛江 > 钦州 > 防城港 > 海口 > 北海 > 洋浦 > 东方. 茂名市 OC 和 EC 平均浓度最高, 分别为 $11.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $3.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其可能的原因是茂名是广东省重要的能源和重化工基地, 拥有全国最大的炼油工业基地, 炼油厂、乙烯厂和热电厂的大气污染物的排放可能是 OC 和 EC 的重要贡献源. 此外, 茂名郊区(工业

区) OC 的浓度 ($12.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 高于城区 ($11.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 在一定程度上也反映了当地工业污染源排放的影响. 南宁市的 OC 和 EC 浓度仅次于茂名, 这主要是由于当地工业(2009 年燃煤量超过 400 万吨) 和机动车(2009 年机动车保有量超过 100 万辆) 排放强度较大, 此外南宁盆地地形也不利于污染物扩散. 东方市 OC 浓度仅次于茂名和南宁, 这主要是由于东方市夏季上风向是石油化工基地, 石油化工企业直接排放的有机物对 OC 浓度贡献较大. 然而, 东方市 EC 浓度最低, 可能与东方市机动车保有量较少有关.

就城区与郊区两类采样点的 OC 和 EC 浓度相比较而言, 5 个城市(分别为南宁、北海、茂名、海口和洋浦) 的郊区 OC 浓度高于城区, 其可能的原因是南宁、北海和海口的郊区点位周边农村生物质燃烧比较普遍, 而茂名和洋浦郊区的石油化工企业则直接排放有机物. 对于 EC 浓度而言, 除茂名城区和郊区 EC 浓度相当外, 其余城市城区 EC 浓度均大于郊区, 可能是由于城区较多的机动车对 EC 贡献较大^[34]. 总体来讲, 北部湾各个城市 OC 和 EC 来源情况比较复杂, 需要进一步开展观测研究.

2.4 OC 与 EC 来源初步分析

OC 与 EC 的关系在一定程度上可以用于判别

OC 和 EC 的来源^[35, 36]. 夏季北部湾地区 9 个城市城区和郊区采样点 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 之间的相关关系和比值见表 4. 北部湾地区 18 个采样点 OC 和 EC 的相关关系变化很大 ($R^2: 0.06 \sim 0.83$), 反映了观测期间北部湾各采样点的 OC 和 EC 来源情况有一定的差异性. 其中, 南宁、北海和茂名的城区和郊区以及钦州城区、防城港郊区和洋浦郊区等 9 个采样点的相关系数相对较高 ($R^2: 0.57 \sim 0.83$), 反映了其 OC 和 EC 有一定的共源性. 湛江、海口和东方城区和郊区以及钦州郊区、防城港和洋浦城区等 9 个采样点的相关性较差 ($R^2: 0.06 \sim 0.48$), 表明 OC 和 EC 来源相对复杂, 可能受到不同排放源的影响. OC 与 EC 线性回归方程中, b 值代表了燃料燃烧直接排放一次 OC 浓度, 而截距 a 值代表了非燃烧来源的 OC 浓度^[6]. 由表 4 可见, 除了钦州城区采样点 $b = 4.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、北海郊区采样点 $b = 3.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和洋浦郊区采样点 $b = 3.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 大部分采样点 b 值较小 ($< 3.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 而 a 值相对较大 ($> 3.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 除了钦州城区 $a = 0.37 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和茂名郊区 $a = 2.75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 这表明观测期间, 北部湾区域内 OC 很大部分可能来源于非燃烧排放, 二次生成的 SOC 可能对 OC 贡献相对较大. 为了进一步了解北部湾地区碳气溶胶的来源, 有必要开展长时间序列的观测.

表 4 OC 和 EC 浓度之间的关系

Table 4 Relationship between OC and EC concentrations

城市	城区			郊区		
	OC = a + bEC	R ²	OC/EC	OC = a + bEC	R ²	OC/EC
南宁	OC = 3.26 + 2.14EC	0.83	3.2	OC = 6.75 + 2.23EC	0.61	5.4
钦州	OC = 0.37 + 3.99EC	0.67	4.2	OC = 6.07 + 1.52EC	0.45	6.3
防城港	OC = 4.69 + 2.16EC	0.32	4.5	OC = 3.04 + 2.94EC	0.63	4.9
北海	OC = 3.47 + 2.13EC	0.57	4.2	OC = 5.16 + 3.42EC	0.77	20.8
湛江	OC = 6.11 + 1.43EC	0.25	3.3	OC = 5.03 + 2.43EC	0.39	10.6
茂名	OC = 6.15 + 1.56EC	0.76	4.0	OC = 2.75 + 2.96EC	0.62	3.9
海口	OC = 4.55 + 1.12EC	0.33	3.1	OC = 6.62 + 1.3EC	0.06	10.3
洋浦	OC = 6.58 + 1.03EC	0.29	10.3	OC = 4.77 + 3.71EC	0.65	9.9
东方	OC = 9.77 + 1.23EC	0.31	14.0	OC = 6.12 + 2.50EC	0.48	20.7

此外, OC/EC 比值主要与排放源类型、SOC 的生成以及碳气溶胶的清除效率有关^[37]. Watson 等^[38] 在美国科罗拉多西北部观测到的燃煤、机动车排放和生物质燃烧等不同类型的排放源的 OC/EC 比值分别为 2.7、1.1 和 9.0. 由表 4 可知, 整个北部湾地区 OC/EC 值范围为 3.1 ~ 20.8, 可见北部湾地区碳气溶胶来源比较复杂. 值得注意的是, 北部湾各城市郊区采样点的 OC/EC 比值普遍高于城区(除了茂名和洋浦), 其可能原因是北部湾城市郊区

农村居民生活薪柴燃烧现象较为普遍, 其对郊区 OC 浓度贡献较大. 此外, 郊区二次生成的 SOC 可能对 OC 也有一定的贡献. 然而, 茂名和洋浦城区和郊区 OC/EC 比值比较接近, 其可能的原因是上述两个城市分别为广东省和海南省重要的工业基地, 当地工业排放强度较大使得城区和郊区 OC 和 EC 浓度比较接近, 其来源也比较一致. 综合来讲, 观测期间北部湾地区夏季 OC 主要来源于生物质燃烧和二次生成的 SOC, 而 EC 则主要来源于机动车和工业排放.

3 结论

(1) 北部湾地区夏季 $PM_{2.5}$ 浓度均值为 $(38.4 \pm 17.7) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 浓度变化范围为 $23.0 \sim 61.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均满足我国空气质量标准(GB 3095-2012)中 $PM_{2.5}$ 二级标准. 从空间分布上看, 除茂名外, 区域内 $PM_{2.5}$ 质量浓度整体上从北至南呈逐渐下降趋势.

(2) 北部湾地区夏季大气 $PM_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的浓度均值分别为 $(9.2 \pm 2.6) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(1.9 \pm 1.1) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, TCA 占 $PM_{2.5}$ 的贡献平均值为 56.8%, OC 和 EC 空间分布与 $PM_{2.5}$ 空间分布基本一致.

(3) 北部湾地区夏季 OC 主要来源于生物质燃烧和二次生成的 SOC, 其次是机动车和工业排放, 而 EC 则主要来源于机动车和工业排放.

致谢: 感谢中国科学院西安地球环境研究所、中山大学和暨南大学的学生协助采样, 以及北部湾地区环境保护系统的老师提供的采样便利.

参考文献:

- [1] Andreae M O. Atmospheric aerosols versus greenhouse gases in the twenty-first century [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical And Engineering Sciences*, 2007, **365**(1856): 1915-1923.
- [2] Pöschl U. Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects [J]. *Angewandte Chemie-International Edition*, 2005, **44**(46): 7520-7540.
- [3] Hansen J, Sato M, Ruedy R, *et al.* Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2000, **97**(18): 9875-9880.
- [4] Chen S J, Liao S H, Jian W J, *et al.* Particle size distribution of aerosol carbons in ambient air [J]. *Environment International*, 1997, **23**(4): 475-488.
- [5] Seinfeld J H, Pandis S N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [6] Cao J J, Lee S C, Watson J G, *et al.* Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112** (D22): doi: 10.1029/2006JD008205.
- [7] 唐孝炎, 张远航, 绍敏. *大气环境化学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] Hamilton R S, Mansfield T A. Airborne particulate elemental carbon: its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling [J]. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 1991, **25**(3-4): 715-723.
- [9] He K B, Yang F M, Ma Y L, *et al.* The characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35** (29): 4959-4970.
- [10] Chan C Y, Xu X D, Li Y S, *et al.* Characteristics of vertical profiles and sources of $PM_{2.5}$, PM_{10} and carbonaceous species in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(28): 5113-5124.
- [11] Duan F K, He K B, Ma Y L, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosols in Beijing, China [J]. *Chemosphere*, 2005, **60**(3): 355-364.
- [12] Dan M, Zhuang G S, Li X X, *et al.* The characteristics of carbonaceous species and their sources in $PM_{2.5}$ in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3443-3452.
- [13] Yu J H, Chen T, Benjamin G, *et al.* Characteristics of carbonaceous particles in Beijing during winter and summer 2003 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2006, **23**(3): 468-473.
- [14] Li W F, Bai Z P, Liu A X, *et al.* Characteristics of major $PM_{2.5}$ components during winter in Tianjin, China [J]. *Aerosol Air Quality Research*, 2009, **9**(1): 105-119.
- [15] Yang F, He K, Ye B, *et al.* One-year record of organic and elemental carbon in fine particles in downtown Beijing and Shanghai [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2005, **5**(1): 217-241.
- [16] Ye B M, Ji X L, Yang H Z, *et al.* Concentration and chemical composition of $PM_{2.5}$ in Shanghai for a 1-year period [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(4): 499-510.
- [17] Feng Y L, Chen Y J, Guo H, *et al.* Characteristics of organic and elemental carbon in $PM_{2.5}$ samples in Shanghai, China [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **92**(4): 434-442.
- [18] 王广华, 位楠楠, 刘卫, 等. 上海市大气颗粒物中有机碳(OC)与元素碳(EC)的粒径分布 [J]. *环境科学*, 2010, **31** (9): 1993-2001.
- [19] 黄虹, 李顺城, 曹军骥, 等. 广州市夏季室内外 $PM_{2.5}$ 中有机碳、元素碳的分布特征 [J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(9): 1242-1249.
- [20] Cao J J, Lee S C, Ho K F, *et al.* Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38** (27): 4447-4456.
- [21] Ho K F, Cao J J, Harrison R M, *et al.* Indoor/outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in $PM_{2.5}$ in roadside environment of Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(37): 6327-6335.
- [22] Yu J Z, Tung J W T, Wu A W M, *et al.* Abundance and seasonal characteristics of elemental and organic carbon in Hong Kong PM_{10} [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38** (10): 1511-1521.
- [23] Cao J J, Lee S C, Ho K F, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37** (11): 1451-1460.
- [24] Duan J C, Tan J H, Cheng D X, *et al.* Sources and

- characteristics of carbonaceous aerosol in two largest cities in Pearl River Delta Region, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(14): 2895-2903.
- [25] 陶俊, 柴发合, 朱李华, 等. 2009年春季成都城区碳气溶胶污染特征及其来源初探[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(12): 2756-2761.
- [26] 叶堤, 蒋昌潭, 赵琦, 等. 重庆市春季大气PM₁₀中有机碳、元素碳浓度水平及污染特征分析[J]. *中国环境监测*, 2007, **23**(3): 69-73.
- [27] 曹军骥, 李顺诚, 李扬, 等. 2003年秋冬季西安大气中有机碳和元素碳的理化特征及其来源解析[J]. *自然科学进展*, 2005, **15**(12): 1460-1466.
- [28] Cao J J, Wu F, Chow J C, *et al.* Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(11): 3127-3137.
- [29] Shen Z X, Cao J J, Tong Z, *et al.* Chemical characteristics of submicron particles in winter in Xi'an [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2009, **9**(1): 80-93.
- [30] Chow J C, Watson J G, Pritchett L C, *et al.* The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U. S. air quality studies [J]. *Atmospheric Environment*, 1993, **27**(8): 1185-1201.
- [31] Russell L M. Aerosol organic-mass-to-organic-carbon ratio measurements[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, **37**(13): 2982-2987.
- [32] Turpin B J, Lim H J. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass [J]. *Aerosol Science and Technology*, 2001, **35**(1): 602-610.
- [33] Chen X, Yu J Z. Measurement of organic mass to organic carbon ratio in ambient aerosol samples using a gravimetric technique in combination with chemical analysis [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(39): 8857-8864.
- [34] Watson J G, Chow J C, Lowenthal H, *et al.* Differences in the carbon composition of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles [J]. *Atmospheric Environment*, 1994, **28**(15): 2493-2505.
- [35] Turpin B J, Huntzicker J J. Secondary formation of organic aerosol in the Los Angeles Basin: a descriptive analysis of organic and elemental carbon concentrations [J]. *Atmospheric Environment*, 1991, **25**(2): 207-215.
- [36] Appel B R, Colodny P, Wesolowski J J. Analysis of carbonaceous materials in Southern California atmospheric aerosols[J]. *Environmental Science & Technology*, 1976, **10**(4): 359-363.
- [37] Cachier H, Lioussé C, Pertuisot M H, *et al.* African fire particulate emissions and atmospheric influence[A]. In: Levine J S (Ed.). *Biomass Burning and Global Change*[C]. Chapter 41. Cambridge: MIT Press, 1996. 428-440.
- [38] Watson J G, Chow J C, Houck J E. PM_{2.5} chemical source profiles for vehicle exhaust, vegetative burning, geological material, and coal burning in Northwestern Colorado during 1995 [J]. *Chemosphere*, 2001, **43**(8): 1141-1151.

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