

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

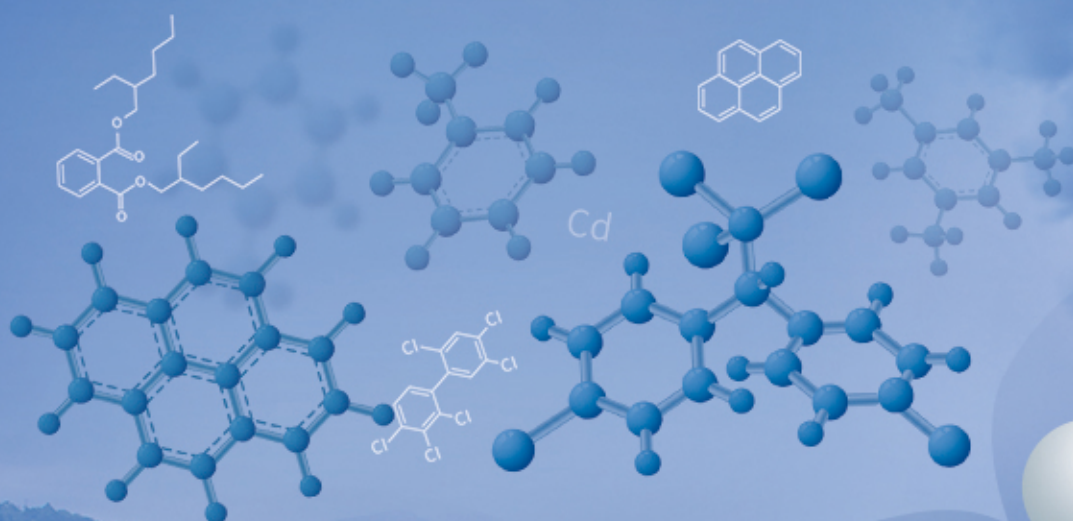
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

升金湖水体优先污染物筛选与风险评价

龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华



PAHs

VOCs

HMs

PCBs

PAEs

OCPs

ANTs

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年10月

第42卷 第10期
Vol.42 No.10

目次

PM _{2.5} 化学组分连续观测在污染事件源解析中的应用	蔡凡涛, 尚玥, 戴维, 谢鸣捷 (4575)
汾渭平原 PM _{2.5} 空间分布的地形效应	黄小刚, 赵景波, 孙从建, 汤慧玲, 梁旭琦 (4582)
华中地区冬季灰霾天气下 PM _{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价: 以湖北黄冈为例	李星谕, 毛瑶, 陈展乐, 刘威杰, 程铖, 石明明, 许安, 苏业旺, 胡天鹏, 祁士华, 邢新丽 (4593)
华北区域大气中羰基化合物体积分数水平及化学反应活性	黄禹, 陈曦, 王迎红, 刘子锐, 唐贵谦, 李杏茹 (4602)
成都市春季 O ₃ 污染特征及关键前体物识别	韩丽, 陈军辉, 姜涛, 徐晨曦, 李英杰, 王成辉, 王波, 钱骏, 刘政 (4611)
基于边界观测的长三角某工业区 O ₃ 来源特征	黄晴, 黄银芝, 张珊, 金丹, 高松, 修光利 (4621)
廊坊开发区 8~9 月 O ₃ 污染过程 VOCs 污染特征及来源分析	张敬巧, 王宏亮, 方小云, 刘锐泽, 丁文文, 凌德印, 王淑兰 (4632)
广东省家具行业基于涂料类型的 VOCs 排放特征及其环境影响	曾春玲, 邵霞, 刘锐源, 姚懿娟, 李银松, 侯墨, 刘洋, 范丽雅, 叶代启 (4641)
厦门湾空气质量对新冠疫情管控的响应	徐超, 吴水平, 刘怡靖, 钟雪芬 (4650)
北京平原和延庆地区山谷风异同及对污染的影响	吴进, 李琛, 马志强, 孙兆彬, 韩婷婷, 邱雨露, 马小会, 李颖若, 朱晓娟 (4660)
两湖盆地冬季区域大气颗粒物污染特征及独特的风场和下垫面影响	朱燕, 赵天良, 白永清, 徐家平, 孙晓芸, 胡未央, 常嘉成, 杨婕, 朱从祯 (4669)
燃煤电厂颗粒物中硫酸根与硝酸根离子的转化规律	杨柳, 何晴, 盛重义 (4678)
长江流域主要干/支流化学特征及外源酸的影响	王琪, 于爽, 蒋萍萍, 孙平安 (4687)
土地利用对太湖入流河道营养盐的影响	连心桥, 朱广伟, 杨文斌, 康丽娟, 朱梦圆, 许海 (4698)
基于 eDNA 技术的渭河浮游动物多样性及关键种生态位特征	梁东, 夏军, 宋进喜, 常剑波, 吴琼, 程丹东, 张怡恒, 孔飞鹤, 任源鑫 (4708)
三亚市水体中 PPCPs 的污染水平、分布特征及生态风险评价	任丙南, 耿静 (4717)
升金湖水体优先污染物筛选与风险评价	龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华 (4727)
天目湖沙河水库水生态安全状况长期变化及影响因素	杨文斌, 段文秀, 崔扬, 朱广伟, 吴天浩, 许海, 朱梦圆 (4739)
华中地区供水水库抗生素抗性基因的季节变化及影响因素	张凯, 辛蕊, 李观家, 王倩, 王亚南, 许智恒, 崔向超, 魏巍 (4753)
快速城镇化进程中珠江三角洲硝酸型地下水赋存特征及驱动因素	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 张玉玺 (4761)
盐城地区地表水化学空间特征及控制因素分析	王建, 张华兵, 许君利, 彭俊 (4772)
基于沉积物中总氮和总磷垂向分布与吸附解吸特征的白洋淀清淤深度	周亚婷, 陈兴宏, 李立青, 张伟军, 张美一, 王东升, 王洪杰 (4781)
硼酸和磷酸对 PMS/Co ²⁺ 均相催化氧化有机物的影响因素与机制	万琪琪, 陈铸昊, 曹瑞华, 王静怡, 文刚 (4789)
磁性生物炭负载 α-MnO ₂ 活化过一硫酸盐降解 2,2',4,4'-四溴联苯醚	李鑫, 尹华, 罗昊昱, 欧阳晓芳, 刘航, 祝铭韩 (4798)
紫外活化过硫酸钠灭活水中噬菌体 MS2 的特性及机制	张崇森, 杨昊明, 王真 (4807)
铈改性水葫芦生物炭对磷酸盐的吸附特性	王光泽, 曾薇, 李帅帅 (4815)
低温地下水净化工艺中氨氮去除性能及机制	李冬, 刘孟浩, 张瑞苗, 曾辉平, 张杰 (4826)
我国城市污泥中重金属的赋存形态与生态风险评价	耿源濂, 张传兵, 张勇, 黄豆豆, 闫姝晓, 孙腾飞, 程柳, 王静, 毛宇翔 (4834)
不同气候类型下污水厂活性污泥中微生物群落比较	杨思航, 秦泽生, 梁漫春 (4844)
部分亚硝化-厌氧氨氧化协同反硝化处理生活污水脱氮除碳	秦彦荣, 袁忠玲, 张明, 张民安, 刘安迪, 付雪, 马娟, 陈永志 (4853)
同步短程硝化-厌氧氨氧化-短程反硝化颗粒污泥培育过程及其性能	周峰, 刘勇弟, 厉巍 (4864)
多种微塑料提取方法在中国典型土壤中的应用	赵小丽, 刘子涵, 从辰宇, 韩剑桥 (4872)
柴达木盆地表土重金属污染与来源分析	陈亮, 张西营, 唐启亮, 耿盛, 王二龙, 李姜瑶 (4880)
快速城市化区域不同用地类型土壤重金属含量分布特征及生态风险	李梦婷, 沈城, 吴健, 黄沈发, 李大雁, 王敏 (4889)
广西都安县典型水田晒地球化学特征及影响因素	刘飞, 杨柯, 徐仁廷, 唐世琪 (4897)
炭化苹果枝通过减少土壤 DTPA-Cd 降低苹果砷木镉积累和镉伤害	邓波, 荀咪, 张玮玮, 杨洪强 (4908)
海南省集约化种植园中谷物、蔬菜和水果中重金属累积程度及健康风险	杨剑洲, 王振亮, 高健翁, 严慧, 胡树起, 唐世新, 龚晶晶 (4916)
环境中抗生素抗性基因丰度与抗生素和重金属含量的相关性分析: 基于 Web of Science 数据库检索	苗荪, 陈磊, 左剑恶 (4925)
银川市农田土壤中四环素类抗生素的污染特征及生态风险评估	张小红, 陶红, 王亚娟, 马志义, 周泽英 (4933)
施用不同来源粪肥对土壤中抗生素淋溶的影响	李斌绪, 朱昌雄, 宋婷婷, 马金莲, 张治国, 李红娜 (4942)
我国典型森林土壤微生物驱动的氮代谢途径特征解析	吕雪丽, 赵永鹏, 林清火, 彭显龙, 尹云锋, 蒋先军 (4951)
青藏高原高寒湿地春夏两季根际与非根际土壤反硝化速率及 nirS 型反硝化细菌群落特征分析	李玉倩, 马俊伟, 高超, 霍守亮, 夏星辉 (4959)
松嫩平原芦苇湿地退化与修复过程中土壤细菌和甲烷代谢微生物的群落结构	王秋颖, 王娜, 刘颖, 陈功, 何辉, 高婕, 庄绪亮, 庄国强 (4968)
不同轮作休耕下潮土细菌群落结构特征	南镇武, 刘柱, 代红翠, 张磊, 王娜, 徐杰, 刘开昌, 孟维伟, 王旭清 (4977)
稻田土壤光合细菌群落对镉污染的响应	罗路云, 金德才, 王殿东, 陈昂, 张德咏, 曾军, 匡炜, 张卓, 刘勇 (4988)
铁尾矿芦苇根际微生物和根内生菌群落分布及其限制性因子解析	曹曼曼, 王飞, 周北海, 陈辉伦, 袁蓉芳 (4998)
有机无机氮配施对不同程度盐渍土硝化和反硝化作用的影响	周慧, 史海滨, 张文聪, 王维刚, 苏永德, 闫妍 (5010)
水稻产量、稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对长期大气 CO ₂ 浓度升高的响应	于海洋, 宋开付, 黄琼, 王天宇, 张广斌, 马静, 朱春梧, 徐华 (5021)
原料和热解温度对生物炭中可溶性有机质的影响	闫代红, 马亚培, 宋凯悦, 马红亮, 高人, 尹云锋 (5030)
中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因素	李宇, 周德成, 闫章美 (5037)
室内建筑装饰装修材料气味物质及其释放研究进展	张万众, 张彭义 (5046)
《环境科学》征订启事 (4814) 《环境科学》征稿简则 (4871) 信息 (4907, 5009, 5029)	

厦门湾空气质量对新冠疫情管控的响应

徐超^{1,2}, 吴水平^{1,2*}, 刘怡靖³, 钟雪芬³

(1. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361102; 2. 福建省海陆界面生态环境重点实验室, 厦门 361102; 3. 福建省环境科学研究院, 福州 350013)

摘要: 通过对厦门湾城市群在 COVID-19 封锁前后 6 周内(2020-01-11 ~ 2020-02-21)的空气污染物浓度变化进行分析, 以确定影响本区域空气质量的主要人为污染源. 在春节假期与封锁叠加期间, SO_2 、 NO_2 、 CO 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度相比于节前 1 周的下降幅度分别为 6%~22%、53%~70%、34%~48%、47%~64% 和 53%~60%, 而 O_3 浓度变化没有一致的规律性; 与 2018 ~ 2019 年历史同期相比, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 和 NO_2 的下降幅度更大, 但 SO_2 的下降幅度相当; 在复工复产后, NO_2 的反弹幅度最大(38%~138%), 远高于 SO_2 (2%~42%), 显示交通源相对于固定源更易受到疫情管控的影响; 春节后风速增大和降水增多也为 SO_2 、 NO_2 和 PM 的下降提供了正向影响. 利用反距离插值权重法, 得到管控前后厦门湾城市群不同污染物的空间分布变化特征, 显示 NO_2 浓度高值区的变化与交通源高度相关, CO 和 SO_2 空间分布特征保持稳定, 复工后 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 在人口与路网密集区变化不明显, 而在工地相对集中区域有明显上升, O_3 空间分布的低值区与 NO_2 的高值区具有较好的空间匹配性, 显示 NO_2 对 O_3 滴定作用明显, 可为进一步 O_3 污染减排措施的制定提供参考.

关键词: 厦门湾城市群; 新冠疫情; 空气质量; 污染减排; 封锁

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)10-4650-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202103009

Response of Air Quality to COVID-19 Lockdown in Xiamen Bay

XU Chao^{1,2}, WU Shui-ping^{1,2*}, LIU Yi-jing³, ZHONG Xue-fen³

(1. College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen 361102, China; 3. Fujian Provincial Academy of Environmental Science, Fuzhou 350013, China)

Abstract: Air pollutant concentrations in the Xiamen Bay cities during the period before and after COVID-19 lockdown (from January 11 to February 21, 2020) were studied to determine the influence of human activities on air quality in this region. During the Chinese Spring Festival holiday and the lockdown period, the concentrations of SO_2 , NO_2 , CO , PM_{10} , and $\text{PM}_{2.5}$ decreased by 6%-22%, 53%-70%, 34%-48%, 47%-64%, and 53%-60%, respectively. However, the changes in O_3 concentrations were not consistent with the variations of human activities. The reduction rates for $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , CO , and NO_2 during the Spring Festival were greater than in previous years (2018 and 2019), but the reduction rates for SO_2 were comparable. The concentrations of NO_2 increased sharply (38%-138%), and much higher those of SO_2 (2%-42%), after the resumption of socioeconomic activities, indicating the importance of traffic reductions due to the lockdown measures on NO_2 . Higher wind speeds and rainfall after the Spring Festival were also favorable for the decline of SO_2 , NO_2 , and PM . The spatio-temporal distributions of the six criterion pollutants in the Xiamen Bay city cluster were obtained based on the Inverse Distance Weight method. The variability in regions with high NO_2 concentrations was strongly linked to traffic emissions, while spatial patterns for CO and SO_2 changed little over the six-week study period. The concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} increased notably in the region, linked to more construction activity, but changed comparatively little in regions with dense populations and traffic networks. O_3 remained relatively stable but low-value regions corresponded to those regions with high NO_2 concentrations, indicating the significant titration effect of NO_2 on O_3 . These results provide valuable information that can inform O_3 pollution reduction measures.

Key words: Xiamen Bay city cluster; COVID-19; air quality; pollution reduction; lockdown

为阻断新冠肺炎 (COVID-2019) 的传播, 大部分国家和地区均采用封锁手段 (lockdown) 以严格控制交通与人群流动, 工商业活动的显著降低甚至停止, 很大程度上削减了人为源大气污染物的排放, 对空气质量的改善效果明显^[1-4]. 封锁措施导致的工商业活动下降, 本质上类似于重大会议及体育赛事期间的临时管制, 但疫情管控的范围与力度更大, 持续的时间也更长. 因此, 研究疫情管控前后空气质量的变化, 以及对封锁措施的响应关系, 可为进一步的空气质量管理提供参考^[1,5-7]. 由于大范围的交通限制, 对 NO_2 的影响最为显著, 封锁期间的浓度相比于封锁前下降了 20%~100%, 而 SO_2 因主要来自化石能源燃烧, 下降幅度则较小^[8-11]. 相比于一次污染物, $\text{PM}_{2.5}$ 因存在较大比例的二次来源贡献, 其浓

度变化对疫情防控政策的响应在不同地区存在差异. Shi 等^[11]的研究基于华北区域地面实际观测数据, 估算封锁期 (2020-01-23 ~ 2020-02-29) $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度相比于封锁前 (2020-01-01 ~ 2020-01-22) 下降了 35%, 显著低于 NO_2 的下降幅度 (60%). Shi 等^[12]的研究在扣除气象因素的影响后, 发现伦敦和巴黎的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在封锁期间反而出现上升, 不同于北京、武汉、德里及欧洲和北美等主要城市出现的下降规律, 且大多数城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在封锁后并没有像 NO_2 出现突然下降. Le 等^[9]的研究基于 WRF-

收稿日期: 2021-03-01; 修订日期: 2021-03-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502901)

作者简介: 徐超 (1996 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染物排放清单, E-mail: xuchao0610@163.com

* 通信作者, E-mail: wsp@xmu.edu.cn

Chem 模型,模拟得出京津冀区域在封锁期间因不利扩散与高湿度的气象条件及非均相反应而使得 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别上升了 31.3% 和 12.0%,而 NO_x 的降低对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响则不明显. Huang 等^[13] 的研究认为封锁期间华北和华东区域 $\text{PM}_{2.5}$ 的上升,主要是由于 O_3 和夜间 NO_3 自由基浓度升高而导致二次颗粒物的增加,抵消了一次颗粒物排放降低的影响;其中,华北区域 $\text{PM}_{2.5}/\text{CO}$ 比值在华北区域有较大幅度的增加,显示二次污染相比于一次排放的影响更大. 另外,封锁期间因取暖和花园杂草焚烧增多而增加了 PM 的排放,也可能导致局部区域 PM 浓度上升^[14]. 对于 O_3 ,由于其完全来自二次转化生成,对 COVID-19 封锁政策的响应不同于其它污染物,其浓度在封锁期间普遍都表现为上升,主要作用机制可能是 NO_x 对 O_3 滴定效应的下降^[6,11,12,15],而气态前体物 VOCs 与 NO_x 相对比例的改变也可能导致 O_3 浓度上升^[6,14,15]. 由于不同地区和城市的能源结构、产业结构和交通基础设施等存在差异,以及封锁期间的气象条件的变化等,都可能影响污染物的浓度变化,从而影响空气质量对封锁政策的响应分析. 因此,应对封锁前后的社会经济活动、污染物浓度及气象因素等进行综合分析,才能更加准确了解人为活动对空气质量的影响.

厦门湾属海陆交界地带,集内陆、海岛和城市下

垫面等复杂地形于一体,特殊的地理条件使得污染物的迁移转化同样受到影响. 污染物的环境浓度受到气象条件和污染排放双重影响. 厦门湾气象条件较为复杂,出现颗粒物污染时一般伴随着静稳和低扩散效率的边界层条件和大风下沉的传输过程^[16],且大陆和海洋气团之间的相互作用可能会影响沿海地区 O_3 的形成和重新分布^[17]. 不同污染物的排放来源构成多样化,如厦门湾船舶源对 SO_2 和 NO_x 的贡献较大^[18],金砖会议期间管控措施显示了机动车源对 NO_x 的贡献明显^[19],VOCs 则主要来自工业源^[20].

本研究通过考察厦门湾城市群 6 项污染物浓度在新冠疫情管控前后的时空分布特征,探究环境浓度与污染物排放及气象因素之间的关联性,以期为厦门湾区域重点污染源筛查和环境管理措施的制定提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

厦门湾地处福建东南沿海,周边城市包括厦门、金门、泉州和漳州的部分区域,地形以滨海平原、台地和丘陵为主,为亚热带海洋性季风气候. 研究区人口主要分布于中心城区,区域内路网密度大,共设有 33 个空气质量监测站点,其中 12 个为国控点,主要集中于中心城区,其余为市控点(图 1).

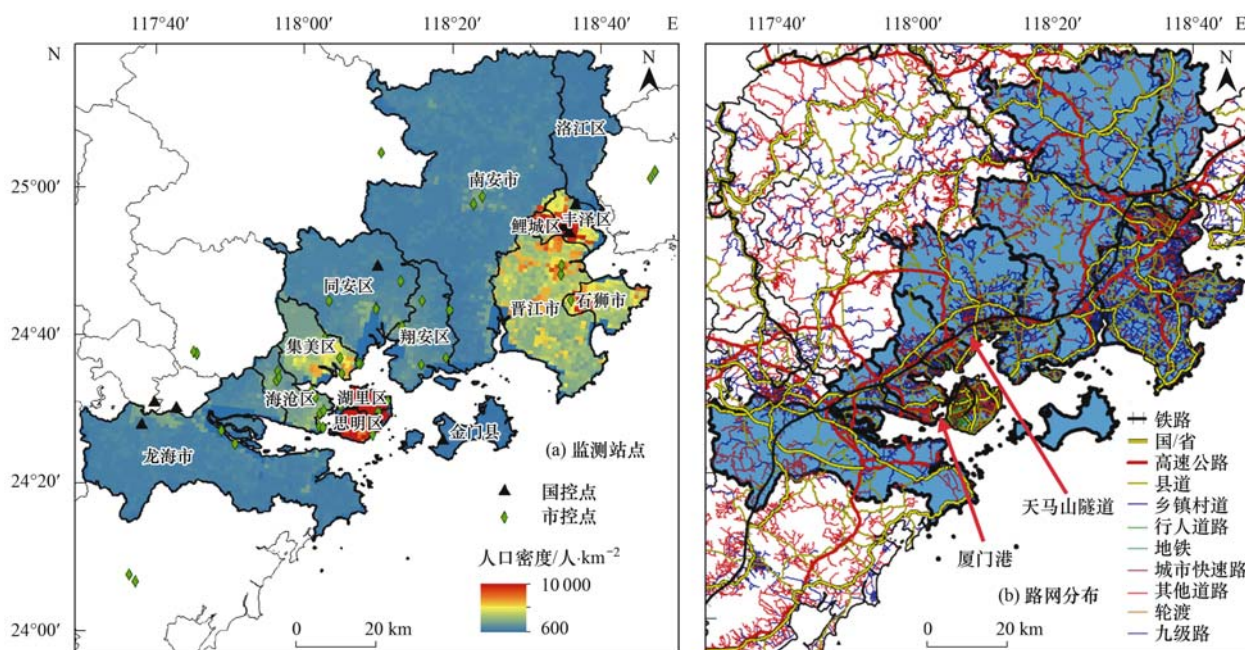


图 1 厦门湾城市群空气质量监测站点位置与路网分布

Fig. 1 Map of air quality monitoring stations and road networks in the Xiamen Bay city cluster

由于 COVID-19 暴发与 2020 年的春节假期存在叠加影响,为此以春节假期作为比较基准,将 2018 ~ 2020 年的春节前后划分为 6 个时段(如表

1),通过比较不同时间段的相对变化,一定程度上可降低人为活动和气象因素波动^[6,9]对大气污染物浓度年际差异的影响.

表 1 2018 ~ 2020 春节同期 P1 ~ P6 时段划分

Table 1 Period division (P1-P6) rule for air pollutants during the Spring Festival in 2018-2020

时段	2018 年	2019 年	2020 年	备注
P1	02-02 ~ 02-08	01-22 ~ 01-28	01-11 ~ 01-17	春节前第 2 周
P2	02-09 ~ 02-15	01-29 ~ 02-04	01-18 ~ 01-24	春节前第 1 周
P3	02-16 ~ 02-22	02-05 ~ 02-11	01-25 ~ 01-31	春节假期
P4	02-23 ~ 03-01	02-12 ~ 02-18	02-01 ~ 02-07	春节后第 1 周
P5	03-02 ~ 03-08	02-19 ~ 02-25	02-08 ~ 02-14	春节后第 2 周
P6	03-09 ~ 03-15	02-26 ~ 03-04	02-15 ~ 02-21	春节后第 3 周

1.2 数据来源与研究方法

厦门、漳州和泉州的空气污染物浓度数据来自各地生态环境局的空气质量发布数据(<http://sthjj.xm.gov.cn/>; <http://hbj.zhangzhou.gov.cn/>; <http://sthjj.quanzhou.gov.cn/>; www.aqistudy.cn), 金门的数据来自中国台湾省环保署(https://taqm.epa.gov.tw). 另外, 研究时段的气象数据如温度(T)、湿度(RH)、气压(p)、风向(WD)、风速(WS)、降雨量(RF)和能见度(Vis)等来自厦门岛上的狐尾山气象站($24.49^{\circ}N$, $118.09^{\circ}E$)(<https://p5.ru/>), 大气边界层 PBL(planetary boundary layer)数据通过 WRF(weather research and forecasting model, 天气研究和预报模型)获得. 人为源活动水平数据如福建省用电量与发电量来自国家能源局福建监管办公室(<http://fjb.nea.gov.cn/>), 交通流量信息来自厦门市天马山隧道车辆监控系统, 城市出行强度数据来自“百度迁徙”大数据(<https://qianxi.baidu.com/2020/>), 船舶进出港数据来自厦门市港口管理局提供的船舶登记靠港信息, 工地复工数据来自厦门市建设局. 城市出行强度定义为该城市所有出行人数与城市居住人口的比值, 是由百度对其拥有的 LBS(基于位置的服务)大数据进行计算分析, 通过众多与百度相关应用所传送的定位请求, 从而对所有请求信息进行设备辨认与定位, 获得人群流动信息.

反距离加权插值法(IDW)是以插值点与样本点之间的距离为权重进行的加权平均, 样本点距离插值点越近则权重越大. IDW 插值法要求数据点分布相对均匀, 且布满整个插值区域, 无区域大小的限制, 保证插值数据处于实测值的最大值与最小值之间. 由于 33 个监测点基本覆盖了厦门湾的各区范围, 监测点浓度同时受到局地污染源和区域传输的影响, 满足 IDW 插值法的条件. 本研究采用 ARCGIS 中的 Arc toolbox 工具箱中的插值分析(IDW 插值法), 得到 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的面状连续分布特征.

2 结果与讨论

2.1 2018 ~ 2020 年同期中心城区 NO_2 和 SO_2 浓度比较

根据福建省人民政府发布的通知, 从 2020 年 1 月 24 日起, 福建省启动重大突发公共卫生事件一级响应, 其启动时间与春节假期基本同步, 在人员流动及机动车出行管制措施实施后, 机动车的污染排放出现显著降低. 从图 2 厦门湾区域的厦门、漳州、泉州和金门等 4 个城市 2018 ~ 2020 年春节前后时段内国控点气态污染物(SO_2 和 NO_2)浓度变化可以看出, 2020 年 P3 时段 NO_2 浓度均值相比于 P2 时段的下降幅度介于 53% ~ 70% 之间, 而 2018 和 2019 年同期的下降幅度为 19% ~ 48% 之间, 显示出新冠疫情管制对交通污染排放有重要影响. Ding 等^[21]的研究基于卫星反演的 NO_2 柱浓度数据, 分析得到武汉、南京、上海、广州、重庆和北京等城市在 2020 年春节期间的 NO_2 的排放密度都出现显著下降, 其中在武汉市的下降幅度超过了 50%, 而正常春节假期由于工商业活动的减少而导致的 NO_2 排放下降只有 10%^[22]. 春节节后的 P4 时段, NO_2 浓度在 2018 年和 2019 年都有明显上升, 上升状态持续到 P6 时段, 主要受节后返城及工地、工厂等恢复正常运行影响. 基于“百度迁徙”大数据产品, 得到厦门城市人群出行强度(图 3)在春节假期前后的变化. 2019 年春节假期结束后人群出行强度快速反弹, 而 2020 年 P4 时段由于仍处于疫情防控一级响应期内, 出行强度继续维持低谷状态, NO_2 浓度也只有微弱的上升; 在 2020 年 2 月 9 日出台了逐步复工复产的通知后, 在 2 月 14 日厦门市的项目复工率升至 14%, 出行强度也有明显升高, 在 P5 时段时 NO_2 浓度出现了较为明显地上升.

为进一步明确交通出行与 NO_2 之间的关联性, 对厦门市天马山隧道车流量及邻近站点 NO_2 浓度进行了相关分析. 天马山隧道是厦门港货运车辆主要通行路段之一(往返厦门-泉州), 其车流量一定程

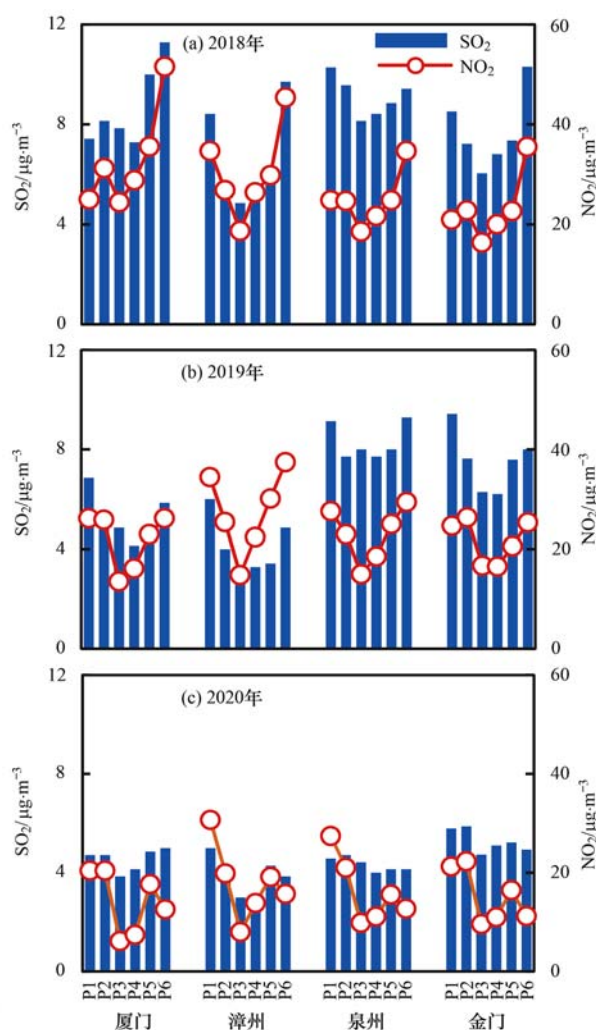


图2 2018~2020春节同期(P1~P6)NO₂和SO₂浓度均值

Fig. 2 Weekly averaged NO₂ and SO₂ concentrations during the Spring Festival (P1-P6) from 2018 to 2020

度上也可反映港口码头作业的变化. 在节前的P1~P2时段, 进出港船舶数量逐渐减少, 隧道内车辆通行量下降至最低(2020-01-25), P3时段相比于P1时段船舶进港数量下降了58%, 隧道车辆通行量下

降了88%, 较低的交通活动水平持续至P4时段, 与城市出行强度的变化一致(图3). 有研究显示^[21], 黄海和渤海湾区域海洋运输船舶NO_x的排放量在疫情管制期间相比于管制前下降了25%, 而上海-广州范围内的海洋运输船舶NO_x排放量的下降幅度为41%. 海洋及陆地交通运输量的下降, 直接导致NO_x的排放量减少, 环境NO₂浓度也表现为快速下降的趋势, 说明NO₂主要来自交通源^[12,14]. 相关性分析显示, NO₂浓度与车流量之间呈显著正相关关系(r 为0.817~0.839, $P < 0.01$, 双侧检验), 与欧洲城市管制期内交通区站点NO_x(NO和NO₂)浓度下降幅度更大及工业城市NO_x浓度小幅下降的规律相吻合^[14]. 但是, SO₂与车流量之间不存在相关关系, 揭示不同的污染物受一级响应政策的影响不尽相同.

本研究中, SO₂浓度在春节期间相比于P2时段的下降幅度小于NO₂, 介于6%~22%之间, 远低于NO₂的降幅, 但与2018~2019年同期降幅相当(-4%~30%); 而复工后的P5时段, SO₂浓度相对于P4时段的上升幅度(2%~42%)也远低于NO₂的升幅(38%~138%). 这种显著不同的变化规律显示两者的主要污染源存在不同. 2020年春节期间, 武汉和广州两地SO₂浓度的下降幅度也明显低于NO₂, 而北京地区的SO₂浓度甚至出现明显的上升^[6,11], 原因是钢铁厂、燃煤电厂和燃煤锅炉等SO₂的排放大户, 因生产和工艺设备特性不能中断生产^[23], 导致SO₂浓度仅出现小幅下降, 甚至不降反升. 因为收集的福建省发电量与用电量数据是以半月为周期进行统计的, 无法与P1~P6时段进行匹配, 所以采用2020年上半年火力发电量与工业用电量数据进行分析. 统计显示, 两者之间呈显著正相关关系(r 为0.906, $P < 0.001$), 且火力发电量、工业

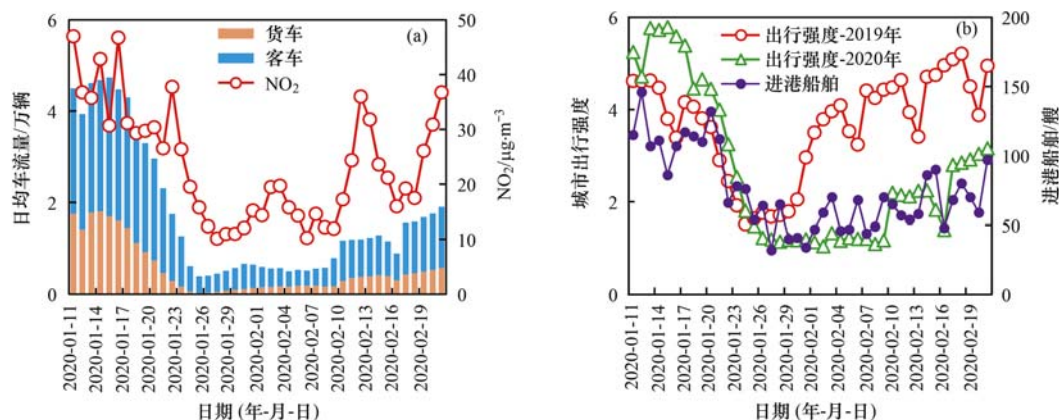


图3 天马山隧道2020年春节前后交通流量与NO₂变化及2019~2020年同期厦门出行强度比较

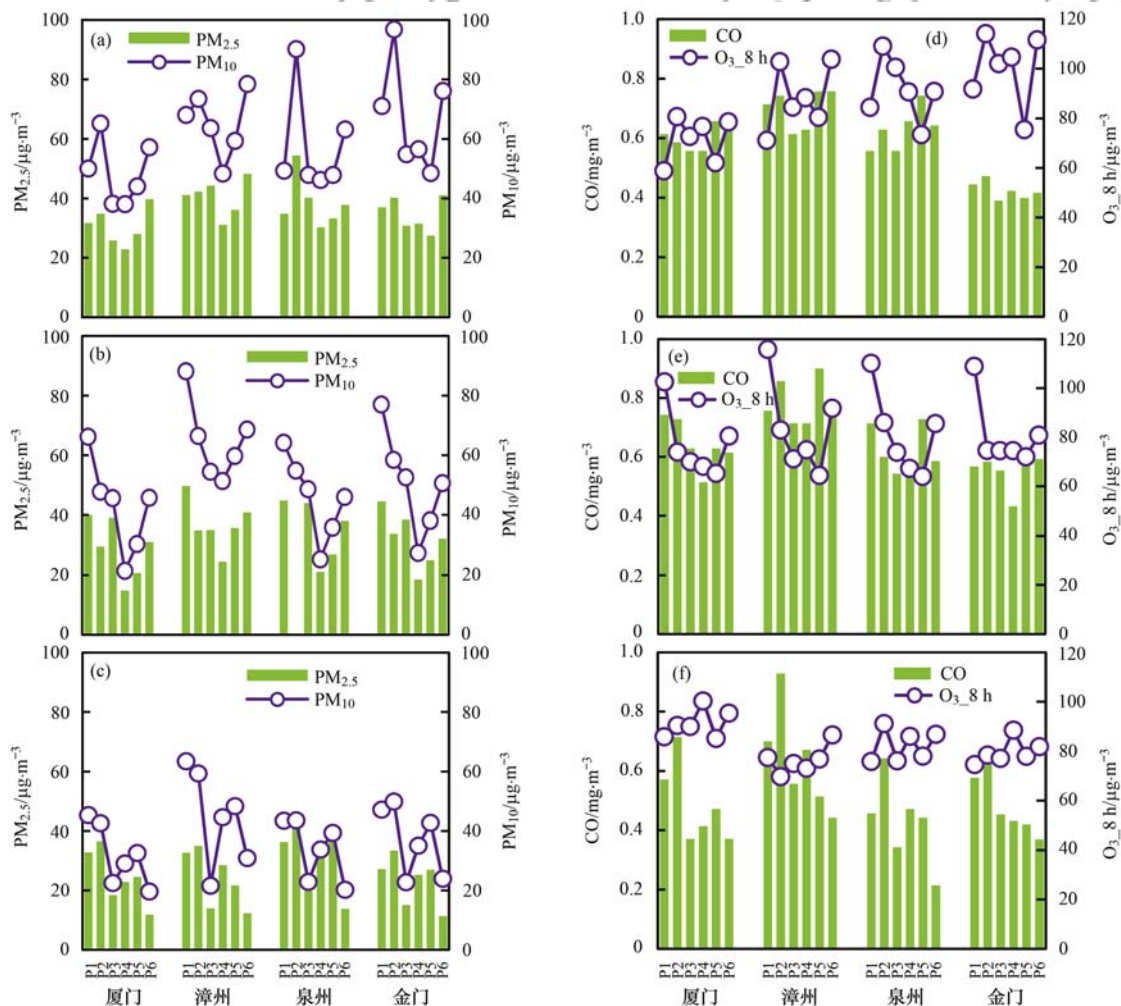
Fig. 3 Daily variations in traffic flow and NO₂ concentrations in the Tianmashan tunnel during the Spring Festival in 2020, and urban travel intensity during the same period in 2019 and 2020

用电量和用电最高负荷均在 2 月上半月(对应 2020 年的 P4 ~ P5 时段)处于最低值;另外, 2020 年 1 ~ 3 月的火力发电量与 2019 年同期相比下降了 10%, 其中 1 月下半月同比下降 23.7%, 因此燃煤电厂排放的 SO_2 也会相应降低. 但是, P4 ~ P5 时段 SO_2 浓度相比于 P3 时段有一定的升高, 表明 SO_2 可能并非主要来自燃煤电厂. 据海峡西岸经济区前期的排放清单^[24], 电厂对 SO_2 的贡献为 25.6%, 而纺织、造纸、化工、建材和钢铁等行业对 SO_2 的贡献为 45.9%, 因此, 非电行业对 SO_2 的影响更大.

2.2 2018 ~ 2020 年同期中心城区 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、CO 和 O_3 浓度比较

已有研究显示, 由于 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 有相当部分来自气态前体物的二次转化, 其浓度变化对新冠疫情管制的响应, 没有一次气态污染物 NO_2 敏感, 不同城市的变化也不一致, 甚至在我国华东和华北区域还出现了较为严重的雾-霾污染天气^[13,25]. 从图 4 可以看出, 2018 ~ 2020 年 P1 ~ P6 期间 $\text{PM}_{2.5}$ 和

PM_{10} 浓度也呈现类似 SO_2 和 NO_2 的变化特征, 但春节前后变化略有不同. 如 2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度在春节前的 P2 时段都有一定的上升, 在春节后 P4 和 P5 时段的上升也不明显, 而 2019 年则在节后的 P4 时段处于最低, 这种浓度波动差异的原因可能与二次转化及区域传输有关. 2020 年春节前后厦门湾中心城区的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度与气态前体物的变化一致, 其浓度日均值之间存在显著正相关关系(r 为 0.648 ~ 0.670, $P < 0.001$, 双侧检验); 在 P3 时段, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度相比于 P2 时段的降幅分别为 53% ~ 60% 和 47% ~ 64%, 两者较为接近, 整体上略低于 NO_2 的降幅(53% ~ 70%), 但高于 SO_2 (6% ~ 22%) 和 CO (34% ~ 48%) 的降幅, 其中漳州市区 PM 的降幅甚至高于 NO_2 ; 在 P4 时段, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度相比于 P3 时段的升幅分别为 24% ~ 104% 和 29% ~ 107%, 显著高于 SO_2 (-10% ~ 8%)、 NO_2 (13% ~ 73%) 和 CO (-5% ~ 38%) 的升幅; 在 P5 时段, PM 浓度类似 SO_2 和 NO_2 都呈继续上升态势



(a,d)2018 年,(b,e)2019 年,(c,f)2020 年

图 4 2018 ~ 2020 年春节前后(P1 ~ P6) $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、CO 和 O_3_{8h} 浓度均值

Fig. 4 Weekly averaged $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , CO, and O_3_{8h} during the Spring Festival(P1-P6) from 2018 to 2020

(除漳州外),明显不同于 CO 的变化规律。

CO 因不易被 OH 自由基氧化而具有相对较长的大气寿命,通常被作为一次排放的示踪物^[26]。 PM 与 CO 之间的变化差异表明空气质量的变化不完全由疫情管制期间减少的一次污染物所影响,气态前体物的二次转化对 PM 的影响可能更重要。Chen 等^[25]的研究发现,上海城区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在疫情管制期间下降了 33%,明显低于 NO_2 的下降幅度(75%),但高于 SO_2 和 CO 的降幅(15%和 22%), $\text{PM}_{2.5}$ 中硝酸根和铵根的浓度下降显著(60%和 45%),但硫酸根和二次有机气溶胶却出现上升(27%和 18%),从而阻碍了 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的进一步下降。京津冀疫情管制期的模拟也显示^[9], NO_x 排放量近 80% 的降幅只导致硝酸根浓度下降 13%,但硫酸盐根、二次有机气溶胶和 O_3 的浓度反而上升了 26.3%、15.1% 和 42.9%,认为是电厂和石化工厂在管制期的持续排放以及高湿度、静稳天气和氧化条件对二次转化的促进作用所致。Huang 等^[13]的研究认为 NO_x 排放降低,一定程度上增加了 O_3 及夜间 NO_3 自由基的浓度,促进了大气二次转化和二次颗粒物的生成,一定程度上抵消了一次排放的降低效应。此外,居家隔离期间因取暖增多消耗了更多化石燃料,一定程度上也能抵消交通源排放的降低影响,如意大利首都罗马在疫情管制期内 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度分别上升了 11% 和 2%,法国南部城市尼斯的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的降幅仅有 3% 和 6%^[14]。因此,由于不同地区产业结构、能源消费结构和交通基础设施条件等存在较大差异,空气污染物浓度受一级响应政策的影响也会不同。

大气环境中的 CO 主要来自化石燃料的燃烧排放,其环境浓度在春节前后的变化特征类似于 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} ,其在 2020 年 P3 时段的浓度相比于 P2 时段的下降幅度(34%~48%)低于 PM 和 NO_2 ,但高于 SO_2 ,这种差异与 CO 的源贡献组成及自身化学稳定性有关。尽管 2018~2019 年春节期间 CO 也有一定的下降,但降幅(5%~18%)明显低于 2020 年同期,表明春节和疫情管制叠加效应更加显著。

由于 O_3 受前体物(NO_x 和 VOCs)浓度与相对组成以及光化学反应条件的共同影响,其变化规律不同于其它污染物,不同年度同期 O_3 8h 浓度的差异变化也不具有一致的规律性。武汉及其它等城市的研究显示^[11,12,15],疫情期间由于 NO_x 排放显著降低,其对 O_3 的滴定作用相应减小($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$),一定程度上使得 O_3 浓度出现上升;另外,由于 NO_x 排放量下降更大,使得 VOCs 相对于 NO_x 的

比值上升, O_3 生成由 VOCs 限制转变为 NO_x 限制,也可能导致 O_3 生成增多。Pei 等^[6]的研究发现北京、武汉和广州的 HCHO 柱浓度在封锁后并没有明显改变,而 NO_2 柱浓度有显著下降,改变了 O_3 前体物的相对组成,而使得 O_3 生成量增多。不同监测站对 O_3 前体物的敏感程度不同^[27],厦门湾地区的 O_3 浓度没有一致的波动规律,厦门和金门则相对较一致,P1~P4 期间 O_3 浓度缓慢上升,可能由于金门本地源较少,与厦门同受区域传输的影响较大,因而显示出相似的波动特征。厦门、泉州和金门在 P4 阶段(相对于 P3)都有一定的上升,受到较低的 NO_x 浓度的滴定影响,而漳州 O_3 的下降可能是由于本地 NO_2 的反弹速度相对较快所致。

2.3 气象因素影响分析

2020 年 P1~P6 期间内, SO_2 和 NO_2 浓度与前两年相比,都有较大幅度地下降,除污染源排放量下降的影响外,有利扩散(更大风速)和沉降清除(更多降雨)的气象条件,也是不可忽视的重要原因之一。图 5 给出了 2018~2020 年 P1~P6 期间温度、湿度、风速和降雨量等参数。可以看出,在 2020 年 P3~P6 时段出现明显降雨(降雨量达到 324 mm),而同期 2018 和 2019 年的降雨量仅为 32 mm 和 53 mm。当短时间出现明显降水时,大气污染物经冲刷而被快速清除,污染物浓度降低显著;当降雨量较低时,其对污染物的清除效率低,且潮湿天气还会造成污染物的累积,使得大气浓度上升。将 2020 年 P1~P6 时段 SO_2 和 NO_2 日均浓度与降雨量进行相关性分析,显示并没有显著负相关关系存在,其原因可能受降雨量过于集中和降雨频率较低有关。虽然 P3 和 P6 时段降雨量分别达到了 126 mm 和 104 mm,且主要集中在 1 d 内(01-26 和 02-16),从而使得降雨量与污染物浓度之间并未出现显著相关,但能见度有明显的提升。在厦门湾区域,当北方寒冷气团无法南下时,温度上升的同时一般都伴随着低风速、低 PBL 和静稳天气的出现,导致污染累积。日均值的相关性分析显示,2020 年 P1~P6 时段内 NO_2 和 SO_2 的浓度与 T 之间都存在显著正相关关系(r 为 0.418~0.671, $P < 0.01$, 双侧检验),而与 WS 之间存在显著负相关关系(r 为 -0.316~-0.654, $P < 0.05$, 双侧检验),但只有 NO_2 与 PBL 存在显著负相关关系(r 为 -0.482, $P = 0.001$, 双侧检验)。图 5 中,2020 年 P4~P6 时段的平均风速和气压都略高于 2018~2019 年同期数值,说明扩散稀释条件也有利于污染物浓度的下降。假定 NO_2 和 SO_2 受气象条件的影响程度相当,则 SO_2/NO_2 比值的变化更能反映其污染源的变化。2020 年 P3 时段, SO_2/NO_2 比值

相比于 P2 时段的增加幅度为 88%~172%, 而 2018~2019 年同期的增幅为 13%~75%, 表明 NO_2 的排放源即交通污染受一级响应政策的影响更为显著。

$\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 气态 污染物 受 降雨 冲刷 的影响 差异 也可能 导致 不同的 变化 特征^[28]. 如 2020 年 1 月 26 日 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度 相比于 1 月 25 日 分别 下降 了 68%~84% 和 72%~86%, 而 SO_2 和 NO_2 的 下降 幅度 为 41%~60% 和 0%~16%, PM 更容易 受到 降雨 冲刷 的影响. P4 时段 的气象 条件 相比于 P3 时段, 表现 为 温度 更低、湿度 更大、风速 和 降雨量 更 小 等 特点 (图 5), 有 助于 气态 前体物 的 二次 转化, 使得 P4 时段 PM 的 浓度 上升 更快. 假定 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 受 降水 冲刷 及 稀释 扩散 的 影响 一致, 则 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比 值的 升高 或 降低 能 反映 扬尘 的 下降 或 增多. 2018~2019 年 P3 时段 PM_{10} 浓度 相比于 P2 时段 都 呈 下 降 趋势, 但 $\text{PM}_{2.5}$ 却 表现 为 有 升 有 降, 而 2020 年 同期

$\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 降幅 明显 且 接近. 2020 年 P3 时段, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比 值 相 比 于 P2 时段 增 加 幅 度 为 -10%~10%, 而 2018~2019 年 同期 的 增 幅 为 21%~38%, 也 表明 2020 年 春节 与 疫 情 管 制 的 叠 加 效 应 对 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 影响 都 更 显著.

在 2020 年 P1~P6 时段 O_3 _8h 与 NO_2 日 均 值 之 间 存 在 显 著 负 相 关 关 系 ($P < 0.01$, 双 侧 检 验), 同 时 O_3 _8h 与 温 度、湿 度、风 速 及 降 雨 量 之 间 在 $P = 0.05$ 水 平 下 也 显 著 相 关. 一 般 而 言, O_3 污 染 主 要 由 于 高 温、低 湿、低 风 速 等 不 利 气 象 条 件 和 较 高 的 前 体 物 排 放 共 同 导 致^[29]. 由 于 季 风 的 影 响, 厦 门 湾 区 域 的 O_3 污 染 主 要 出 现 于 春 季 和 秋 季 的 季 风 转 向 期, 因 风 速 低 和 温 度 高, 利 于 O_3 的 生 成 和 累 积; 而 高 温 的 夏 季, 由 于 偏 东 风 和 东 南 风 为 主 导, O_3 浓 度 处 于 低 位, 冬 季 由 于 温 度 低, NO_x 浓 度 高, 也 不 利 于 O_3 的 生 成. 从 图 4 可 知, 厦 门 湾 O_3 浓 度 在 P3 阶 段 无 明 显 上 升, 可 能 由 于 P3 阶 段 风 速 增 大、降 雨 增 多 及 温 度 下 降, 不 利 于 O_3 的 生 成 与 累 积; P4 阶 段, 厦 门、泉 州 和 金 门 的 O_3 浓 度 有 明 显 上 升, 且 高 于 管 制 前 的 浓 度, 可 能 受 有 利 O_3 的 生 成 气 象 条 件 (降 雨 减 少, 湿 度 下 降) 和 较 低 的 NO_2 浓 度 共 同 所 用 所 致.

2.4 厦 门 湾 污 染 物 浓 度 时 空 分 布 特 征

基 于 厦 门 湾 33 个 监 测 站 点 数 据, 采 用 反 距 离 加 权 插 值 法, 得 到 疫 情 管 控 前 后 时 段 厦 门 湾 区 域 6 项 污 染 物 的 空 间 分 布, 可 用 于 探 究 该 区 域 污 染 物 浓 度 高 值 区 分 布 的 变 化 特 征 和 重 点 污 染 源 (图 6). SO_2 高 值 区 主 要 集 中 在 南 安 的 中 北 部, 其 浓 度 与 空 间 分 布 在 疫 情 前 后 均 无 明 显 变 化, 结 合 本 区 域 重 点 行 业 分 布, 电 厂、水 泥 厂 和 陶 瓷 厂 等 在 SO_2 高 值 区 较 为 集 中, 说 明 这 些 企 业 的 生 产 活 动 受 疫 情 管 制 的 影 响 不 大. 与 SO_2 相 比, NO_2 空 间 分 布 在 不 同 时 段 则 表 现 出 明 显 的 变 化. 在 P1 时 段, NO_2 高 值 区 集 中 于 人 口 和 路 网 密 集 区 域; 在 P2 时 段, 随 着 春 节 假 期 临 近, 交 通 运 输 逐 渐 减 少, NO_2 高 值 区 范 围 缩 小, 仅 集 中 于 港 区 周 围; 在 P3 和 P4 时 段, 高 值 区 范 围 大 幅 缩 小, 局 限 在 石 狮 城 区 和 港 区 局 部 小 范 围, 城 区 站 点 的 浓 度 下 降 远 大 于 郊 区 背 景 点; 在 复 工 复 产 后, 厦 门 港 周 围 及 大 部 分 城 区 周 边 NO_2 浓 度 都 快 速 升 高, 与 交 通 运 输 的 恢 复 情 况 一 致. $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 时 空 变 化 特 征 较 为 接 近, 在 疫 情 一 级 响 应 发 布 后, 区 域 内 PM 浓 度 整 体 下 降 明 显, 复 工 复 产 后, 海 沧 区 西 部、泉 州 市 区 及 南 安 中 北 部, 以 及 翔 安 区 西 部 等 工 地 相 对 集 中 的 地 区 PM 浓 度 反 弹 明 显, 而 在 厦 门 岛 及 人 口 与 路 网 密 集 区 则 无 明 显 上 升 趋 势, 明 显 不 同 于 NO_2 的 变 化, 说 明 PM 受 二 次 转 化 的 影 响 更 重 要. 疫 情 管 制 前 CO 的 空 间 分 布 差 异 不 大, 在 管 制 期 内 及 复 工 复 产

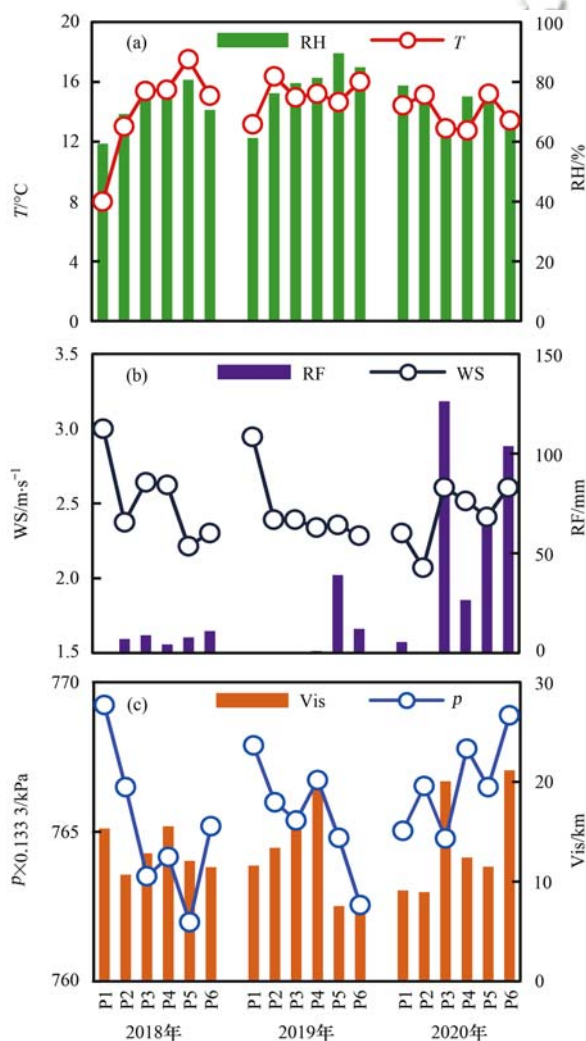


图 5 2018~2020 年春节前后同期厦门岛气象参数 (T 、 RH 、 WS 、 RF 、 p 和 Vis) 比较

Fig. 5 Comparison of selected meteorological parameters (T , RH , WS , RF , p , and Vis) on Xiamen Island during the Spring Festival in 2018-2020

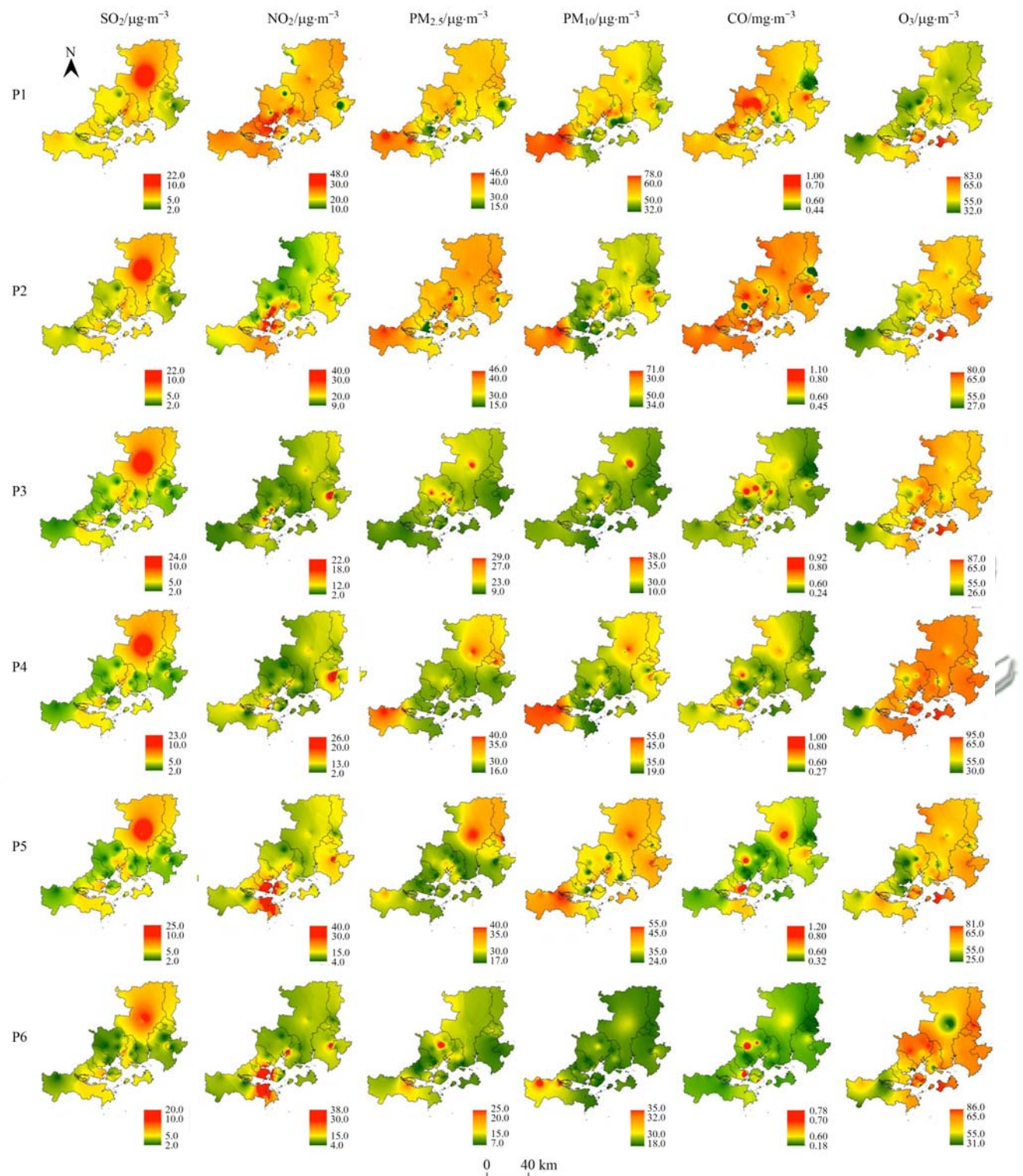


图6 厦门湾城市群空气污染物时空分布

Fig. 6 Temporal and spatial distribution of air pollutants in Xiamen Bay city cluster

后,仅在个别小区域有CO高值分布,如海沧南部与同安城区,且高值区的空间分布格局没有明显改变,推测CO可能受固定源的影响更强. O_3 浓度的高值区分布与 NO_2 浓度的低值区相对应,进一步证明了 NO_2 对 O_3 有明显的滴定作用. 以上分析表明,基于污染源及污染物浓度时空分布特征的变化分析,能明确影响区域空气质量的重点污染源,也是进一步建立空气污染联防联控机制的重要依据. 需要注意

的是,由于厦门湾城市群外围监测站点的数量偏少且分布不均,可能会影响浓度值的空间插值. 另外,由于缺乏针对PM化学组成的分析,尤其是具有源指示作用的痕量金属元素与水溶性离子^[19],对污染源的准确判断存在一定的影响.

3 结论

(1)受2020年春节假期与COVID-19管控叠加

影响,厦门湾城市群大气中 NO_2 浓度降幅远大于 SO_2 ,而在复工复产后 NO_2 的反弹也远高于 SO_2 ,说明本区域交通源对疫情管控的响应最为显著,而火电之外的其它工业源受疫情的影响则相对较小;PM 呈现不同于气态污染物的变化,显示其受二次转化与降雨冲刷的影响更明显,而 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值变化可用于工地扬尘影响的评估;由于受气象条件和气态前体物变化的共同作用,疫情期间 O_3 浓度对管控措施的响应没有一致规律可循,显示 O_3 污染控制的复杂性。

(2)不同污染物时空分布特征对新冠疫情管控的响应不同,路网密集区、工业源集中区和工地集中区分别与 NO_2 、 SO_2 和 PM_{10} 的高值区对应,同时 O_3 低值区与 NO_2 高值区具有较好的空间匹配性,验证了 NO_2 对 O_3 存在滴定作用。将特定污染源管控与污染物时空分布特征联合分析,对区域重点污染源的确定及制定空气污染联防联控措施都有参考意义。

参考文献:

- [1] Tian H Y, Liu Y H, Li Y D, *et al.* An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China[J]. *Science*, 2020, **368**(6491): 638-642.
- [2] Son J Y, Fong K C, Heo S, *et al.* Reductions in mortality resulting from reduced air pollution levels due to COVID-19 mitigation measures[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **744**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141012.
- [3] Lian X B, Huang J P, Huang R J, *et al.* Impact of city lockdown on the air quality of COVID-19-hit of Wuhan city[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **742**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140556.
- [4] Collivignarelli M C, Abbà A, Bertanza G, *et al.* Lockdown for COVID-2019 in Milan; what are the effects on air quality? [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **732**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139280.
- [5] Wang S X, Zhao M, Xing J, *et al.* Quantifying the air pollutants emission reduction during the 2008 Olympic Games in Beijing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(7): 2490-2496.
- [6] Pei Z P, Han G, Ma X, *et al.* Response of major air pollutants to COVID-19 lockdowns in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **743**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140879.
- [7] Jain S, Sharma T. Social and travel lockdown impact considering coronavirus disease (COVID-19) on air quality in megacities of India; present benefits, future challenges and way forward [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2020, **20**(6): 1222-1236.
- [8] Lee J D, Drysdale W S, Finch D P, *et al.* UK surface NO_2 levels dropped by 42% during the COVID-19 lockdown: impact on surface O_3 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2020, **20**(24): 15743-15759.
- [9] Le T H, Wang Y, Liu L, *et al.* Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China[J]. *Science*, 2020, **369**(6504): 702-706.
- [10] 吴力波,任飞州,徐少丹. 新冠肺炎疫情防控一级响应对城市空气污染物减排的影响[J]. *环境经济研究*, 2020, **5**(3): 1-20.
- [11] Shi X Q, Brasseur G P. The response in air quality to the reduction of Chinese economic activities during the COVID-19 outbreak [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, **47**(11), doi: 10.1029/2020GL088070.
- [12] Shi Z B, Song C B, Liu B W, *et al.* Abrupt but smaller than expected changes in surface air quality attributable to COVID-19 lockdowns[J]. *Science Advances*, 2021, **7**(3), doi: 10.1126/sciadv.abd6696.
- [13] Huang X, Ding A J, Gao J, *et al.* Enhanced secondary pollution offset reduction of primary emissions during COVID-19 lockdown in China[J]. *National Science Review*, 2021, **8**(2), doi: 10.1093/nsr/nwaa137.
- [14] Sicard P, De Marco A, Agathokleous E, *et al.* Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **735**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139542.
- [15] Kerimray A, Baimatova N, Ibragimova O P, *et al.* Assessing air quality changes in large cities during COVID-19 lockdowns: the impacts of traffic-free urban conditions in Almaty, Kazakhstan [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **730**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139179.
- [16] 蒋永成,张晗昀,张伟,等. 基于地基遥感资料的厦门市污染边界层特征分析[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(2): 450-458.
- [17] Jiang Y C, Zhang H Y, Zhang W, *et al.* 2020. Analysis of urban boundary layer characteristics based on ground-based remote sensing data in Xiamen [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(2): 450-458.
- [18] Wang H, Lyu X P, Guo H, *et al.* Ozone pollution around a coastal region of South China Sea: interaction between marine and continental air [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, **18**(6): 4277-4295.
- [19] 王坚,黄屋,刘艳英,等. 厦门市船舶控制区大气污染物排放清单与污染特征 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(8): 3572-3580.
- [20] Wang J, Huang Z, Liu Y Y, *et al.* Vessels' air pollutant emissions inventory and emission characteristics in the Xiamen emission Control Area [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(8): 3572-3580.
- [21] 张子睿,刘哲,戴璐泓,等. 2017 年厦门金砖会晤期间气象因素与管控措施对空气质量的影响 [J]. *环境科学学报*, 2018, **38**(11): 4464-4471.
- [22] Zhang Z R, Liu Z, Dai L H, *et al.* The influence of meteorological factors and control measures on air quality during the 2017 Xiamen BRICS summit [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(11): 4464-4471.
- [23] 吴冬阳,庄马展,吴艳聪,等. 厦门市工业源 VOCs 排放清单及控制对策分析 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(12): 5336-5344.
- [24] Wu D Y, Zhuang M Z, Wu Y C, *et al.* Analysis of industrial VOCs emission inventory and countermeasures in Xiamen [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(12): 5336-5344.
- [25] Ding J, van der A R J, Eskes H J, *et al.* NO_x emissions reduction and rebound in China due to the COVID-19 crisis [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, **47**(19), doi: 10.1029/2020GL089912.

- [22] Ding J Y, Miyazaki K, van der A R J, *et al.* Intercomparison of NO_x emission inventories over East Asia [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, **17**(16): 10125-10141.
- [23] 周亚端, 朱宽广, 黄凡, 等. 新冠肺炎疫情期间湖北省大气污染物减排效果评估[J]. *环境科学与技术*, 2020, **43**(3): 228-236.
Zhou Y D, Zhu K G, Huang F, *et al.* Emission reductions and air quality improvements during the COVID-19 pandemic in Hubei Province [J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, **43**(3): 228-236.
- [24] 鲁斯唯, 胡清华, 吴水平, 等. 海峡西岸经济区大气污染物排放清单的初步估算[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(10): 2624-2634.
Lu S W, Hu Q H, Wu S P, *et al.* Establishment of air pollutant emission inventory in the west coast of Taiwan Strait [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(10): 2624-2634.
- [25] Chen H, Huo J T, Fu Q Y, *et al.* Impact of quarantine measures on chemical compositions of $\text{PM}_{2.5}$ during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **743**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140758.
- [26] DeCarlo P F, Ulbrich I M, Crounse J, *et al.* Investigation of the sources and processing of organic aerosol over the Central Mexican Plateau from aircraft measurements during MILAGRO [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(12): 5257-5280.
- [27] 严茹莎, 王红丽, 黄成, 等. 上海市夏季臭氧污染特征及削峰方案[J]. *环境科学*, 2021, **42**(8): 3577-3584.
Yan R S, Wang H L, Huang C, *et al.* Characteristics and control strategies on summertime peak ozone concentration in Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(8): 3577-3584.
- [28] Seinfeld J H, Pandis S N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change* (2nd ed.) [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 900-979.
- [29] 王旭东, 尹沙沙, 杨健, 等. 郑州市臭氧污染变化特征、气象影响及输送源分析[J]. *环境科学*, 2021, **42**(2): 604-615.
Wang X D, Yin S S, Yang J, *et al.* Characteristics, meteorological influences, and transport source of ozone pollution in Zhengzhou City [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(2): 604-615.



CONTENTS

Continuous PM _{2.5} Composition Measurements for Source Apportionment During Air Pollution Events	CAI Fan-tao, SHANG Yue, DAI Wei, <i>et al.</i>	(4575)
Orographic Influences on the Spatial Distribution of PM _{2.5} on the Fen-Wei Plain	HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, SUN Cong-jian, <i>et al.</i>	(4582)
Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Under Winter Haze Conditions in Central China: A Case Study of Huanggang, Hubei Province	LI Xing-yu, MAO Yao, CHEN Zhan-le, <i>et al.</i>	(4593)
Concentration and Reactivity of Carbonyl Compounds in the Atmosphere of North China	HUANG Yu, CHEN Xi, WANG Ying-hong, <i>et al.</i>	(4602)
Characteristics of O ₃ Pollution and Key Precursors in Chengdu During Spring	HAN Li, CHEN Jun-hui, JIANG Tao, <i>et al.</i>	(4611)
O ₃ Source Characteristics of an Industrial Area in the Yangtze River Delta Based on Boundary Observations	HUANG Qing, HUANG Yin-zhi, ZHANG Shan, <i>et al.</i>	(4621)
Characteristics and Source of VOCs During O ₃ Pollution Between August to September, Langfang Development Zones	ZHANG Jing-qiao, WANG Hong-liang, FANG Xiao-yun, <i>et al.</i>	(4632)
Coating-derived VOCs Emission Characteristics and Environmental Impacts from the Furniture Industry in Guangdong Province	ZENG Chun-ling, SHAO Xia, LIU Rui-yuan, <i>et al.</i>	(4641)
Response of Air Quality to COVID-19 Lockdown in Xiamen Bay	XU Chao, WU Shui-ping, LIU Yi-jing, <i>et al.</i>	(4650)
Similarities and Differences of Valley Winds in the Beijing Plain and Yanqing Areas and Its Impact on Pollution	WU Jin, LI Chen, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i>	(4660)
Characteristics of Atmospheric Particulate Matter Pollution and the Unique Wind and Underlying Surface Impact in the Twain-Hu Basin in Winter	ZHU Yan, ZHAO Tian-liang, BAI Yong-qing, <i>et al.</i>	(4669)
Conversion Characterizations of Sulfate Ion and Nitrate Ion in Particulate Matter from Coal-fired Power Plants	YANG Liu, HE Qing, SHENG Zhong-yi	(4678)
Water Chemical Characteristics and Influence of Exogenous Acids in the Yangtze River Basin	WANG Qi, YU Shi, JIANG Ping-ping, <i>et al.</i>	(4687)
Effects of Land Use on Nutrient Concentrations in the Inflow River of Lake Taihu, China	LIAN Xin-qiao, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i>	(4698)
Diversity of Zooplankton and Niche Characteristics of Keystone Species in the Weihe River Based on eDNA	LIANG Dong, XIA Jun, SONG Jin-xi, <i>et al.</i>	(4708)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk Assessment of Pharmaceutical and Personal Care Products in the Aquatic Environment of Sanya City, China	REN Bing-nan, GENG Jing	(4717)
Screening of Priority Pollutants and Risk Assessment for Surface Water from Shengjin Lake	GONG Xiong-hu, DING Qi-qi, JIN Miao, <i>et al.</i>	(4727)
Long-term Changes and Drivers of Ecological Security in Shahe Reservoir, China	YANG Wen-bin, DUAN Wen-xiu, CUI Yang, <i>et al.</i>	(4739)
Seasonal Variation and Influencing Factor Analysis of Antibiotic Resistance Genes in Water Supply Reservoirs of Central China	ZHANG Kai, XIN Rui, LI Kuang-jia, <i>et al.</i>	(4753)
Geochemical Characteristics and Driving Factors of NO ₃ -Type Groundwater in the Rapidly Urbanizing Pearl River Delta	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(4761)
Spatial Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Surface Water in the Yancheng Area	WANG Jian, ZHANG Hua-bing, XU Jun-li, <i>et al.</i>	(4772)
Identification of Dredging Depths Based on Sediment Vertical Distribution Profiles of Total Nitrogen and Total Phosphorus and Their Adsorption-desorption Equilibria	ZHOU Ya-ting, CHEN Xing-hong, LI Li-qing, <i>et al.</i>	(4781)
Role of Borate and Phosphate Buffers in the Degradation of Organic Compounds in a PMS/Co ²⁺ System: Influencing Factors and Mechanisms	WAN Qi-qi, CHEN Zhu-hao, CAO Rui-hua, <i>et al.</i>	(4789)
Degradation 2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl Ether by Activated Peroxymonosulfate Using Magnetic Biochar Supported α -MnO ₂	LI Xin, YIN Hua, LUO Hao-yu, <i>et al.</i>	(4798)
Characteristics and Mechanisms of Bacteriophage MS2 Inactivation in Water by UV Activated Sodium Persulfate	ZHANG Chong-miao, YANG Hao-ming, WANG Zhen	(4807)
Adsorption Characteristics of Phosphate on Cerium Modified Water Hyacinth Biochar	WANG Guang-ze, ZENG Wei, LI Shuai-shuai	(4815)
Removal Efficiency and Mechanism of Ammonia Nitrogen in a Low Temperature Groundwater Purification Process	LI Dong, LIU Meng-hao, ZHANG Rui-miao, <i>et al.</i>	(4826)
Speciation and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal(Ioid)s in the Municipal Sewage Sludge of China	GENG Yuan-meng, ZHANG Chuan-bing, ZHANG Yong, <i>et al.</i>	(4834)
Meta-analysis of Microbial Communities in the Activated Sludge of Wastewater Treatment Plants Under Different Climate Types	YANG Si-hang, QIN Ze-sheng, LIANG Man-chun	(4844)
Partial Nitrification and Anaerobic Ammonia Oxidation Synergistic Denitrification to Remove Nitrogen and Carbon from Domestic Sewage	QIN Yan-rong, YUAN Zhong-ling, ZHANG Ming, <i>et al.</i>	(4853)
Cultivation and Performance Analysis of Simultaneous Partial Nitrification, ANAMMOX, and Denitrification Granular Sludge	ZHOU Feng, LIU Yong-di, LI Wei	(4864)
Application of Various Methods to Extract Microplastic from Typical Soils in China	ZHAO Xiao-li, LIU Zi-han, CONG Chen-yu, <i>et al.</i>	(4872)
Evaluation and Sources of Heavy Metal Pollution in the Surface Soil of the Qaidam Basin	CHEN Liang, ZHANG Xi-ying, TANG Qi-liang, <i>et al.</i>	(4880)
Content and Ecological Risks of Heavy Metals in Soil with Different Land Uses in a Rapidly Urbanizing Area	LI Meng-ting, SHEN Cheng, WU Jian, <i>et al.</i>	(4889)
Selenium Geochemical Characteristics and Influencing Factors of Paddy Fields in Du'an County, Guangxi	LIU Fei, YANG Ke, XU Ren-ting, <i>et al.</i>	(4897)
Carbonized Apple Branches Decrease the Accumulation and Damage of Cadmium on Apple Rootstock by Reducing DTPA-Cd in Soil	DENG Bo, XUN Mi, ZHANG Wei-wei, <i>et al.</i>	(4908)
Accumulation and Health Risk of Heavy Metals in Cereals, Vegetables, and Fruits of Intensive Plantations in Hainan Province	YANG Jian-zhou, WANG Zhen-liang, GAO Jian-weng, <i>et al.</i>	(4916)
Correlation Analysis among Environmental Antibiotic Resistance Genes Abundance, Antibiotics Concentrations, and Heavy Metals Concentrations Based on Web of Science Searches	MIAO Sun, CHEN Lei, ZUO Jian-e	(4925)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics in Farmland Soil in Yinchuan	ZHANG Xiao-hong, TAO Hong, WANG Ya-juan, <i>et al.</i>	(4933)
Effect of Manure from Different Sources on the Leaching of Antibiotics in Soil	LI Bin-xu, ZHU Chang-xiong, SONG Ting-ting, <i>et al.</i>	(4942)
Analysis of the Traits of Nitrogen Metabolism Pathways for Several Forest Soils in Eastern China	LÜ Xue-li, ZHAO Yong-peng, LIN Qing-huo, <i>et al.</i>	(4951)
Denitrification Rates and <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria Community Structure Characteristics of Bulk and Rhizosphere Soil in Spring and Summer in the Alpine Wetlands of the Qinghai-Tibet Plateau	LI Yu-qian, MA Jun-wei, GAO Chao, <i>et al.</i>	(4959)
Microbial Community Structure of Soil Methanogens and Methanotrophs During Degradation and Restoration of Reed Wetlands in the Songnen Plain	WANG Qiu-ying, WANG Na, LIU Ying, <i>et al.</i>	(4968)
Characteristics of Bacterial Community Structure in Fluvo-aquic Soil Under Different Rotation Fallow	NAN Zhen-wu, LIU Zhu, DAI Hong-cui, <i>et al.</i>	(4977)
Response of Photosynthetic Bacterial Community to Cadmium Contamination in Paddy Soil	LUO Lu-yun, JIN De-cai, WANG Dian-dong, <i>et al.</i>	(4988)
Community Distribution of the Rhizospheric and Endophytic Bacteria of <i>Phragmites australis</i> and Their Limiting Factors in Iron Tailings	CAO Man-man, WANG Fei, ZHOU Bei-hai, <i>et al.</i>	(4998)
Effects of Combination of Organic and Inorganic Nitrogen on Nitrification and Denitrification in Two Salinized Soils	ZHOU Hui, SHI Hai-bin, ZHANG Wen-cong, <i>et al.</i>	(5010)
Response of Yield, CH ₄ , and N ₂ O Emissions from Paddy Fields to Long-term Elevated CO ₂ Concentrations	YU Hai-yang, SONG Kai-fu, HUANG Qiong, <i>et al.</i>	(5021)
Effects of Feedstock Material and Pyrolysis Temperature on Dissolved Organic Matter in Biochars	YAN Dai-hong, MA Ya-pei, SONG Kai-yue, <i>et al.</i>	(5030)
Spatiotemporal Variations in Atmospheric Urban Heat Island Effects and Their Driving Factors in 84 Major Chinese Cities	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei	(5037)
Research Progress in the Odorants and Their Emissions from Indoor Building Decoration Materials	ZHANG Wan-zhong, ZHANG Peng-yi	(5046)