

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

**2014**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究 ..... 王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)

北京城区 PM<sub>2.5</sub> 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析 ..... 陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)

北京地区冬春 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 ..... 赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)

北京市 PM<sub>2.5</sub> 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析 ..... 王艳慧,肖瑶 (428)

杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征 ..... 谢小芳,孙在,杨文俊 (436)

春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 ..... 王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽锋,杨洋 (442)

南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 ..... 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)

忻州市环境空气 PM<sub>10</sub> 中有机碳和元素碳污染特征分析 ..... 史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)

广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征 ..... 青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)

燃煤电厂锅炉 PM<sub>2.5</sub> 排放危害度评价模型建立及案例分析 ..... 史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)

中国南海大气降水化学特征 ..... 肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)

临安本底站酸雨长期观测特征分析 ..... 李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)

北京城区大气氮湿沉降特征研究 ..... 贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)

烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势 ..... 贾龙,徐永福 (495)

祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征 ..... 董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)

生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究 ..... 羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)

生物滴滤塔处理苯酚气体研究 ..... 何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶杞宏,罗雨薇,魏在山 (520)

国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 ..... 楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)

翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 ..... 赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合锋 (533)

CuBr<sub>2</sub> 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究 ..... 胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)

浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究 ..... 张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)

基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例 ..... 贾海峰,郭羽 (555)

北京平原区第四系地下水污染风险评价 ..... 郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)

不同季节辽河口营养盐的河口混合行为 ..... 张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)

太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征 ..... 马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)

亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价 ..... 陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)

潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究 ..... 白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)

凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响 ..... 周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国锋 (597)

不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响 ..... 田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)

溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用 ..... 李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)

四环素光催化降解特性与选择性研究 ..... 宋晨怡,尹大强 (619)

微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究 ..... 符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)

市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全 ..... 杨赛,周启星,华涛 (633)

膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究 ..... 李彬,王志伟,安莹,吴志超 (643)

臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究 ..... 刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)

厌氧生物法处理果胶废水的研究 ..... 陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)

氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究 ..... 赵兴兴,于水利,王哲 (663)

平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能 ..... 胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)

基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征 ..... 王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)

广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价 ..... 郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳翎 (684)

中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究 ..... 张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)

废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价 ..... 周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)

深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究 ..... 章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)

洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策 ..... 谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)

施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响 ..... 曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)

螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征 ..... 尹雪,陈家军,吕策 (733)

*Pseudomonas* sp. QJX-1 的锰氧化特性研究 ..... 周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)

$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$  对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响 ..... 陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)

杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究 ..... 龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)

鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究 ..... 赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)

黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究 ..... 朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)

3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究 ..... 王艳,马泽民,吴石金 (770)

新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价 ..... 李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)

黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究 ..... 李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)

农田土壤 N<sub>2</sub>O 产生的关键微生物过程及减排措施 ..... 朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)

《环境科学》征订启事(691) 《环境科学》征稿简则(800) 信息(489,519,591,791)

# 忻州市环境空气 PM<sub>10</sub> 中有机碳和元素碳污染特征分析

史美鲜, 彭林\*, 刘效峰, 牟玲, 白慧玲, 刘凤娴, 杨花

(太原理工大学环境科学与工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 采集了忻州市 4 个监测点位采暖季和非采暖季环境空气 PM<sub>10</sub> 样品, 利用 Elementar Analysensysteme GmbH vario EL cube 测定有机碳(organic carbon, OC)和元素碳(elemental carbon, EC)的质量浓度, 通过 OC 和 EC 的时空分布、比值以及相关分析揭示忻州市的碳组分污染特征。结果表明, 忻州市 PM<sub>10</sub> 中 OC 和 EC 的平均质量浓度分别为  $(18.5 \pm 4.5) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $(16.1 \pm 4.3) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 采暖季和非采暖季 TCA 占 PM<sub>10</sub> 的比例分别为 70.7% 和 43.8%; 4 个监测点位采暖季 OC 的质量浓度均高于非采暖季, XT、DC 和 KQ 监测点采暖季 EC 的质量浓度高于非采暖季, SQ 监测点则相反, 采暖季燃煤是 OC 和 EC 的主要来源; 监测点 XT 的 OC 质量浓度最高, 为  $24.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , DC 的 EC 质量浓度最高, 为  $22.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , SQ 的 OC 和 EC 质量浓度最低, 分别为  $17.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $14.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 区域性污染特征存在差异; OC/EC 均值小于 2, 一次污染严重; 非采暖季 OC 与 EC 浓度相关性较好 ( $R^2 = 0.55$ ), 二者排放源单一, 主要来源为机动车尾气排放, 采暖季相关性不显著 ( $R^2 = 0.13$ ), 二者排放源复杂。忻州市主要通过控制燃煤、机动车尾气、生物质燃烧、工业源等的一次排放来减轻碳组分污染, 进而提高环境空气质量。

**关键词:** PM<sub>10</sub>; 有机碳(OC); 元素碳(EC); 总碳气溶胶(TCA); 相关性

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0458-06

## Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM<sub>10</sub> in Xinzhou City

SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, MU Ling, BAI Hui-ling, LIU Feng-xian, YANG Hua

(College of Environmental Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** PM<sub>10</sub> samples were collected at four sampling sites to study pollution characteristics of carbonaceous aerosols in Xinzhou during heating period (March) and non-heating period (July), 2011. Organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM<sub>10</sub> were analyzed by Elementar Analysensysteme GmbH vario EL cube, and the characteristics including pollution levels, temporal and spatial distributions of OC and EC as well as OC/EC ratios were investigated in detail. The results were as following: OC and EC mass concentrations of PM<sub>10</sub> in Xinzhou were  $(18.5 \pm 4.5) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $(16.1 \pm 4.3) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectively. The concentrations of total carbon aerosol (TCA) accounted for 70.7% of PM<sub>10</sub> during the heating period, and 43.8% during the non-heating period. The concentrations of OC at four sites during the heating period were higher than those during the non-heating period, and this trend was consistent with that of EC concentrations except for SQ site, which indicated coal combustion was a dominant source of OC and EC during the heating period. OC concentration at XT site and EC concentration at DC site were the highest, which were  $24.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $22.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  respectively, while the concentrations of OC and EC at SQ site were both the lowest, which were  $17.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $14.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectively, which indicated that the spatial distributions of OC and EC were obviously different. The average values of OC/EC ratios were all below 2, which indicated that the primary pollution was predominant. The correlation between OC and EC during the non-heating period was good with  $R^2$  of 0.55, indicating the emission sources were consistent and the vehicle exhaust played an important role, while the correlation was weak during the heating period ( $R^2 = 0.13$ ), which revealed that the emission sources of OC and EC were complicated. Carbonaceous aerosol pollution should be reduced by controlling the primary emissions such as coal combustion, vehicle exhaust, biomass burning and other industrial sources to improve the air quality in Xinzhou City.

**Key words:** PM<sub>10</sub>; organic carbon; elemental carbon; total carbon aerosol; correlation

碳组分主要以有机碳(organic carbon, OC)和元素碳(elemental carbon, EC)形式存在, 是城市颗粒物的重要组成部分<sup>[1, 2]</sup>. OC 主要由污染源直接排放的一次有机碳(primary organic carbon, POC)和有机气体经光化学氧化生成的二次有机碳(secondary organic carbon, SOC)组成<sup>[3]</sup>. OC 包括多环芳烃、正构烷烃等, 其中有些物质具有致癌性, 对人体危害极大<sup>[4]</sup>. EC 主要来源于任何含碳物质的不完全燃烧<sup>[5]</sup>, 由污染源直接排放<sup>[6]</sup>, 通常可将它视为受人为污染影响程度的示踪物<sup>[7]</sup>. EC 对大气能见度及

污染物的转化有重要影响, 研究表明, 当 EC 占 PM<sub>10</sub> 的比例为 15% 时, 大气能见度下降 38%<sup>[8]</sup>, 并且 EC 能促进二氧化硫向硫酸盐转化<sup>[9]</sup>. 故环境空气中颗粒物中碳组分的浓度水平和分布特征的研究对有效控制城市环境空气污染、降低其对人类健康的危害具

收稿日期: 2013-06-07; 修订日期: 2013-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41173002)

作者简介: 史美鲜(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为空气污染化学, E-mail: shimeixian@126.com

\* 通讯联系人, E-mail: plin123@eyou.com, penglin6611@163.com

有重要意义.

国内对 OC、EC 的研究主要集中在北京<sup>[10]</sup>、广州<sup>[11]</sup>、西安<sup>[12]</sup> 等大城市,我国中小城市与大城市机动车污染较重不同,其燃煤污染严重,污染源复杂.然而,目前针对中小城市空气颗粒物碳组分研究较少,污染水平及分布特征尚不清楚.本研究通过对忻州市空气 PM<sub>10</sub> 中 OC 和 EC 的浓度水平、时空分布特征进行分析,了解忻州市 PM<sub>10</sub> 中含碳物质的主要来源,明确控制碳组分的关键是控制一次排放还是二次排放为主,以期有效控制城市环境空气颗粒物中碳组分的污染提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集

选择忻州市 KQ(商业区)、SQ(居民商业文教混合区)、XT(工业开发区)、DC(居民区)这 4 个区域为监测点,如图 1、表 1 所示,采样高度为 8~12 m,监测点周围无明显污染源,能够典型地代表该区域的空气状况.采样时间分别为采暖季(2011 年 3 月)和非采暖季(2011 年 7 月),分别连续 5 d 采样,共采集环境样品 40 个.样品通过 KB120 型中流量采样器(青岛崂山仪器研究所)采集,流量设定为 100 L·min<sup>-1</sup>,采样时间为 20 h.采样期间避开雨、雪天气,并与当年当季的气象条件基本一致,保证样品具有较好的代表性.

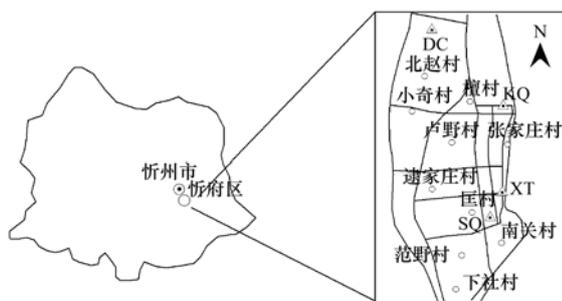


图 1 采样点位分布示意

Fig. 1 Map of the sampling sites

表 1 环境空气颗粒物采样点位描述

Table 1 Details of ambient air particulates at the four sampling sites

采样点位	环境特征
KQ	市区东部,开发区附近,商业区
SQ	市区中部,市中心,集中供热区域,居民商业文教混合区
XT	市区东南部,忻通公司周围,工业开发区
DC	市区北部,顿村附近,非集中供热区域,居民区

### 1.2 样品的处理与分析

#### 1.2.1 滤膜称重

采样前滤膜用锡箔纸包裹置于马弗炉中在 400~500℃ 条件下烘 3~5 h,去除滤膜中挥发份对称重的影响,之后放入恒温恒湿箱中平衡 3 d 称重,记为  $M_1$ . 采样后滤膜放入恒温恒湿箱中进行和采样前相同时间的干燥平衡(去除水分对称重的影响)后称重,记为  $M_2$ ,各点位采集 PM<sub>10</sub> 的质量即为:  $M = M_2 - M_1$ . 称重完毕后,滤膜用贴有标签的铝箔纸包好,置于密封袋中,放于 4℃ 的冰箱中保存,以便后续分析.

#### 1.2.2 碳分析

碳分析方法有两种:元素分析和热光反射法(TOR),两者测得的 TC 浓度结果相差较大,主要原因可能是升温程序和控温时间不同,检测器不同.两种方法虽然在 OC 和 EC 的定量上存在一定差别,但测得的 OC、EC 季节分布规律相同,并且元素分析法可通过燃烧样品滤膜一步测定 TC 浓度,减少测量过程中的误差,因此其测量的 TC 应较准确<sup>[13]</sup>.

本研究利用德国元素分析系统公司生产的 Elementar Analysensysteme GmbH vario EL cube 型元素分析仪直接测定颗粒物中的总碳(total carbon, TC)和 OC 的质量浓度.分析过程为:取 4~5 mg 滤膜样品置于仪器中,加热升温至 1 000℃,通氧助燃 10 min,用气相色谱柱分离出生成气体中的 CO<sub>2</sub>,再通过热导检测(TCD)测定 CO<sub>2</sub> 含量,最后转化为 TC 含量;同样取 4~5 mg 滤膜样品置于仪器中,加热升温至 450℃,通氧助燃 10 min,用 TCD 测定 CO<sub>2</sub> 含量,最后转化成 OC 含量.分析过程中的质量控制:样品含碳量为 10~15 mg 时,相对误差为 3%,TCD 检测器检测限 < 40 × 10<sup>-6</sup>.

### 1.3 数据计算

本研究中利用公式(1)计算 EC 含量:

$$c_{EC} = c_{TC} - c_{OC} \quad (1)$$

式中,  $c_{EC}$  为空气颗粒物中 EC 质量浓度,  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $c_{TC}$  为空气颗粒物中 TC 质量浓度,  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $c_{OC}$  为空气颗粒物中 OC 质量浓度,  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## 2 结果与讨论

### 2.1 OC、EC 及 TCA 污染水平

总碳气溶胶(TCA)是指大气气溶胶中的含碳组分,它是大气气溶胶中最复杂的一种成分<sup>[14]</sup>. 通常将 OC 转化成总的有机物(organic matter, OM)来估算环境空气颗粒物中 OM 的含量,OM 的质量浓度通过 OC 的质量浓度乘以系数 1.6 获得,即  $OM = 1.6 \times OC$ . 总碳气溶胶 TCA 的质量浓度为 OM 与

EC 质量浓度之和,即  $TCA = 1.6 \times OC + EC$ <sup>[12, 15]</sup>. 表 2 列出了忻州市 4 个监测点采暖季和非采暖季环境空气 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC、TCA 的质量浓度及 TCA/PM<sub>10</sub> 值. 全市全年 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC、TCA 的质量浓度平均值分别为  $(18.5 \pm 4.5)$ 、 $(16.1 \pm 4.3)$ 、 $(45.8 \pm 10.5) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , TCA 占 PM<sub>10</sub> 的质量分数为

54.9%, 表明忻州市 PM<sub>10</sub> 中的碳组分含量较高. 与国内其他城市相比较(见表 3), OC 平均质量浓度低于北京、天津、西安、杭州、重庆、广州, 高于厦门; EC 平均质量浓度高于其他城市. 通过比较可知, 忻州市空气 PM<sub>10</sub> 的碳气溶胶污染较重, 这可能与能源结构和污染源类别有较大关系.

表 2 忻州市空气 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC、TCA 的质量浓度及 TCA/PM<sub>10</sub> 值

Table 2 Average concentrations of OC, EC, TCA and TCA/PM<sub>10</sub> ratios

采样点位	采样时间	OC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	TCA / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	TCA/PM <sub>10</sub> /%
KQ	采暖季	19.2 ± 3.0	15.5 ± 2.7	46.2 ± 7.6	86.1
	非采暖季	14.9 ± 1.2	14.4 ± 0.7	38.2 ± 2.7	34.8
SQ	采暖季	18.3 ± 2.4	13.8 ± 1.9	43.2 ± 4.4	66.9
	非采暖季	15.6 ± 2.4	15.4 ± 2.0	40.4 ± 5.2	58.8
XT	采暖季	31.8 ± 3.1	23.7 ± 3.3	74.6 ± 8.2	66.6
	非采暖季	13.1 ± 6.5	9.2 ± 3.9	30.2 ± 14.3	47.0
DC	采暖季	25.4 ± 6.2	28.9 ± 1.4	69.5 ± 10.5	71.7
	非采暖季	15.4 ± 1.0	12.2 ± 2.4	36.7 ± 3.1	40.9
全市	采暖季	24.0 ± 6.4	20.8 ± 5.8	59.2 ± 14.6	70.7
	非采暖季	14.7 ± 3.2	12.8 ± 3.3	36.4 ± 7.6	43.8
	全年	18.5 ± 4.5	16.1 ± 4.3	45.8 ± 10.5	54.9

表 3 忻州市 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC 质量浓度与国内其他城市的比较

Table 3 Comparisons of OC and EC mass concentrations in Xinzhou with those in other cities of China

城市	OC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	文献	分析方法
忻州	18.5	16.1	本研究	德国 Elementar Analysensysteme GmbH vario EL cube 型元素分析仪测定
北京	21.2	8.9	[10]	美国 RP 公司的 Model 5400 Ambient Carbon Particulate Monitors 热分析法测定
天津	30.8	8.9	[16]	美国沙漠研究所(DRI)研制的 DRI Model 2001A 热光碳分析仪测定
西安	46.8	7.5	[17]	中国科学院地球环境研究所的 DRI Model 2001 热光碳分析仪测定
杭州	21.4	4.1	[18]	美国 Sunset Laboratory Inc. 公司 Sunset Model 3 OC/EC Analyzer TOT 法测定
重庆	52.5	8.6	[19]	国家环境分析测试中心元素分析仪热分解示差热导检测法测定
厦门	11.2	3.0	[20]	总有机碳分析仪测定
广州	48.1	11.2	[11]	美国 Sunset Laboratory Inc. 公司的碳分析仪测定

## 2.2 OC 和 EC 时空分布特征

### 2.2.1 OC、EC 质量浓度的季变化

忻州市 4 个监测点位 PM<sub>10</sub> 中 OC 质量浓度季节变化特征基本相同, 即采暖季比非采暖季高, 见图 2, 与天津 PM<sub>10</sub> 中 OC 的季变化规律一致<sup>[6]</sup>. 这是由

于采暖季燃煤量增加, 燃煤过程排放大量 OC, 这与 Meng 等<sup>[21]</sup> 在太原的研究结果一致. 此外, 采暖季气温较低, 小分子有机物不易从颗粒物中挥发<sup>[22]</sup>, 也是造成采暖季 OC 质量浓度增加的原因.

除 SQ 外其余 3 点位采暖季 EC 质量浓度均高

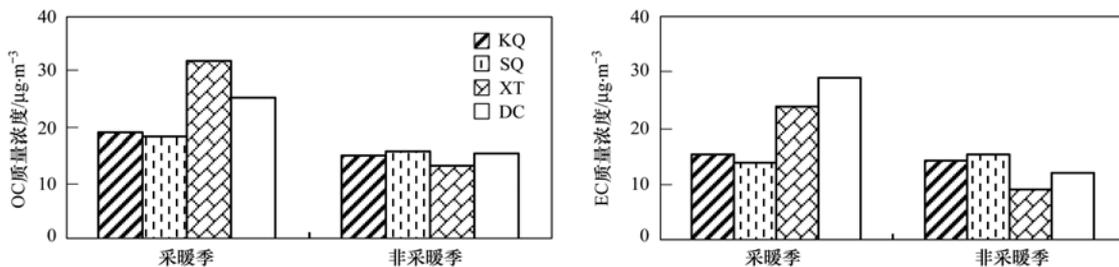


图 2 4 个监测点位采暖季和非采暖季 OC、EC 质量浓度

Fig. 2 OC and EC mass concentrations during heating period and non-heating period at the four sampling sites

于非采暖季,这是由于采暖季燃煤贡献所致. SQ 非采暖和采暖季 EC 质量浓度相差不大,可能由于其位于市区中心,而市区发展集中供热,受燃煤污染较轻,从而导致 EC 季变化不明显.

### 2.2.2 OC、EC 质量分数的季变化

OC、EC 的质量分数是指 OC、EC 质量浓度占 PM<sub>10</sub> 质量浓度的百分比. KQ、SQ、XT、DC 4 个监测点 OC 的质量分数年均值分别为 22.7%、26.0%、26.1%、22.6%; EC 质量分数年均值分别为 19.6%、21.9%、19.2%、23.4%. 赖森潮等<sup>[23]</sup>研究表明广州环境空气 PM<sub>10</sub> 中 OC 的质量分数为 17.1%~19.2%, EC 质量分数为 5.8%~7.5%,忻州市环境空气 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC 质量分数明显高于广州,这是由于忻州市碳的主要排放源为机动车尾气、工业源、冬季燃煤,而广州主要排放源仅为机动车尾气. 图 3 描述了 4 个监测点位采暖季和非采暖季

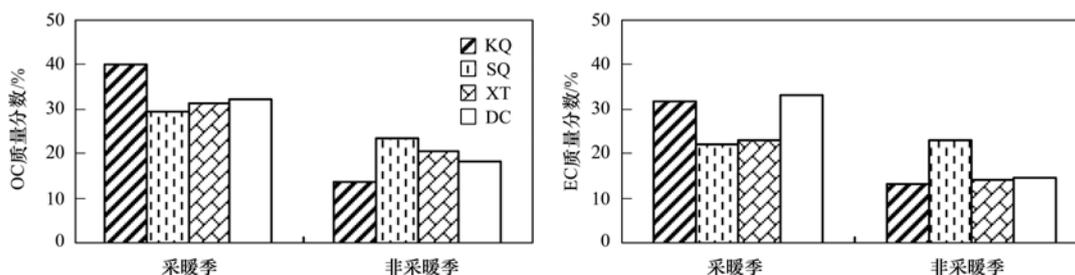


图 3 4 个监测点位采暖季和非采暖季 OC、EC 的质量分数

Fig. 3 OC/PM<sub>10</sub> and EC/PM<sub>10</sub> ratios during heating period and non-heating period at the four sampling sites

### 2.2.3 OC、EC 的空间分布特征

4 个监测点采样期 OC、EC 平均质量浓度如图 4 所示,XT 的 OC 质量浓度最高,为 24.1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , SQ 最低,为 17.2  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,其次为 KQ、DC,质量浓度分别为 17.4  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、21.3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . 可能由于 XT 代表工业开发区,不同区域污染源不同,工业开发区工业生产过程的 OC 量大,因此 XT 的 OC 最高,而市区内大力发展集中供热,受燃煤影响较轻,因此 SQ 的 OC 值最低.

从 EC 空间分布特征来看,DC 的 EC 质量浓度最高,为 22.0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,SQ 的最低,为 14.5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,其次为 KQ、XT,质量浓度分别为 15.0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、17.8  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . EC 主要来源有燃煤源、移动源、秸秆燃烧等<sup>[25]</sup>方面,DC 代表居民区,受冬季燃煤、机动车尾气、秸秆燃烧等的影响导致 EC 排放量大,因此 EC 最高,SQ 位于市区,为集中供暖,受燃煤影响较低,周围污染源排放较稳定,EC 值最低.

## 2.3 OC 与 EC 比值及相关性分析

### 2.3.1 OC/EC 值分析

OC、EC 的质量分数变化情况,由图可知,采暖季 OC 质量分数较高,这与采暖季燃煤量增加有关,此外,由于气温降低,汽车的冷启动<sup>[24]</sup>使得尾气排放增加以及频繁发生逆温现象导致大气层结稳定,不利于污染物扩散,此类因素综合作用导致 OC 质量分数增大. 非采暖季 OC 的质量分数较低,这是由于非采暖季风沙大,扬尘增多,造成 PM<sub>10</sub> 的质量浓度值增高,但扬尘中 OC 浓度较低,使得 OC 增长的幅度小于 PM<sub>10</sub> 的增长幅度,从而使 OC 在 PM<sub>10</sub> 中的质量分数下降.

EC 的季节变化情况与 OC 不同,KQ、XT、DC 这 3 个监测点 EC 的质量分数采暖季较高,非采暖季较低,这是由于采暖季燃煤量增大,燃烧排放的 EC 增多,使得 EC 的质量分数明显增大;SQ 位于市区,采暖季为集中供暖,受燃煤影响较小,故 EC 的质量分数季节变化不大.

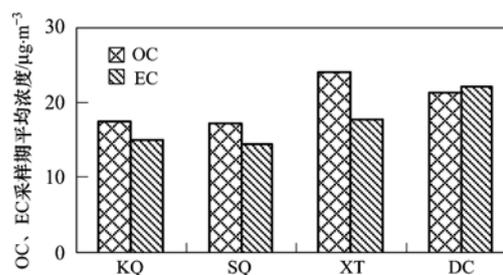


图 4 4 个监测点 OC、EC 采样期平均质量浓度

Fig. 4 Average mass concentrations of OC and EC at the four sampling sites during the sampling period

由于 EC 比较稳定,常温下一般不会发生化学反应,因此常被作为一次污染源排放的示踪物. 研究表明<sup>[26, 27]</sup>,OC/EC 值通常被认为是判断二次污染的依据,当 OC/EC >2 时,表明存在二次有机碳,OC/EC <2 时,二次有机碳可以忽略. 表 4 列出了忻州市 PM<sub>10</sub> 中 OC/EC 值,DC 和 XT 非采暖季 OC/EC 最大值均大于 2 且变化幅度较大,存在明显的二次有机碳污染,主要原因为以上监测点分别位于居民区和工业开发区,受家庭燃煤、机动车尾气、工业

源影响较大,且非采暖季二次反应强烈.忻州市 OC/EC 均值小于 2 且采暖季和非采暖季 OC/EC 比值相差不大,虽然采暖季燃煤排放导致较高 OC/EC 比值,但是非采暖季二次污染的光化学反应导致 OC/EC 增大,两者综合作用导致 OC/EC 比值区别不大.同国内其他城市相比,忻州市 OC/EC 的值明

显低于北京<sup>[10]</sup> (2.4)、天津<sup>[16]</sup> (3.4)、西安<sup>[17]</sup> (6.6)、杭州<sup>[18]</sup> (5.3)、重庆<sup>[19]</sup> (6.4)和厦门<sup>[20]</sup> (4.1)等城市.由于当地居民燃煤排放、小型工业直接排放,控制碳组分一次排放来源是控制忻州市空气颗粒物的关键,这与 Li 等<sup>[28]</sup>在山西太原盆地的观测结果一致.

表 4 忻州市 PM<sub>10</sub> 中 OC/EC 值

Table 4 OC/EC ratios of PM<sub>10</sub> in Xinzhou

采样点位	采暖季	平均值	非采暖季	平均值	全年均值
KQ	1.2 ~ 1.3	1.3	1.0 ~ 1.1	1.0	1.2
SQ	0.9 ~ 1.7	1.4	0.8 ~ 1.2	1.0	1.2
XT	1.1 ~ 1.5	1.4	0.7 ~ 2.6	1.5	1.4
DC	0.3 ~ 1.2	0.9	1.0 ~ 5.6	1.4	1.1
全市	0.3 ~ 1.7	1.2	0.7 ~ 2.6	1.3	1.2

### 2.3.2 OC 与 EC 相关性分析

利用 OC 和 EC 之间的关系,可以推测碳气溶胶的来源,如果两者的相关性较好,则表明 OC、EC 排放源单一;反之,则表明两者排放源复杂<sup>[29]</sup>.图 5 为采暖季和非采暖季 PM<sub>10</sub> 中 OC 与 EC 的相互关系,由图可知,非采暖季 PM<sub>10</sub> 中 OC 和 EC 的相关系数为 0.55,相对于采暖季较高,反映出非采暖季 OC、EC 来源相对简单,可能主要是机动车尾气排放对碳气溶胶的贡献,但仍然没有达到很好相关性,

其主要原因是小型燃煤工业的排放(如发电厂)也会对其产生一定影响.

采暖季 PM<sub>10</sub> 中 OC 和 EC 的相关系数仅为 0.13,相关性较差,可能由于采暖季排放源结构复杂,燃烧方式多样,致使大量燃煤燃气排放,而不同燃料、排放源对 OC、EC 贡献程度不同,导致 OC、EC 相关性在采暖季较小.燃煤、机动车尾气、生物质燃烧、工业源等一次排放源是忻州市采暖季碳气溶胶的主要来源.

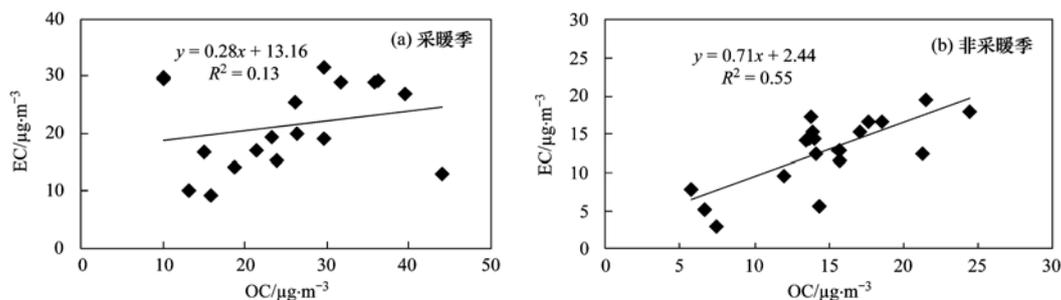


图 5 采暖季和非采暖季 OC 与 EC 的相关性

Fig. 5 OC and EC correlations during heating period and non-heating period

## 3 结论

(1)忻州市空气 PM<sub>10</sub> 中 OC、EC 均较高,其中 OC、EC 质量浓度年均值分别为  $(18.5 \pm 4.5) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(16.1 \pm 4.3) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,尤其是 EC 质量浓度值高于国内其它城市 EC 值;TCA 的年均值为  $45.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,占 PM<sub>10</sub> 的质量分数为 54.9%.

(2)各点位 OC 质量浓度呈现采暖季 > 非采暖季的季节特征,除 SQ 监测点外,其余 3 点位 EC 质量浓度也呈现采暖季 > 非采暖季的季节特征.4 个监测点中,OC 空间分布特征为 XT > KQ > DC > SQ;

EC 空间分布特征为 DC > KQ > XT > SQ.表明不同区域监测点的 OC、EC 质量浓度存在较明显的空间分布差异.

(3)OC/EC 均值小于 2,非采暖季 OC、EC 的相关系数为 0.55,相对于采暖季较高 ( $R^2 = 0.13$ ),表明非采暖季 OC、EC 排放源单一,采暖季排放源复杂,碳气溶胶污染主要是一次排放为主.

### 参考文献:

- [1] Zhao P S, Dong F, Yang Y D, et al. Characteristics of carbonaceous aerosol in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, 71: 389-398.

- [2] 袁宁, 刘卫, 赵修良, 等. 上海市含碳大气颗粒物的粒径分布[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1995-2002.
- [3] 王杨君, 董亚萍, 冯加良, 等. 上海市 PM<sub>2.5</sub> 中含碳物质的特征和影响因素分析[J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1755-1761.
- [4] 段凤魁, 贺克斌, 刘威德, 等. 含碳气溶胶研究进展: 有机碳和元素碳[J]. 环境工程学报, 2007, **1**(8): 1-8.
- [5] 陈晓秋, 俞是聃, 傅彦斌. 福州市春、冬季霾日与非霾日 PM<sub>2.5</sub> 及碳气溶胶污染水平与特征[J]. 中国环境监测, 2008, **24**(6): 68-72.
- [6] 吴琳, 冯银厂, 戴莉, 等. 天津市大气中 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 及其碳组分污染特征分析[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(11): 1134-1139.
- [7] 温玉璞, 徐晓斌, 汤洁, 等. 青海瓦里关大气气溶胶元素富集特征及其来源[J]. 应用气象学报, 2001, **12**(4): 400-408.
- [8] 全浩, 王玮, 唐珂, 等. 日本关东南部冬季飘尘中有机碳和元素碳污染现状研究[J]. 环境科学研究, 1996, **9**(2): 4-8.
- [9] 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.
- [10] Zhang R J, Cao J J, Lee S C, *et al.* Carbonaceous aerosols in PM<sub>10</sub> and pollution gases in winter in Beijing[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(5): 564-571.
- [11] 张新民, 柴发合, 薛志钢, 等. 广州颗粒物化学组成特征及季节差异[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(2): 139-145.
- [12] 周变红, 张承中, 王格慧. 春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 448-454.
- [13] 吴琳, 冯银厂, 叶文媛, 等. 大气颗粒物中碳组分测定结果比较: 元素分析和热光反射方法[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(12): 1481-1487.
- [14] 陈超. 西安市春季大气碳气溶胶变化特征及其影响因素的相关分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007. 1-5.
- [15] Turpin B J, Lim H J. Species contributions to PM<sub>2.5</sub> mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass[J]. *Aerosol Science and Technology*, 2001, **35**(1): 602-610.
- [16] Gu J X, Bai Z P, Liu A X, *et al.* Characterization of atmospheric organic carbon and element carbon of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at Tianjin, China[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2010, **10**(2): 167-176.
- [17] 李建军, 沈振兴, 同帆, 等. 西安冬春季 PM<sub>10</sub> 中碳气溶胶的昼夜变化特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(5): 1506-1513.
- [18] Cao J J, Shen Z X, Chow J C, *et al.* Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM<sub>10</sub> aerosol in Hangzhou, China[J]. *Particuology*, 2009, **7**(3): 161-168.
- [19] 叶堤, 蒋昌潭, 赵琦, 等. 重庆市春季大气 PM<sub>10</sub> 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.
- [20] 王坚, 庄马展, 杨红斌, 等. 厦门市空气 PM<sub>10</sub> 中有机碳和元素碳的污染特征[J]. 环境化学, 2006, **25**(4): 518-519.
- [21] Meng Z Y, Jiang X M, Yan P, *et al.* Characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous species during winter in Taiyuan, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(32): 6901-6908.
- [22] 刘碧莲, 吴水平, 印红玲, 等. 典型海滨和内陆城市 PM<sub>10</sub> 中的碳成分初步研究[J]. 环境化学, 2012, **31**(5): 586-592.
- [23] 赖森潮, 叶计朋, 张颖仪, 等. 广州夏季大气中碳气溶胶浓度水平及污染特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, **43**(5): 61-65.
- [24] 贾英韬, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京清华园采暖前与采暖期 PM<sub>10</sub> 中含碳组分的理化特征[J]. 中国环境监测, 2006, **22**(4): 52-56.
- [25] 唐小玲, 毕新慧, 陈颖军, 等. 不同粒径大气颗粒物中有机碳(OC)和元素碳(EC)的分布[J]. 环境科学研究, 2006, **19**(1): 104-108.
- [26] Cao J J, Lee S C, Ho K F, *et al.* Spatial and seasonal distributions of atmospheric carbonaceous aerosols in pearl river delta region, China[J]. *China Particuology*, 2003, **1**(1): 33-37.
- [27] Chow J C, Watson J G, Lu Z, *et al.* Descriptive analysis of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at regionally representative locations during SJAQS/AUSPEX[J]. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(12): 2079-2112.
- [28] Li W J, Shi Z B, Zhang D Z, *et al.* Haze particles over a coal-burning region in the China Loess Plateau in winter: Three flight missions in December 2010[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012, **117**(D12306), doi: 10.1029/2012JD017720.
- [29] 陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 等. 福建省三大城市冬季 PM<sub>2.5</sub> 中有机碳和元素碳的污染特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1988-1994.

## CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China .....	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> ( 401 )
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM <sub>2.5</sub> and Source Analysis in Beijing .....	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> ( 411 )
Temporal and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing .....	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> ( 418 )
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM <sub>5.0</sub> Inhalable Particulate in Beijing .....	WANG Yan-hui, XIAO Yao ( 428 )
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring .....	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun ( 436 )
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing .....	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> ( 442 )
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles .....	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> ( 451 )
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM <sub>10</sub> in Xinzhou City .....	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> ( 458 )
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou .....	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> ( 464 )
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis .....	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> ( 470 )
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea .....	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> ( 475 )
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data .....	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> ( 481 )
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area .....	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 490 )
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation .....	JIA Long, XU Yong-fu ( 495 )
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China .....	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> ( 504 )
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area .....	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> ( 513 )
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter .....	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> ( 520 )
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends .....	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> ( 526 )
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting .....	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> ( 533 )
Oxidation of Mercury by CuBr <sub>2</sub> Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition .....	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> ( 541 )
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian .....	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> ( 547 )
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study .....	JIA Hai-feng, GUO Yu ( 555 )
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain .....	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> ( 562 )
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary .....	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 569 )
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary .....	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> ( 577 )
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area .....	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> ( 585 )
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands .....	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> ( 592 )
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i> .....	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> ( 597 )
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water .....	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> ( 605 )
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite .....	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 611 )
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride .....	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang ( 619 )
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System .....	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> ( 626 )
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety .....	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao ( 633 )
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment .....	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> ( 643 )
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter .....	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> ( 651 )
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process .....	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> ( 657 )
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes .....	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe ( 663 )
Biosorption Characteristics of Cu <sup>2+</sup> by Spent Substrate of Pleurotus Oyster .....	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> ( 669 )
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition .....	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> ( 678 )
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou .....	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> ( 684 )
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China .....	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> ( 692 )
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site .....	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> ( 704 )
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China .....	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> ( 711 )
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River .....	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> ( 719 )
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants .....	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> ( 727 )
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites .....	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce ( 733 )
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 .....	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 740 )
Effects of the Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N to NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture .....	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> ( 746 )
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou .....	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 753 )
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhamnolipid Reverse Micelles .....	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> ( 759 )
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea .....	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> ( 764 )
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i> .....	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin ( 770 )
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System .....	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 780 )
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary .....	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> ( 786 )
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies .....	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> ( 792 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行