

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第1期

Vol.39 No.1

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2006~2015年北京市不同地区 O ₃ 浓度变化	王占山, 李云婷, 安欣欣, 李倩, 孙乃迪, 王步英, 潘锦秀 (1)
南京北郊黑碳气溶胶的来源解析	肖思略, 于兴娜, 朱彬, 何稼祺, 吕睿, 沙丹丹 (9)
电镀厂周边大气 PM ₁₀ 中重金属季节性分布特征及生态风险评价	赵珍丽, 赵委托, 黄庭, 程胜高, 余葱葱, 尹伊梦 (18)
广西玉林市大气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 中有机碳和元素碳污染特征分析	黄炯丽, 陈志明, 莫招育, 李宏姣, 杨俊超, 刘慧琳, 毛敬英, 梁桂云, 张达标, 吴熊平, 郝爽 (27)
青岛近海及黄渤海大气气溶胶中不同形态氮磷质量浓度及组成特征	张瑞峰, 祁建华, 丁雪, 谢丹丹 (38)
大气环境分区管理: 以广东省为例	杨柳林, 李敏辉, 廖程浩, 曾武涛, 张晖, 张永波 (49)
基于高分影像的城市黑臭水体遥感识别: 以南京为例	温爽, 王桥, 李云梅, 朱利, 吕恒, 雷少华, 丁萧蕾, 苗松 (57)
基于 SWAT 模型的流域河道硝酸盐 δ ¹⁵ N 和 δ ¹⁸ O 模拟	王康, 冉宁, 林忠兵, 周祖昊 (68)
程海流域非点源污染负荷估算及其控制对策	陈学凯, 刘晓波, 彭文启, 董飞, 黄智华, 冯顺新, 王若男 (77)
陆浑水库饮用水源地水体中金属元素分布特征及健康风险评价	余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 谢地, 马鹏途 (89)
天津供水系统中抗生素分布变化特征与健康风险评价	张新波, 宋姿, 张丹, 刘楠楠, 李楠, 温海涛 (99)
西南丘陵区村镇典型供水水源有机物分布特征及对饮水水质的影响	王琼, 李乃稳, 李磊, 李龙国, 苟思, 杨凌肖 (109)
北京市地下水有机氯和有机磷农药健康风险评价	陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (117)
黄河岸边土壤中类二噁英类多氯联苯污染现状及风险	姚宏, 卢双, 张旭, 裴晋, 鲁垠涛 (123)
淹水落干下三峡水库消落带土壤无机磷形态转化特征	周健, 李春辉, 张志永, 胡红青, 万成炎, 胡莲, 潘晓洁 (130)
磷酸盐对铁锰复合氧化膜去除地表水中氨氮的影响	卓瑞双, 黄廷林, 张瑞峰, 文刚 (137)
K ₂ S ₂ O ₈ 强化 g-C ₃ N ₄ 薄膜电极光电催化降解 Cu(CN) ₂ ⁻ 并同步回收 Cu	党聪哲, 李一兵, 王彦斌, 赵旭 (145)
以 HKUST-1 为模板制备铜氧化物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B	蒲嘉懿, 万金泉, 王艳, 马邕文, 武书彬 (152)
氨化松香基交联聚合树脂对水中诺氟沙星的吸附性能	马亚红, 黄婉婷, 刁开盛, 李鹏飞, 谭学才, 董慧岭, 覃方夸, 雷福厚, 刘绍刚 (161)
铁锰泥除砷颗粒吸附剂对 As(V) 的吸附去除	曾辉平, 吕赛赛, 杨航, 尹灿, 曹瑞华, 王艳菊, 李冬, 张杰 (170)
水铁矿及其胶体对砷的吸附与吸附形态	马玉玲, 马杰, 陈雅丽, 雷梅, 郭华明, 翁莉萍, 李永涛 (179)
阳(阴)离子复配修饰两性磁性膨润土的表面特征差异及对苯酚吸附的影响	任爽, 孟昭福, 王腾, 张洋, 田凯, 刘伟, 闫东旭 (187)
典型城市污水中对羟基苯甲酸酯的污染特征	赵雪, 张子峰, 祝富杰, 李一凡, 马万里 (195)
水力停留时间对活性炭生物转盘处理污水的影响	许雯佳, 成小英 (202)
环丙沙星对膜生物反应器运行效能的影响及其去除特性	戴琦, 刘锐, 舒小铭, 张永明, 陈吕军 (212)
AAO 工艺低氧条件下的运行及其模拟	曹特特, 王林, 李咏梅 (219)
磷酸盐对亚硝化系统的抑制及恢复	顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 张程锦 (227)
碳源对污水处理厂 SAD 工艺小试的影响	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (232)
容积负荷对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷性能的影响	吕亮, 尤雯, 韦佳敏, 吴鹏, 沈耀良 (239)
DNBF-O ₃ -GAC 组合工艺深度脱除氮磷及代谢产物	钟丽燕, 郝瑞霞, 王卫东, 万京京, 朱晓霞 (247)
交替好氧/缺氧运行模式对生物脱氮效能及活性污泥胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (256)
纳米零价铁对升流式颗粒污泥床反硝化性能的影响	周丰, 王翻翻, 钱飞跃, 黄慧敏, 沈耀良, 周建民 (263)
高含固污泥厌氧消化中 Fe/S 及 pH 对原位抑硫效率影响及其交互作用	韩芸, 曹玉芹, 卓杨, 王晓飞, 韩雅婷, 彭党聪 (269)
浑河流域贮存污泥成分特征及演变规律分析	刘甜甜, 崔崇威, 赫俊国, 唐建 (276)
去除城市生活污泥中有机络合态金属强化其厌氧生物制气	卢怡清, 许颖, 董滨, 戴晓虎 (284)
污泥飞灰中重金属不同浸出方法比较及综合毒性评价	王丰, 李润东, 李彦龙, 赵云斌, 杨天华 (292)
初冬时期闽江河口区养殖塘排水后的 CH ₄ 和 N ₂ O 通量日变化特征	杨平, 谭立山, 黄佳芳, 何清华, 全川 (300)
3 种土壤改良剂对河套灌区玉米田温室气体排放的影响	武岩, 红梅, 林立龙, 刘梅, 刘宇杰 (310)
有机氮替代比例对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量及 N ₂ O 排放的影响	侯苗苗, 吕凤莲, 张弘毅, 周应田, 路国艳, Ayaz Muhammad, 黎青慧, 杨学云, 张树兰 (321)
拔节期水稻光合碳输入的动态变化及其对施氮的响应: ¹³ C-CO ₂ 脉冲标记	陈珊, 祝贞科, 袁红朝, 王久荣, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (331)
陕北黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤碳剖面分布特征	兰志龙, 赵英, 张建国, 李会杰, 司炳成, 焦瑞, Muhammad Numan Khan, Tanveer Ali Sial (339)
不同地表条件下生物炭对土壤氮挥发的影响	邹娟, 胡学玉, 张阳阳, 陈窈君, 王向前, 刘扬 (348)
秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响	徐国鑫, 王子芳, 高明, 田冬, 黄容, 刘江, 黎嘉成 (355)
县域尺度土壤铜的有效性及相关影响因素评估	李锦芬, 瞿明凯, 刘刚, 黄标 (363)
基于改进 LUR 模型的区域土壤重金属空间分布预测	曾菁菁, 沈春竹, 周生路, 陆春峰, 金志丰, 朱雁 (371)
沈北新区土壤中多环芳烃污染特征及源解析	李嘉康, 宋雪英, 魏建兵, 王颖怡, 李玉双, 郑学昊 (379)
磷酸盐、腐殖酸与粉煤灰联合钝化处理模拟铅镉污染土壤	赵庆圆, 李小明, 杨麒, 陈灿, 钟振宇, 钟宇, 陈飞, 陈寻峰, 王祥 (389)
控源及改良措施对稻田土壤和水稻镉累积的影响	封文利, 郭朝晖, 史磊, 肖细元, 韩晓晴, 冉洪珍, 薛清华 (399)
典型土壤双季稻对 Cd 吸收累积差异	李欣阳, 龙坚, 王树兵, 陈齐, 董霞, 蒋凯, 侯红波, 彭佩钦, 廖柏寒 (406)
松花江上游夹皮沟金矿开采区芦苇叶片汞分布特征	张曼胤, 李梦洁, 崔丽娟, 王贺年, 郭子良, 徐卫刚, 魏圆云, 杨思, 肖红叶 (415)
硝酸盐对土壤反硝化活性及厌氧降解的影响	代军帅, 左小虎, 王明霞, 姚炎红, 周志峰 (422)
长期施肥对稻田土壤微生物量、群落结构和活性的影响	王伟华, 刘毅, 唐海明, 孙志龙, 李宝珍, 葛体达, 吴金水 (430)
海洋沉积物中硫酸盐还原菌和硫酸化菌群落分析方法的比较	张玉, 米铁柱, 甄毓, 陈烨, 付璐璐, 王勋功 (438)
鄱阳湖微囊藻毒素时空分布格局及其与理化及生物因子的关系	袁丽娟, 廖旦根, 张莉, 张大文, 罗林广, 刘聚涛 (450)
畜禽粪便中多重耐药细菌及耐药基因分布特征	张昊, 王盼亮, 杨清香, 俞宁 (460)
烟气净化工艺和焚烧炉类型对生活垃圾焚烧飞灰性质的影响	章骅, 于思源, 邵立明, 何品晶 (467)

广西玉林市大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳和元素碳污染特征分析

黄炯丽¹, 陈志明¹, 莫招育^{1,2}, 李宏姣¹, 杨俊超¹, 刘慧琳¹, 毛敬英^{1*}, 梁桂云¹, 张达标¹, 吴熊平³, 郝爽³

(1. 广西壮族自治区环境保护科学研究院, 南宁 530022; 2. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433; 3. 玉林市环境监测站, 玉林 537000)

摘要: 2015 年 7 月~2016 年 3 月期间在广西玉林市 3 个空气监测点位共采集环境大气颗粒物 PM_{10} 样品 218 份, $\text{PM}_{2.5}$ 样品 202 份, 利用多波段热/光碳分析仪分析其颗粒物中有机碳(OC)和元素碳(EC)浓度水平、时空变化、污染特征及可能来源。结果表明, 玉林市 PM_{10} 中 OC 和 EC 质量浓度分别为 $10.99 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $5.11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 质量浓度分别为 $7.51 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $4.70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。3 个监测点位大气中 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 冬季的 OC 和 EC 浓度水平平均高于其他季节, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的相关性较好, R^2 分别为 0.58 和 0.60 (P 均小于 0.01)。应用最小 OC/EC 比值法对二次有机碳(SOC)含量进行了估算, 冬季大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 SOC 平均质量浓度分别为 $14.50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $6.74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 高于其他季节。 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 SOC/OC 比值均 >0.5 , 玉林市大气中粗细颗粒物均以 SOC 为主。夏季 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 SOC/OC 分别为 80.6% 和 77.7%, 为四季最高值, 与夏季温度较高、光照强烈、有利于光化学反应将 OC 转化为 SOC 有关。

关键词: PM_{10} ; $\text{PM}_{2.5}$; 有机碳; 元素碳; 玉林

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)01-0027-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.201702102

Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ in Yulin City, Guangxi

HUANG Jiong-li¹, CHEN Zhi-ming¹, MO Zhao-yu^{1,2}, LI Hong-jiao¹, YANG Jun-chao¹, LIU Hui-lin¹, MAO Jing-ying^{1*}, LIANG Gui-yun¹, ZHANG Da-biao¹, WU Xiong-ping³, HAO Shuang³

(1. Scientific Research Academy of Guangxi Environmental Protection, Nanning 530022, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Yulin Environmental Monitoring Center, Yulin 537000, China)

Abstract: Two hundred eighteen PM_{10} and 202 $\text{PM}_{2.5}$ samples were collected at three sampling sites to study the pollution characteristics of carbonaceous aerosols in Yulin from July 2015 to March 2016. Organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in the PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ samples were analyzed by a Multiwavelength Thermal/Optical Carbon Analyzer, and the characteristics, including pollution levels, temporal and spatial distributions, and possible sources of OC and EC, were investigated. The results showed that the OC and EC mass concentrations in PM_{10} in Yulin were 10.99 and $5.11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, while the OC and EC mass concentrations in $\text{PM}_{2.5}$ were 7.51 and $4.70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Strong correlations between OC and EC were found in PM_{10} ($R^2 = 0.58$) and $\text{PM}_{2.5}$ ($R^2 = 0.60$). The winter average concentrations of secondary organic carbon (SOC) in PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ were $14.50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $6.74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. The SOC/OC ratios in both the PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ were higher than 0.5. The contribution of SOC to OC was 80.6% in PM_{10} and 77.7% in $\text{PM}_{2.5}$, which were the highest in the summer, in accordance with the high temperature and strong solar radiation in the summer.

Key words: PM_{10} ; $\text{PM}_{2.5}$; organic carbon(OC); element carbon(EC); Yulin

碳质气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分, 气溶胶中的含碳物质主要有有机碳(OC)、元素(EC)以及少量的碳酸盐(CC)。OC 主要来源于污染源直接排放的一次有机碳(POC)和挥发性碳氢化合物经过光化学反应形成的二次有机碳(SOC), 富含致癌物质和基因毒性诱变物, 这些物质大多都危害人体健康; EC 为黑色, 又被称为碳黑或烟黑, 主要来源于各种不完全燃烧过程, 具有较强的吸附能力, 容易

成为富集中心和化学反应床, 对人类的健康产生很大的威胁。因此, 系统且准确观测城市大气中 OC 和 EC 的含量并研究其污染特征具有重要意义。

收稿日期: 2017-02-19; 修订日期: 2017-07-31

基金项目: 广西科技开发项目(桂科 AB16380292); 广西自然科学基金项目(2015GXNSFBA139203)

作者简介: 黄炯丽(1985~), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气环境污染成因和控制对策, E-mail: huangjiongli123@163.com

* 通信作者, E-mail: 13978185061@163.com

目前,国内对 OC 和 EC 的研究主要集中在北京^[1]、上海^[2,3]、广州^[4]、南京^[5,6]、鞍山^[7]、天津市^[8]等经济较为发达的大城市,对于我国中小城市^[9],尤其是经济欠发达的西南地区大气颗粒物含碳物种污染特征及来源研究甚少.随着国务院批复《北部湾城市群发展规划》,强调要以构建环境友好型产业体系为基础,发展美丽经济,建设宜居城市和蓝色海湾城市群,广西区北部湾城市群环境质量保障的重要性将越发突显.玉林市地处广西壮族自治区东南部,毗邻粤港澳,面向东南亚,背靠大西南,南接北部湾,为北部湾经济区城市群城市之一.自 2015 年玉林市按新标准评价大气质量以来,大气颗粒物污染较为凸显,首要污染物由原来的以可吸入颗粒物(PM_{10})为主转变以细颗粒物($PM_{2.5}$)、 PM_{10} 、 O_3 为首要污染物为主.大气颗粒物中碳组分浓度水平和分布特征研究对大气污染防治具有重要意义.

本研究将通过玉林市大气 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中 OC、EC 浓度水平、污染特征、时空变化特征及可能来源进行分析,探讨影响玉林市大气粗细颗粒物含碳物种的因素,填补国内外研究区域空白,以期为大气污染防治提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 实验仪器

中流量颗粒物采样器 (TH150D, 武汉天虹); Model 2001A 热光分析仪 (DRI Model 2001A, 美国沙漠研究所); 马弗炉; 十万分之一电子天平 (BT224S, 德国赛多利斯); 恒温恒湿箱.

1.2 样品采集

采样点布设在玉林市寒山水库、南江一中和市监测站.寒山水库属于风景区;南江一中属于二类居住用地(周边同时分布仓储用地、行政办公用地、商业金融业用地等);市监测站属于行政办公用地(周边同时分布商业金融业用地、二类居住用地).分别于 2015 年 7 月、11 月和 2016 年 2 月、3 月在以上监测点位进行全年 4 个不同时期的采样分析,分别以 2、3、7 和 11 月对应冬、春、夏、秋四季.样品通过中流量颗粒物采样器 (TH150D, 武汉天虹)采集,流量设定为 $100\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$,连续 20 h 采样.

1.3 样品处理与分析

1.3.1 滤膜称重

采样前,用锡箔纸包裹石英滤膜 (90 mm, Whatman) 在 450°C 马弗炉中灼烧 4 h,以除去膜上原有的有机物和其他杂质.采样前后均将滤膜置于

温度 20°C 和相对湿度 40% 的恒温恒湿箱内平衡 48 h,然后用十万分之一电子天平称量,计算采样前后的滤膜质量差.称量条件温度应控制在 $15\sim 30^\circ\text{C}$ 范围内任意一点,湿度控制在 45% ~ 55% 范围内.采样称量后将滤膜放置在贴有标签的密封袋或滤膜盒中,置于 4°C 冰箱冷冻保存,尽快分析.

1.3.2 样品分析

样品的有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 浓度分析均采用美国沙漠研究所的多波段热/光碳分析仪 (Desert Research Institute, DRI Model 2015 Multiwavelength Thermal/Optical Carbon Analyzer),该仪器的工作原理是应用热光分析法测量颗粒样品中的有机碳、元素碳的仪器,可适用于美国 IMPROVE_A, EUSAAR 和 NIOSH 等方法,测量颗粒物样品中的有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 含量,是目前最先进的 EC 和 OC 分析方法之一,本实验采用 IMPROVE_A 升温程序.

截取 0.495 cm^2 面积的样品放在样品舟上,样品先在 He 载气环境下逐级升温至 580°C ,认为其间 OC (OC1、OC2、OC3、OC4) 挥发逸出 (部分炭化为 EC),然后在 He/ O_2 载气环境下继续逐级升温至 840°C ,认为此间 EC (EC1、EC2、EC3) 氧化分解并逸出.整个过程保持激光束 (635 nm) 透过石英膜,其透射光强首先随 OC 炭化减弱,然后随 EC 氧化分解又逐渐增强,当恢复到最初光强时,认为该时刻为 OC 和 EC 分割点.OC 和 EC 从膜上释放或氧化后随载气经 MnO_2 催化氧化,转化为 CO_2 ,进入 NDIR CO_2 检测.

1.4 质量保证与控制

样品分析开始、结束和每 15 个样品间都采用 He/ CH_4 标准气体对仪器进行校准,确保初始和最终 FID 信号漂移在 $\pm 3\%$ 以内、校准峰面积相对偏差在 5% 以内.实验开始前,对仪器检漏,5 s 内样品炉的压力不变即为不漏气.分析样品前,高温烘烤并做仪器空白确保已除去所残留的杂质.为保证数据精确可靠,对每套样品的空白膜进行分析,且每 10 个样品随机抽取一个进行平行分析,前后误差在 10% 内可再进行后续样品分析.仪器的检出限 OC: $(0.18 \pm 0.06)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, EC: $(0.04 \pm 0.01)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, TC: $(0.22 \pm 0.06)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

2 结果与讨论

2.1 含碳组分浓度水平及 OC/EC 比值情况

从表 1 和表 2 可见,玉林市大气 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中

含碳物种的平均质量浓度处于一般的水平,在 PM₁₀ 中 OC、EC、TC(等于 OC 与 EC 之和)质量浓度分别为 10.99、5.11 和 16.10 μg·m⁻³,所占质量分数分别为 16.2%、7.2% 和 23.4%。而在 PM_{2.5} 中 OC、EC、TC 质量浓度分别为 7.51、4.70 和 12.21 μg·m⁻³,所占质量分数分别为 16.7%、9.9% 和 26.5%。

表 1 玉林市大气 PM₁₀ 中 OC、EC、TC 的平均质量浓度及其占比
Table 1 Average concentrations and proportions of OC, EC, and TC in PM₁₀ in Yulin

季节	点位	PM ₁₀ /μg·m ⁻³	OC /μg·m ⁻³	EC /μg·m ⁻³	TC /μg·m ⁻³	OC/PM ₁₀	EC/PM ₁₀	TC/PM ₁₀
冬季	南江一中 市监测站	86	19.25	10.53	29.78	0.193	0.110	0.303
		86	20.11	9.01	29.12	0.222	0.090	0.312
春季	南江一中 市监测站	97	13.46	8.68	22.14	0.139	0.087	0.226
		60	9.44	4.90	14.35	0.171	0.084	0.255
夏季	寒山水库	69	8.82	2.62	11.45	0.127	0.038	0.164
	南江一中	76	12.14	4.69	16.83	0.161	0.065	0.226
	市监测站	96	13.20	4.35	17.56	0.139	0.047	0.186
秋季	寒山水库	56	6.21	3.03	9.25	0.153	0.056	0.209
	南江一中	59	9.79	5.09	14.88	0.185	0.087	0.272
	市监测站	54	7.70	4.42	12.12	0.155	0.079	0.235
冬季平均		86	19.68	9.77	29.45	0.208	0.100	0.308
春季平均		66	10.19	5.60	15.79	0.165	0.084	0.249
夏季平均		80	11.39	3.89	15.28	0.142	0.050	0.192
秋季平均		56	7.89	4.19	12.08	0.164	0.074	0.239
四季平均		70	10.99	5.11	16.10	0.162	0.072	0.234

表 2 玉林市大气 PM_{2.5} 中 OC、EC、TC 的平均质量浓度及其占比
Table 2 Average concentrations and proportions of OC, EC, and TC in PM_{2.5} in Yulin

季节	点位	PM _{2.5} /μg·m ⁻³	OC /μg·m ⁻³	EC /μg·m ⁻³	TC /μg·m ⁻³	OC/PM _{2.5}	EC/PM _{2.5}	TC/PM _{2.5}
冬季	南江一中 市监测站	54	13.21	11.53	24.74	0.217	0.176	0.392
		51	10.57	7.90	18.47	0.193	0.132	0.325
春季	南江一中 市监测站	59	9.55	7.63	17.18	0.165	0.125	0.290
		39	7.26	4.37	11.63	0.182	0.108	0.290
夏季	寒山水库	61	6.49	2.45	8.94	0.103	0.039	0.142
	南江一中	23	4.73	1.65	6.39	0.218	0.084	0.302
	市监测站	70	9.70	4.06	13.76	0.142	0.058	0.199
秋季	寒山水库	28	4.21	2.35	6.56	0.156	0.080	0.236
	南江一中	53	7.13	6.84	13.97	0.137	0.129	0.266
	市监测站	48	6.66	5.68	12.34	0.143	0.126	0.269
冬季平均		53	11.89	9.72	21.61	0.205	0.154	0.359
春季平均		43	7.68	4.98	12.66	0.179	0.111	0.290
夏季平均		51	6.99	2.73	9.72	0.156	0.061	0.217
秋季平均		41	5.82	4.70	10.52	0.147	0.108	0.255
四季平均		46	7.51	4.70	12.21	0.167	0.099	0.265

2.2 OC、EC 质量浓度及来源分析

EC 是生物质或化石燃料燃烧直接排放的一次污染物,OC 既有直接排放的一次有机碳,也包括有机气体在大气中发生光化学反应生成的二次有机气溶胶(SOC)。大气中的 OC 有许多是化学性质并不稳定的挥发性有机气体(VOCs),当大气化学反应活跃时,VOCs 可能会与大气中的其他物质通过物理-化学吸

附、化学-光化学反应形成 SOC,导致大气中 OC 的增加。OC/EC 比值通常被认为是判断二次污染的依据,当 OC/EC 比值 >2 时,说明存在 SOC 污染。玉林市不同点位不同季节 OC/EC、OC 和 EC 质量浓度水平比较见表 3。整体而言,玉林市四季大气 PM_{2.5} 中的 OC/EC 比值多数大于 2.0,PM₁₀ 中的 OC/EC 比值均大于 2.0,说明玉林市大气环境存在 SOC 污染。

表 3 玉林市不同点位不同季节 OC/EC、OC 质量浓度和 EC 质量浓度水平比较

Table 3 Comparison of OC/EC ratios and OC and EC mass concentrations in different seasons and at different sampling sites in Yulin

采样点	季节	PM _{2.5}			PM ₁₀		
		OC/EC	OC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	OC/EC	OC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
南江一中	冬季	1.69	13.21	11.53	2.21	19.25	10.53
	春季	1.67	9.55	7.63	2.11	13.46	8.68
	夏季	2.99	4.73	1.65	2.61	12.14	4.69
	秋季	1.18	7.13	6.84	2.26	9.79	5.09
市监测站	冬季	2.16	10.57	7.90	2.98	20.11	9.01
	春季	2.46	7.26	4.37	2.87	9.44	4.90
	夏季	2.56	9.70	4.06	3.03	13.20	4.35
	秋季	1.30	6.66	5.68	2.01	7.70	4.42
寒山水库	夏季	2.76	6.49	2.45	3.80	8.82	2.62
	秋季	2.27	4.21	2.35	2.84	6.21	3.03

结合玉林市四季大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 OC、EC 及 OC/EC 采样点位分布情况(见图 1 和图 2)作进一步分析,从时间尺度上看,玉林市各采样点位大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中冬季的 OC 和 EC 浓度水平高于其他季节;从空间尺度上看,PM₁₀ 中 OC 和 EC 的浓度、PM_{2.5} 中 EC 的浓度由大到小均为:南江一中>市监测站>寒山水库. PM_{2.5} 中 OC 的浓度由大到小为:市监测站>南江一中>寒山水库. 研究表明,汽车尾气排放的 OC/EC 比值为 1.0~4.2^[9],燃煤排放的该值为 2.5~10.5^[10],Waston 等^[11] 的研究表明燃煤源中 OC/EC 为 2.7,曹琪敏等^[12] 的研究结果表明,南京江北新区工业区和公路交通区 OC/EC 比值分别为 3.7 和 3.1,结果提示玉林市地区大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中的二次污染主要来自机动车尾气和燃煤排放. 一年四季南江一中大气 PM₁₀ 的 OC/EC 比值变化不大,均处于 2.1~2.6 之间,PM_{2.5} 的 OC/EC 比值除夏季大于 2 以外,冬春秋三季均小于 2,提示南江一中主要受到机动车尾气的影响,这可能是

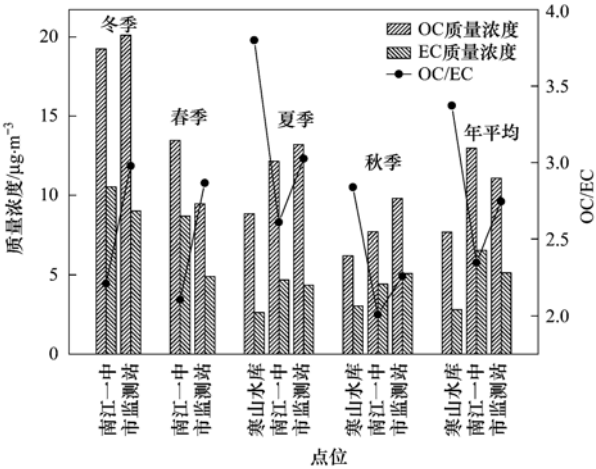


图 1 玉林市四季大气 PM₁₀ 中 OC、EC 及 OC/EC 采样点位分布
Fig. 1 Seasonal OC, EC, and OC/EC distribution in PM₁₀ at the sampling sites in Yulin

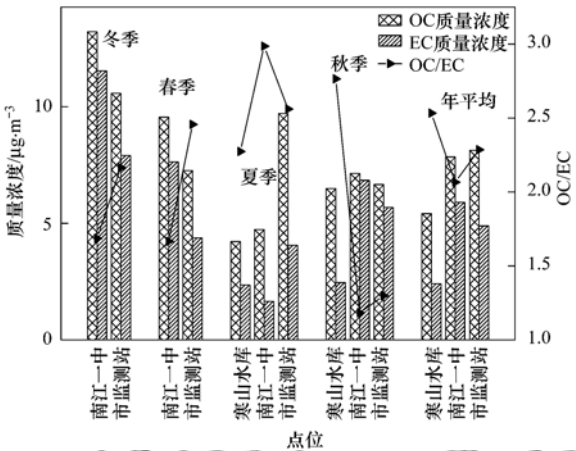


图 2 玉林市四季大气 PM_{2.5} 中 OC、EC 及 OC/EC 采样点位分布

Fig. 2 Seasonal OC, EC, and OC/EC distribution in PM_{2.5} at the sampling sites in Yulin

由于南江一中主要位于居民集中区,前后临近公路,属于公路交通区,周边无明显工业污染源. 市监测站位于玉林市玉州区人民东路,靠近一环东路(市区内交通主干道的交汇处),周边多为行政办公楼和商住楼,同时分布了较多的餐饮机构,其环境较为复杂. 一年四季,市监测点除秋季 PM_{2.5} 的 OC/EC 比值小于 2 以外,其他季节 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中的 OC/EC 比值均大于 2,提示市监测站二次污染更为复杂,且主要受到机动车和燃煤的影响. 寒山水库位于风景区,周边没有明显的人为污染源,但寒山水库周边覆盖了大量的植被,在夏秋季节,气温高,天然植被产生的 VOCs 经过气粒反应转化为 OC 会增多,所以出现了夏秋两季度的 OC/EC 比值大于 2 的现象. 市监测站和江南一中冬季的 EC 质量浓度最高,说明玉林市冬季更容易受到一次人为源的影响,这可能是由于玉林市经济不发达,农村地区为主,冬季农村地区燃烧秸秆等产生影响.

2.3 OC、EC 质量浓度及 OC/EC 比值与其他城市的比较

表 4 列出了玉林市与国内外其他城市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 中 OC、EC 质量浓度及 OC/EC 比值的比较情况,忻州^[13] 使用德国 Elementar Analysensysteme GmbH vario EL cube 型元素分析仪测定,厦门郊区^[16] 和福建省三大城市^[17] 采用美国大气气溶胶有机碳、元素碳分析仪测定,广州^[19] 采用美国热光反射碳分析仪,其他城市均采用美国沙漠所 DRI2001A 型热光碳分析仪测定. 从全年的平均值水平看,玉林市 PM_{2.5} 中 OC 质量浓度低于徐家汇和上海宝山,但是 PM_{2.5} 中相对应的 EC 质量浓度

略高于上海徐家汇和上海宝山,OC/EC 比值则与之相当,提示玉林市大气 PM_{2.5} 二次污染与沿海城市上海市的相当. 从不同季节碳质气溶胶的水平来看,玉林市冬季 PM_{2.5} 中 OC 质量浓度普遍低于天津、西宁、西安、宝鸡、渭南、秦岭、广州,相差倍数 2~7 倍不等,而对应 EC 质量浓度却普遍高于这些城市,结果提示玉林市冬季二次污染相对西北方城市和较为发达地区城市轻,但一次人为污染较重,这主要有以下原因:一是由于玉林市重工业少,工业污染轻;二是玉林市冬季不需要燃煤取暖,在冬季不会因燃煤产生较严重的大气二次污染;三是玉林市经济不发达,还存在大片农村地区,秋冬季节农村的秸秆焚

表 4 玉林市与国内其他城市颗粒物中 OC、EC 质量浓度及 OC/EC 比值比较

Table 4 Comparison of OC and EC mass concentrations and OC/EC ratios in Yulin with those in other cities in China

采样点	采样时间	代表季节	粒径范围	OC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	OC/EC
玉林	2016-02	冬季	PM ₁₀	19.68	9.77	2.60
玉林	2016-03	春季	PM ₁₀	10.19	5.60	2.72
玉林	2015-07	夏季	PM ₁₀	11.39	3.89	3.15
玉林	2015-11	秋季	PM ₁₀	7.89	4.19	2.35
玉林	/	年平均	PM ₁₀	10.99	5.11	2.75
玉林	2016-02	冬季	PM _{2.5}	11.89	9.72	1.92
玉林	2016-03	春季	PM _{2.5}	7.68	4.98	2.31
玉林	2015-07	夏季	PM _{2.5}	6.99	2.73	2.77
玉林	2015-11	秋季	PM _{2.5}	5.82	4.70	1.65
玉林	/	年平均	PM _{2.5}	7.51	4.70	2.27
上海徐家汇 ^[3]	2008-01	冬季	PM _{2.5}	13.18±8.70	4.93±2.46	2.57
上海徐家汇 ^[3]	2008-04	春季	PM _{2.5}	7.14±3.24	4.06±1.32	1.74
上海徐家汇 ^[3]	2008-07	夏季	PM _{2.5}	5.53±2.47	3.41±1.33	1.62
上海徐家汇 ^[3]	2008-10	秋季	PM _{2.5}	7.80±3.58	3.49±1.39	2.23
上海徐家汇 ^[3]	/	年平均	PM _{2.5}	8.10±5.48	3.91±1.72	2.01
上海宝山 ^[3]	2008-01	冬季	PM _{2.5}	16.02±14.90	5.13±2.86	2.73
上海宝山 ^[3]	2008-04	春季	PM _{2.5}	11.28±4.97	4.96±1.91	2.31
上海宝山 ^[3]	2008-07	夏季	PM _{2.5}	8.94±4.30	3.99±1.71	2.22
上海宝山 ^[3]	2008-10	秋季	PM _{2.5}	11.59±6.98	4.66±2.27	2.45
上海宝山 ^[3]	/	年平均	PM _{2.5}	11.91±9.00	4.69±2.42	2.42
天津 ^[8]	2008	夏季	PM _{2.5}	10.2	5.5	1.8
忻州 ^[13]	2011-03	采暖季	PM ₁₀	24±6.4	20.8±5.8	1.2
忻州 ^[13]	2011-07	非采暖季	PM ₁₀	14.7±3.2	12.8±3.3	1.3
忻州 ^[13]	/	全年	PM ₁₀	18.5±4.5	16.1±4.3	1.2
香港 ^[14]	2001-07~08	夏季	PM _{2.5}	5.9±3.8	3.6±2.1	2.3
西宁 ^[15]	2014-11~2015-01	冬季	PM _{2.5}	15.63	3.30	1.70
西宁 ^[15]	2014-11~2015-01	冬季	PM ₁₀	20.35	3.31	1.80
厦门城区 ^[16]	2014-12~2015-01	冬季	PM _{2.5}	9.77±1.87	1.87±0.73	6.35±4.12
厦门郊区 ^[16]	2014-12~2015-01	冬季	PM _{2.5}	9.17±2.42	2.43±1.10	4.32±1.77
福建省三大城市 ^[17]	2011-01	冬季	PM _{2.5}	14.77~19.27	1.99~3.36	5.64~7.71
西安 ^[18]	2012-12~2013-02	冬季	PM _{2.5}	47.8	8.5	5.8
宝鸡 ^[18]	2012-12~2013-02	冬季	PM _{2.5}	45.8	6.7	7.1
渭南 ^[18]	2012-12~2013-02	冬季	PM _{2.5}	31.2	7.6	4.3
秦岭 ^[18]	2012-12~2013-02	冬季	PM _{2.5}	37	5.7	7.4
广州 ^[19]	2002-01~2002-02	冬季	PM _{2.5}	22.60±18.00	8.30±5.60	2.7
广州 ^[19]	2002-01~2002-02	冬季	PM ₁₀	29.40±22.20	10.40±6.80	2.7
万州 ^[20]	2013-07	夏季	PM _{2.5}	7.09±1.86	3.49±0.64	2.04±0.41
万州 ^[20]	2013-11~2013-12	冬季	PM _{2.5}	16.82±6.87	6.21±2.06	2.66±0.45

烧等导致的一次人为污染较重. 而与沿海城市上海和厦门相比, 玉林市冬季 $PM_{2.5}$ 中 OC 质量浓度差别不大. 这可能是由于与玉林市所比较的地点主要位于上海和厦门的郊区, 空气相对城区较好, 加上沿海城市气候的影响, 污染物不容易累积. 与山地城市万州^[16]相比, 玉林市冬夏两季 $PM_{2.5}$ 中 OC、EC 质量浓度、OC/EC 比值均相近. 但由于各地区地理条件、气象因素和采样时期等多方面因素的差异, 直接进行各地颗粒物含碳物种浓度的比较会存在一定的不确定性.

2.4 OC 和 EC 相关性分析

OC/EC 比值是确定污染源排放和碳质气溶胶转化特征的重要指标. 有研究认为^[21], 通过研究 OC 和 EC 的相关性, 可以区分碳质气溶胶的来源. 若两者的相关性较好, 表明其存在相似或者一致的污染源; 但如果 OC 和 EC 相关系数较高但 OC/EC 值波动较大, 可能受到多个混合源的影响. 图 3 和图 4 分别为玉林市大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的相关性, 从结果可知 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的相关性较好, R^2 分别为 0.58 和 0.60 (P 均小于 0.01), 表明其具有共同的一次来源.

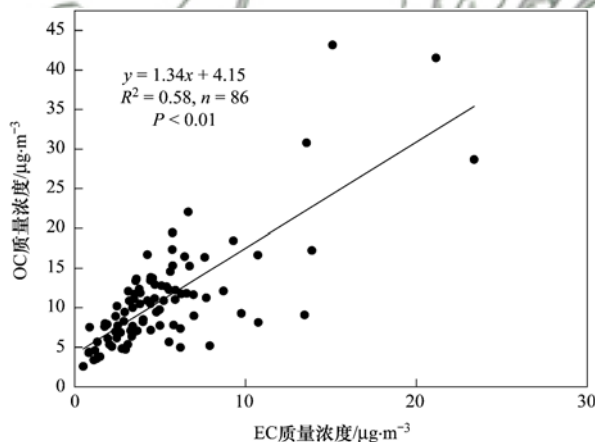


图3 玉林市四季大气 PM_{10} 中 OC 与 EC 的相关性

Fig. 3 Correlation between OC and EC in PM_{10} in Yulin

图 5 和图 6 分别为玉林市不同采样点位大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的相关性, 从结果可知南江一中和市监测站 PM_{10} 中 OC 和 EC 的相关性较好, R^2 分别为 0.54 和 0.58 (P 均小于 0.01), 寒山水库、南江一中和市监测站 $PM_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的 R^2 分别为 0.59、0.76 和 0.40. 寒山水库 PM_{10} 中 OC 和 EC 的 R^2 为 0.17, 结果提示, 除寒山水库外, 玉林市南江一中和市监测站 OC 和 EC 的相关性均较好, 表明这两个区域的 OC 和 EC 具有部分相似来源. 这可能是由于南江一中和市监测站周边均靠近公路,

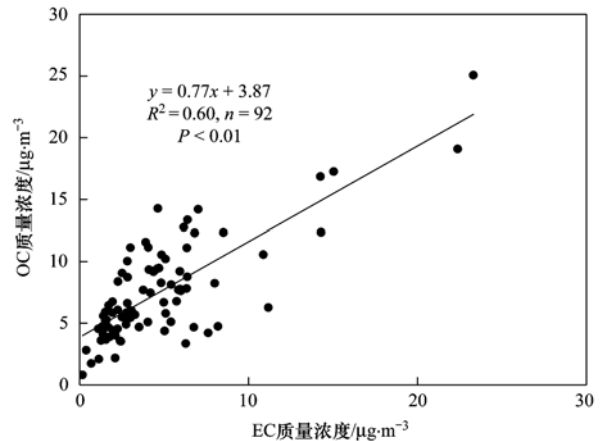


图4 玉林市四季大气 $PM_{2.5}$ 中 OC 与 EC 的相关性

Fig. 4 Correlation between OC and EC in $PM_{2.5}$ in Yulin

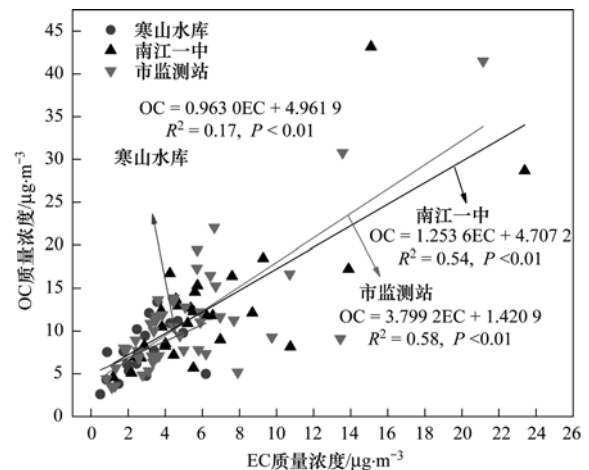


图5 玉林市不同采样点位大气 PM_{10} 中 OC 与 EC 相关性

Fig. 5 Spatial correlation of OC and EC in PM_{10} in Yulin

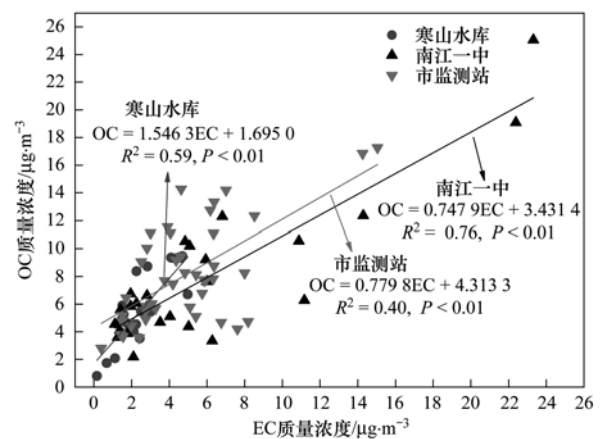


图6 玉林市不同采样点位大气 $PM_{2.5}$ 中 OC 与 EC 相关性

Fig. 6 Spatial correlation of OC and EC in $PM_{2.5}$ in Yulin

且分布有商住区, 具有一定相似的源.

2.5 总碳质气溶胶 (TCA) 和二次有机碳 (SOC) 质量浓度分析

总碳质气溶胶 (TCA) 是指大气中的含碳组分.

通常用 OC 转化成的总有机物(organic matter, OM)估算环境空气颗粒物中的 OM 含量,国内外研究多以 OC 乘以系数 1.6 估算 OM 的含量^[22],这样总碳质气溶胶(TCA) = 1.6 × OC + EC.

二次有机碳(SOC)是由大气中的挥发性有机物(VOCs)经过气粒反应生成的 OC. 目前尚无直接测定颗粒物中 SOC 含量的有效方法,国内外研究多采用 OC/EC 最小比值法^[23, 24]进行颗粒物样品中 SOC 的估算,估算公式如下:

$$\text{SOC} = \text{OC}_{\text{TOC}} - \text{EC} \cdot (\text{OC}/\text{EC})_{\min}$$

式中,SOC 为二次有机碳(μg·m⁻³); OC_{TOC} 为总有机碳(μg·m⁻³); EC 为元素碳;(OC/EC)_{min} 为研究期间观测到的 OC/EC 最小比值,无量纲. 考虑到不同季节和不同站点气象条件、污染源排放情况的差异,本研究使用的(OC/EC)_{min} 为分季节分站点监测日内变化 OC/EC 比值的最小值,(OC/EC)_{min} 采样日无降雨天气.

由表 5 知,玉林市大气 PM₁₀ 中 TCA 约为 PM₁₀ 浓度的 29.6%,PM_{2.5} 中 TCA 约占 PM_{2.5} 质量浓度的 34.6%,说明玉林市大气环境存在较严重的碳质气

溶胶污染. 从时间变化上看,冬季是玉林市大气颗粒物中碳质气溶胶污染较重的时期. 冬季玉林市大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 TCA 平均质量浓度分别为 35.31 μg·m⁻³ 和 27.44 μg·m⁻³,占比分别为 37.7% 和 46.7%. 春季、夏季和秋季大气颗粒物碳质气溶胶的平均水平没有明显的差距. 从空间变化上看,同一季节(除了夏季)碳质气溶胶的污染水平为:南江一中 > 市监测站 > 寒山水库. 结果提示,南江一中的碳质气溶胶污染较其他两个站点的重,这与该监测点周边污染源较多有关.

表 6 中,玉林市冬季大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 SOC 平均质量浓度分别为 14.50 μg·m⁻³ 和 6.74 μg·m⁻³,在一年四季中质量浓度值最高,秋季 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 SOC 平均质量浓度最低,冬季 PM₁₀ 中 SOC 浓度约为秋季的 3 倍,而冬季 PM₁₀ 中 SOC 浓度约为秋季的 2 倍,提示玉林市各监测点位大气中 PM₁₀、PM_{2.5} 中有机物含量为冬季较高. 一年四季,玉林市大气中粗细颗粒物中 SOC/OC 均大于 0.5,说明玉林市环境大气颗粒物 OC 以 SOC 为主.

表 5 玉林市大气颗粒物中总碳质气溶胶的质量浓度及其占比
Table 5 Concentrations of TC and its proportion in PM in Yulin

季节	点位	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		PM ₁₀ /μg·m ⁻³	TCA /μg·m ⁻³	TCA/PM ₁₀	PM _{2.5} /μg·m ⁻³	TCA /μg·m ⁻³	TCA/PM _{2.5}
冬季	南江一中	86	36.09	0.379	54	31.66	0.517
	市监测站	86	34.53	0.375	51	23.22	0.418
春季	南江一中	97	27.35	0.28	59	21.76	0.369
	市监测站	60	17.29	0.305	39	14.25	0.356
夏季	寒山水库	69	16.74	0.24	61	12.84	0.204
	南江一中	76	24.12	0.322	23	9.22	0.433
	市监测站	96	25.48	0.269	70	19.58	0.285
秋季	寒山水库	56	11.07	0.243	28	7.98	0.284
	南江一中	59	17.94	0.324	53	18.08	0.344
	市监测站	54	14.77	0.282	48	15.74	0.344
冬季平均		86	35.31	0.377	53	27.44	0.467
春季平均		66	19.15	0.3	43	15.64	0.359
夏季平均		80	22.11	0.277	51	13.92	0.311
秋季平均		56	14.6	0.283	41	13.34	0.32
四季平均		70	20.64	0.296	46	15.89	0.346

2.6 一次有机碳(POC)和二次有机碳(SOC)占比分析

由图 7 和图 8 可见,玉林市大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 SOC 浓度分别占相应粒径段 OC 浓度的 74.1% 和 66.5%,提示 PM₁₀ 中 OC 转化为 SOC 的比例较高. 玉林市冬、春、夏、秋四季 PM₁₀ 中 SOC 占 OC 的比

例分别为 73.1%、70.0%、80.6% 和 71.3%,四季 PM_{2.5} 中 SOC 占 OC 的比例分别为 62.1%、64.7%、77.7% 和 55.7%,粗细颗粒物中 SOC 占 OC 的比例均在夏季达到最高值,这可能是由于夏季温度较高,有利于人为源排放的 OC 及植被排放的 VOCs 通过光化学反应转化为 SOC.

表 6 玉林市大气颗粒物中 SOC 的质量浓度及其占 OC 的比值

Table 6 Concentrations of SOC and its proportion in OC in Yulin

季节	点位	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		PM ₁₀ /μg·m ⁻³	SOC /μg·m ⁻³	SOC/OC	PM _{2.5} /μg·m ⁻³	SOC /μg·m ⁻³	SOC/OC
冬季	南江一中	86	13.67	0.681	54	7.10	0.595
	市监测站	86	15.34	0.782	51	6.38	0.647
春季	南江一中	97	8.87	0.631	59	5.50	0.503
	市监测站	60	6.85	0.715	39	4.94	0.679
夏季	寒山水库	69	7.36	0.832	61	5.12	0.784
	南江一中	76	9.52	0.774	23	3.81	0.784
秋季	市监测站	96	10.77	0.811	70	7.44	0.753
	寒山水库	56	4.52	0.726	28	2.90	0.717
秋季	南江一中	59	6.95	0.724	53	3.31	0.444
	市监测站	54	5.23	0.693	48	3.49	0.455
冬季平均		86	14.50	0.731	53	6.74	0.621
春季平均		66	7.22	0.700	43	5.04	0.647
夏季平均		80	9.22	0.806	51	5.47	0.773
秋季平均		56	5.55	0.713	41	3.20	0.557
四季平均		70	8.21	0.741	46	4.96	0.665

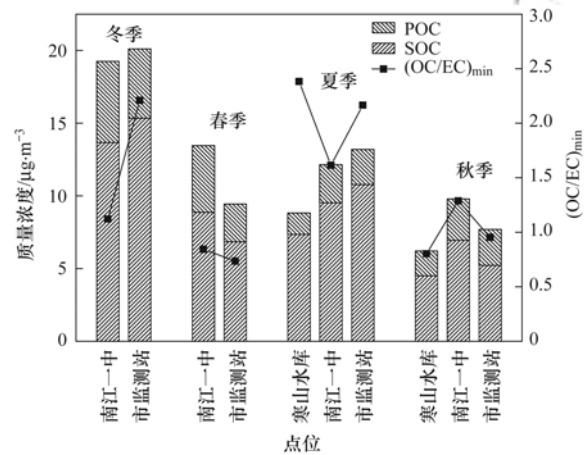


图 7 玉林市四季大气 PM₁₀ 中 POC、SOC 及 (OC/EC)_{min} 采样点位分布

Fig. 7 Seasonal POC, SOC, and (OC/EC)_{min} ratio distribution in PM₁₀ at the sampling sites in Yulin

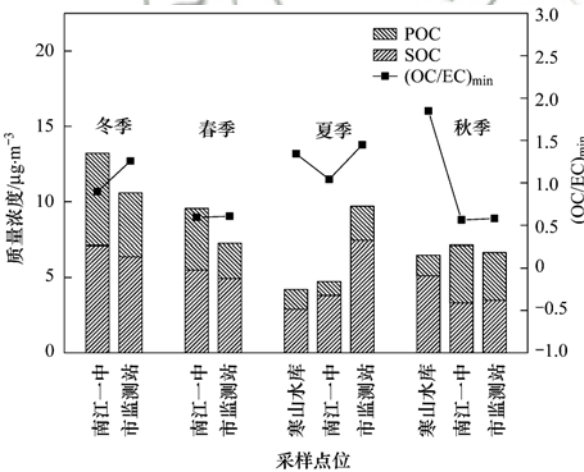


图 8 玉林市四季大气 PM_{2.5} 中 POC、SOC 及 (OC/EC)_{min} 采样点位分布

Fig. 8 Seasonal POC, SOC and (OC/EC)_{min} ratio distribution in PM_{2.5} at the sampling sites in Yulin

2.7 气象要素对 PM_{2.5}、OC、EC 和 SOC 的影响分析
气象因素与大气污染物的变化特征密切相关^[25]。采样期间不同季节的气象条件见表 7。结果显示,冬季平均风速最低,春季次之;夏秋季节气温高,冬春季节低。分析不同采样季节各种气象要素与 PM_{2.5}、OC、EC 和 SOC 的相关性,见表 8。结果显示:不同季节气象因素对 PM_{2.5}、OC、EC 和 SOC 的影响不尽相同。整体上看,影响 OC、EC 和 SOC 质量浓度的主要气象因素为气温、风速和相对湿度,OC、EC 和 SOC 与气温呈正相关,尤其是在夏季, SOC 与气温的相关关系最强,这是由于夏季气温高,

利于光化学反应生成 SOC,辅助解释了玉林市粗颗粒物中 SOC 占 OC 的比例均在夏季达到最高值的原因。OC、EC 和 SOC 与风速均呈负相关,尤其是在春冬两季,相关关系显著,风速低,扩散条件不佳,污染物容易累积,这在一定程度上解释了玉林市冬季大气 PM_{2.5} 中 SOC 质量浓度较其他季节高。OC、EC 和 SOC 与相对湿度均呈负相关,尤其是在春季,相关关系显著,这说明湿度较大,有利于碳质气溶胶的清除。冬、春和夏季 PM_{2.5} 质量浓度均与风速、气压呈显著负相关,与气温呈显著正相关;春、秋季采样期间 PM_{2.5} 质量浓度与相对湿度呈显著负相关。

表 7 不同季节玉林市气象条件
Table 7 Meteorological factors during different seasons in Yulin

季节	气象因素	平均值	标准差	最小值	最大值
冬季	气温/℃	13.2	4.1	6.5	22.9
	气压/hPa	1 007.9	5.4	995.2	1015.5
	相对湿度/%	78.5	16.5	42.0	99.0
	风速/m·s ⁻¹	1.2	1.4	0.8	5.5
春季	气温/℃	17.9	4.1	8.9	23.9
	气压/hPa	1 002.2	4.9	995.3	1 009.9
	相对湿度/%	85.9	11.8	64.0	99.0
	风速/m·s ⁻¹	1.3	1.4	0.3	6.9
夏季	气温/℃	28.6	3.1	22.9	36.1
	气压/hPa	989.0	1.4	985.2	992.2
	相对湿度/%	67.9	11.9	42.0	91.0
	风速/m·s ⁻¹	2.1	0.6	0.3	4.0
秋季	气温/℃	23.0	3.7	15.7	31.0
	气压/hPa	1 002.4	2.1	996.5	1 007.8
	相对湿度/%	76.1	11.3	43.0	91.0
	风速/m·s ⁻¹	1.8	0.5	0.4	3.0

表 8 不同季节各种气象要素与 PM_{2.5}、OC、EC 和 SOC 的相关性
Table 8 Correlation among PM_{2.5}, OC, EC, SOC, and meteorological factors in different seasons

气象要素	季节	PM _{2.5}	OC	EC	SOC
气温	冬季	0.503 *	0.508 *	0.569 **	0.404
	春季	0.313 **	0.332 **	0.310 **	0.234 *
	夏季	0.348	0.551 **	0.413 *	0.544 **
	秋季	0.529 **	0.395 **	0.553 **	0.238
气压	冬季	-0.539 **	-0.552 **	-0.576 **	-0.487 *
	春季	0.482 **	0.230 *	0.217	0.161
	夏季	-0.419 *	-0.142	-0.184	-0.113
	秋季	-0.028	-0.091	0.105	-0.146
相对湿度	冬季	-0.194	-0.214	-0.267	-0.139
	春季	-0.477 **	-0.316 **	-0.229 *	-0.264 *
	夏季	-0.102	-0.333	-0.178	-0.354
	秋季	-0.406 **	-0.304 *	-0.413 **	-0.188
风速	冬季	-0.582 **	-0.540 **	-0.491 *	-0.559 **
	春季	-0.649 **	-0.637 **	-0.498 **	-0.509 **
	夏季	0.093	-0.284	-0.249	-0.268
	秋季	-0.357 **	-0.206	-0.370 **	-0.091

1) * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$, 双侧检验

3 结论

(1) 玉林市 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中 OC、EC 的含量较低, PM₁₀ 中 OC 和 EC 质量浓度分别为 10.99 μg·m⁻³ 和 5.11 μg·m⁻³, PM_{2.5} 中 OC 和 EC 浓度分别为 7.51 μg·m⁻³ 和 4.70 μg·m⁻³.

(2) 时间分布上, 玉林市各采样点位大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中冬季的 OC 和 EC 浓度水平高于其他季节; 空间分布上 PM₁₀ 中 OC 和 EC 的浓度、PM_{2.5} 中 EC 的浓度由大到小均为: 南江一中 > 市监测站 > 寒

山水库. PM_{2.5} 中 OC 的浓度由大到小为: 市监测站 > 南江一中 > 寒山水库, 提示, 玉林市碳质气溶胶主要受到人为污染源的影响. 玉林市四季大气的 PM₁₀ 中的 OC/EC 均大于 2.0, 说明存在 SOC, 主要来自机动车尾气和燃煤排放.

(3) 玉林市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 中 OC 和 EC 的相关性, R^2 分别为 0.58 和 0.60 (P 均小于 0.01), 表明元素碳和有机碳具有共同的一次来源. 3 个监测点位 OC 和 EC 的相关性均较好, 表明不同区域的 OC 和 EC 来源相似.

(4) 玉林市冬季大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 SOC 平均质量浓度分别为 $14.50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $6.74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 在一年四季中质量浓度值最高. OC 以 SOC 为主, 粗细颗粒物中 SOC 占 OC 的比例均在夏季达到最高值, 这可能是由于夏季温度较高, 有利于人为源排放的 OC 及植被排放的 VOCs 通过光化学反应转化为 SOC.

(5) 气象因素对 $\text{PM}_{2.5}$ 、OC、EC 和 SOC 有不同程度的影响, 尤其是气温、风速和相对湿度是影响碳质气溶胶的主要因素, $\text{PM}_{2.5}$ 、OC、EC 和 SOC 与气温呈正相关, 与风速、相对湿度呈负相关.

参考文献:

- [1] 迟旭光, 段凤魁, 董树屏, 等. 北京大气颗粒物中有机碳和元素碳的浓度水平和季节变化[J]. 中国环境监测, 2000, 16(3): 35-38.
Chi X G, Duan F K, Dong S P, *et al.* Concentration level and seasonal variation of organic carbon and elemental carbon in Beijing aerosols[J]. Environmental Monitoring in China, 2000, 16(3): 35-38.
- [2] 张懿华, 王东方, 赵倩彪, 等. 上海城区 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳和元素碳变化特征及来源分析[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3263-3270.
Zhang Y H, Wang D F, Zhao Q B, *et al.* Characteristics and sources of organic carbon and elemental carbon in $\text{PM}_{2.5}$ in Shanghai urban area[J]. Environmental Science, 2014, 35(9): 3263-3270.
- [3] 王杨君, 董亚萍, 冯加良, 等. 上海市 $\text{PM}_{2.5}$ 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.
Wang Y J, Dong Y P, Feng J L, *et al.* Characteristics and influencing factors of carbonaceous aerosols in $\text{PM}_{2.5}$ in Shanghai, China[J]. Environmental Science, 2010, 31(8): 1755-1761.
- [4] 朱李华, 陶俊, 张仁健, 等. 冬夏季广州城区碳气溶胶特征及其与 O_3 和气象条件的关联[J]. 环境科学学报, 2010, 30(10): 1942-1949.
Zhu L H, Tao J, Zhang R J, *et al.* Characteristics of the carbonaceous aerosol in $\text{PM}_{2.5}$ and its relation to O_3 and meteorological conditions in the urban Guangzhou area in winter and summer[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(10): 1942-1949.
- [5] 张予燕, 俞美香, 任兰, 等. 南京大气细颗粒中有机碳与元素碳污染特征[J]. 环境监测管理与技术, 2012, 24(4): 30-32.
Zhang Y Y, Yu M X, Ren L, *et al.* Organic and element carbon pollution characteristics of atmospheric fine particles in Nanjing[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2012, 24(4): 30-32.
- [6] 吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 等. 南京市 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳和元素碳污染特征及影响因素[J]. 中国环境科学, 2013, 33(7): 1160-1166.
Wu M L, Guo Z B, Liu F L, *et al.* Pollution characteristics and influencing factors of organic and elemental carbon in $\text{PM}_{2.5}$ in Nanjing[J]. China Environmental Science, 2013, 33(7): 1160-1166.
- [7] 张伟, 姬亚芹, 李金, 等. 鞍山市夏冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳组分化学特征及来源解析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(5): 1657-1662.
Zhang W, Ji Y Q, Li J, *et al.* The characteristics and source apportionment of carbon fractions in $\text{PM}_{2.5}$ during summer-winter period in Anshan city[J]. China Environmental Science, 2017, 37(5): 1657-1662.
- [8] Li W F, Bai Z P. Characteristics of organic and elemental carbon in atmospheric fine particles in Tianjin, China[J]. Particuology, 2009, 7(6): 432-437.
- [9] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C_1 - C_{32} organic compounds from gasoline-powered motor vehicles [J]. Environmental science & technology, 2002, 36(6): 1169-1180.
- [10] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y L, *et al.* Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(20): L20815.
- [11] 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.
- [12] 曹琪敏, 邹嘉南, 安俊琳, 等. 江北新区冬季不同功能区元素碳和有机碳的源排放特征[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(4): 85-91.
Cao Q M, Zou J N, An J L, *et al.* Characteristics of organic carbon and elemental carbon emission sources of different function areas in Jiangbei new district during winter[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 40(4): 85-91.
- [13] 史美鲜, 彭林, 刘效峰, 等. 忻州市环境空气 PM_{10} 中有机碳和元素碳污染特征分析[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 458-463.
Shi M X, Peng L, Liu X F, *et al.* Characterization of organic and elemental carbon in PM_{10} in Xinzhou city[J]. Environmental Science, 2014, 35(2): 458-463.
- [14] Ho K F, Lee S C, Cao J J, *et al.* Variability of organic and elemental carbon, water soluble organic carbon, and isotopes in Hong Kong[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, 6(12): 4569-4576.
- [15] 窦筱艳, 徐珣, 刘宇, 等. 西宁市城区冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 中有机碳、元素碳污染特征[J]. 中国环境监测, 2016, 32(2): 44-49.
Dou X Y, Xu X, Liu Y, *et al.* Characteristics of organic carbon and elemental carbon in $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in Xining in the winter [J]. Environmental Monitoring in China, 2016, 32(2): 44-49.
- [16] 胡起超, 胡恭任, 于瑞莲, 等. 厦门市冬季大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳和元素碳的污染特征[J]. 地球与环境, 2016, 44(3): 336-341.
Hu Q C, Hu G R, Yu R L, *et al.* Characteristics of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in $\text{PM}_{2.5}$ in winter in Xiamen city, China[J]. Earth and environment, 2016, 44(3): 336-341.
- [17] 陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 等. 福建省三大城市冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳和元素碳的污染特征[J]. 环境科学, 2013, 34(5): 1988-1994.
Chen Y T, Chen J S, Hu G R, *et al.* Characterization of organic

- carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM_{2.5} during the winter in three major cities in Fujian province, China [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(5): 1988-1994.
- [18] 田鹏山, 曹军骥, 韩永明, 等. 关中地区冬季 PM_{2.5} 中碳气溶胶的污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(2): 427-433.
- Tian P S, Cao J J, Han Y M, *et al.* Pollution characteristics and sources of carbonaceous aerosol in PM_{2.5} during winter in Guanzhong area [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 427-433.
- [19] 赖森潮, 叶计册, 邹世春, 等. 广州冬季 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中有机碳与元素碳浓度水平及分布特征[J]. *过程工程学报*, 2004, **4**(S1): 711-716.
- Lai S C, Ye J P, Zou S C, *et al.* Characterizations on carbonaceous aerosols in PM₁₀ and PM_{2.5} during winter period in Guangzhou, China [J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2004, **4**(S1): 711-716.
- [20] 彭超, 翟崇治, 王欢博, 等. 万州城区夏季、冬季 PM_{2.5} 中有机碳和元素碳的浓度特征[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(6): 1638-1644.
- Peng C, Zhai C Z, Wang H B, *et al.* Characteristics of organic carbon and elemental carbon in PM_{2.5} in the urban Wanzhou area in summer and winter [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(6): 1638-1644.
- [21] Turpin B J, Cary R A, Huntzicker J J. An in situ, time-resolved analyzer for aerosol organic and elemental carbon [J]. *Aerosol Science and Technology*, 1990, **12**(1): 161-171.
- [22] 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.
- [23] Turpin B J, Huntzicker J J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS [J]. *Atmospheric Environment*, 1995, **29**(23): 3527-3544.
- [24] Castro L M, Pio C A, Harrison R M, *et al.* Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(17): 2771-2781.
- [25] 詹鹄铭, 刘永红, 林琳, 等. 2014 年冬季珠三角区域典型城市 PM_{2.5} 污染时空关联特征[J]. *环境科学研究*, 2017, **30**(1): 110-120.
- Zhan J M, Liu Y H, Lin L, *et al.* Investigation of spatial and temporal association of PM_{2.5} pollution during winter 2014 in typical cities of pearl river delta [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2017, **30**(1): 110-120.



CONTENTS

Variation of O ₃ Concentration in Different Regions of Beijing from 2006-2015	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, AN Xin-xin, <i>et al.</i> (1)
Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in the North Suburb of Nanjing	XIAO Si-han, YU Xing-na, ZHU Bin, <i>et al.</i> (9)
Seasonal Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM ₁₀ Around Electroplating Plants	ZHAO Zhen-li, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (18)
Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} in Yulin City, Guangxi	HUANG Jiong-li, CHEN Zhi-ming, MO Zhao-yu, <i>et al.</i> (27)
Concentrations and Compositions of Different Forms of Nitrogen and Phosphorus in Atmospheric Aerosols in the Qingdao Coastal Region and over the Yellow and Bohai Sea	ZHANG Rui-feng, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i> (38)
Air Quality Subarea Management: A case study of Guangdong Province	YANG Liu-lin, LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, <i>et al.</i> (49)
Remote Sensing Identification of Urban Black-Odor Water Bodies Based on High-Resolution Images; A Case Study in Nanjing	WEN Shuang, WANG Qiao, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (57)
Simulation of Nitrate Isotopic ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) by Coupling the Hydrology and Transport Processes Described by the SWAT Model	WANG Kang, RAN Ning, LIN Zhong-bing, <i>et al.</i> (68)
Estimation of and Control Strategies for Pollution Loads from Non-point Sources in the Chenghai Watershed	CHEN Xue-kai, LIU Xiao-bo, PENG Wen-qi, <i>et al.</i> (77)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Metals in Drinking Water Sources from the Luhun Reservoir	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i> (89)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Antibiotics in the Water Supply System in Tianjin	ZHANG Xin-bo, SONG Zi, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (99)
Organic Distribution Characteristics and Influence on Drinking Water Quality in the Typical Water Sources for Towns in the Southwest Hilly Area of China	WANG Qiong, LI Nai-wen, LI Lei, <i>et al.</i> (109)
Health Risk Evaluation of Organochlorine and Organophosphorous Pesticides in Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i> (117)
Pollution Status and Risks of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in the Soil of the Yellow River	YAO Hong, LU Shuang, ZHANG Xu, <i>et al.</i> (123)
Effects of Flooding and Drying on the Transformation of Soil Inorganic Phosphorus in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir, China	ZHOU Jian, LI Chun-hui, ZHANG Zhi-yong, <i>et al.</i> (130)
Effect of Phosphate on the Ammonium Removal Performance of Iron-Manganese Co-oxide Film in Surface Water Treatment	ZHUO Rui-shuang, HUANG Ting-lin, ZHANG Rui-feng, <i>et al.</i> (137)
Enhanced Photoelectrocatalytic Oxidation of Cu(CN) ₃ ²⁻ and Synchronous Cathodic Deposition of Cu by Peroxydisulfate	DANG Cong-zhe, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i> (145)
Using HKUST-1 as a Template for Copper Oxides Preparation to Activate Peroxymonosulfate for RhB Degradation	PU Jia-yi, WAN Jin-quan, WANG Yan, <i>et al.</i> (152)
Evaluation of Performance of an Aminated Rosin-based Resin for Adsorption of Norfloxacin from Aqueous Solutions	MA Ya-hong, HUANG Wan-ting, DIAO Kai-sheng, <i>et al.</i> (161)
Arsenic(V) Removal by Granular Adsorbents Made from Backwashing Residuals from Biofilters for Iron and Manganese Removal	ZENG Hui-ping, LÜ Sai-sai, YANG Hang, <i>et al.</i> (170)
Arsenic Adsorption and Its Species on Ferrihydrite and Ferrihydrite Colloid	MA Yu-ling, MA Jie, CHEN Ya-li, <i>et al.</i> (179)
Comparison of Amphoteric-Cationic and Amphoteric-Anionic Modified Magnetic Bentonites: Characterization and Sorption Capacity of Phenol	REN Shuang, MENG Zhao-fu, WANG Teng, <i>et al.</i> (187)
Pollution Characteristics of Parabens in Typical Sewage Wastewater	ZHAO Xue, ZHANG Zi-feng, ZHU Fu-jie, <i>et al.</i> (195)
Influence of Hydraulic Retention Time on the Treatment of Polluted River Water by an Activated Carbon Rotating Biological Contactor	XU Wen-jia, CHENG Xiao-ying, <i>et al.</i> (202)
Removal and Influence of Ciprofloxacin in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, SHU Xiao-ming, <i>et al.</i> (212)
Operation of the AAO Process Under Low Dissolved Oxygen Conditions and Its Simulation	CAO Te-te, WANG Lin, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (219)
Inhibitory Effects of Phosphate and Recovery on a Nitrification System	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i> (227)
Effect of Carbon Source on Lab-scale SAD Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (232)
Effect of Volume Loading Rate (VLR) on Denitrifying Phosphorus Removal by the ABR-MBR Process	LÜ Liang, YOU Wen, WEI Jia-min, <i>et al.</i> (239)
Combined Process of DNB-F ₂ O ₃ -GAC for Nitrogen and Phosphorus and Metabolite Advanced Removal	ZHONG Li-yan, HAO Rui-xia, WANG Wei-dong, <i>et al.</i> (247)
Influence of Operating Modes for the Alternating Anoxic/Oxic Process on Biological Nitrogen Removal and Extracellular Polymeric Substances of Activated Sludge	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (256)
Effects of Nanoscale Zero-valent Iron (nZVI) on Denitrifying Performance of an Upflow Granular Sludge Bed Reactor	ZHOU Feng, WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (263)
Influence on Desulfurization Efficiency and Interactions of Fe/S and pH During H ₂ S in situ Depression of High Solid Anaerobic Digestion	HAN Yun, CAO Yu-qin, ZHUO Yang, <i>et al.</i> (269)
Analysis of Storage Sludge Composition Characteristics and Evolutionary Regularity in the Hunhe River Basin	LIU Tian-tian, CUI Chong-wei, HE Jun-guo, <i>et al.</i> (276)
Enhancement of Anaerobic Methane Production by Removal of Organic-bonding Metals from Sewage Sludge	LU Yi-qing, XU Ying, DONG Bin, <i>et al.</i> (284)
Comparison of Different Leaching Methods for Heavy Metals in Sludge Fly Ash and Comprehensive Toxicity Evaluation	WANG Feng, LI Run-dong, LI Yan-long, <i>et al.</i> (292)
Diurnal Variations of CH ₄ and N ₂ O Fluxes from the Drained Aquaculture Pond in the Minjiang River Estuary During Early Winter	YANG Ping, TAN Li-shan, HUANG Jia-fang, <i>et al.</i> (300)
Effects of Three Soil Amendments on Greenhouse Gas Emissions From Corn Fields in the Hetao Irrigation District	WU Yan, HONG Mei, LIN Li-long, <i>et al.</i> (310)
Effect of Organic Manure Substitution of Synthetic Nitrogen on Crop Yield and N ₂ O Emission in the Winter Wheat-Summer Maize Rotation System	HOU Miao-miao, LÜ Feng-lian, ZHANG Hong-tao, <i>et al.</i> (321)
Dynamics of Rice Photosynthesized Carbon Input and Its Response to Nitrogen Fertilization at the Jointing Stage: ¹³ C-CO ₂ Pulse-labeling	CHEN Shan, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i> (331)
Profile Distribution of Soil Organic and Inorganic Carbon Under Different Land Use Types in the Loess Plateau of Northern Shaanxi	LAN Zhi-long, ZHAO Ying, ZHANG Jian-guo, <i>et al.</i> (339)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization from Soils of Different Surface Conditions	ZOU Juan, HU Xue-yu, ZHANG Yang-yang, <i>et al.</i> (348)
Effects of Straw and Biochar Return in Soil on Soil Aggregate and Carbon Sequestration	XU Guo-xin, WANG Zi-fang, GAO Ming, <i>et al.</i> (355)
Assessment of the Availability of Soil Copper and Related Influencing Factors at a County Scale	LI Jin-fen, QU Ming-kai, LIU Gang, <i>et al.</i> (363)
Application of the LUR Model in the Prediction of Spatial Distributions of Soil Heavy Metals	ZENG Jing-jing, SHEN Chun-zhu, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i> (371)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of Shenyang North New Area	LI Jia-kang, SONG Xue-ying, WEI Jian-bing, <i>et al.</i> (379)
Passivation of Simulated Pb- and Cd-Contaminated Soil by Applying Combined Treatment of Phosphate, Humic Acid, and Fly Ash	ZHAO Qing-yuan, LI Xiao-ming, YANG Qi, <i>et al.</i> (389)
Distribution and Accumulation of Cadmium in Paddy Soil and Rice Affected by Pollutant Sources Control and Improvement Measures	FENG Wen-li, GUO Zhao-hui, SHI Lei, <i>et al.</i> (399)
Differences in Cd Accumulation in Typical Soils Under the Double Rice System	LI Xin-yang, LONG Jian, WANG Shu-bing, <i>et al.</i> (406)
Distribution Characteristics of Mercury in Reed Leaves from the Jiapiougou Gold Mine in the Songhua River Upstream	ZHANG Man-yin, LI Meng-jie, CUI Li-juan, <i>et al.</i> (415)
Effect of Nitrate Amendment on Soil Denitrification Activity and Anthracene Anaerobic Degradation	DAI Jun-shuai, ZUO Xiao-hu, WANG Ming-xia, <i>et al.</i> (422)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on Microbial Biomass, Community Structure and Activity in a Paddy Soil	WANG Wei-hua, LIU Yi, TANG Hai-ming, <i>et al.</i> (430)
Analysis of Sulfate-Reducing and Sulfur-Oxidizing Prokaryote Community Structures in Marine Sediments with Different Sequencing Technologies	ZHANG Yu, MI Tie-zhu, ZHEN Yu, <i>et al.</i> (438)
Seasonal and Spatial Variations of Microcystins and Their Relationships with Physicochemical and Biological Factors in Poyang Lake	YUAN Li-juan, LIAO Qie-gen, ZHANG Li, <i>et al.</i> (450)
Distribution of Multidrug-Resistant Bacteria and Antibiotic-Resistant Genes in Livestock Manures	ZHANG Hao, WANG Pan-liang, YANG Qing-xiang, <i>et al.</i> (460)
Influence of Air Pollution Control (APC) Systems and Furnace Type on the Characteristics of APC Residues from Municipal Solid Waste Incinerators	ZHANG Hua, YU Si-yuan, SHAO Li-ming, <i>et al.</i> (467)