

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

冠状病毒气溶胶传播及环境影响因素

李雪, 蒋靖坤, 王东滨, 邓建国, 贺克斌, 郝吉明



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年7月

第42卷 第7期
Vol.42 No.7

目次

冠状病毒气溶胶传播及环境影响因素	李雪, 蒋靖坤, 王东滨, 邓建国, 贺克斌, 郝吉明 (3091)
新冠肺炎疫情期间气象条件和排放变化对 PM _{2.5} 的影响	逯世泽, 史旭荣, 薛文博, 雷宇, 严刚 (3099)
基于网格的长三角 PM _{2.5} 分布影响因素及交互效应	黄小刚, 赵景波, 辛未冬 (3107)
ARIMA 时间序列分析模型在臭氧浓度中长期预报中的应用	李颖若, 韩婷婷, 汪君霞, 权维俊, 何迪, 焦热光, 吴进, 郭恒, 马志强 (3118)
中国长三角背景点冬季大气棕碳污染特征及来源解析	赵宇, 吴灿, 王益倩, 陈玉宝, 吕少君, 汪芳琳, 杜伟, 刘仕杰, 李志健, 王格慧 (3127)
四川盆地 PM _{2.5} 浓度时空变化特征遥感监测与影响因子分析	李梦真, 张廷斌, 易桂花, 秦岩宾, 李景吉, 刘贤, 蒋杰 (3136)
河网连续动态模型构建及其在典型杀虫剂时空迁移模拟中的应用	邢成, 张芊芊, 蔡雅雅, 烟晓婷, 应光国 (3147)
九龙江流域河流氮输出对土地利用模式和水文状况的响应	黄亚玲, 黄金良 (3156)
滇池近岸水体微塑料污染与富营养化的相关性	袁海英, 侯磊, 梁启斌, 李佳琛, 任甲 (3166)
白洋淀夏季入淀区沉积物间隙水-上覆水水质特征及交换通量分析	张甜娜, 周石磊, 陈召莹, 张紫薇, 孙悦, 姚波, 崔建升, 李再兴, 罗晓 (3176)
镇江市古运河和金山湖河湖上覆水体和沉积物氮及有机质分布特征及污染评价	原璐彬, 邢书语, 刘鑫, 周晓红, Adelaide Angela Dadzie (3186)
洪湖国际重要湿地沉积物磷空间分布特征及释放风险	刘永九, 黄素珍, 张璐, 彭雪, 张心怡, 葛芳杰, 刘碧云, 吴振斌 (3198)
苏州古城区域河道底泥的重金属污染分布及生态风险评价	白冬锐, 张涛, 包峻松, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 金军, 杨婷 (3206)
武汉集中式饮用水源地土壤重金属的时空分布特征及生态风险评价	朱静, 侯耀宗, 邹书成, 曹梦华, 涂书新 (3215)
升金湖河湖交汇区地表-地下水水化学特征及成因分析	崔玉环, 王杰, 刘友存, 郝洸, 高祥 (3223)
青岛市农区地下水硝态氮污染来源解析	寇馨月, 丁军军, 李玉中, 毛丽丽, 李巧珍, 徐春英, 郑欠, 庄姗 (3232)
三峡库区支流浮游植物群落稳定性及其驱动因子分析	何书晗, 欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 施军琼, 吴忠兴 (3242)
哈尔滨城市河网丰水期浮游植物群落分布特征及驱动因子	路枫, 李磊, 齐青松, 陆欣鑫, 刘妍, 范亚文 (3253)
湖泊沉积物中微生物群落对天然有机质输入的响应	居琪, 章奇, 曹驰程, 白雷雷, 张晖 (3263)
补给水质与社会活动对白洋淀湿地微生物的影响特征	赵志瑞, 吴会清, 毕玉方, 展庆周, 吴海森, 袁凯悦, 孟祥源, 李方红 (3272)
蓝藻衰亡过程中上覆水溶解性有机物变化特征	李翔, 李致春, 汪旋, 张思远, 王慧敏, 厉荣强, 王国祥, 李启蒙 (3281)
长江下游快速城市化地区水污染特征及源解析:以秦淮河流域为例	马小雪, 龚畅, 郭加汛, 王腊春, 徐蕴韵, 赵春发 (3291)
长江下游居民区降水地表径流的污染特征	郭文景, 张志勇, 闻学政, 张瀚文, 王岩 (3304)
潮河流域降雨径流事件污染物输出特征	包鑫, 江燕, 胡羽聪 (3316)
不透水地表粗糙度对城市面源颗粒物的累积和冲刷影响	单溪环, 谢文霞, 廖云杰, 房志达, 杨晓晶, 苏静君, 赵洪涛, 李叙勇 (3328)
基于概率方法的中国居民饮水途径暴露健康风险评估	秦宁, 刘运炜, 侯荣, 王彩云, 王贝贝, 段小丽 (3338)
蛋白类有机质在水厂各处理单元中的去除特性	李梦雅, 宋钰莹, 张晓岚, 黄海鸣 (3348)
污水处理厂不同单元工艺水中重金属及其纳米颗粒的分布	王杜珈, 何帅, 周小霞 (3358)
基于宏基因组技术分析 MBR 膜清洗后污泥中抗性基因	杜彩丽, 李中涵, 李晓光, 张列宇, 陈素华, 黎佳茜, 李曹乐 (3366)
石化废水处理厂中耐药菌和耐药基因的分布特征与去除效能解析	唐振平, 肖莎莎, 段毅, 刘迎九, 高媛媛, 吴月月, 陈怡雯, 周帅 (3375)
一段式亚硝化厌氧氨氧化 SMBBR 处理中低浓度氨氮废水	吕恺, 邵贤明, 王康舟, 姚雪薇, 彭党聪, 韩芸 (3385)
外加固体缓释碳源的两段反硝化工艺脱氮性能	唐义, 马懿文, 王金泉, 王艳, 叶刚 (3392)
臭氧投量对 SBR 系统污泥沉降性能及脱氮除磷的影响	吕永涛, 朱传首, 张旭阳, 徐超, 潘永宝, 刘爽, 崔双科, 王磊 (3400)
间歇梯度曝气下首段延时厌氧强化好氧颗粒污泥脱氮除磷	张玉君, 李冬, 王歆鑫, 张富国, 张杰 (3405)
提盐速率对序批式生物反应器性能和微生物群落结构的影响	古铂铭, 金春姬, 温淳, 侯金源, 赵阳国, 高孟春 (3413)
低温驯化对自养脱氮颗粒污泥功能活性与菌群结构的影响分析	钱飞跃, 刘雨馨, 王建芳, 刘文如 (3422)
矿渣基改性剂对城市污泥重金属稳定化	张发文, 董明坤, 陈辰慧, 赵长民 (3430)
2000~2018 年长三角土地利用变化对农田生态系统氮排放的影响	王文锦, 王卿, 朱安生, 黄凌, 顾莹, 王杨君, 王敏, 李莉 (3442)
麦秸水热炭及其改良产物对水稻产量和稻田氮挥发排放的影响	韩晨, 侯朋福, 薛利红, 冯彦房, 余姗, 杨林章 (3451)
水肥管理对热带地区双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	李金秋, 邵晓辉, 缙广林, 邓艺欣, 谭诗敏, 徐文娟, 杨秋, 刘文杰, 伍延正, 孟磊, 汤水荣 (3458)
耐盐碱水稻土壤产甲烷菌群落特征及产甲烷途径	杨雨虹, 贺惠, 米铁柱, 刘玥腾, 刘佳音, 张国栋, 李明月, 甄毓 (3472)
铁碳微电解填料对人工湿地温室气体排放的影响	赵仲婧, 郝庆菊, 涂婷婷, 胡曼利, 张尧钰, 江长胜 (3482)
农地土壤重金属 Pb 和 Cd 有效性测定方法的筛选与评价	陈莹, 刘汉燚, 刘娜, 蒋珍茂, 魏世强 (3494)
亚热带高山森林土壤典型重金属的空间分布格局及其影响因素:以云南哀牢山为例	刘旭, 王训, 王定勇 (3507)
深圳市不同土类的重金属环境背景值与理化性质特征	林挺, 赵述华, 郝秀平, 杨坤, 吴静雅, 朱艳, 罗飞 (3518)
同步钝化土壤 Cd 和 As 材料的筛选	周嗣江, 刘针延, 熊双莲, 马烁, 黄倚豪, 雷寅, 曹梦华, 涂书新 (3527)
两种铁基材料对污染农田土壤砷、铅、镉的钝化修复	袁峰, 唐先进, 吴骥子, 赵科理, 叶正钱 (3535)
青藏高原东缘冻土中有机磷酸酯的污染特征	刘丽娅, 印红玲, 蹇林洁, 徐子文, 熊远明, 罗怡, 刘小雯, 徐维新 (3549)
成都平原氮磷化肥施用强度空间分布及影响因素分析	刘奇鑫, 王昌全, 李冰, 赵海岚, 方红艳, 邓茜, 李启权 (3555)
土壤中溶解性有机质对不同类型堆肥的响应差异	席北斗, 王燕, 檀文炳, 余红, 崔东宇, 程东会, 党秋玲 (3565)
《环境科学》征订启事 (3315)	
《环境科学》征稿简则 (3357)	
信息 (3391, 3441, 3564)	

新冠肺炎疫情期间气象条件和排放变化对 PM_{2.5} 的影响

逯世泽¹, 史旭荣², 薛文博^{2,3*}, 雷宇², 严刚²

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 生态环境部环境规划院, 空气质量模拟与系统分析中心, 北京 100012; 3. 生态环境部环境规划院, 国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012)

摘要: 本文基于 WRF-CMAQ 定量分析了 2020 年 1~3 月全国 337 城市气象条件和排放变化对 PM_{2.5} 浓度的影响. 全国气象条件整体转好 1.7%, 1 月转差 1.6%, 2~3 月分别偏有利 1.3% 和 7.9%; 全国污染物排放下降使得 PM_{2.5} 浓度同比下降 14.1%, 1~3 月分别下降 4.0%、25.7% 和 15.0%. 武汉第一季度实测 PM_{2.5} 浓度同比降幅高于全国水平, 与其气象条件大幅转好且污染排放降幅较大有关. 北京在疫情发生前和严控期 PM_{2.5} 浓度同比升高, 主要为气象转差所致; 复工复产期同比下降, 主要为污染排放大幅下降所致. “2+26” 城市、汾渭平原和长三角在第一季度 PM_{2.5} 浓度同比均下降, 长三角降幅最大, 与其污染排放大幅下降有关; “2+26” 城市和汾渭平原在疫情发生前气象条件大幅转差, 严控期大幅转好, 长三角在复工复产期气象条件最有利; 重点区域均为疫情严控期污染排放降幅最高, 复工复产期降幅趋缓.

关键词: 新冠肺炎疫情期间; WRF-CMAQ 模型; PM_{2.5}; 气象定量影响; 排放定量影响

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)07-3099-08 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202011016

Impacts of Meteorology and Emission Variations on PM_{2.5} Concentration Throughout the Country During the 2020 Epidemic Period

LU Shi-ze¹, SHI Xu-rong², XUE Wen-bo^{2,3*}, LEI Yu², YAN Gang²

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Center of Air Modeling and Systems Analysis, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: This study analyzed the impacts of meteorological conditions and changes in air pollutant emissions on PM_{2.5} across the country during the first quarter of 2020 based on the WRF-CMAQ model. Results showed that the variations in meteorological conditions led to a national PM_{2.5} concentration decreased of 1.7% from 2020-01 to 2020-03, whereas it increased by 1.6% in January and decreased by 1.3% and 7.9% in February and March, respectively. The reduction of pollutants emissions led to a decrease of 14.1% in national PM_{2.5} concentration during the first quarter of 2020 and a decrease of 4.0%, 25.7%, and 15.0% in January, February, and March, respectively. Compared to the same period last year, the PM_{2.5} concentration measured in Wuhan City decreased more than in the entire country. This was caused by improved meteorological conditions and a higher reduction of pollutant emissions in Wuhan City. PM_{2.5} in Beijing increased annually before the epidemic outbreak and during the strict control period, mainly due to unfavorable meteorological conditions. However, the decrease in PM_{2.5} in Beijing compared to March 2019 was closely related to the substantial reduction of emissions. The measured PM_{2.5} in the “2+26” cities, the Fenwei Plain and the Yangtze River Delta (YRD) decreased during the first quarter of 2020, with the largest drop occurring in the Yangtze River Delta due to higher YRD emissions reductions. The meteorological conditions of “2+26” cities and Fenwei Plain were unfavorable before the epidemic outbreak and greatly improved during the strict control period, whereas the Yangtze River Delta had the most favorable meteorological conditions in March. The decrease in PM_{2.5} concentration caused by the reduction of pollutant emissions in the three key areas was highest during the strict control period.

Key words: COVID-19 epidemic; WRF-CMAQ model; PM_{2.5}; meteorological condition; pollutant emission

为应对新冠肺炎疫情 (COVID-19), 我国政府迅即采取强有力的防控措施. 2020 年 1 月 23 日武汉“封城”, 随后几天, 全国多省市陆续启动重大突发公共卫生事件一级响应. 由于采取科学有力的应对措施, 疫情于 3 月底显著缓解 (<http://www.nhc.gov.cn/>), 大部分地区陆续复工复产. 在此次疫情期间, 人口流动、社会生产活动及污染物排放大幅下降^[1], 但在中国东部地区仍出现了几次重污染过程^[2]. “较低活动水平”和“较高污染水平”之间的矛盾受到社会各界广泛关注. PM_{2.5} 浓度变化由气象条件、污染源排放、污染构成、物理传输和化学生

成等共同决定^[3~6]. Huang 等^[2]的研究表明疫情期间中国东部地区重污染过程主要与二次生成有关: NO_x 大幅下降使得 O₃ 和夜间 NO₃ 自由基浓度升高, 导致大气氧化性增强, 从而促进了二次无机和有机颗粒物生成. 除二次生成外, 不利气象条件也会在一定程度上抵消污染减排的效果, 因此定量气象

收稿日期: 2020-11-02; 修订日期: 2021-01-14

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0207502); 国家自然科学基金重大研究计划集成项目 (91846301)

作者简介: 逯世泽 (1976~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气污染防治, E-mail: lusz19@mails.tsinghua.edu.cn

* 通信作者, E-mail: xuewb@caep.org.cn

条件和污染排放变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响具有重要意义。

目前已有更多关于气象条件对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度影响的研究^[7~12]。任鹏杰等^[7]探讨了偏东风输送对关中地区冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 重污染的影响; Xu 等^[11]定量分析了中国冬季气象条件变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响。关于污染排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响方面^[13~16], 吴文景等^[13]探讨了京津冀地区主要排放源减排对区域 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的改善效果。薛文博等^[15]针对 2020 年春节疫情期间京津冀及周边“2+26”城市开展了气象条件和排放变化对重污染过程影响的研究, 但研究的空间尺度较小, 时间尺度较短, 未从全国尺度开展新冠疫情不同阶段“气象条件-污染排放变化”对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响研究。

本研究利用 WRF-CMAQ 模型^[17~20], 定量分析了全国 337 城市、重点区域 2020 年新冠疫情不同阶段气象条件和污染排放变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响。依据疫情的发展进程, 本研究中用 1 月指示疫情发生前、2 月指示疫情严控期和 3 月指示复工复产期。由于污染排放变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响难以直接量化, 本研究结合观测的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和气象影响贡献, 并考虑气象和排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的交互影响, 综合推测排放量变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响。

1 材料与方法

本研究模型模拟范围涵盖中国大陆(暂不包括中国香港、澳门和台湾) 31 个省份(直辖市、自治区) 337 个主要城市。重点区域包括京津冀及周边“2+26”城市、长三角和汾渭平原这 3 个地区。

1.1 数据来源

1.1.1 排放清单

CMAQ 模型所需排放清单的化学物种主要包括 SO_2 、 NO_x 、颗粒物(PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及其组分)、 NH_3 和 VOCs(含多种化学组分)等多种污染物。 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、BC、OC、 NH_3 和 VOCs(含主要组分)等人为源排放数据均采用 2017 年 MEIC 排放清单^[21](<http://www.meicmodel.org>)。生物源 VOCs 排放清单利用 MEGAN 天然源排放清单模型计算^[22]。

1.1.2 空气质量监测数据

空气质量监测数据来自中华人民共和国生态环境部数据中心, 包括京津冀及周边“2+26”城市、汾渭平原和长三角重点区域 2019 年 1~3 月和 2020 年 1~3 月实际观测的 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度。

1.2 模型设置

1.2.1 模拟时段

模拟时段为 2019 年和 2020 年第一季度, 结果

输出时间间隔为 1 h。

1.2.2 模拟区域

CMAQ 模型采用 Lambert 投影坐标系, 中心点经度为 103°E , 中心纬度为 37°N , 两条平行纬度分别为 25°N 和 40°N 。水平模拟范围为 X 方向($-2\,690 \sim 2\,690\text{ km}$)和 Y 方向($-2\,150 \sim 2\,150\text{ km}$), 网格间距 20 km, 共将全国划分为 270×216 个网格。垂直方向共设置 14 个气压层, 层间距自下而上逐渐增大。

1.2.3 气象模拟

CMAQ 模型所需要的气象场由中尺度气象模型 WRF 提供, WRF 模型与 CMAQ 模型采用相同的模拟时段和空间投影坐标系, 垂直方向共设置 35 个气压层, 层间距自下而上逐渐增大。WRF 模型的初始场与边界场数据采用美国国家环境预报中心(NCEP)提供的 6 h 一次、 1° 分辨率的 FNL 全球分析资料^[23], 每日对初始场进行初始化, 每次模拟时长为 30 h, Spin-up 时间设置为 6 h, 并利用 NCEP ADP 观测资料^[23]进行客观分析与资料同化。

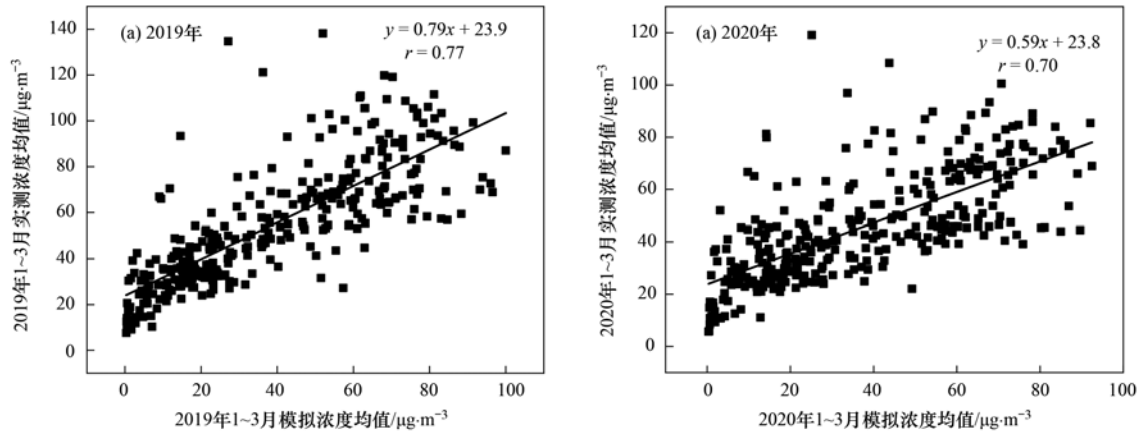
1.2.4 模型参数

WRF 模型和 CMAQ 模型参数设置参考文献[24~26]。

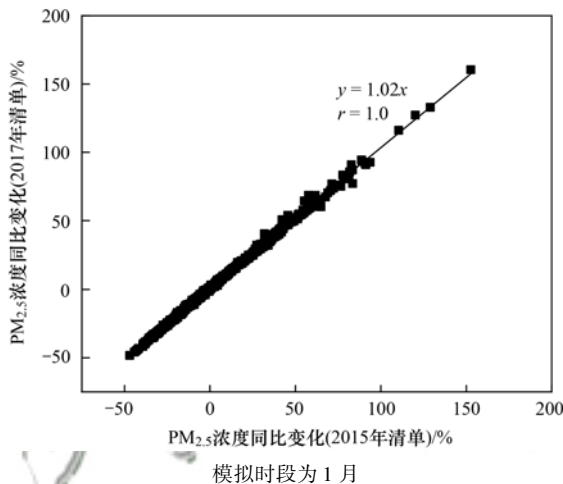
1.2.5 模拟结果验证

(1)模型验证 为验证模型模拟准确性, 本研究比对了 2019 年和 2020 年第一季度的模型模拟值和实测值(图 1)。文献[27]中规定, 对于欧拉网格模型, 以标准化平均偏差(NMB)、标准化平均误差(NME)以及相关系数(R)来判断结果准确性, $\text{PM}_{2.5}$ 模拟准确性的评价标准为: $-50\% < \text{NMB} < 80\%$ 、 $\text{NME} < 150\%$ 和 $R^2 > 0.3$ 。本次模拟中样本数 n 为 337, 2019 年和 2020 年第一季度模拟值与观测值的相关性分别为 0.77 和 0.70; 标准化平均偏差 NMB 分别为 -30% 和 -18% ; 标准化平均误差 NME 分别为 35% 和 33%。结果表明模型模拟较为合理。

(2)敏感性验证 利用 WRF 模型模拟 2019 年和 2020 年的气象场, 固定排放清单, 利用 CMAQ 模型模拟单纯气象条件变化对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响。为探讨排放清单不确定性对模型模拟结果的影响, 本研究进行了两次模拟, 分别固定使用了 2017 年和 2015 年排放清单, 结果显示两种清单模拟下气象条件变化(2020 年相对于 2019 年)导致的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度同比变化结果相关性很好(图 2), 表明排放清单的选择对定量气象变化导致的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度同比变化几乎没有影响, 因此“固定排放清单, 改变气象条件”

图1 PM_{2.5}模拟浓度与监测浓度相关性Fig. 1 Correlation between modeled and observed PM_{2.5} concentration

敏感性模拟方法,可以显著消除排放清单产生的影响,从而来定量气象条件变化所产生的影响。

图2 固定不同排放清单下的气象变化导致的 PM_{2.5} 浓度同比变化Fig. 2 Variation of PM_{2.5} concentration caused by meteorological conditions under different fixed emission inventories

1.3 气象条件变化对 PM_{2.5} 定量影响分析方法

采用“固定排放清单,改变气象条件”的敏感性模拟方法,利用 WRF 模型模拟 2019 年和 2020 年气象场,固定使用 2017 年 MEIC 清单,则模拟 PM_{2.5} 浓度的变化只与气象条件变化有关,从而定量评估 2020 年第一季度单纯气象条件变化导致的 PM_{2.5} 浓度同比变化,方法如下^[11]:

$$\eta_1 = \frac{c'_{2020} - c'_{2019}}{c'_{2019}} \quad (1)$$

式中, c'_{2020} 为 2020 年模拟 PM_{2.5} 浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), c'_{2019} 为 2019 年模拟 PM_{2.5} 浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), η_1 为气象影响下的 PM_{2.5} 浓度同比变化,其正值表示气象条件转差,负值表示气象条件较好。

1.4 排放变化对 PM_{2.5} 定量影响分析方法

污染源排放变化对 PM_{2.5} 产生的影响难以直接

定量模拟,但是可以通过监测 PM_{2.5} 浓度和气象条件变化对 PM_{2.5} 产生的定量影响进行推断,方法如下:

$$c_{2020} = c_{2019} \times (1 + \eta_3) \quad (2)$$

$$c_{2020} = c_{2019} \times (1 + \eta_1) \times (1 + \eta_2) \quad (3)$$

由公式(2)和公式(3)可得:

$$\eta_3 = \eta_1 + \eta_2 + \eta_1\eta_2 \quad (4)$$

式中, c_{2020} 为 2020 年实测 PM_{2.5} 浓度, c_{2019} 为 2019 年实测 PM_{2.5} 浓度, η_1 为气象影响下的 PM_{2.5} 浓度同比变化, η_2 为排放影响下的 PM_{2.5} 浓度同比变化, η_3 为实测 PM_{2.5} 浓度同比变化。该方法考虑了气象影响、污染排放影响和气象-污染排放交互影响作用,计算获得的排放变化对 PM_{2.5} 浓度定量影响结果更加合理准确。

2 结果与讨论

2.1 PM_{2.5} 浓度变化特征

全国 337 城市 2020 年第一季度实测 PM_{2.5} 浓度为 $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 同比下降 15.6%, 疫情发生前、疫情严控期和复工复产期 PM_{2.5} 浓度分别同比下降 2.4%、26.7% 和 21.7%, 复工复产期降幅趋缓。湖北省第一季度实测 PM_{2.5} 浓度同比降幅均值显著高于全国平均水平, 1~3 月降幅分别为 36.6%、38.3% 和 14.8%, 疫情发生前和严控期降幅最大, 3 月同比降幅趋缓。武汉市同比降幅又高于湖北省平均水平, 1~3 月降幅分别为 36.5%、41.1% 和 29.2%。北京市 PM_{2.5} 浓度变化情况则显著不同, 第一季度 PM_{2.5} 浓度基本与去年同期持平, 但疫情发生前和疫情严控期(1 月和 2 月)同比升高, 复工复产期同比下降 33.4%。PM_{2.5} 浓度受到气象条件和污染物排放的共同影响, 因此本研究从气象条件和污染排放变化角度定量探讨 PM_{2.5} 实测浓度同比变化的原因。

2.2 气象和排放变化对全国 $PM_{2.5}$ 浓度的影响

从气象角度看:① 2020 年第一季度全国(暂不包括港澳台)31 个省份 337 个城市气象条件整体基本持平,同比偏有利 1.7%,1 月因冷空气偏弱,同比稍偏差 1.6%,2 月和 3 月分别偏有利 1.3% 和 7.9%;② 从地区和省市角度来看,第一季度东北地区、华北地区(除天津外)、西藏、上海、浙江和福建的气象条件同比转差;北京市气象条件同比转差约 18.4%,1~3 月分别同比转差 25.2%、20.4% 和 3.7%;③ 湖北省第一季度整体气象条件同比转好约 9.7%,1~2 月分别转好约 15.0% 和 8.5%,3 月气象条件与去年同期基本持平.武汉市气象条件转好约 12.0%,1~3 月分别转好约 18.7%、2.7% 和 10.7%.

从污染物排放角度看:① 全国 2020 年第一季度污染物排放量下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 14.1%,1、2 和 3 月同比下降分别为 4.0%、25.7% 和 15.0%,疫情严控期污染物排放量下降幅度最大,与严控期社会生产活动大幅下降有关,复工复产期污染排放下降幅度趋缓;② 北京市第一季度污染排放下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 16.1%,1~3 月同比下降分别为 9.3%、2.5% 和 35.8%. 与全国整体情况不同,北京市在疫情严控期污染物排放量下降幅度最低,低于疫情发生前污染物排放量下降幅度,但在复工复产期排放量下降幅度大幅升高;③ 湖北省在第一季度污染物排放量下降幅度整体高于全国平均水平,其中武汉市污染物排放量下降幅度更大,与疫情期间在武汉市实施的最严的防控措施有关. 与疫情不同发展阶段全国的污染物排放量变化情况一致,均为疫情严控期污染排放大幅下降,复工复产期污染排放量下降幅度趋缓. 具体为湖北省第一季度污染排放下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 25.5%,1~3 月同比下降分别为 25.4%、32.6% 和 14.0%. 武汉市第一季度污染排放下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降约 27.5%,1~3 月同比下降分别为 21.9%、39.4% 和 20.6%.

综合气象条件和污染物排放量变化的分析结果表明:① 全国实测 $PM_{2.5}$ 浓度在不同疫情发展阶段的同比变化情况主要取决于污染物排放量的变化;② 北京 1~2 月气象条件同比显著转差导致疫情发生前和疫情严控期 $PM_{2.5}$ 浓度同比上升;复工复产期 $PM_{2.5}$ 浓度同比大幅下降主要因为污染物排放量下降幅度较大;③ 湖北和武汉 1~3 月气象条件整体转好,疫情严控期 $PM_{2.5}$ 同比大幅下降主要因为污染物排放量大幅下降. 武汉复工复产期 $PM_{2.5}$ 浓度降幅趋缓主要因为污染排放降幅趋缓.

2.3 气象和排放变化对重点区域 $PM_{2.5}$ 浓度的影响

2.3.1 京津冀及周边“2+26”城市

“2+26”城市 2020 年第一季度实测 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 16.7%,疫情发生前同比上升 9.6%,疫情严控期和复工复产期分别同比下降 42.8% 和 17.1%. 从气象影响来看,第一季度气象条件与去年基本持平;疫情发生前气象条件转差使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比上升 17.8%;疫情严控期和复工复产期气象条件转好使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比分别下降约 11.9% 和 8.9%. 从污染物排放来看,2020 年第一季度排放下降导致 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 17.1%,疫情发生前、疫情严控期和复工复产期排放下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比分别下降约 7.0%、35.1% 和 9.1%,严控期排放量大幅下降与社会经济活动水平大幅下降有关. 综合气象条件和排放变化分析,“2+26”城市疫情发生前实测 $PM_{2.5}$ 浓度同比上升主要为气象条件显著转差所致(图 3 和表 1).

从城市角度看,第一季度“2+26”城市中有 12 个城市气象条件整体同比转差,包括位于太行山脉以西的太原和阳泉,其他城市主要位于西南传输通道. 从污染排放来看,除济宁市外,其他“2+26”城市第一季度整体上污染物排放量均同比下降(图 3 和表 1).

表 1 “2+26”城市污染物排放和气象条件变化影响下的 $PM_{2.5}$ 浓度同比/%

Table 1 Effects of pollutants' emissions and meteorological changes on $PM_{2.5}$ in “2+26” cities/%

指标	1 月	2 月	3 月	1~3 月
实测 $PM_{2.5}$ 浓度同比	9.55	-42.80	-17.13	-16.71
气象影响 $PM_{2.5}$ 浓度同比	17.75	-11.94	-8.88	0.46
排放影响 $PM_{2.5}$ 浓度同比	-6.97	-35.05	-9.06	-17.09

2.3.2 汾渭平原

汾渭平原第一季度实测 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 19.7%,疫情发生前、严控期和复工复产期分别同比下降 7.3%、39.3% 和 8.7%(图 4). 从气象影响来看,第一季度气象条件同比转好 4.5%;疫情发生前气象条件同比转差 14.5%;严控期和复工复产期气象条件转好使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降约 22.6% 和 4.9%. 从污染物排放来看,第一季度排放下降导致 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降约 15.9%,疫情发生前、严控期和复工复产期排放下降使得 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降 19.0%、21.7% 和 4.0%. 疫情发生前排放量下降抵消了气象条件不利带来的影响,使得实测 $PM_{2.5}$ 浓度同比下降. 疫情严控期气象条件最为有利且污染排放降幅最大. 复工复产期污染排放降幅趋缓,与社会生产活动逐步恢复有关(图 4 和表 2).

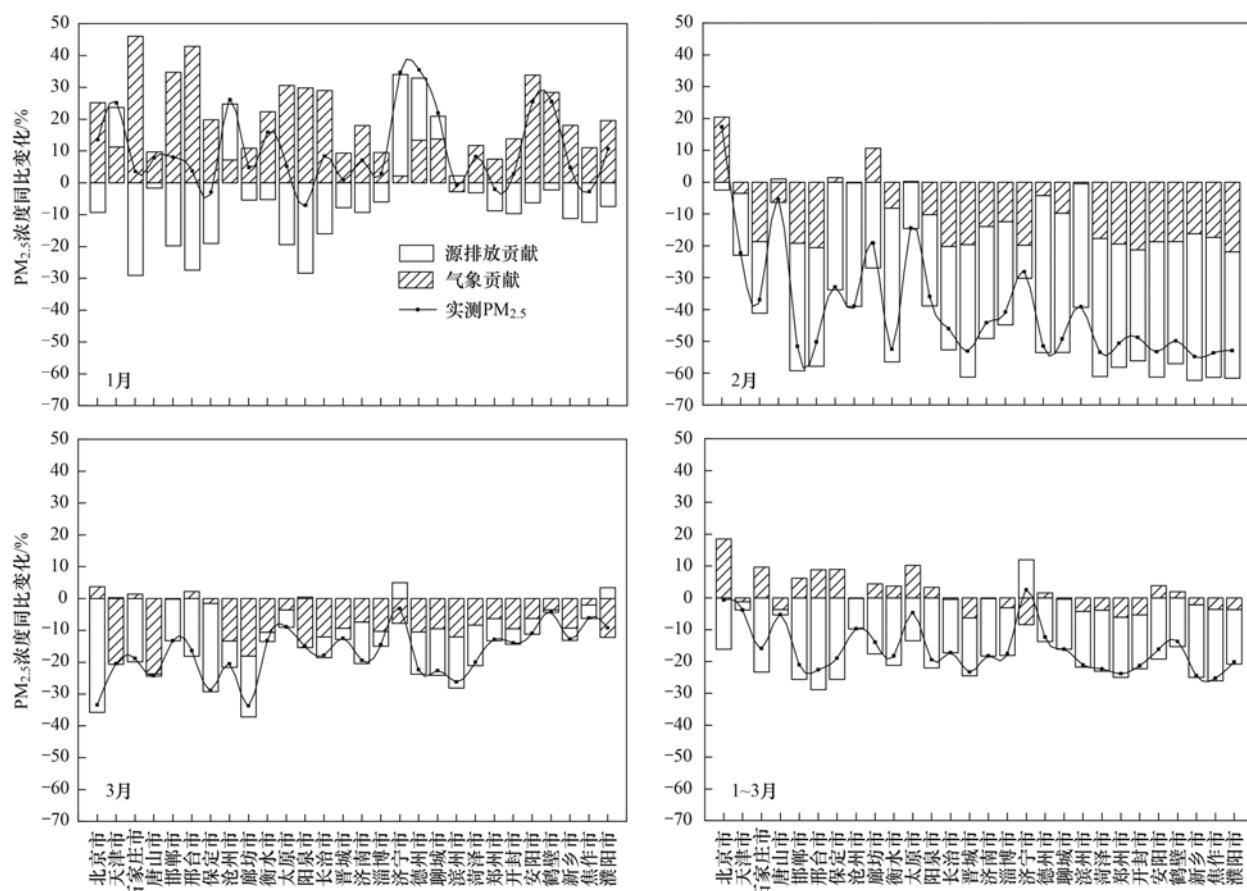
图3 “2+26”城市污染源排放和气象条件变化影响下的PM_{2.5}浓度同比

Fig. 3 Quantitative impact of pollutant' emissions and meteorological conditions on PM_{2.5} concentration of "2 + 26" cities

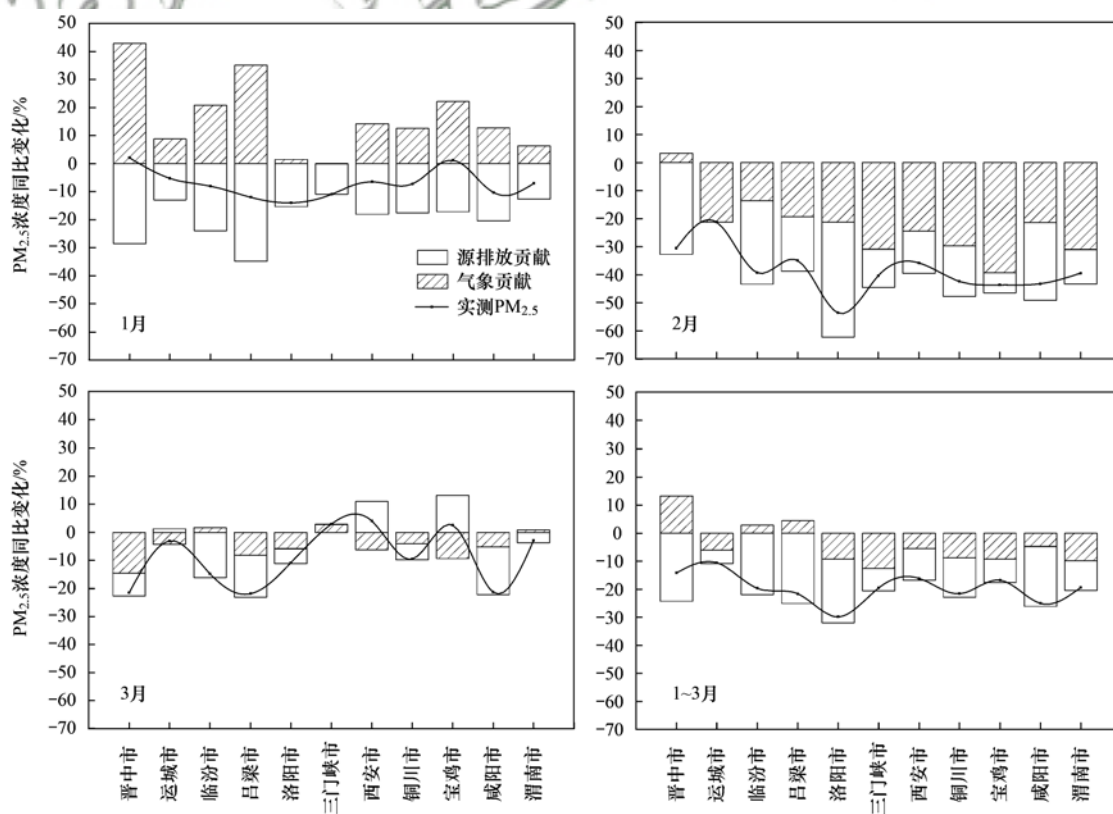
图4 汾渭平原污染源排放和气象条件变化影响下的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度同比

Fig. 4 Quantitative impact of pollutant' emissions and meteorological conditions on $PM_{2.5}$ concentration of Fenwei Plain

表2 汾渭平原污染物排放和气象变化影响下的
PM_{2.5}浓度同比/%

Table 2 Effects of pollutants' emissions and meteorological
changes on PM_{2.5} in Fenwei Plain/%

指标	1月	2月	3月	1~3月
实测 PM _{2.5} 浓度同比	-7.34	-39.32	-8.70	-19.72
气象影响 PM _{2.5} 浓度同比	14.45	-22.55	-4.88	-4.51
排放影响 PM _{2.5} 浓度同比	-19.03	-21.66	-4.02	-15.92

从城市角度看,第一季度整体上晋中、临汾和吕梁气象条件同比转差,可能与晋中和临汾处于盆地且四面环山、吕梁位于吕梁山中段,它们的地理位置天然不利有关.从污染排放来看,疫情发生前和疫情严控期汾渭平原所有城市污染排放量均下降;复工复产期运城、三门峡、西安市和宝鸡市污染排放量增加使得 PM_{2.5} 浓度同比上升(图4和表2).

2.3.3 长三角

长三角第一季度实测 PM_{2.5} 浓度同比下降 26.5%,疫情发生前、疫情严控期和复工复产期分别同比下降 13.0%、37.4% 和 32.9%,严控期降幅较大,复工复产期降幅趋缓.从气象影响来看,第一季度气象条件同比转好 3.5%;疫情发生前和复工复产

产期气象条件转好使得 PM_{2.5} 浓度同比分别下降约 4.3% 和 11.8%;而疫情严控期气象条件同比转差约 4.1%.从污染排放来看,第一季度排放下降导致 PM_{2.5} 浓度同比下降约 23.8%,疫情发生前、严控期和复工复产期排放下降使得 PM_{2.5} 浓度同比下降 9.2%、39.8% 和 24.0%.疫情严控期 PM_{2.5} 浓度同比下降为污染物排放量大幅下降所致,抵消了气象条件转差带来的不利影响(图5和表3).

从城市角度看,长三角 41 个城市中 11 个城市第一季度整体上气象条件同比转差.疫情严控期仅有金华和丽水市的污染排放量比去年同期上升(图5和表3).

表3 长三角污染物排放和气象变化影响下的 PM_{2.5} 浓度同比/%

Table 3 Effects of pollutants' emissions and meteorological
changes on PM_{2.5} in Yangtze River Delta/%

指标	1月	2月	3月	1~3月
实测 PM _{2.5} 浓度同比	-13.08	-37.35	-32.92	-26.48
气象影响 PM _{2.5} 浓度同比	-4.29	4.06	-11.78	-3.46
排放影响 PM _{2.5} 浓度同比	-9.19	-39.80	-23.96	-23.84

3 结论

(1) 疫情发生前、严控期和复工复产期全国实

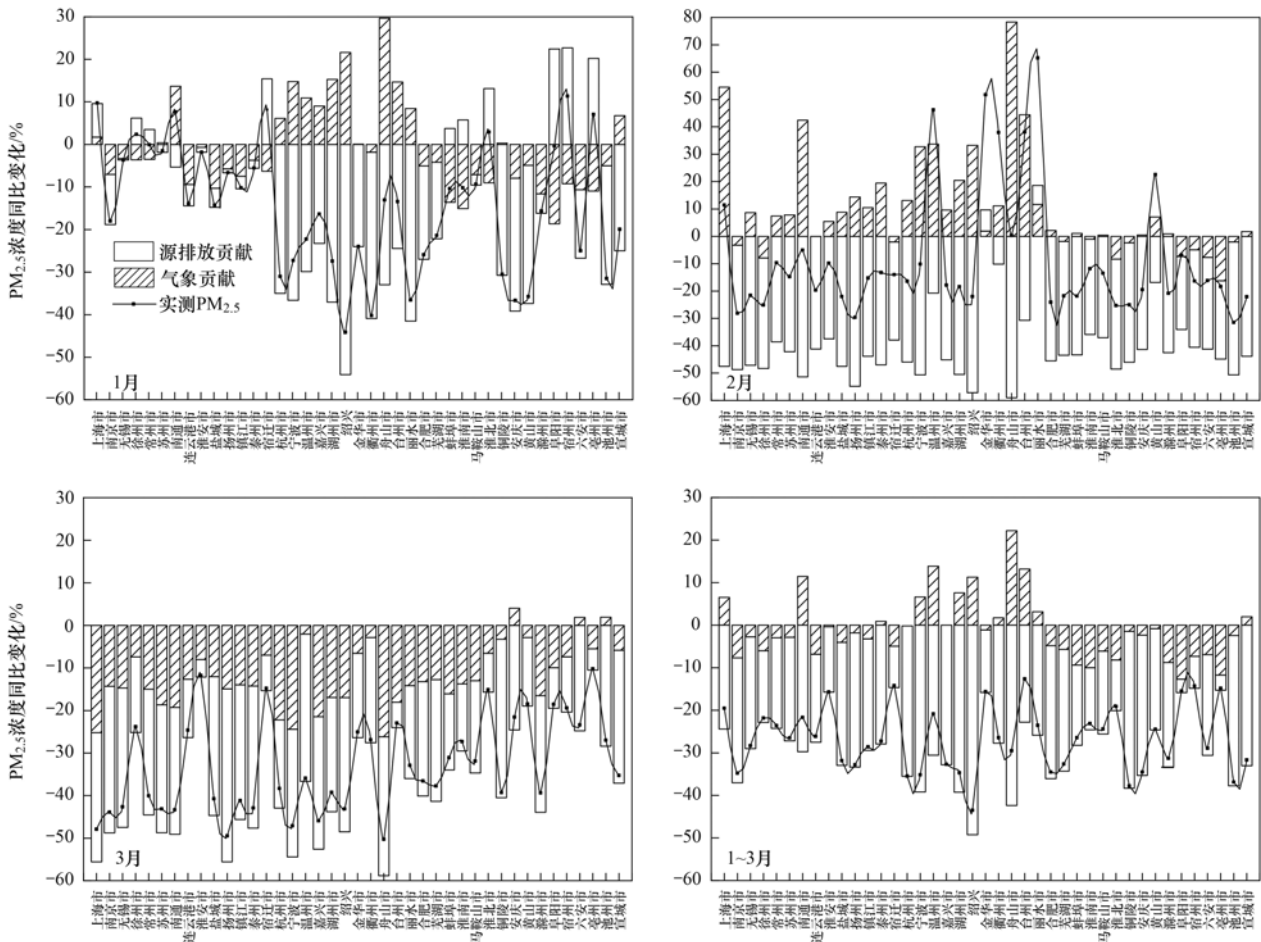


图5 长三角污染源排放和气象条件变化影响下的 PM_{2.5} 浓度同比

Fig. 5 Quantitative impact of pollutant' emissions and meteorological conditions on PM_{2.5} concentration of Yangtze River Delta

测 PM_{2.5} 浓度同比下降 2.4%、26.7% 和 21.7%。武汉市 PM_{2.5} 浓度同比降幅显著高于全国平均水平, 主要因为武汉市气象条件更为有利, 且污染排放降幅更高。北京市在疫情发生前和严控期 PM_{2.5} 浓度同比升高, 主要为气象条件不利所致; 复工复产期 PM_{2.5} 浓度同比下降, 主要为污染排放大幅下降所致。

(2) 污染排放大幅下降是重点区域第一季度 PM_{2.5} 浓度同比降幅最大的主要原因。长三角、汾渭平原和“2+26”城市在第一季度 PM_{2.5} 浓度同比下降分别为 26.5%、19.7% 和 16.7%; 气象条件变化使得 PM_{2.5} 浓度同比变化分别为 -3.5%、-4.5%、0.46%; 排放下降使得 PM_{2.5} 浓度同比下降分别为 23.8%、15.9% 和 17.1%。

(3) 疫情发生前, 长三角在重点区域中实测 PM_{2.5} 浓度同比降幅最大, 主要为气象条件有利所致。疫情严控期, 重点区域污染排放量降幅均最高。复工复产期, 重点区域污染排放降幅整体上均趋缓; 长三角污染排放降幅最高且气象条件最为有利, 使得其实测 PM_{2.5} 浓度同比降幅最大。

参考文献:

- [1] 乐旭, 雷亚栋, 周浩, 等. 新冠肺炎疫情期间中国人为碳排放和大气污染物的变化[J]. 大气科学学报, 2020, **43**(2): 265-274.
Yue X, Lei Y D, Zhou H, *et al.* Changes of anthropogenic carbon emissions and air pollutants during the coronavirus epidemic in China[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2020, **43**(2): 265-274.
- [2] 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, 2020, doi: 10.1093/nsr/nwaa137.
- [3] Cheng Y H, Li Y S. Influences of traffic emissions and meteorological conditions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} levels at a highway toll station[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2010, **10**: 456-462.
- [4] Wang P, Cao J J, Tie X X, *et al.* Impact of meteorological parameters and gaseous pollutants on PM_{2.5} and PM₁₀ mass concentrations during 2010 in Xi'an, China[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015, **15**: 1844-1854.
- [5] Zhang J P, Zhu T, Zhang Q H, *et al.* The impact of circulation patterns on regional transport pathways and air quality over Beijing and its surroundings[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, **12**(11): 5031-5053.
- [6] Wang H, Xu J Y, Zhang M, *et al.* A study of the meteorological causes of a prolonged and severe haze episode in January 2013 over central-eastern China[J]. Atmospheric Environment, 2014, **98**: 146-157.
- [7] 任鹏杰, 尉鹏, 赵森, 等. 偏东风输送导致的关中地区冬季 PM_{2.5} 重污染个例研究[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(5): 1033-1043.
Ren P J, Wei P, Zhao S, *et al.* A case study on PM_{2.5} heavy pollution caused by easterly winds transport during winter in Guanzhong area[J]. Research of Environmental Sciences, 2021, **34**(5): 1033-1043.
- [8] 王振, 杨卫芬, 叶香, 等. 气象因素对常州市区 PM_{2.5} 浓度影响[J]. 气象与环境学报, 2020, **36**(3): 26-32.
Wang Z, Yang W F, Ye X, *et al.* Impacts of meteorological factors on PM_{2.5} concentration in urban regions of Changzhou[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2020, **36**(3): 26-32.
- [9] 王涛, 李杰, 王威, 等. 北京秋冬季一次重污染过程 PM_{2.5} 来源数值模拟研究[J]. 环境科学学报, 2019, **39**(4): 1025-1038.
Wang T, Li J, Wang W, *et al.* Numerical simulation study on source apportionment of PM_{2.5} in a heavy winter pollution event over Beijing area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, **39**(4): 1025-1038.
- [10] 王跃, 王莉莉, 赵广娜, 等. 北京冬季 PM_{2.5} 重污染时段不同尺度环流形势及边界层结构分析[J]. 气候与环境研究, 2014, **19**(2): 173-184.
Wang Y, Wang L L, Zhao G N, *et al.* Analysis of different-scales circulation patterns and boundary layer structure of PM_{2.5} heavy pollutions in Beijing during winter[J]. Climatic and Environmental Research, 2014, **19**(2): 173-184.
- [11] Xu Y L, Xue W B, Lei Y, *et al.* Impact of meteorological conditions on PM_{2.5} pollution in China during winter[J]. Atmosphere, 2018, **9**(11), doi: 10.3390/atmos9110429.
- [12] Chen Z Y, Cai J, Gao B B, *et al.* Detecting the causality influence of individual meteorological factors on local PM_{2.5} concentration in the Jing-Jin-Ji region[J]. Scientific Reports, 2017, **7**, doi: 10.1038/srep40735.
- [13] 吴文景, 常兴, 邢佳, 等. 京津冀地区主要排放源减排对 PM_{2.5} 污染改善贡献评估[J]. 环境科学, 2017, **38**(3): 867-875.
Wu W J, Chang X, Xing J, *et al.* Assessment of PM_{2.5} pollution mitigation due to emission reduction from main emission sources in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Environmental Science, 2017, **38**(3): 867-875.
- [14] 于燕, 王泽华, 崔雪东, 等. 长三角地区重点源减排对 PM_{2.5} 浓度的影响[J]. 环境科学, 2019, **40**(1): 11-23.
Yu Y, Wang Z H, Cui X D, *et al.* Effects of emission reductions of key sources on the PM_{2.5} concentrations in the Yangtze river delta[J]. Environmental Science, 2019, **40**(1): 11-23.
- [15] 薛文博, 史旭荣, 严刚, 等. 气象条件和排放变化对 2020 年春节前后华北地区重污染过程的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, **51**(2): 314-324.
Xue W B, Shi X R, Yan G, *et al.* Impacts of meteorology and emission variations on the heavy air pollution episode in north China around the 2020 spring festival[J]. Science China Earth Sciences, 2021, **51**(2): 314-324.
- [16] 许艳玲, 薛文博, 雷宇. 气象和排放变化对 PM_{2.5} 污染的定量影响[J]. 中国环境科学, 2019, **39**(11): 4546-4551.
Xu Y L, Xue W B, Lei Y. Impact of meteorological conditions and emission change on PM_{2.5} pollution in China[J]. China Environmental Science, 2019, **39**(11): 4546-4551.
- [17] Hu J L, Chen J J, Ying Q, *et al.* One-year simulation of ozone and particulate matter in China using WRF/CMAQ modeling system[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, **16**(16): 10333-10350.
- [18] 许艳玲, 易爱华, 薛文博. 基于模型模拟的成都市 PM_{2.5} 污染来源解析[J]. 环境科学, 2020, **41**(1): 50-56.
Xu Y L, Yi A H, Xue W B. Modeling studies of source contributions to PM_{2.5} in Chengdu, China[J]. Environmental Science, 2020, **41**(1): 50-56.

- [19] 谢放尖, 史之浩, 李婧祎, 等. 基于达标约束的南京市环境空气质量情景模拟[J]. 环境科学, 2019, **40**(7): 2967-2976.
Xie F J, Shi Z H, Li J Y, *et al.* Scenario simulation study constrained by the ambient air quality standards in Nanjing[J]. Environmental Science, 2019, **40**(7): 2967-2976.
- [20] 吕喆, 魏巍, 周颖, 等. 2015~2016年北京市3次空气重污染红色预警PM_{2.5}成因分析及效果评估[J]. 环境科学, 2019, **40**(1): 1-10.
Lü Z, Wei W, Zhou Y, *et al.* Cause and effect evaluation of PM_{2.5} during three red alerts in Beijing from 2015 to 2016[J]. Environmental Science, 2019, **40**(1): 1-10.
- [21] Multi-resolution emission inventory for China[EB/OL]. <http://www.meicmodel.org/>, 2020-04-14.
- [22] Guenther A, Karl T, Harley P, *et al.* Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, **6**(11): 3181-3210.
- [23] National Center for Atmospheric Research. CISL research data archive [EB/OL]. <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2>, 2020-11-02.
- [24] 许艳玲, 薛文博, 雷宇, 等. 中国氨减排对控制PM_{2.5}污染的敏感性研究[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(7): 2482-2491.
Xu Y L, Xue W B, Lei Y, *et al.* Sensitivity analysis of PM_{2.5} pollution to ammonia emission control in China [J]. China Environmental Science, 2017, **37**(7): 2482-2491.
- [25] 薛文博, 付飞, 王金南, 等. 中国PM_{2.5}跨区域传输特征数值模拟研究[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(6): 1361-1368.
Xue W B, Fu F, Wang J N, *et al.* Numerical study on the characteristics of regional transport of PM_{2.5} in China[J]. China Environmental Science, 2014, **34**(6): 1361-1368.
- [26] 薛文博, 王金南, 杨金田, 等. 电力行业多污染物协同控制的环境效益模拟[J]. 环境科学研究, 2012, **25**(11): 1304-1310.
Xue W B, Wang J N, Yang J T, *et al.* Simulation of environmental effects of multi-pollutants from the electric power industry [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, **25**(11): 1304-1310.
- [27] 中华人民共和国生态环境部. 关于征求《环境质量模型规范化管理暂行办法》(征求意见稿)等2项文件意见的函[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/hgh/201508/t20150831_309098.htm, 2020-11-02.



CONTENTS

Transmission of Coronavirus via Aerosols and Influence of Environmental Conditions on Its Transmission	LI Xue, JIANG Jing-kun, WANG Dong-bin, <i>et al.</i> (3091)
Impacts of Meteorology and Emission Variations on PM _{2.5} Concentration Throughout the Country During the 2020 Epidemic Period	LU Shi-ze, SHI Xu-rong, XUE Wen-bo, <i>et al.</i> (3099)
Factors and Their Interaction Effects on the Distribution of PM _{2.5} in the Yangtze River Delta Based on Grids	HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, XIN Wei-dong (3107)
Application of ARIMA Model for Mid- and Long-term Forecasting of Ozone Concentration	LI Ying-ruo, HAN Ting-ting, WANG Jun-xia, <i>et al.</i> (3118)
Pollution Characteristics and Sources of Wintertime Atmospheric Brown Carbon at a Background Site of the Yangtze River Delta Region in China	ZHAO Yu, WU Can, WANG Yi-qian, <i>et al.</i> (3127)
Spatio-temporal Variation Characteristics Monitored by Remotely Sensed Technique of PM _{2.5} Concentration and Its Influencing Factor Analysis in Sichuan Basin, China	LI Meng-zhen, ZHANG Ting-bin, YI Gui-hua, <i>et al.</i> (3136)
Construction of Continuous Dynamic Model for River Networks and Its Application in Simulation of Spatiotemporal Migration of Typical Biocides	XING Cheng, ZHANG Qian-qian, CAI Ya-ya, <i>et al.</i> (3147)
Response of Riverine Nitrogen Exports to Land Use Pattern and Hydrological Regime in the Jiulong River Watershed	HUANG Ya-ling, HUANG Jin-liang (3156)
Correlation Between Microplastics Pollution and Eutrophication in the Near Shore Waters of Dianchi Lake	YUAN Hai-ying, HOU Lei, LIANG Qi-bin, <i>et al.</i> (3166)
Analysis of Water Quality and Exchange Flux of Interstitial Water-Overlying Water in Sediments of Baiyangdian Entrance Area in Summer	ZHANG Tian-na, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, <i>et al.</i> (3176)
Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Nitrogen and Organic Matter in Overlying Water and Sediment of Guyun River and Jinshan Lake in Zhenjiang City	YUAN Lu-bin, XING Shu-yu, LIU Xin, <i>et al.</i> (3186)
Spatial Distribution Characteristics of Phosphorus Fractions and Release Risk in Sediments of Honghu International Importance Wetland	LIU Yong-jiu, HUANG Su-zhen, ZHANG Lu, <i>et al.</i> (3198)
Pollution Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in River Sediments from the Ancient Town of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, BAO Jun-song, <i>et al.</i> (3206)
Spatio-temporal Distribution Characteristic and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Around Centralized Drinking Water Sources in Wuhan	ZHU Jing, HOU Yao-zong, ZOU Shu-cheng, <i>et al.</i> (3215)
Hydro-chemical Characteristics and Ion Origin Analysis of Surface Groundwater at the Shengjin Lake and Yangtze River Interface	CUI Yu-huan, WANG Jie, LIU You-cun, <i>et al.</i> (3223)
Identifying the Sources of Groundwater NO ₃ ⁻ -N in Agricultural Region of Qingdao	KOU Xin-yue, DING Jun-jun, LI Yu-zhong, <i>et al.</i> (3232)
Analysis of Phytoplankton Community Stability and Influencing Factors in a Tributary of the Three Gorges Reservoir	HE Shu-han, OUYANG Tian, ZHAO Lu, <i>et al.</i> (3242)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Phytoplankton Community in Harbin Urban River Network During Wet Season	LU Feng, LI Lei, QI Qing-song, <i>et al.</i> (3253)
Response of Microbial Community to Natural Organic Matter Input in Lake Sediments	JU Qi, ZHANG Qi, CAO Chi-cheng, <i>et al.</i> (3263)
Effects of Water Supply Quality and Social Activity on the Microbial Community in Baiyangdian Wetland	ZHAO Zhi-rui, WU Hui-qing, BI Yu-fang, <i>et al.</i> (3272)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in Overlying Water During Algal Bloom Decay	LI Xiang, LI Zhi-chun, WANG Xuan, <i>et al.</i> (3281)
Water Pollution Characteristics and Source Apportionment in Rapid Urbanization Region of the Lower Yangtze River: Considering the Qinhuai River Catchment	MA Xiao-xue, GONG Chang, GUO Jia-xun, <i>et al.</i> (3291)
Contamination Characteristics of Surface Runoff in Densely Populated Areas in Downstream Yangtze River, China	GUO Wen-jing, ZHANG Zhi-yong, WEN Xue-zheng, <i>et al.</i> (3304)
Characteristics of Pollutant Dynamics Under Rainfall-Runoff Events in the Chaohe River Watershed	BAO Xin, JIANG Yan, HU Yu-cong (3316)
Influence of Impervious Surface Roughness on Accumulation and Erosion of Urban Non-Point Source Particles	SHAN Xi-huan, XIE Wen-xia, LIAO Yun-jie, <i>et al.</i> (3328)
Probabilistic Risk Assessment of Arsenic Exposure Through Drinking Water Intake in Chinese Residents	QIN Ning, LIU Yun-wei, HOU Rong, <i>et al.</i> (3338)
Removal Behavior of Protein-like Dissolved Organic Matter During Different Water Treatment Processes in Full-Scale Drinking Water Treatment Plants	LI Meng-ya, SONG Yu-ying, ZHANG Xiao-lan, <i>et al.</i> (3348)
Distribution of Heavy Metals and Their Corresponding Nanoparticles in Different Treatment Unit Processes in the Sewage Treatment Plant	WANG Du-jia, HE Shuai, ZHOU Xiao-xia (3358)
Metagenomic Analysis of Resistance Genes in Membrane Cleaning Sludge	DU Cai-li, LI Zhong-hong, LI Xiao-guang, <i>et al.</i> (3366)
Distribution and Removal of Antibiotic-Resistant Bacteria and Antibiotic Resistance Genes in Petrochemical Wastewater Treatment Plants	TANG Zhen-ping, XIAO Sha-sha, DUAN Yi, <i>et al.</i> (3375)
Treatment of Medium Ammonium Wastewater by Single-stage Partial Nitrification-ANAMMOX SMBBR	LÜ Kai, SHAO Xian-ming, WANG Kang-zhou, <i>et al.</i> (3385)
Two-Stage Denitrification Process Performance with Solid Slow-Release Carbon Source	TANG Yi, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (3392)
Effect of Ozone Dosage on Sludge Settability and Biological Nutrient Removal in SBR System	LÜ Yong-tao, ZHU Chuan-shou, ZHANG Xu-yang, <i>et al.</i> (3400)
First Extended Anaerobic Phase Enhanced Nitrogen and Phosphorus Removal by Aerobic Granular Sludge Under Intermittent Gradient Aeration	ZHANG Yu-jun, LI Dong, WANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3405)
Effect of Rate of Salinity Increase on the Performance and Microbial Community Structure of Sequencing Batch Reactors	GU Bai-ming, JIN Chun-ji, WEN Chun, <i>et al.</i> (3413)
Effects of Cold Acclimation on the Activity of Autotrophic Nitrogen Removal in Granular Sludge and Its Bacterial Population Structure	QIAN Fei-yue, LIU Yu-xin, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3422)
Stabilization of Heavy Metals in Municipal Sludge Using a Slag-Based Modifying Agent	ZHANG Fa-wen, DONG Ming-kun, CHEN Chen-hui, <i>et al.</i> (3430)
Role of Land Use Changes on Ammonia Emissions from Agricultural Ecosystems in the Yangtze River Delta Region from 2000 to 2018	WANG Wen-jin, WANG Qing, ZHU An-sheng, <i>et al.</i> (3442)
Effects of Wheat Straw Hydrochar and Its Modified Product on Rice Yield and Ammonia Volatilization from Paddy Fields	HAN Chen, HOU Peng-fu, XUE Li-hong, <i>et al.</i> (3451)
Effects of Water and Fertilization Management on CH ₄ and N ₂ O Emissions in Double-rice Paddy Fields in Tropical Regions	LI Jin-qiu, SHAO Xiao-hui, GOU Guang-lin, <i>et al.</i> (3458)
Community Characteristics of Methanogens and Methanogenic Pathways in Salt-tolerant Rice Soil	YANG Yu-hong, HE Hui, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (3472)
Effect of Ferric-carbon Micro-electrolysis on Greenhouse Gas Emissions from Constructed Wetlands	ZHAO Zhong-jing, HAO Qing-ju, TU Ting-ting, <i>et al.</i> (3482)
Screening and Evaluation of Methods for Determining Available Lead (Pb) and Cadmium (Cd) in Farmland Soil	CHEN Ying, LIU Han-yi, LIU Na, <i>et al.</i> (3494)
Spatial Distribution Trends and Influencing Factors of Typical Heavy Metals in Subtropical Alpine Forest Soils: A Case Study from Ailao Mountain in Yunnan Province	LIU Xu, WANG Xun, WANG Ding-yong (3507)
Environmental Background Values of Heavy Metals and Physicochemical Properties in Different Soils in Shenzhen	LIN Ting, ZHAO Shu-hua, XI Xiu-ping, <i>et al.</i> (3518)
Screening of Amendments for Simultaneous Cd and As Immobilization in Soil	ZHOU Si-jiang, LIU Zhen-yan, XIONG Shuang-lian, <i>et al.</i> (3527)
Simultaneous Immobilization of Arsenic, Lead, and Cadmium in Paddy Soils Using Two Iron-based Materials	YUAN Feng, TANG Xian-jin, WU Ji-zi, <i>et al.</i> (3535)
Pollution Characteristics of Organophosphate Esters in Frozen Soil on the Eastern Edge of Qinghai-Tibet Plateau	LIU Li-ya, YIN Hong-ling, JIAN Lin-jie, <i>et al.</i> (3549)
Analysis of Spatial Distribution and Influencing Factors of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Application Intensity in Chengdu Plain	LIU Qi-xin, WANG Chang-quan, LI Bing, <i>et al.</i> (3555)
Different Responses of Soil Dissolved Organic Matter to Different Types of Compost	XI Bei-dou, WANG Yan, TAN Wen-bing, <i>et al.</i> (3565)