

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第9期

Vol.36 No.9

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长江三角洲 PM _{2.5} 质量浓度遥感估算与时空分布特征	徐建辉, 江洪 (3119)
宁波市 PM _{2.5} 中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算	杜博涵, 黄晓锋, 何凌燕, 胡敏, 王川, 任宇超, 应红梅, 周军, 汪伟峰, 许丹丹 (3128)
青岛大气中酸碱气体及 PM _{2.5} 中水溶性离子的浓度特征和气粒平衡关系	周佳佳, 石金辉, 李丽平, 姚小红, 高会旺 (3135)
北京雾霾天大气颗粒物中微生物气溶胶的浓度及粒谱特征	胡凌飞, 张柯, 王洪宝, 李娜, 王洁, 杨文慧, 殷喆, 焦周光, 温占波, 李劲松 (3144)
2015 年春节北京市空气质量分析	程念亮, 陈添, 张大伟, 李云婷, 孙峰, 魏强, 刘嘉林, 刘保献, 孙瑞雯 (3150)
上海市大气挥发性有机化学消耗与臭氧生成的关系	王红丽 (3159)
生物滴滤塔净化氯代烃混合废气的研究	陈东之, 缪孝平, 欧阳杜娟, 叶杰旭, 陈建孟 (3168)
一种基于 GOCI 数据的叶绿素 a 浓度三波段估算模型	郭宇龙, 李云梅, 李渊, 吕恒, 刘阁, 王旭东, 张思敏 (3175)
巢湖溶解性有机物时空分布规律及其影响因素	叶琳琳, 吴晓东, 刘波, 闫德智, 张玫琪, 周阳 (3186)
河北洺河溶解性有机物光谱学特性	虞敏达, 张慧, 何小松, 檀文炳, 张媛, 马丽娜, 席北斗, 党秋玲, 高如泰 (3194)
东山岛地下水“三氮”空间分布特征	吴海燕, 傅世锋, 蔡晓琼, 汤坤贤, 曹超, 陈庆辉, 梁修雨 (3203)
重庆典型岩溶区地下河中溶解态正构烷烃、脂肪酸来源、迁移及转化	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 师阳, 江泽利, 张媚, 谢正兰, 廖昱 (3212)
硫酸对乌江中上游段岩溶水化学及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的影响	黄奇波, 覃小群, 刘朋雨, 张连凯, 苏春田 (3220)
阆中市思依镇水化学特征及其成因分析	张艳, 吴勇, 杨军, 孙厚云 (3230)
东南沿海河流-水库系统藻类生长营养盐限制季节变动	陈聪聪, 饶拉, 黄金良, 白敏冬 (3238)
水体氮磷营养盐水平与氯霉素浓度复合水体对苦草的生理生化影响	胡珍珍, 崔益斌, 李梅, 余静 (3248)
溶藻活性物质对棕囊藻溶藻及其脂肪酸影响的模拟	杨秋婵, 赵玲, 尹平河, 谭烁, 舒万姣, 侯少玲 (3255)
坡岸截留强化处理设施在不同运行条件下对农业面源污染物去除效果	李怀正, 陈珂莉, 危忠, 王卫刚 (3262)
典型材料屋面积尘重金属形态分布与风险评估	李敦柱, 管运涛, 刘安, 李思远 (3269)
南水北调丹江口水库水氯(胺)化消毒副产物产生特性与消毒工艺对比	张民盛, 徐斌, 张天阳, 程拓, 夏圣骥, 楚文海 (3278)
臭氧-混凝交互作用对混凝效果的影响	刘海龙, 郭雪峰, 王敏慧, 焦茹媛, 石健 (3285)
含溴水臭氧化过程阴离子对溴酸盐生成的影响	吴悦, 吴纯德, 刘吕刚, 袁博杰 (3292)
厌氧环境雌黄溶解产物形态的 XAS 研究	王莹, 许丽英, 王少锋, 肖翻, 贾永峰 (3298)
印染及染料行业废水生物处理系统中的 AOX 污染研究	申洋洋, 刘锐, 徐灿灿, 舒小铭, 许江军, 兰亚琼, 陈吕军 (3304)
螺旋霉素制药废水处理过程中耐药菌和抗性基因的转归特征	覃彩霞, 佟娟, 申佩弘, 魏源送 (3311)
两种膜生物反应器处理养猪沼液的比较研究	税勇, 川岸朋树, 宋小燕, 刘锐, 陈吕军 (3319)
农村污水膜生物反应器系统中微生物群落解析	孔晓, 崔丙健, 金德才, 吴尚华, 杨波, 邓晔, 庄国强, 庄绪亮 (3329)
四区一体反应器冬季启动脱氮特性及硝化菌群结构分析	张岩, 孙凤侠, 谢杭冀, 陈敬, 睦稀, 甘志明, 王修平, 史扬 (3339)
从亚硝酸还原厌氧氨氧化转变为硫酸盐型厌氧氨氧化	刘正川, 袁林江, 周国标, 李晶 (3345)
提高有机负荷对好氧颗粒污泥形成与稳定过程的影响	刘小鹏, 王建芳, 钱飞跃, 王琰, 陈重军, 沈耀良 (3352)
常规施肥条件下农田不同途径氮素损失的原位研究: 以长江中下游地区夏玉米季为例	桑蒙蒙, 范会, 姜珊珊, 蒋静艳 (3358)
水氮组合模式对双季稻甲烷和氧化亚氮排放的影响	傅志强, 龙攀, 刘依依, 钟娟, 龙文飞 (3365)
厌氧条件下砂壤水稻土 N ₂ 、N ₂ O、NO、CO ₂ 和 CH ₄ 排放特征	曹娜, 王睿, 廖婷婷, 陈诺, 郑循华, 姚志生, 张海, Klaus Butterbach-Bahl (3373)
黄土丘陵区不同有机碳背景下侵蚀坡面土壤呼吸特征	陈盖, 许明祥, 张亚锋, 王超华, 樊会敏, 王闪闪 (3383)
生物炭添加对半干旱地区土壤温室气体排放的影响	郭艳亮, 王丹丹, 郑纪勇, 赵世伟, 张兴昌 (3393)
宁南山区林地土壤原位矿化过程中碳氮转化耦合特征	倪银霞, 黄懿梅, 牛丹, 赵彤, 闫浩, 蒋跃利 (3401)
石漠化山地植被恢复过程土壤团聚体氮分布及与氮素矿化关系研究	胡宁, 马志敏, 蓝家程, 伍宇春, 陈高起, 傅瓦利, 文志林, 王文净 (3411)
江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点: 以潜江市为例	王玉竹, 肖和艾, 周萍, 童成立, 葛体达, 曾冠军, 吴金水 (3422)
缙云山不同土地利用方式下土壤团聚体中活性有机碳分布特征	李睿, 江长胜, 郝庆菊 (3429)
西北典型工矿型城市街道尘埃重金属污染的环境磁学响应	聂燕, 王新, 王博, 许淑婧, 高福元, 余晔, 夏敦胜, 夏听鸣 (3438)
电镀厂周边环境重金属分布特征及人体健康暴露风险评价	郭鹏然, 雷永乾, 周巧丽, 王畅, 潘佳钊 (3447)
典型电力电容器污染土壤中多氯联苯水平及特性	刘洁, 李晓东, 赵中华, 祁志福, 陈彤, 严建华 (3457)
紫色土对硫丹的吸附与解吸特征	赵炎, 郑国灿, 朱恒, 张进忠, 朱秀英, 胡淑春, 吴娅林 (3464)
紫茉莉对石油污染盐碱土壤微生物群落与石油烃降解的影响	焦海华, 崔丙健, 吴尚华, 白志辉, 黄占斌 (3471)
4 株外生菌根真菌对 Al ³⁺ 吸收与吸附的研究	王明霞, 袁玲, 黄建国, 周志峰 (3479)
长春市郊区蔬菜有机磷农药残留与健康风险评价	于锐, 刘景双, 王其存, 刘强, 王洋 (3486)
北京市北神树生活垃圾填埋场产甲烷菌的群落结构和演替规律	宋立娜, 王磊, 夏孟婧, 苏月, 李振山 (3493)
城市分散式粪便颗粒化有机肥用作叶菜肥的肥力及环境影响	吕文洲, 乔宇祥, 余宁, 史荣华, 王光明 (3501)
V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ 催化剂与活性炭混合降解气相二噁英	任咏, 纪莎莎, 俞明峰, 李晓东, 严建华 (3508)
基于出行服务的纯电动公交车节能减排效益分析	林晓丹, 田良, 吕彬, 杨建新 (3515)
我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨	江梅, 邹兰, 李晓倩, 车飞, 赵国华, 李刚, 张国宁 (3522)
异化铁还原对土壤中重金属形态转化及其有效性影响	司友斌, 王娟 (3533)
《环境科学》征订启事 (3297) 《环境科学》征稿简则 (3303) 信息 (3127, 3202, 3277, 3318)	

宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算

杜博涵¹, 黄晓锋¹, 何凌燕^{1*}, 胡敏², 王川¹, 任宇超¹, 应红梅³, 周军³, 汪伟峰³, 许丹丹³

(1. 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术实验室, 深圳 518055; 2. 北京大学环境科学与工程学院, 环境模拟与污染控制国家联合重点实验室, 北京 100871; 3. 宁波市环境监测中心, 宁波 315012)

摘要: 为了研究 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳组分的时空分布特征, 于 2012 年 12 月至 2013 年 10 月 4 个季度典型时段在宁波市 5 个采样点采集环境大气中的 $\text{PM}_{2.5}$, 分析了样品中有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 的质量浓度, 并估算二次有机碳 (SOC) 对 OC 的贡献。结果表明: ①宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均质量浓度为 $51.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中 OC 和 EC 的比例分别为 17% 和 6%。反向轨迹模型的分析结果表明, 来自内陆地区的区域传输可能是冬季和春季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度较高的主要原因。②OC/EC 比值和 OC 与 EC 的相关性分析结果表明, 夏季有大量 SOC 生成, 而冬季则可能受华北地区燃煤供暖的显著影响。③用 EC 示踪法对宁波市的 SOC 进行了估算, 结果表明宁波冬季和春季受到区域传输的显著影响, 污染源较不稳定, 不宜使用该估算方法。夏季和秋季的 SOC 质量浓度分别为 $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $2.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 占 OC 的 42% 和 28%。

关键词: $\text{PM}_{2.5}$; 有机碳; 元素碳; 二次有机碳; 宁波

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)09-3128-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.09.002

Seasonal and Spatial Variations of Carbon Fractions in $\text{PM}_{2.5}$ in Ningbo and the Estimation of Secondary Organic Carbon

DU Bo-han¹, HUANG Xiao-feng¹, HE Ling-yan^{1*}, HU Min², WANG Chuan¹, REN Yu-chao¹, YING Hong-mei³, ZHOU Jun³, WANG Wei-feng³, XU Dan-dan³

(1. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen 518055, China; 2. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, College of Environmental Science and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Ningbo Environmental Monitoring Centre, Ningbo 315012, China)

Abstract: To investigate the seasonal and spatial variations of carbon fractions in $\text{PM}_{2.5}$ in Ningbo, $\text{PM}_{2.5}$ samples were collected at 5 sites in typical periods of 4 seasons from December 2012 to October 2013. The concentrations of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) were determined and the contribution of secondary organic carbon (SOC) was estimated. The result shows that: ①the annual average of $\text{PM}_{2.5}$ in Ningbo is $51.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. OC and EC account for 17% and 6% respectively. According to the result of the backward trajectory model, the concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ in winter and spring are higher mainly because of regional transport from inland China. ②the OC/EC ratio and the correlation between OC and EC indicate that in summer a large sum of SOC is generated while in winter the influence of coal burning emission for heating in North China may be the main reason for high OC/EC ratio. ③the contribution of SOC was estimated using an EC tracer method. The result shows that this method is not suitable for both winter and spring because of significant regional transport. The average concentrations of SOC in summer and autumn are $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $2.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, accounting for 42% and 28% of total OC respectively.

Key words: $\text{PM}_{2.5}$; organic carbon (OC); elemental carbon (EC); secondary organic carbon (SOC); Ningbo

有机碳是大气气溶胶十分重要的组成部分, 其来源非常广泛, 既能以一次有机碳 (primary organic carbon, POC) 的形式被各种燃烧源直接排放进空气中, 也能以二次有机碳 (secondary organic carbon, SOC) 的形式由人为或生物排放的挥发性有机物经反应生成^[1]。由于含氧、含氮等极性官能团的引入, SOC 具有更强的极性和吸湿性, 对能见度降低、灰霾形成、气候变化具有重要影响。国内外的研究成果表明, 在中国, 颗粒物中的 SOC 约占总有机物

的 30% ~ 95%^[2~4], 是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要组成部分之一。目前常用的 SOC 估算方法大致可概括为两大类, 即基于观测数据的估算与基于源排放清单的模拟, 前者主要包括 EC 示踪法、WSOC 法、受体模型法、示踪物-产率法; 而后者主要指数值模拟法^[5]。

收稿日期: 2015-01-13; 修订日期: 2015-03-31

基金项目: 宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染特征与大气监测网络优化研究项目

作者简介: 杜博涵 (1990 ~), 女, 硕士, 主要研究方向为环境与健康, E-mail: fiorentina_du@pku.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: hely@pkusz.edu.cn

宁波市作为长三角核心地带城市,近年来随着城市化进程的加快及机动车保有量的迅速增加,大气颗粒物污染日益严重,每年出现灰霾日 100 余天^[6]. 目前国内对 $\text{PM}_{2.5}$ 的研究缺乏全年长期观测的数据,本研究用离线方法采集分析了宁波市多个站点在 4 个季节典型时段的 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度及其碳质组分浓度,探究了碳质气溶胶的时空分布特征,并用 EC 示踪法估算出 SOC 的质量浓度及其对 OC 的贡献,以期为我国的城市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染防治提供案例研究.

1 材料与方法

宁波市地处我国海岸线中段,长江三角洲南翼,东有舟山群岛,北濒杭州湾,西接绍兴市,南临三门湾,并与台州相连,地势西南高,东北低,属典型的北亚热带季风气候. 本研究在宁波布设的 5 个采样点从北向南分别为慈溪点、镇海点、北仑点、市站点和象山点(如图 1),其中慈溪点和市站点代表市区,镇海点和北仑点代表沿海工业区,象山是背景值监测点.



图 1 采样点位分布示意

Fig. 1 Location of five sampling sites

本研究在市站点、慈溪点和象山点使用 Thermo2300 四通道采样器,在北仑点和镇海点使用天虹 TH-16A 四通道采样器. 采样前对这 5 台仪器进行了两次比对,5 台仪器在同一地点同一时段的采样结果偏差均在 $\pm 10\%$ 以内,证明其获得的结果

之间具有可比性. 采样中使用两种滤膜, Teflon 膜样品用于 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度分析,石英膜样品用于碳质组分分析. 正式采样期间每天采样 23 h,在 2012 年 12 月、2013 年 4 月、7 月和 10 月进行采样,各站点每季度至少采样 15 d(镇海点秋季采样除外),共采集有效样品 299 个. 石英膜在使用前均在 550°C 条件下灼烧 5 h 以消除其所含的有机杂质. Teflon 膜采样前后恒温、恒湿 48 h,用灵敏度 10^{-5} g 的电子微量天平称量,用差值法确定颗粒物质量. 样品膜在 -20°C 条件下密封保存以减少组分挥发. 使用热/光碳质分析仪(2001 A 型,美国沙漠研究所)对 OC 和 EC 含量进行分析.

2 结果与讨论

2.1 $\text{PM}_{2.5}$ 及其碳质组分的时空分布

宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 全年平均质量浓度为 $51.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,其中 OC 和 EC 分别占 17% 和 6%. 与国内外其他城市相比(表 1),宁波市的 $\text{PM}_{2.5}$ 及 OC 与 EC 的浓度均低于京津冀等北方内陆地区及上海、广州等国内发达城市,高于香港、深圳及部分国外发达城市的观测结果. 宁波市的 OC/ $\text{PM}_{2.5}$ 比值高于京津冀等地区,低于长三角及珠三角的大部分发达城市,与日本及韩国的 OC/ $\text{PM}_{2.5}$ 比值接近. 国内外城市大气的 EC/ $\text{PM}_{2.5}$ 比值范围为 3% ~ 13%,宁波市位于中间水平.

图 2 显示的是宁波各站点全年 $\text{PM}_{2.5}$ 及碳质组分浓度. 慈溪点和市站点的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高于镇海点和北仑点,约为最低的象山点的 2 倍,表明宁波市市区的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高于沿海工业区点. OC 浓度的分布规律和 $\text{PM}_{2.5}$ 基本一致. EC 的质量浓度在象山点最低,在其他 4 个站点则差异较小.

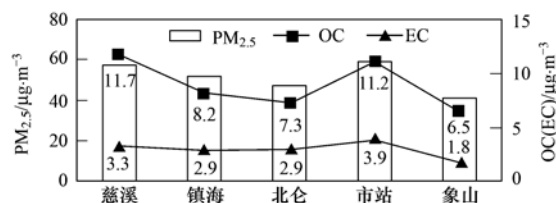


图 2 宁波各站点全年 $\text{PM}_{2.5}$ 及碳质组分浓度

Fig. 2 Concentrations of carbon fractions in $\text{PM}_{2.5}$ at each site

从季节变化来看(图 3),宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度在冬季和春季最高,分别为 $67.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $65.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;而夏秋两季的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度较低,分别为 $26.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $47.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 气象条件的变化是

表 1 国内外城市的 PM_{2.5}组分对比

Table 1 Comparison of carbon fractions of PM_{2.5} among domestic and foreign cities

地点	时间(年-月)	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	文献
北京	2009-04 ~ 2010-02	123.5	18.2 (15%)	6.3 (5%)	2.9	[7]
天津	2009-04 ~ 2010-02	141.5	18.8 (13%)	6.9 (5%)	2.7	[7]
石家庄	2009-04 ~ 2010-02	191.2	26.5 (14%)	9.8 (5%)	2.7	[7]
宁波	2012-12 ~ 2013-10	51.6	9.0 (17%)	2.9 (6%)	3.1	本研究
杭州	2006-01 ~ 2006-12	77.5	13.7 (18%)	5.9 (8%)	2.3	[8]
上海	2003-06 ~ 2003-07	54.0	13.4 (25%)	3.3 (6%)	4.1	[9]
深圳	2009-01 ~ 2009-12	42.2	8.3 (20%)	4.7 (11%)	1.8	[10]
广州	2009-11 ~ 2010-12	45.4	17.7 (39%)	4.9 (11%)	3.6	[11]
Urban Guangzhou	2004-08 ~ 2004-09	107.5	17.5 (16%)	5.7 (5%)	3.1	[12]
Urban HK	2005-02 ~ 2005-03	129.9	23.9 (18%)	4.4 (3%)	5.4	[12]
	2004-08 ~ 2004-09	54.8	11.3 (21%)	4.3 (8%)	2.6	[12]
Background HK	2005-02 ~ 2005-03	56.4	13.4 (24%)	2.3 (4%)	5.8	[12]
	2004-08 ~ 2004-09	31.9	5.6 (18%)	1.4 (4%)	4.0	[12]
Yocohama, Japan	2005-02 ~ 2005-03	34.8	5.9 (17%)	0.8 (2%)	7.4	[12]
	2007-09 ~ 2008-09	20.6	3.8 (18%)	1.9 (9%)	2.0	[13]
Chuncheon, Korea	2005-12 ~ 2009-08	31.0	5.6 (18%)	1.9 (6%)	2.9	[14]
Schiedam, Netherland	2008-08 ~ 2008-09	17.2	2.1 (12%)	2.2 (13%)	1.0	[15]
Thessaloniki, Greece	2011-07 ~ 2012-04	23.5	5.72 (24%)	0.69 (3%)	8.3	[16]
Jefferson Street, U. S	2001-07 ~ 2005-01	17.4	7.1 (41%)	1.4 (8%)	5.1	[17]
Denver, U. S	2008-03 ~ 2009-03	-	3.37	0.44	7.7	[18]

造成大气污染季节变化的重要原因,表 2 中给出了宁波市观测期间的气温、相对湿度、降水量和风速的季节变化. 冬季和春季的气温较低,边界层低,不利于污染物的扩散;夏季边界层抬升,秋季的降水丰富,均有利于污染物沉降. 进一步用 HYSPLIT 反向轨迹聚类法判断各季度 PM_{2.5}的主要气团来源,并将全部样本根据气团来源的不同分为两类:定义 I 类样本的气团主要来自内陆地区,II 类样本的气团主要来自洋面或沿海. 由于来自内陆地区的气团带来内陆污染源排放的污染物,因此 I 类样本可以反映区域传输对宁波本地空气质量的影响;而来自洋面的气团较为清洁,因此 II 类样本主要反映本地排放的特征. 图 4 的分类结果显示,来自内陆的气团在冬季和春季占主导,且 I 类样本的平均浓度为 II 类样本的 1.5 ~ 2 倍,表明污染物的区域传输可能是冬季和春季 PM_{2.5}浓度高的主要原因. 夏季和秋季的气团主要来自洋面或沿海,清洁的空气对 PM_{2.5}污染有稀释作用. Huang 等^[19]在 2010 年上海世博会期间的观测结果也表明,上海在来自西北内陆的气团控制下污染物浓度最高,即污染物的区域传输对长三角地区有重要影响. 冬春夏秋四季的 OC 质量浓度分别为 12.7、8.0、5.8 和 8.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,EC 质量浓度分别为 4.0、2.9、1.9 和 3.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,OC 与 EC 的浓度都在冬季较高,夏季较低,但 EC 的季节

变化趋势不如 OC 显著,可能是由于 EC 主要来自一次燃烧源,受本地排放的影响更大.

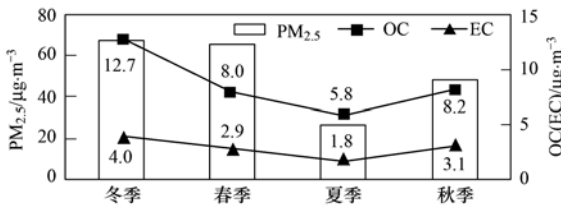


图 3 宁波市各季度 PM_{2.5}浓度及碳质组分比例

Fig. 3 Concentrations of carbon fractions in PM_{2.5} in each season

表 2 采样期间宁波基本气象条件¹⁾

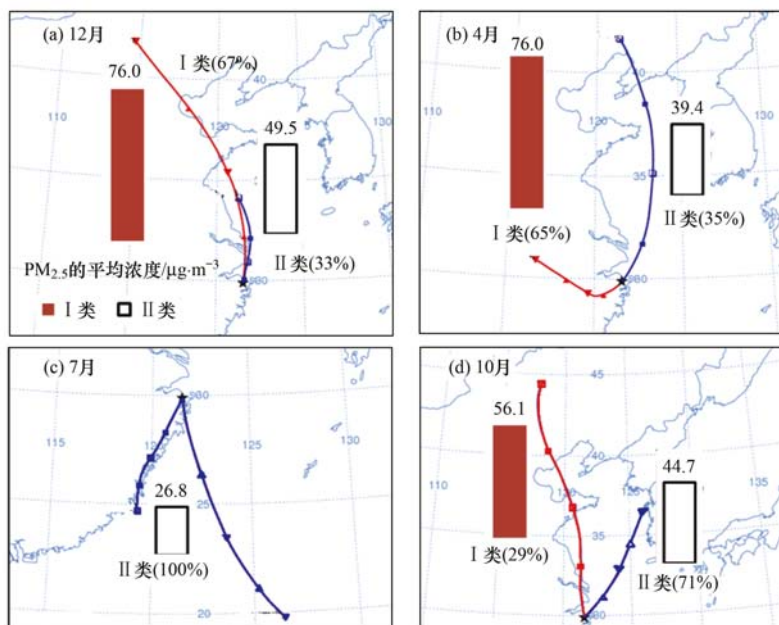
Table 2 Meteorological characteristics during sampling periods

月份	气温 / $^{\circ}\text{C}$	相对湿度 /%	气压 /mbar	降水量 /mm	风速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
12	7.1	73	1 025	117.7	5.9
4	15.9	58	1 013	112.9	4.5
7	30.3	59	1 004	38.7	4.2
10	20.0	70	1 019	372.9	5.4

1) 数据来自宁波市气象局

2.2 OC/EC 比值

由于 EC 主要来自一次燃烧源,且在大气中比较稳定,而 OC 除了一次排放外还有二次反应生成,因此 OC/EC 比值可间接反映某地大气中 SOC 的相对贡献情况^[20]. 宁波市全年 PM_{2.5}中的 OC/EC 比值为 3.1,低于上海、广州及大部分欧美城市的观测



使用 Hysplit 4 反向轨迹模型单机版软件制作,为采样期间 48 h 反向轨迹的聚类结果,气象数据下载地址:ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/gdas1/

图 4 各季气团来源分类

Fig. 4 Classification of the sources of air mass in different seasons

结果(表 1)。从空间分布来看,象山点的 OC/EC 比值最高(3.8),慈溪点(3.6)和市站点(3.1)次之,镇海点(3.0)和北仑点(2.8)的 OC/EC 比值最低,说明 SOC 对本地污染源较少的背景点贡献较高,而工业区点可能存在更多的一次燃烧源。冬春夏秋四季的 OC/EC 比值分别为 3.1、2.7、3.2 和 2.6,冬季和夏季的 OC/EC 比值较高。夏季气温高、光照强且光照时间长,有利于光化学反应生成 SOC;但冬季反之,并不利于 SOC 的生成,可能是 POC 来源的变化导致 OC/EC 比值升高。冬季的采样期处于北方的法定燃煤供暖时间(2012 年 11 月~2013 年 3 月),刘源等^[21]的研究发现燃煤排放的碳黑占总量的 24%,是重要的大气污染物来源。根据文献报道,燃煤排放的 OC/EC 比值约为 2.7~23.8^[22, 23],虽因煤的种类而异,但整体高于其他排放源(汽车尾气排放气溶胶的 OC/EC 比值的范围为 1.0~4.2^[24, 25],生物质燃烧的 OC/EC 比值约为 1.5~7^[26~29]),因此推测华北地区燃煤排放增加是导致宁波冬季大气 PM_{2.5} 中 OC/EC 比值升高的重要原因。Na 等^[30]在研究中也发现,仅从 OC/EC 比值还不能判断 SOC 的生成,因为排放源和来源区域的变化也会导致 OC/EC 比值的变化。

OC 与 EC 的相关性可以在一定程度上作为 OC 来源的指示^[12, 30]。冬、春、夏、秋四季 OC 与 EC 的

相关系数分别为 0.81、0.90、0.86 和 0.84,均为显著相关($P < 0.001$),但冬季的相关系数最小,表明冬季 OC 的来源较复杂,这与前文的分析结果一致。已有的研究表明^[31~33],汽车尾气、燃煤及生物质燃烧是长三角地区碳质气溶胶的主要来源,但其相对贡献的比例及季节变化特征尚不清楚。

2.3 SOC 的估算

由于缺少直接定量测量 SOC 的技术,EC 示踪法常被用于 SOC 的定量估算。EC 示踪法的基本假设为:颗粒物中的 EC 和 POC 通常有相同来源,且具有较好的相关性。基于这一假设,Lim 等^[1]提出了识别 SOC 的公式:

$$OC_{pri} = EC \times (OC/EC)_{pri} + N \quad (1)$$

$$OC_{sec} = OC_{tot} - OC_{pri} \quad (2)$$

式中, OC_{pri} 、 $(OC/EC)_{pri}$ 、 N 、 OC_{sec} 和 OC_{tot} 分别代表 POC、一次燃烧源排放的 OC/EC 比值、一次非燃烧源有机碳、SOC 和总 OC。在很多研究中, $(OC/EC)_{pri}$ 都用样本中 OC/EC 比值的最小值来代替,认为这种情况下几乎没有 SOC 生成。但实际上该最小值会被许多因素影响,如气象条件、源排放的浮动等。由于离线采样的样本数较少,本研究取各季 OC/EC 比值最低的 5 个样本,用其 OC 与 EC 的质量浓度数据做线性相关分析,回归曲线的截距即 N ,斜率即 $(OC/EC)_{pri}$,结果见图 5。从中可见,冬季和

春季的拟合结果(R 为 0.95 ~ 0.96) 劣于夏季和秋季(R 为 0.99 ~ 1.00), 这与前文的分析结果一致, 说明冬季和春季受到区域传输的显著影响, 污染源较不稳定, 不宜使用该估算方法. Huang 等^[34] 用 EC 示踪法和 AMS-PMF 法分别估算嘉兴夏季和冬季的

SOC 时也发现, 两种方法的估算结果在夏季基本一致, 但 EC 示踪法在冬季会很大程度地高估 SOC. 夏季和秋季的拟合结果相关性良好, 且截距较小可忽略, 说明这些数据基本可以代表该地区的一次源排放.

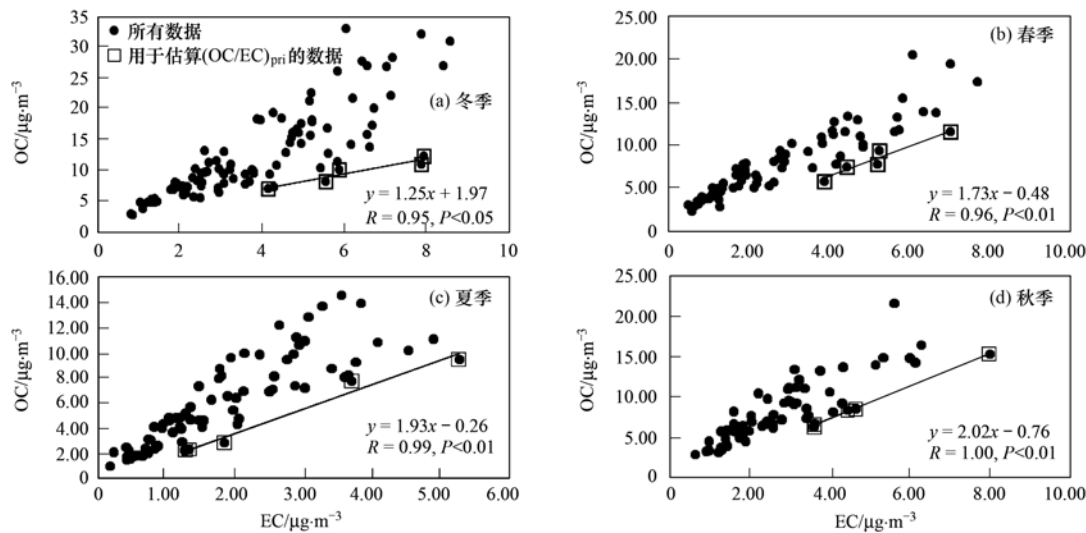


图5 (OC/EC)_{pri}的估算
Fig. 5 Estimation of (OC/EC)_{pri}

结合公式(1)和公式(2)对夏季和秋季的 SOC 进行估算, 其质量浓度分别为 $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $2.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 占 OC 的 42% 和 28%. 许多我国其他城市地区的研究结果(表 3) 显示, 夏季的 SOC 比例为 36% ~ 72%, 秋季为 23% ~ 64%, 夏季的 SOC 比例高于秋季. 这与本研究得出的季节变化规律一致.

表 3 其他城市地区 SOC 占 OC 的比例/%
Table 3 SOC/OC in other cities or regions/%

位置	春	夏	秋	冬	文献
北京	27	45	23	19	[35]
天津	50	72	64	60	[36]
华北	—	36	—	24	[37]
宁波	—	42	28	—	本研究
嘉兴	—	68	—	30	[34]
上海	36	37	23	24	[38]
华南	—	42	—	26	[39]

3 结论

(1) 宁波市 $\text{PM}_{2.5}$ 全年平均浓度为 $51.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中 OC 和 EC 分别占 17% 和 6%. 从空间分布来看, 市区点的污染物浓度高于沿海工业区点. 反向轨迹模型的分析结果表明, 来自内陆地区的区域传输可能是冬季和春季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度较高的主要原因. OC 与 EC 的浓度都呈冬季高, 夏季低, 春秋基本持平的特征, 但 EC 的季节变化趋势不如 OC 明显.

(2) 宁波市全年 $\text{PM}_{2.5}$ 中的 OC/EC 比值为 3.1. OC/EC 比值的空间差异表明, SOC 对本地污染源较少的背景点贡献较高, 而工业区点可能存在更多的一次燃烧源. OC/EC 比值和 OC 与 EC 的相关性分析结果表明, 宁波夏季有大量 SOC 生成, 而冬季则可能受华北地区燃煤供暖的显著影响.

(3) 用 EC 示踪法对宁波市的 SOC 进行了估算, 结果表明宁波冬季和春季受到区域传输的显著影响, 污染源较不稳定, 不宜使用该估算方法. 夏季和秋季的 SOC 浓度分别为 $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $2.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 占 OC 的 42% 和 28%.

参考文献:

[1] Lim H J, Turpin B J. Origins of primary and secondary organic aerosol in Atlanta: results of time-resolved measurements during the Atlanta supersite experiment[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(21): 4489-4496.

[2] Dan M, Zhuang G S, Li X X, et al. The characteristics of carbonaceous species and their sources in $\text{PM}_{2.5}$ in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(21): 3443-3452.

[3] Ding X, Wang X M, Gao B, et al. Tracer-based estimation of secondary organic carbon in the Pearl River Delta, south China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, 117 (D5), doi: 10.1029/2011JD016596.

[4] Guo S, Hu M, Guo Q F, et al. Primary sources and secondary formation of organic aerosols in Beijing, China [J].

- Environmental Science & Technology, 2012, **46** (18): 9846-9853.
- [5] 郑玫, 闫才青, 李小滢, 等. 二次有机气溶胶估算方法研究进展[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(3): 555-564.
- [6] 叶文波. 宁波市大气可吸入颗粒物 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的源解析研究[J]. 环境污染与防治, 2011, **33**(9): 66-69.
- [7] Zhao P S, Dong F, He D, *et al.* Characteristics of concentrations and chemical compositions for $\text{PM}_{2.5}$ in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[A]. 见: 中国气象学会. 第30届中国气象学会年会论文集[C]. 南京: 中国气象学会, 2013. 1-25.
- [8] 包贞, 冯银厂, 焦荔, 等. 杭州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2010, **26**(2): 44-48.
- [9] Cao J J, Shen Z X, Chow J C, *et al.* Winter and summer $\text{PM}_{2.5}$ chemical compositions in fourteen Chinese cities[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2012, **62** (10): 1214-1226.
- [10] 黄晓锋, 云慧, 宫照恒, 等. 深圳大气 $\text{PM}_{2.5}$ 来源解析与二次有机气溶胶估算[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, **44**(4): 723-734.
- [11] 王少毅, 曾燕君, 琚鸿, 等. 广州地区秋冬季细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分分析[J]. 环境监测管理与技术, 2013, **25**(4): 9-12.
- [12] 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.
- [13] Khan M F, Shirasuna Y, Hirano K, *et al.* Characterization of $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$ and $\text{PM}_{>10}$ in ambient air, Yokohama, Japan [J]. Atmospheric Research, 2010, **96**(1): 159-172.
- [14] Han Y J, Kim S R, Jung J H. Long-term measurements of atmospheric $\text{PM}_{2.5}$ and its chemical composition in rural Korea [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2011, **68** (4): 281-298.
- [15] Mooibroek D, Schaap M, Weijers E P, *et al.* Source apportionment and spatial variability of $\text{PM}_{2.5}$ using measurements at five sites in the Netherlands [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(25): 4180-4191.
- [16] Samara C, Voutsas D, Kouras A, *et al.* Organic and elemental carbon associated to PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ at urban sites of northern Greece [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, **21**(3): 1769-1785.
- [17] Chen Y J, Zheng M, Edgerton E S, *et al.* $\text{PM}_{2.5}$ source apportionment in the southeastern U. S.: Spatial and seasonal variations during 2001- 2005 [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, **117** (D8), doi: 10.1029/2011JD016572.
- [18] Xie M J, Coons T L, Hemann J G, *et al.* Intra-urban spatial variability and uncertainty assessment of $\text{PM}_{2.5}$ sources based on carbonaceous species[J]. Atmospheric Environment, 2012, **60**: 305-315.
- [19] Huang X F, He L Y, Xue L, *et al.* Highly time-resolved chemical characterization of atmospheric fine particles during 2010 Shanghai World Expo [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, **12**(11): 4897-4907.
- [20] 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. Part A. General Topics, 1993, **27** (8): 1185-1201.
- [21] 刘源, 邵敏. 北京市碳黑气溶胶排放清单估算及预测[J]. 科学通报, 2007, **52**(4): 470-476.
- [22] Watson J G, Chow J C, Houck J E. $\text{PM}_{2.5}$ 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.
- [23] Zhang Y X, Schauer J J, Zhang Y H, *et al.* Characteristics of particulate carbon emissions from real-world Chinese coal combustion[J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42** (14): 5068-5073.
- [24] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks [J]. Environmental Science & Technology, 1999, **33**(10): 1578-1587.
- [25] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 1. C1 through C29 organic compounds from meat charbroiling[J]. Environmental Science & Technology, 1999, **33**(10): 1566-1577.
- [26] Zhang Y X, Shao M, Zhang Y H, *et al.* Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, **19** (2): 167-175.
- [27] Reddy M S, Venkataraman C. Atmospheric optical and radiative effects of anthropogenic aerosol constituents from India [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(26): 4511-4523.
- [28] Andreae M O, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, **15**(4): 955-966.
- [29] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, *et al.* An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000 [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, **108** (D21), doi:10.1029/2002JD003093.
- [30] Na K, Sawant A A, Song C, *et al.* Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38** (9): 1345-1355.
- [31] Feng J L, Chan C K, Fang M, *et al.* Characteristics of organic matter in $\text{PM}_{2.5}$ in Shanghai[J]. Chemosphere, 2006, **64**(8): 1393-1400.
- [32] Du H H, Kong L D, Cheng T T, *et al.* Insights into summertime haze pollution events over Shanghai based on online water-soluble ionic composition of aerosols [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(29): 5131-5137.
- [33] 许丹丹, 屈晓萍, 汪伟峰, 等. 宁波 PM_{10} 中有机碳和元素碳

- 的季节变化及来源分析[J]. 中国环境监测, 2014, **30**(1): 49-52.
- [34] Huang X F, Xue L, Tian X D, *et al.* Highly time-resolved carbonaceous aerosol characterization in Yangtze River Delta of China: Composition, mixing state and secondary formation[J]. Atmospheric Environment, 2013, **64**: 200-207.
- [35] Lin P, Hu M, Deng Z, *et al.* Seasonal and diurnal variations of organic carbon in PM_{2.5} in Beijing and the estimation of secondary organic carbon[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2009, **114**(D2), doi:10.1029/2008JD010902.
- [36] Gu J X, Bai Z P, Liu A X, *et al.* Characterization of atmospheric organic carbon and element carbon of PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin, China[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2010, **10**(2): 167-176.
- [37] Cao J J, Lee S C, Chow J C, *et al.* Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2007, **112**(D22), doi: 10.1029/2006JD008205.
- [39] 王杨君, 董亚萍, 冯加良, 等. 上海市 PM_{2.5} 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.
- [39] 罗运阔, 陈尊裕, 张铁男, 等. 中国南部四背景地区春季大气碳质气溶胶特征与来源[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(11): 1543-1549.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} Concentration over the Yangtze Delta Using Remote Sensing: Analysis of Spatial and Temporal Variations	XU Jian-hui, JIANG Hong (3119)
Seasonal and Spatial Variations of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Ningbo and the Estimation of Secondary Organic Carbon	DU Bo-han, HUANG Xiao-feng, HE Ling-yan, <i>et al.</i> (3128)
Concentrations of Acidic Gases, Ammonia and Related Water-Soluble Ions in PM _{2.5} and Gas-Particle Partitioning in Qingdao	ZHOU Jia-jia, SHI Jin-hui, LI Li-ping, <i>et al.</i> (3135)
Concentration and Particle Size Distribution of Microbiological Aerosol During Haze Days in Beijing	HU Ling-fei, ZHANG Ke, WANG Hong-bao, <i>et al.</i> (3144)
Air Quality Characteristics in Beijing During Spring Festival in 2015	CHENG Nian-liang, CHEN Tian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (3150)
Chemical Loss of Volatile Organic Compounds and Its Impact on the Formation of Ozone in Shanghai	WANG Hong-li (3159)
Removal of Waste Gas Containing Mixed Chlorinated Hydrocarbons by the Biotrickling Filter	CHEN Dong-zhi, MIAO Xiao-ping, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3168)
A Three Band Chlorophyll-a Concentration Estimation Model Based on GOCI Imagery	GUO Yu-long, LI Yun-mei, LI Yuan, <i>et al.</i> (3175)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter and Influencing Factors in Lake Chaohu	YE Lin-lin, WU Xiao-dong, LIU Bo, <i>et al.</i> (3186)
Spectral Characteristic of Dissolved Organic Matter in Xiaohe River, Hebei	YU Min-da, ZHANG Hui, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (3194)
Spatial Variation of Ammonia-N, Nitrate-N and Nitrite-N in Groundwater of Dongshan Island	WU Hai-yan, FU Shi-feng, CAI Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3203)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Alkanes, Dissolved Fatty Acids in a Karst Underground River Water, in Chongqing Area	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (3212)
Influence of Sulfuric Acid to Karst Hydrochemical and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in the Upper and Middle Reaches of the Wujiang River	HUANG Qi-bo, QIN Xiao-qun, LIU Peng-yu, <i>et al.</i> (3220)
Hydrochemical Characteristic and Reasoning Analysis in Siyi Town, Langzhong City	ZHANG Yan, WU Yong, YANG Jun, <i>et al.</i> (3230)
Seasonal Variation on Nutrient Limitation for Phytoplankton Growth in a Coastal River-Reservoir System, Southeast China	CHEN Cong-cong, RAO La, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (3238)
Physiological Effect of <i>Vallisneria natans</i> Under Different Concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Chloramphenicol	HU Zhen-zhen, CUI Yi-bin, LI Mei, <i>et al.</i> (3248)
Effects of Algicidal Substance on <i>Phaeocystis globosa</i> and Its Fatty Acids by the Simulation Experiment	YANG Qiu-chan, ZHAO Ling, YIN Ping-he, <i>et al.</i> (3255)
Agricultural Non-Point Source Pollutants Removal by Enhanced Riverbank Interception Facilities Under Different Operating Conditions	LI Huai-zheng, CHEN Ke-li, WEI Zhong, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Material Roof Dusts	LI Dun-zhu, GUAN Yun-tao, LIU An, <i>et al.</i> (3269)
Formation of Disinfection By-Products During Chlor(am)ination of Danjiangkou Reservoir Water and Comparison of Disinfection Processes	ZHANG Min-sheng, XU Bin, ZHANG Tian-yang, <i>et al.</i> (3278)
Effects of Interaction of Ozonation and Coagulation on Coagulation Results	LIU Hai-long, GUO Xue-feng, WANG Min-hui, <i>et al.</i> (3285)
Effects of Anions on Bromate Formation During Ozonation of Bromide-Containing Water	WU Yue, WU Chun-de, LIU Li-gang, <i>et al.</i> (3292)
XAS Analysis upon Dissolved Species of Orpiment in Anoxic Environment	WANG Ying, XU Li-ying, WANG Shao-feng, <i>et al.</i> (3298)
AOX Pollution in Wastewater Treatment Process of Dyeing and Dyestuff Chemical Industries	SHEN Yang-yang, LIU Rui, XU Can-can, <i>et al.</i> (3304)
Fate of ARB and ARGs During Wastewater Treatment Process of Spiramycin Production	QIN Cai-xia, TONG Juan, SHEN Pei-hong, <i>et al.</i> (3311)
A Comparative Study on Two Membrane Bioreactors for the Treatment of Digested Piggery Wastewater	SHUI Yong, Kawagishi Tomoki, SONG Xiao-yan, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Community in the Membrane Bio-Reactor (MBR) Rural Sewage Treatment System	KONG Xiao, CUI Bing-jian, JIN De-cai, <i>et al.</i> (3329)
Start-up Characteristics of Four-zone Integrated Reactor for Nitrogen Removal in Winter and Analysis of Nitrobacteria Community	ZHANG Yan, SUN Feng-xia, XIE Hang-ji, <i>et al.</i> (3339)
Achievement of Sulfate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation Reactor Started with Nitrate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation	LIU Zheng-chuan, YUAN Lin-jiang, ZHOU Guo-biao, <i>et al.</i> (3345)
Effect of Increasing Organic Loading Rate on the Formation and Stabilization Process of Aerobic Granular Sludge	LIU Xiao-peng, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (3352)
Nitrogen Loss Through Different Ways in Cropland Under Conventional Fertilization: An <i>In-situ</i> Study of Summer Maize Season in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	SANG Meng-meng, FAN Hui, JIANG Shan-shan, <i>et al.</i> (3358)
Effects of Water and Nitrogenous Fertilizer Coupling on CH ₄ and N ₂ O Emission from Double-Season Rice Paddy Field	FU Zhi-qiang, LONG Pan, LIU Yi-yi, <i>et al.</i> (3365)
Characteristics of N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions in Anaerobic Condition from Sandy Loam Paddy Soil	CAO Na, WANG Rui, LIAO Ting-ting, <i>et al.</i> (3373)
Characteristics of Soil Respiration along Eroded Sloping Land with Different SOC Background on the Hilly Loess Plateau	CHEN Gai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (3383)
Effect of Biochar on Soil Greenhouse Gas Emissions in Semi-arid Region	GUO Yan-liang, WANG Dan-dan, ZHENG Ji-yong, <i>et al.</i> (3393)
Characteristics and Coupling Relationship of Soil Carbon and Nitrogen Transformation During <i>In-situ</i> Mineralization Cultivation in Forestlands in the Mountain Area of Southern Ningxia	NI Yin-xia, HUANG Yi-mei, NIU Dan, <i>et al.</i> (3401)
Nitrogen Fraction Distributions and Impacts on Soil Nitrogen Mineralization in Different Vegetation Restorations of Karst Rocky Desertification	HU Ning, MA Zhi-min, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (3411)
Distribution and Dynamics of Cropland Soil Organic Carbon in Jiangnan Plain: A Case Study of Qianjiang City	WANG Yu-zhu, XIAO He-ai, ZHOU Ping, <i>et al.</i> (3422)
Impact of Land Utilization Pattern on Distributing Characters of Labile Organic Carbon in Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Rui, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (3429)
Magnetic Responses of Heavy Metals in Street Dust of Typical Mine-Based City, Northwest China	NIE Yan, WANG Xin, WANG Bo, <i>et al.</i> (3438)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Environmental Samples Around Electroplating Factories and the Health Risk Assessment	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, ZHOU Qiao-li, <i>et al.</i> (3447)
Homologues Levels and Distribution Pattern of Polychlorinated Biphenyls in Typical Capacitor Contaminated Soil	LIU Jie, LI Xiao-dong, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (3457)
Adsorption and Desorption Characteristics of Endosulfan in Purple Soil	ZHAO Yan, ZHENG Guo-can, ZHU Heng, <i>et al.</i> (3464)
Influence of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. Growth on the Microbial Community and Petroleum Hydrocarbon Degradation in Petroleum Contaminated Saline-alkali Soil	JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, WU Shang-hua, <i>et al.</i> (3471)
Al ³⁺ Absorption and Assimilation by Four Ectomycorrhizal Fungi	WANG Ming-xia, YUAN Ling, HUANG Jian-guo, <i>et al.</i> (3479)
Contamination of Organophosphorus Pesticides Residue in Fresh Vegetables and Related Health Risk Assessment in Changchun, China	YU Rui, LIU Jing-shuang, WANG Qi-cun, <i>et al.</i> (3486)
Community Structure and Succession of Methanogens in Beishenshu Landfill, Beijing	SONG Li-na, WANG Lei, XIA Meng-jing, <i>et al.</i> (3493)
Fertility and Environmental Impacts of Urban Scattered Human Feces Used as Organic Granular Fertilizer for Leaf Vegetables	LÜ Wen-zhou, QIAO Yu-xiang, YU Ning, <i>et al.</i> (3501)
Degradation of PCDD/Fs by the Mixture of V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ Catalyst and Activated Carbon	REN Yong, JI Sha-sha, YU Ming-feng, <i>et al.</i> (3508)
Energy Conservation and Emissions Reduction Benefits Analysis for Battery Electric Buses Based on Travel Services	LIN Xiao-dan, TIAN Liang, LÜ Bin, <i>et al.</i> (3515)
Definition and Control Indicators of Volatile Organic Compounds in China	JIANG Mei, ZOU Lan, LI Xiao-qian, <i>et al.</i> (3522)
Influence of Dissimilatory Iron Reduction on the Speciation and Bioavailability of Heavy Metals in Soil	SI You-bin, WANG Juan (3533)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年9月15日 第36卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 9 Sep. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行