

ENVIRONMENTAL SCIENCE

# 第45卷 第2期 2024年2月15日

目 次

「○同文学院家庭安徽社、徽家校会議員、「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「「○日本、「○日本、	疫情期间人为源减排对城市大气氧化性的影响
不同力。如果 不是 "我想要我的一个。" "我想要我的一个。" "我想,我是 "我,是要我,也是我,生生,我的我。我的我。(45) 基于大口或分规制间的山窗的近地也。你我的我的有些好。" "不成年、家家 我怎么来他来,我这,我你是,我这一个。" "我说,我你是,我这一个。" "我说,我说我,我说我,我说我,我说我,我说我,我说我,我说我,我说我,我说我,	不同天气形势对南京地区双高污染的输送及潜在源区分析
2005-021 年夏年年上房具業業業費目級支持大学業業量分析	不同方法判定南京臭氧牛成敏感区的差异
	2006-2021年夏半年上海臭氧浓度特征及其大气环流背景分析
□ 文字、系是、李麗、天城高、大城高、大坡高、大生、美雄、代生、三、金、田谷、           □ 运动管理 YOG #WE 来面及复笑形成效感的 →	其于于与成分观测网的山西省近地面口体和分数分布转征
	金丁八 (风力)从时间时间自己地回应,你们不过来的问题,你们是这个人的问题,我们们不能是一个人的问题,我们们不能是一个人的问题。
出版的事件。	了」中发子八(天电工风机间及喷开水咀
#川市理、学校、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、工作、	应项印码字 VOCS付证、木砾及英电形成取透彻竹
<ul> <li>四川田川山、叶和机酸的学校: 本熟時为之、化生薬 (本生素)、「新生、、素素、、「素素、、「素素、、素素、、、「素素、、素素、、、、(12)</li> <li>第二日和架型的高能器好比中长期展出发动的灵魂器、水、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、</li></ul>	が州田冬夏季乃渠过程中人气VUC3万梁行低、米源肼竹及活性分析
田三大規申 田二,現地 田田二,現地 田田二,現 田田二,現 田田二,現 田田二, 田田一, 田田一	<sup>▶</sup> 州用PM <sub>2.5</sub> 甲有机酸的污染符征、米源解析及_次生成 ····································
<ul> <li>苯丁比科模型的操作而并且不可要。某些。考析系(721)</li> <li>委定局管器下的复杂地方包括一致之、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、</li></ul>	中国三大城市群PM2.5浓度非线性变化分析
磁交易容素下山旱华地区碱代植物与交化	基于LEAP模型的临港新片区中长期碳排放预测及减排潜力分析
考虑区线增点和车型层种的盆燃料电池汽车全佔合周期或做预用分析	碳交易背景下中国华北地区碳代谢格局变化
現 王 愛阿富永系的為客的集神程 发度實解解	考虑区域特点和车型差异的氢燃料电池汽车全生命周期减碳预测分析马菁,蔡旭,张春梅,兰利波,陈轶嵩,付佩 (744)
不同时至尺度了土地利用结构与空间移动场,如果不能的影响	我国主要河流水系硝态氮污染特征及定量源解析
深圳正2015-2021年頃環境型構成來與村空電化及其对條訂的喻症	不同时空尺度下土地利用结构与空间格局对苏州河水质的影响谭娟,熊丽君,王卿,任志文,朱丹丹,王敏(768)
<ul> <li>副市前內定直定浸且地下水化学特征与定控污案解解</li> <li>一一一, 化学、零红、学奖、, 本果志、常英点、「(22)</li> <li>北京西山沿溜地下水化学特征及其成因为析</li> <li>一部高轩、代果茶、许充、朱米、武艺亮、成为、中菜、牛菜、(22)</li> <li>北京西山沿溜地下水化学特征及其成因为析</li> <li>小菜市山松花水割地下水化学特征及其成因和制分析</li> <li>金麦芽、服秀生、李长素、卡充、朱米、武艺亮、成为、中菜、牛菜、(22)</li> <li>副防疫水中比仁素抗化的污染特征。公司于我和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水化学特征及其成因和制分析</li> <li>金麦芽、服秀生、李长素、牛菜、(23)</li> <li>副防疫水中比仁素抗化的污染特征。公司于我和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水化学特征及其成用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水化学特征及其成用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水化学特征及其成用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水化学特征及其成用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水水水化学物化及其成用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水洗水水和酸甲、酸化用和控制方法</li> <li>小菜油刀、水洗水和酸甲、酸化用和控制力法</li> <li>小菜油刀、水洗水和酸甲、酸化用和控制力法</li> <li>小菜油刀、水洗水和酸甲、酸化用和控制力法</li> <li>小菜油刀、水洗水和酸甲、酸化用和空、水水、水油、水洗、水油、水洗、水油、水水、水油、水水、水油、水水、水油、水水、水油、水水、水油、水水、水油、水油</li></ul>	深圳市2015~2021年雨源型河流水质时空变化及其对降雨的响应
北京而山岩海龜下永化学特征及建成同分析	河南黄河改道区浅层地下水化学特征与主控污染源解析
<ul> <li>店埠河流城地表水、地下水水亿学特征及其成因分析</li> <li>金麦芳、股秀兰、非长吉、孝文娟、麦干香、天洋、麦菜酱、Q到堆(813)</li> <li>祭家口地区陆水圳地下水水亿学特征及其成以机制分析</li> <li>金麦芳、股秀兰、非长吉、孝文娟、麦香香、文娟、麦香香、冬文娟(813)</li> <li>制药皮水中拉仁素抗化的污染特征。检测于段和总增方达</li> <li>水体组入分量定义储铁、和地区本水水亿学特征及其成以机制剂</li> <li>新成方、中拉仁素抗化的污染特征。检测于段和总增方达</li> <li>小水组入分量之常物、和地区本规的污染特征。检测于段和总增方达</li> <li>小水组入分量之常物、和地量数量、化合物、使用</li> <li>※定、完美、安靖明、岳小菜、小麦菜、花香、水麦香、麦麦花、(844)</li> <li>富硝皮并钙基仁物炭却水白地酸厚肉的影响</li> <li>※定、安清明、岳小菜、李玉菜、贝木、花林之文信、米重比 (852)</li> <li>二菜糖和菜仁物炭却水白地酸厚物合化。</li> <li>※定、安清明、岳小菜、小麦菜、大麦、水麦菜、大麦菜、(855)</li> <li>総件含箔油茶完生物炭却水白地酸厚物生</li> <li>非常素、大菜、米麦花、米麦菜、、、、水麦、米麦菜、小麦、(842)</li> <li>(851)</li> <li>ご常名高分并水准整定气体推拔消息之外化。(742)</li> <li>※定、(742)</li> <li>小菜仁、芹麦菜(952)</li> <li>(743)</li> <li>小菜仁、芹麦菜(952)</li> <li>(743)</li> <li>(744)</li> <li>(743)</li> <li>(744)</li> <li>(745)</li> <li>(746)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(745)</li> <li>(744)</li> <li>(745)</li> <li>(745)</li> <li>(745)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(744)</li> <li>(74</li></ul>	北京西山岩溶地下水化学特征及成因分析
ホームのないたいました。 ホームのないたいました。 ボールにたいたました。 ボールのないたいました。	$\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2}$ $\pi_{1}$ $\pi_{1}$ $\pi_{2}$ $\pi_{2$
<ul> <li>出来口是包括小鸡鱼之、牛肉、白、牛肉、白、牛肉、白、白、白、白、白、白、白、白、白、白、白、白、白、</li></ul>	用性的机械地化力,也一方不可能力,因为我风闷力切。
與同中「防與建筑生物及加佳素白的安加布 制菌版水中加定素抗性的污染特性、检测于段和控制方法 一番湯的、弗力定、床关達一、医菜、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、	派水中地区和小湖地上小小化于村间及头风四饥前刀切。
制罚政水中加主系机性的问案符值、程碑与花林化的方法 一番 如此 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	與利平下研與型仉任细因及仉任ᆇ因台來汀和 周期時時,並且於研究這些時代,他們不能是一個的意思。 周期時代,這些是一個人的意思。
水目山分如菜本Q.匈那米梨和菜和(力田影响)       "黄星山、黄文正, 秋天之、秋天儿、夏、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山、秋天山	制匀质水甲机生素机性的污染特征、检测于权利控制力法 ————————————————————————————————————
當藏族於時是生物契約水体中铅的法除一合产的吸附机制	水体组分对聚苯乙烯纳米颗粒聚沉行为的影响
<ul> <li>需素糖改性生物炭的制备及其对水溶液中G2<sup>4</sup>的吸附机制 — 类或、类体用、各小菜、李菜菜、夏秋东、祝琴文在、柴脂豆(873)</li> <li>磁性含磷油茶壳生物炭对水中磺胺甲噻唑的吸附特性 — 综体、常体照、产素、未吮慢、程建华、胡勇有(888)</li> <li>一东省高分辨率温室(本排放清单及转位、产清、唐可双、穿彩、麦龙剂、综庄菜、宋慎粥、式动、米家充、李吮慢、程建华、胡勇有(888)</li> <li>「东省高分辨率温室(本排放清单及转位、产清、唐可双、穿彩、麦龙剂、综庄菜、宋慎粥、式动、紫散比、菜小肉、羽茶之、陈末菌(990)</li> <li>生物炭施用两年后对热带地区看发花小、变体及其环场调理2</li> <li>一型口"温姆无器"修复区上态系统:O. 交换及其环场调理2</li> <li>一型口"温姆无器"修复区上态系统:O. 交换及其环场调理2</li> <li>一般型、洗缸、那天会、积洁、转动、水菜、在延正、孟嘉 (920)</li> <li>生物炭施用两年后对热带地区看发体土壤 N.O 和 CH,排放的影响 — 胡星杰、唐瑶杰、胡天怡、珠海湾、湖南菜、代东菜、在美工、金融 (920)</li> <li>生物炭施用两年后对热带地区有型或量发发情是根拟预测.U营定县为何</li> <li>一、不同改良剂对酸性紫色上团聚体和有机碳的影响 — 条点、徐芝菜、 徐达城、盖枪、黑旋、盖维伟、王齿球、赤家新、刘干品、代玉室 (952)</li> <li>影中吃斯特地区典型显域碳储量时空液空发情是根拟预测.U营定县为何</li> <li>不同改良剂对酸性紫色上团聚体和有机碳的影响 — 条点、条点、柴麦、二、玉瓶、黄菜、湖菜、素菜、赤、子、有用、人有花、鲜成菜、香菜、、三、(952)</li> <li>那中吃斯特地区典型显域碳缩量时空液空发发情是根拟预测.U营定县为何</li> <li>不同改良剂对酸性紫色之团聚体和有机碳的影响 — 条点、水果、加、二、素、水果、加、用、水果、水果 (933)</li> <li>素哈中段不同恢复防疫药并依旧植物多种性空化及其驱动因素 — 历州、黄李、成建龙、白菜、有花、病、石水、水、花、柴(1045)</li> <li>对用一种医花、肉、肉、肉、肉、肉、肉、肉、、、、、、肉、肉、肉、肉、肉、肉、肉、肉、肉、</li></ul>	富磷废弃钙基生物炭对水体中铅的去除
翻接含你和菜吸附四环素的效能与机制。	壳聚糖改性生物炭的制备及其对水溶液中Cd <sup>2+</sup> 的吸附机制姜凌,安靖玥,岳小琼,李亚雄,夏秋乐,祝婷文佳,柴丽红(873)
離性含弱油茶完生物发动水中磺胺甲噻唑的吸附特性	硼掺杂介孔炭吸附四环素的效能与机制
「东省高分辦率温室(体排放清单及特征…户清, 唐明双, 穿形, 黄志州, 钟庄敏, 宋県重, 达动, 张智胜, 录小明, 齐家仁, 除未囯 (990) 江河口"退塘还湿"修复区生态系统 CO,交换及其环境调控	磁性含磷油茶壳生物炭对水中磺胺甲噻唑的吸附特性
<ul> <li>江河口"進增还是"修复区生态系统CO,交换及其环境调控</li></ul>	广东省高分辨率温室气体排放清单及特征…卢清,唐明双,廖彤,黄志炯,钟庄敏,宋佩珊,沈劲,张智胜,梁小明,孙家仁,陈来国 (909)
生物炭產用兩年后对热带地区稻菜轮 <sup>4</sup> 在土壤NO和CH,排放的影响       親是杰、唐瑞杰、朝天治、其治、素菜、如花薇、肖那、童芝辰、孙立、(940)         生物炭產品兩年后对热带地区興型L建硬       魏盈、魚床、紫漱、刘循薇、肖辉、童芝辰、孙立、(940)         免薪为农田上菜用菜水的影响研究.Mea分析       德芝菜、德越悅、孟艳、温緩、孟维伟、王旭渚、李家新、刘开邕、代菜 (952)         野中略斯特地区興型L建硬储量时空演变及多情景模拟预测:以音定具为例       李月、罗红苏、(961)         不同皮良剂对酸化浆色土团浆体和有机碳的影响       李基、徐曼、湖永红、王颖、蒙求、说军、王芳苏、高明(974)         Ca改性生物炎对土壤磷碱 花吃态影响及稳定化机制       李基、徐曼、湖永红、王颖、蒙求、说军、王芳苏、高明(974)         Seive DA Folk 反 的 Seive DA Beic 化制制       李本、徐州、黄华、红菜、大豆菜、水菜、(983)         多岭中段不同体发的皮肤衣和其微多样生变化及其驱动因素       □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	辽河口"退塘还湿"修复区生态系统 CO,交换及其环境调控 ····································
生物炭改良盐碱地研究与应用进展	生物炭施用两年后对热带地区稻菜轮作土壤N.O和CH.排放的影响胡煜杰、唐瑞杰、胡天怡、陈绮琦、汤水荣、伍延正、孟磊(929)
免耕对农田土壤团聚体的影响研究:Meta分析       除艺萍、饶越悦、孟艳、温媛、孟维伟、王想清、李宗新、刘开昌、代红翠(952)         黔中喀斯特地区典型县城碳储量时空演变及多情景概拟预测,以普定县为例       **月、罗红芩(961)         不同改良剂对酸性紫色土团聚体和有机碳的影响       *****         Ca改性生物炭对土壤磷瓶存形态影响及稳定化机制       *****         秦岭中段不同恢复阶段弃耕农田植物多样性变化及其驱动因素       ····································	生物炭改良盐碱地研究与应用进展
<ul> <li>野中喀斯特地区典型县城碳储量时空演变及多情景模拟预测;以普定县为例</li> <li>不同改良利对酸性繁色土团聚体和有机碳的影响</li> <li>本考,除受,谢永红,王颖,黄容,谢军,王子芳,高明(974)</li> <li>Ca改性生物炎对土壤磷碳存形态影响及稳定化机制</li> <li>张超,翟行杰,单保,(983)</li> <li>我国典型制药厂污染场地中抗生素的污染特征及生态风险</li> <li>杨州彬,黄争,赵建尧,何良芙,刘有胜,胡立新,石文静,应光国(1004)</li> <li>广州市土壤多坏芳经污染特征及风险评估…每千载,陈莲,张培珍,王雨蓝,王振江,林森,唐翠明,罗国庆,侍建武,孝智赦,王圆(1015)</li> <li>基于酚che-Carlo模拟的湖南省典型工厂周边农田土壤重金属区域潜在生态风险特征及来源解析</li> <li>一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一</li></ul>	免耕对农田十壤闭聚体的影响研究·Meta分析徐艺萍、饶裁悦、孟艳、温媛、孟维伟、王旭清、李宗新、刘开昌、代红翠(952)
不同故良剂对酸性繁色土团聚体和有机碳的影响 — 李越、徐曼、谢永红、王颖、黄孝、谢军、王子芳、高( 974 ) Ca改性生物发对土壤磷既存形态影响及稳定化机制 — "东起、星 (木、单 (保, ( 983 )) 秦岭中段不同恢复阶段养耕农田植物多样性变化及其驱动因素 ————————————————————————————————————	影中喀斯特地区典型具域碳储量时空演变及多情景模拟预测,以普定具为例
「中設低市场底地合理」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」 「中学生物炭对土壤磷製作和活影的」 「中学生物炭对土壤、化学、中学生、非常、生物、生、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、	而一日初时之一人生。 我们的是你是这个人的是你的你的是你的你的是你的你的你们是你的你的你的你们,你不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能不能
GatgleTatownin Takewain Frozewardskeite Cutain 新生 化 2 (100) 素龄中段不同恢复阶段弃耕农田植物多样性变化及其驱动因素	了。""你们就是出来道上回来打作时们就听到你们。"
<ul> <li>案戰守投不同核之, 時代, 王公華, 陳母城, 上守年(2), 纪久與新幼因素</li> <li>新国與型制約厂完築场地中抗生素的污染特征及风险评估…部子航, 陈莲, 张培珍, 王雨茜, 王振江, 林森, 唐翠明, 罗国庆, 钟建武, 李智毅, 王圆 (10015)</li> <li>基于源导向的土壤重金属风险评价及管控因子分析</li> <li>潘永兴, 陈盟, 王櫃橦 (1026)</li> <li>基于Monte-Carlo模拟的湖南省典型工厂周边农田土壤重金属区域潜在生态风险特征及来源解析</li> <li>基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估</li> <li>要素杰, 潘俊, 陈小寶, 张敏, 沈良辰, 李歆, 丁平, 蔡井, 蔡立梅, 胡国成 (1038)</li> <li>基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估</li> <li>李春, 太德, 陈小寶, 张敏, 沈良辰, 李歆, 丁平, 蔡井, 蔡立梅, 胡国成 (1038)</li> <li>基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估</li> <li>"龙智杰, 李杰芹, 李彩寶, 廖泽潔, 梅楠, 罗程钟, 王定勇, 张成 (1058)</li> <li>PE-Cd复合污染土壤中Cd释放迁移特征及机制</li> <li>公布、莱杰, 李杰芹, 李彩寶, 廖泽潔, 梅楠, 罗程钟, 天定勇, 张成 (1058)</li> <li>PE-Cd复合污染土壤中Cd释放迁移特征及相制</li> <li>"差 小 条件, 刘贵平, 刘贵, 吕良华, 乔文静, 会成, 张晓旸, 蒋建东 (1080)</li> <li>昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染评价及相关性分析</li> <li>张安圻, 董泰雨, 杨海婷, 张平, 黄水青, 索加, 影响, 电尔, (1109)</li> <li>氧化乙烯酚丸就铬镭及衣田的安全利用效果</li> <li>王隆晶, 张东明, 曹阳, 吕家珑, 代允超 (1098)</li> <li>氧化石墨杨负载秋弦镭复合材科对镭砷污染土壤的钝化修复</li> <li>"素香, 吴骥子, 连斌, 素峰, 孙淇, 田质, 赵料理 (1107)</li> <li>关键生育期施加外球稻糯吸收转运的影响</li> <li>"尿樟d和, 郑雷带, 水石塘, 求海, 梁元, (1181)</li> <li>大輝發和動道下小麦幼苗生长及根系构型分成的影响</li> <li>"张培華, 就是一, 紫葉, 刘仲齐, 黄青, 张长波, 黄水春, 薛卫杰, 孙劳兵 (1115)</li> <li>高密度聚乙烯微塑料与氯嘧磺醛对, 互星长和根际细菌群落的复合防迫效应</li> <li>"胡香芹, 大型, 美龙, 紫华, 仁光堂, 李香孝, 年三杰, 尔劳兵 (11150)</li> <li>高密操具型灯完凝物的段合污逸研究进展</li> <li>如此小麦轮前子, 拉爾, 建水, 大之蛇, 宋罗美, 红124, 北京, 小、北京, 素玉, 三学, 末东, 小约兵, (1151)</li> <li>微塑料的人体富集及毒性机制研究进展</li> <li>如子均流量器的复合防迫效应</li> <li>"姆弗, 张雀, 美端, 紫华, 王金花, 宋文慧, 王兰者, 王等, 朱鲁生 (1106)</li> <li>水中微纳塑料电化学检测及去除的研究进展</li> <li>如果子约花试为理达的农产过度</li> <li>第七、紫花, 宋龙, 求本, 莱灵, 三型, (1121)</li> <li>北市建中奥型污染物的复合污逸研究进展</li> <li>如果子, 拉我, 刘振中, 项境大, (1150)</li> <li>新学和电化学检测及去除的研究进展</li> <li>第二、常本, 王金花, 宋文慧, 王兰, 朱春, 美星, (1121)</li> <li>北市省中型污染物的复合污逸研究进展</li> <li>第七、紫水, 王金花, 宋文慧, 王兰者, 王等, 朱鲁生 (1196)</li> <li>水中微纳塑素也化学检测及去除的研究进展</li> <li>《近南德, 30, (1149)</li> </ul>	Ca以正王初次为上來轉過行力心影响及協定比UUI的 素於由BC、目标自然的去對步由這種物學控制亦也及甘頭計用素
祝国與聖前到 / 白粱物理 + 10 年 第 10 年 10 年	来哎于权小问次发则权升析农山阻彻多什住文化及共犯幼问系。
1) 州市土壤多环方短行渠符征及风险评估11139 千元,除走, 张卢参, 王南菌, 王漱江, 林林, 唐本列, 夕国次, 针连头, 子者軟, 王崮 (1015) 基于额导的土壤重金属风险评价及管控因子分析	我国典望前约) 行朱幼地十饥生余的行朱付征及生态风险
基于源导问的土壤重金属风险评价及官拴因于分析	) / 川门工块多环方烃方架行低及风险评估旷力机, 陈连, 旅宿珍, 土附函, 土振江, 林林, 唐卒明, 夕国庆, 钾建筑, 芋宿敷, 土圆(1013)
基于 Monte-Carlo 模拟的砌南省典型上)周边农田土壤重金属区域潜在生态风险特征及米源解析 	基于源导问的土壤重金属风险评价发管径因于分析
一個人的學家, 法侯, 陈小賀, 张敏, 沈良晨, 李歆, 丁平, 蔡升, 蔡立梅, 胡国成 (1038)         基于参数优化和蒙特卡罗模拟的神污染地块健康风险评估       素贝, 刘虎鵰, 杜平, 陈娟, 张云慧, 张吴 (1049)         基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的赤泥堆场周边排地土壤重金属污染源解析       "沈智杰, 李杰芹, 李彩霞, 廖泽源, 梅楠, 罗程钟, 王定勇, 张成 (1058)         PE-Cd 复合污染土壤中 Cd 释放迁移特征及机制       "法智杰, 李杰芹, 李彩霞, 廖泽源, 梅楠, 罗程钟, 王定勇, 张成 (1058)         PE-Cd 复合污染土壤中 Cd 释放迁移特征及机制       "王迪, 徐绍辉, 邵明艳, 林青 (1069)         氧代乙烯的厌氧微生物还原脱氯特性       李伟, 刘贵平, 刘峻, 吕良华, 乔文静, 余欣, 张晓旸, 蒋建东 (1080)         昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染液化及相关性分析       "张好, 董春雨, 杨海婵, 孙思静, 韩宇, 黄祖志, 张乃明, 包立 (1090)         钝化剂对轻中度镉污染在田的安全利用效果       王晓晶, 张东明, 曹阳, 吕家龙, 代允絕 (1098)         氧化乙墨烯负载铁锰复合材料对镉砷污染土壤的钝化修复       "素精, 吴骥子, 连斌, 袁峰, 孙淇, 田欣, 赵科理 (1107)         关键生育期施加外源锌灌溉水对水稻镉吸收转运的影响       一周霞, 胡雨井, 周煮, 陈琼, 谭文, 韩索、韩本, 韩二氏, 赵科理 (1107)         关键生育期施加外源特准派水对水稻镉吸收转运的影响       张辉红, 魏畅, 柳海涛, 张静, 刘芳, 赵颖, 张雪海, 李鸽子, 柳海涛 (1184)         外面培克、南南小支、赵颢和, 大克、李太素, 薛卫杰, 孙幼兵 (1150)       高密度聚乙烯微塑料与氯嘧磺隆对大豆生长和根际细菌群落的复合胁迫效应         一個住克克毒性机制研究进展       "朝哈, 清紫微, 姚伦广, 杜丽, 牛秋红, 李玉美, 闫路, 陈兆进, 张浩 (1161)         微塑料的人体富集及毒性机制研究进展       "前晓明, 清紫微, 姚伦广, 杜丽, 牛秋红, 李玉美, 티零, 朱金, 百公, 何方, (1173)         微塑料与家田土壤中典型污染物的复合污染研究进展       白润昊, 范瑞琪, 刘斌, 刘琪, 刘勤, 严昌荣, 北索, 梁生, 北鲁, (1185)         微塑料与家田土壤中典型污染物的复合污染研究进展       "保宁, 李本, 王金花, 宋文载, 王兰君, 王军, 朱鲁生 (1196)         水中微水与东京、黄水北, 夏星力 (1210)       基于分布式认知理论的农户面源污染治理支付意愿影响因素         《斯地子·汉银索、香水北, 李基, 李林维, 夏星力 (1222)	基于Monte-Carlo 模拟的湖南省 典型上)周辺 农田土壤重金属区域潜在生态风险特征 及米源解析
基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估	罗豪杰,潘俊,陈小霞,张敏,沈良辰,李歆,丁平,蔡丹,蔡立梅,胡国成(1038)
基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的赤泥堆场周边耕地土壤重金属污染源解析 	基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估
沈智杰,李杰芹,李彩霞,廖泽源,梅楠,罗程钟,王定勇,张成(1058)         PE-Cd复合污染土壤中Cd释放迁移特征及机制       王迪,徐绍辉,邵明艳,林青(1069)         氯代乙烯的厌氧微生物还原脱氯特性       李伟,刘贵平,刘竣、吕良华,乔文静,余成,张晓旸,蒋建东(1080)         昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染评价及相关性分析       张好,董春雨,杨海婵,孙思静,韩宇,黄祖志,张乃明,包立(1090)         钝化剂对轻中度镉污染农田的安全利用效果       王晓晶,张东明,曹阳,吕家珑,代允超(1098)         氧化石墨烯负载铁锰复合材料对镉砷污染土壤的钝化修复       麦婧,吴骥子,连斌,袁峰,孙淇,田欣,赵科理(1107)         关键生育期施加外源锌灌溉水对水稻镉吸收转运的影响       周霞,胡雨丹,周航,陈琼,谭文韬,曾鹏,辜娇峰,廖柏寒(1118)         外源锌对镉胁迫下小麦幼苗生长的缓解效应       张辉红,魏畅,柳海涛,张静静,刘芳,赵颖,张雪海,李鸽子,参瑛(1112)         稀土元素铈对锌胁迫下小麦幼苗生长的缓解效应       张静静,徐正阳,焦秋娟,范丽娜,刘芳,赵颖,宋佳,化党领,李鸽子,柳海涛(1141)         根施伯克氏菌对小麦镉吸收转运的两段式阻控作用       郭底羽,清紫微,姚伦广,杜丽,牛秋红,李玉英,闫路,陈兆进,张浩(1161)         高密度聚乙烯微塑料与氯嘧磺隆对大豆生长和根际细菌群落的复合胁迫效应	基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的赤泥堆场周边耕地土壤重金属污染源解析
PE-Cd复合污染土壤中 Cd释放迁移特征及机制 ····································	······沈智杰,李杰芹,李彩霞,廖泽源,梅楠,罗程钟,王定勇,张成(1058)
<ul> <li>氯代乙烯的厌氧微生物还原脱氯特性 ····································</li></ul>	PE-Cd复合污染土壤中Cd释放迁移特征及机制
昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染评价及相关性分析	氯代乙烯的厌氧微生物还原脱氯特性李伟,刘贵平,刘峻,吕良华,乔文静,余欣,张晓旸,蒋建东(1080)
<ul> <li>钝化剂对轻中度镉污染农田的安全利用效果 ————————————————————————————————————</li></ul>	昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染评价及相关性分析张好,董春雨,杨海婵,孙思静,韩宇,黄祖志,张乃明,包立(1090)
氧化石墨烯负载铁锰复合材料对镉砷污染土壤的钝化修复	钝化剂对轻中度镉污染农田的安全利用效果
关键生育期施加外源锌灌溉水对水稻镉吸收转运的影响	氧化石墨烯负载铁锰复合材料对镉砷污染十壤的钝化修复
外源锌对镉胁迫下玉米幼苗生长及根系构型分级的影响 ····································	关键生育期施加外源锌灌溉水对水稻镉吸炉转运的影响  周霄 胡雨丹 周航 陈琼 谭文韬 鬯鹏 茎娇蜂 廖柏寒(1118)
稀土元素铈对锌胁迫下小麦幼苗生长仪被尔特望为或的影响。你保知,就得到,就留赖,就得到,就留赖,为为,之秋,就当海,等离马,顿头,变领 (1120) 稀土元素铈对锌胁迫下小麦幼苗生长的缓解效应 …张静静,徐正阳,焦秋娟,范丽娜,刘芳,赵颖,宋佳,化党领,李鸽子,柳海涛 (1141) 根施伯克氏菌对小麦镉吸收转运的两段式阻控作用	入场上自动地加入时,围绕不动水口面,这代代金山放中,一个大学的加入,从外面,从小水、十八匹,自动、十万十万。
和主兄家師內住師道十小愛幼宙至长的泼麻双短一一派雷雷,除正地,黑秋州,恐而爆,风光而爆,八度,不住,花兄娘,李鸣寸,磅海涛(1141) 根施伯克氏菌对小麦镉吸收转运的两段式阻控作用	小喷杆小响的短目上小弯面上的灰肤赤的雪上刀或的砂带。
限旭自先民國州小发編吸收投运的两投民匯任作用"加加加加加非筐筐,工市来,对许州,黄育育,派长放,黄水都,薛正然,新约兴(1130) 高密度聚乙烯微塑料与氯嘧磺隆对大豆生长和根际细菌群落的复合胁迫效应 	"加上九系师对计断定!"小叉动用工队的发研我迎。小时前,陈正阳,杰尔对,范围潮,对方,应救,不住,也无效,于哼了,犹得过(11+1/ 相流估方氏菌对小主复码的标序动面码走阳较佐田
高密度聚乙烯减塑料与氯嘧磺醛对人豆生长和根际细菌群落的复合肠迫效应 	你把旧元氏因对小发册双取校理的内权认图证任用 ************************************
明晚功, 項案領, 姚伦/, 杜丽, 千秋红, 李玉夹, 闫路, 陈兆进, 张浩(1161) 微塑料的人体富集及毒性机制研究进展 包亚博, 王成尘, 彭吾光, 侬代倩, 向萍(1173) 机器学习在微塑料识别与环境风险评估中的应用研究进展 自用究进展 的复数。 微塑料与农田土壤中典型污染物的复合污染研究进展 保证的 保守晴, 李冰, 王金花, 宋文慧, 王兰君, 王军, 朱鲁生(1196) 水中微/纳塑料电化学检测及去除的研究进展 将你说不知道你的你说一个你的你说是你不能帮助你。""你是你不是你的你们是不是你的你们的你们是不是你的你们的你们是你不是你的你们是你不是你的你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们是你们的你们的你们是你们的你们是你们的你们的你们是你们的你们的你们是你们的你们的你们的你们的你们的你们的你们是你们的你们的你们的你们的你们的你们是你们的你们的你们的你们的你们的你们你们你们你们	同省反承山冲顶空村 ラ 泉密嶼 医刃 人 豆 生 下 仲 限 所 畑 困 研 洛 的 友 盲 勝 坦 双 型 加 ぬ ロ ス レ レ ニ レ ム ん オ エ せ い ゅ い エ ル ・・・・・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>(國型科的人徑 届集及每性机制研允进展     ·································</li></ul>	·····································
机器学习在微塑料识别与环境风险评估中的应用研究进展	<b></b>
微塑料与农田土壤中典型污染物的复合污染研究进展 (1196) 水中微/纳塑料电化学检测及去除的研究进展 (1196) 基于分布式认知理论的农户面源污染治理支付意愿影响因素 (1210) 《环境科学》征订启事(825) 《环境科学》征稿简则(836) 信息(897,1106,1149)	机器字匀在微塑料识别与环境风险评估甲的应用研究进展
水中微/纳塑料电化学检测及去除的研究进展 ************************************	微型科与农出土壤中典型污染物的复合污染研究进展侯宇晴,李冰,王金花,宋文慧,王兰君,王军,朱鲁生(1196)
基于分布式认知理论的农户面源污染治理支付意愿影响因素 ····································	水中微/纳塑料电化学检测及去除的研究进展
《环境科学》征订启事(825) 《环境科学》征稿简则(836) 信息(897,1106,1149)	基于分布式认知理论的农户面源污染治理支付意愿影响因素
	《环境科学》征订启事(825) 《环境科学》征稿简则(836) 信息(897,1106,1149)

# 不同方法判定南京臭氧生成敏感区的差异

# 陈柑羽,李勋,李琳,秦墨梅\*,谢鸣捷,王鸣,李婧祎,胡建林\*

(南京信息工程大学环境科学与工程学院,江苏省大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室,江苏省大气环境与装备技术协同创新中心,南京 210044)

摘要:近年来,我国臭氧(O<sub>3</sub>)污染日益严重,识别O<sub>3</sub>对前体物挥发性有机化合物(VOCs)和氮氧化物(NO<sub>4</sub>)的敏感性对科学制定 区域O<sub>3</sub>污染防治政策具有重要意义.以南京市2017年7月下旬的一次O<sub>3</sub>污染事件为例,探讨了基于三维模型的光化学指标法、 敏感性系数法以及基于观测的OBM方法在识别南京市O<sub>3</sub>生成敏感性方面的差异.结果表明,光化学指标法和敏感性系数法得 到的南京市O<sub>3</sub>敏感性的空间分布较为一致(一致性超过50%).其中,敏感性系数法对应的过渡区范围更广,而光化学指标法更 倾向于将O<sub>3</sub>生成判定为只对VOCs或NO<sub>4</sub>敏感.不过,光化学指标法的结果与采用的临界值有关.OBM方法受观测数据质量影响 较大,如NO<sub>2</sub>观测误差(观测浓度高于实际浓度)会造成OBM低估O<sub>3</sub>对NO<sub>4</sub>的敏感性.在判定重污染阶段的O<sub>3</sub>敏感性时,各方法 间差异较大.光化学指标法偏向于VOCs控制,而OBM和敏感性系数法的结果则相对接近,倾向于NO<sub>4</sub>控制或共同控制.

关键词: 臭氧(O<sub>3</sub>)敏感性; 光化学指标法; 敏感性系数法; 空气质量模型; 基于观测的箱模型(OBM)

中图分类号: X515 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)02-0635-10 DOI: 10.13227/j. hjkx. 202301164

# Differences of Three Methods in Determining Ozone Sensitivity in Nanjing

CHEN Gan-yu, LI Xun, LI Lin, QIN Mo-mei\*, XIE Ming-jie, WANG Ming, LI Jing-yi, HU Jian-lin\*

(Jiangsu Provincial Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control, School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China) **Abstract:** In recent years, ozone  $(O_3)$  has become an increasingly important air pollutant in China. Identifying the sensitivity of  $O_3$  to the precursors volatile organic compounds (VOCs) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) can help make effective abatement strategies. This study compared three methods for determining  $O_3$ -VOCs-NO<sub>x</sub> sensitivity; simulated photochemical indicator values and sensitivity coefficients derived from a three-dimensional air quality model and an observation-based model (OBM), with a case study involving an  $O_3$ -pollution event that occurred in Nanjing in late July 2017. The results showed that  $O_3$  sensitivity based on the photochemical indicator and sensitivity coefficients derived from a three-dimensional  $O_3$  sensitivity coefficients identified a larger number of areas within a transitional  $O_3$  sensitivity regime, as opposed to the VOCs- or NO<sub>x</sub>-limited regime identified by the photochemical indicator. The determination of the latter was affected by the adopted threshold values. The OBM relied on the quality of the observational data. For example, positive biases in observed NO<sub>2</sub> could lead to an underestimation of  $O_3$  sensitivity to NO<sub>x</sub> with the OBM. During the high pollution period, the three methods exhibited significant disparities. The photochemical indicator tended to suggest the VOCs-limited condition, whereas the OBM and sensitivity coefficients indicated the NO<sub>x</sub>-limited or transitional regimes.

Key words: ozone (03) sensitivity; photochemistry indicator; sensitivity coefficient; air quality model; observation-based model

近年来,随着城市化和工业化的不断发展,臭氧 (O<sub>3</sub>)逐渐成为影响空气质量的重要污染物之一.较 高的近地面O<sub>3</sub>体积分数会产生诸多不利影响,如导 致人体呼吸系统和心血管系统疾病<sup>[1,2]</sup>,增加过早死 亡率<sup>[3,4]</sup>,造成植物生长缓慢、农作物产量降低<sup>[5,6]</sup>以 及加剧全球气候变化<sup>[7,8]</sup>等.2013~2020年,中国O<sub>3</sub>体 积分数逐年升高,污染范围和超过空气质量标准的 天数也不断增加<sup>[9]</sup>,在华北平原<sup>[10,11]</sup>、珠三角<sup>[12,13]</sup>和 长三角<sup>[14,15]</sup>等经济发达地区,O<sub>3</sub>污染问题尤为突出.

近地面  $O_3$ 主要由挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)和氮氧化物(nitrogen oxides, NO<sub>4</sub>)经过光化学反应形成,其与前体物之间 存在复杂的非线性关系<sup>[16]</sup>.根据  $O_3$ 体积分数对前体 物排放变化的响应,将  $O_3$ 生成敏感性分成 NO<sub>4</sub>控制 (或 NO<sub>4</sub>敏感)区、VOCs控制(或 VOCs敏感)区和两者 共同控制区(或过渡区)<sup>[17]</sup>.  $O_3$ 生成敏感性具有明显 的时空变化.例如,叶绿萌等<sup>[18]</sup>研究显示在一定的气 象条件和污染物排放情况下,珠三角 VOCs 敏感区主要分布在中心城区及其下风向地区,而 NO<sub>x</sub> 敏感区分布在珠三角的上风向郊区.华北平原望都站点的观测数据表明,O<sub>3</sub>生成在1d中经历由 VOCs 敏感向 NO<sub>x</sub> 敏感的转变<sup>[19]</sup>.在广州、上海和北京等特大城市,O<sub>3</sub> 敏感性 2005 年为 VOCs 控制,2013 年转变为共同控制<sup>[20]</sup>.识别 O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>-VOCs 敏感性,对制定科学的区域O<sub>3</sub>污染防控政策具有重要意义.

判断区域O<sub>3</sub>敏感性的方法可以分为基于观测的 箱模型(observation-based model, OBM)和基于排放的 模型(emission-based method, EBM)方法.其中,EBM 方法包括三维空气质量模型中的高阶直接去耦法

作者简介:陈柑羽(1997~),女,硕士研究生,主要研究方向为空气质 量模拟及臭氧来源解析,E-mail:20201248094@nuist.edu.cn

收稿日期: 2023-01-31;修订日期: 2023-04-22

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20200815)

<sup>\*</sup> 通信作者,E-mail:momei.qin@nuist.edu.cn; jianlinhu@nuist.edu.cn

(high-order decoupled direct method, HDDM)和强力法 (brute force method, BFM)等,在国内外均有大量的研 究应用[21~24]. 除此以外,光化学指标法采用与光化学 反应相关的污染物浓度或生成速率的比值,被三维 空气质量模型用于判断O3生成敏感性,是模型使用 综合源解析工具(integrated source apportionment method, ISAM) 或 臭 氧 源 解 析 技 术 (ozone source apportionment technology, OSAT)作 O,来源解析的基 础<sup>[25,26]</sup>. 由于不同方法识别 0,敏感性的原理不同,因 此,对应的结果可能存在差异.例如,Xu等<sup>[27]</sup>发现分 别基于 EBM 的情景分析和采用 OBM 计算相对增量 反应活性(relative incremental reactivity, RIR)的方法 在识别中国上海区域的O3敏感性时存在显著差异, OBM 结果更多显示本地 O3生成由 VOCs 控制. Dunker 等<sup>[28]</sup>比较了EMB中的直接去耦法(decoupled direct method, DDM)和OSAT对O3生成敏感性的判断,发现 在美国密歇根湖地区的一次臭氧污染事件中,两者 结果的时空变化较为接近.虽然这些方法的异同在 国内外研究中已有提及,但对各方法在高污染区域 0.敏感性识别方面的比较仍然较少.

南京市位于经济发达且人口众多的长三角区 域,近年来0。污染问题频发<sup>[29,30]</sup>,为了比较不同方法 识别我国重点区域O<sub>3</sub>-VOCs-NO<sub>4</sub>敏感性的差异,本研 究以南京2017年7月下旬的一次O<sub>3</sub>污染事件为例, 分别使用基于区域空气质量模型的光化学指标法、 敏感性系数法和基于观测的OBM方法,判断南京市 及其代表性站点O<sub>3</sub>-VOCs-NO<sub>4</sub>敏感性,探讨了各方法 的异同.本研究可提高不同方法应用于O<sub>3</sub>敏感性判 别的认识,以期为应用这些方法制定有效的南京市 O<sub>3</sub>污染防治策略提供科学参考.

#### 1 材料与方法

#### 1.1 CMAQ模型设置和评估

本研究使用区域空气质量模型 CMAQ v5.3.2模 拟长三角区域 2017 年 7 月 22~31 日的 O<sub>3</sub> 污染事件. 模拟区域如图1所示,包括长三角地区的江苏省、上 海市、浙江省、安徽省以及周边地区,而本研究关注 的南京市位于长三角中心区域.模拟采用4km的网 格分辨率,气相化学反应机制采用 saprc07tic,气溶 胶机制采用 AERO6. 采用上海环境科学研究院编制 的2017年长三角区域人为源大气污染物排放清 单[31]. 模拟区域内,长三角以外地区的人为源排放 则采用清华大学开发的多尺度排放清单(http:// www.meicmodel.org)中的2017年MEIC排放清单.生 物源排放使用 MEGAN v2.1 模型结果<sup>[32]</sup>, 露天生物 质燃烧排放使用 FINN 清单[33]. CMAQ 模型采用 WRF v4.2作为气象输入.模拟时段为2017年7月 19~31日,其中前3d作为启动时间,以减小初始场 对模拟结果的影响. CMAQ的 O3模拟结果已在 Li 等[34]研究中评估,根据南京国控站点观测和模拟的 O3体积分数计算的评估指标如下:标准平均偏差 NMB=13%,标准平均误差 NME=24%,相关系数 R= 0.93,说明模型可以很好地再现南京 0.3 污染事件. 同时,将OBM分析对应的监测站点(详见1.2.3节) VOCs和NO<sub>2</sub>的观测小时值分别与模拟值进行了对 比, VOCs和NO2模拟与观测值的相关系数均在0.5 以上,表明模拟值与观测值的变化趋势较为一致. 其中,NO2与观测值较接近(NMB = 1%),而 VOCs 的 模拟值相比观测存在一定高估(NMB = 79%),测量 的 VOCs 物种有限可能也是导致模拟的 VOCs 高于 观测的原因之一.



Fig. 1 Modeling domain and administrative districts of Nanjing

#### 1.2 O<sub>3</sub>-VOCs-NO<sub>x</sub>敏感性判定

#### 1.2.1 CMAQ-HDDM方法

本研究采用CMAQ-HDDM方法解析臭氧浓度与 前体物之间的非线性响应关系.该方法通过求解敏 感性方程可获得浓度对源排放强度的一阶和高阶导 数(即敏感性系数),因此能定量描述O<sub>3</sub>体积分数变 化与源排放变化的关系,从而进行O<sub>3</sub>敏感性分析及 来源解析<sup>[35]</sup>.其中,一阶敏感性系数定义为臭氧浓度 C对前体物排放扰动的响应,计算如公式(1):

$$S_{\chi}^{(1)} = \frac{\partial C}{\partial \varepsilon} \tag{1}$$

式中,*X*为前体物 VOCs或 NO<sub>x</sub>,  $S_x^{(1)}$ 为对前体物 *X*的 一阶敏感性系数, $\varepsilon$ 为扰动变量,如 VOCs或 NO<sub>x</sub>的排 放量.利用 VOCs和 NO<sub>x</sub>的一阶敏感性系数  $S_N$ 和  $S_V$ 可 以进行 O<sub>3</sub>-VOCs-NO<sub>x</sub>敏感性分析<sup>[36]</sup>,具体见表 1.

表1 不同方法判定 $O_3$ -VOCs-N $O_x$ 敏感性的标准<sup>1)</sup>

Table 1 Criteria to determine $O_3$ -VOCs- $NO_x$ sensitivity with different methods <sup>1)</sup>				
项目	敏感性系数	光化学指标	OBM	
VOCs控制	$S_{\rm V} > 5 \times 10^{-9} \boxplus S_{\rm V} - S_{\rm N} > 5 \times 10^{-9}$	$D(\Pi, O_{1})/D(\Pi NO_{1}) < 0.55$	$RIR_{VOCs} > 0 \square RIR_{NO_s} < 0;$	
		$P(H_2O_2)/P(HNO_3) < 0.55$	或 RIR <sub>NO<sub>x</sub></sub> >0 且 RIR <sub>VOCs</sub> > 2 RIR <sub>NO<sub>x</sub></sub>	
NO <sub>x</sub> 控制	$S_{\rm N} > 5 \times 10^{-9} \pm S_{\rm N} - S_{\rm V} > 5 \times 10^{-9}$	$P(H_2O_2)/P(HNO_3) > 0.75$	$RIR_{NO_s} > 2RIR_{VOC_s}$	
过渡	其他情况	$0.55 \leq P(\mathrm{H_2O_2})/P(\mathrm{HNO_3}) \leq 0.75$	$0.5 \mathrm{RIR}_{\mathrm{VOCs}} {<} \mathrm{RIR}_{\mathrm{NO}_{x}} {<} 2 \mathrm{RIR}_{\mathrm{VOCs}}$	
对 VOCs 和 NO 均不敏感	$ S_{N}  < 5 \times 10^{-9}  \text{E}  S_{V}  < 5 \times 10^{-9}$	_	_	

1)敏感性系数法、光化学指标法和OBM的判定标准分别参考Wang等<sup>[36]</sup>、Li等<sup>[34]</sup>和Xu等<sup>[27]</sup>研究;P为化学物质生成速率,P(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)/P(HNO<sub>3</sub>)为H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>与HNO<sub>3</sub>的生成速率比值

## 1.2.2 基于CMAQ的光化学指标法

本研究采用 CMAQ 的综合反应速率工具 (integrated reaction rate, IRR)输出的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>和HNO<sub>3</sub>的 生成速率比值[P(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)/P(HNO<sub>3</sub>)]进行O<sub>3</sub>敏感性分 析.参考Li等<sup>[34]</sup>研究,使用0.55和0.75作为区分 VOCs控制和NO<sub>x</sub>控制的临界值,具体方法见表1. **1.2.3** 基于OBM的RIR方法

OBM 以污染物充分混合为前提,将观测的 O<sub>3</sub>前 体物浓度输入箱模型模拟观测站点大气光化学过程 从而研究 O<sub>3</sub>形成机制<sup>[37]</sup>.本研究使用的 OBM 参考 Li 等<sup>[21]</sup>和 Ying 等<sup>[38]</sup>研究,基于 CMAOv5.0.1 模型结合化 学机制 MCMv3.3.1 经过修改得以应用,可用于模拟 原位光化学臭氧的生成并评估 O<sub>3</sub>对前体物 NO<sub>x</sub>和 VOCs浓度改变时的敏感性. 输入模型的观测数据来 自南京城区内的一个监测点(118.76°E,32.06°N),包 括 VOCs小时观测数据(包含乙烷、丙烷、乙炔和异 戊二烯等58种VOCs物种),以及中国国家环境监测 中心(http://www.cnemc.cn/)发布的NO2和CO小时观 测数据.由于NO观测数据缺失,本研究采用同时段 同地点的 WRF-CMAO 模拟结果.为验证 OBM 模拟 结果的准确性,使用一致性指数(index of agreement, IOA)进行判断,计算如公式(2).本研究时段7月22~ 31日 OBM 臭氧生成量与观测值的 IOA 为 0.80, OBM 的模型结果较为合理.

$$IOA = \frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2}$$
(2)

式中, $O_i$ 为物种i的观测值, $S_i$ 为物种i的模拟值,N为 有效样本数量, $\bar{O}$ 为观测均值, $\bar{S}$ 为模拟均值.IOA数 值范围为 $0\sim1$ ,当IOA 越接近1,说明模拟值与观测值 的一致性越好.

OBM方法使用 RIR 来量化表征 O<sub>3</sub>对于前体物浓 度变化的敏感性. RIR 定义为特定前体物浓度变化一 定百分比后引起的 O<sub>3</sub>生成量百分比变化的比值. RIR 为加权平均 RIR 值,是采用 O<sub>3</sub>体积分数作为权重因 子计算的一段时间内的平均 RIR,计算如公式(3)和 公式(4):

$$\operatorname{RIR}(X) = \frac{\left[P_{0,}(X) - P_{0,}(X - \Delta X)\right] / P_{0,}(X)}{\Delta S(X) / S(X)} (3)$$
$$\overline{\operatorname{RIR}}(X) = \frac{\sum [\operatorname{RIR}(X) \times P_{0,}(X)]}{\sum P_{0,}(X)} (4)$$

式中,X为特定前体物,S(X)为物种X的混合比, $P_{0,}$ 为不同情景下OBM模拟得到的臭氧浓度.本研究削减比例选择20%,即 $\Delta S(X)/S(X)=20\%$ .RIR为正值,代表前体物浓度的减少可以导致 $O_3$ 体积分数的下降;RIR为负值时,代表削减前体物浓度导致 $O_3$ 体积分数的上升,从而确定 $O_3$ 敏感性.本研究采用了Xu等<sup>[27]</sup>的RIR分析方法,具体见表1.

#### 2 结果与讨论

#### 2.1 基于CMAQ的O<sub>3</sub>敏感性

图 2(a)为7月 22~31日的南京 O<sub>3</sub>体积分数平均 值.模拟时段内,南京大部分区域日均  $\varphi$ (O<sub>3</sub>)都达到 了 5×10<sup>-8</sup>以上,高值集中在鼓楼、建邺、玄武、秦淮和 栖霞西南部等中心城区,下风向(模拟时段内南京盛 行偏东风)的浦口区北部O<sub>3</sub>体积分数也较高,其他区 域 O<sub>3</sub>体积分数相对较低.图 2(b)和 2(c)分别为光化 学指标法和敏感性系数法得到的南京O3敏感性的空 间分布.光化学指标法显示,在南京包括中心城区在 内的大部分区域,O3生成处于VOCs控制区,少数NO<sub>x</sub> 控制区主要位于郊区(溧水区、高淳区和六合区北 部),共同控制区主要位于两者交界处.敏感性系数 法则显示共同控制区范围最广,位于浦口区、江宁 区、六合区和溧水区的北部, VOCs 控制区主要位于 鼓楼、建邺、玄武、秦淮、雨花台、栖霞区和六合区 南部,NO<sub>\*</sub>控制区主要位于高淳区和溧水区的南部. 比较两种方法判定的南京0,敏感性的空间分布,发 现NO<sub>4</sub>控制区都主要分布在南部和北部郊区(高淳 区、溧水南部和六合区北部),最大的差异体现在 VOCs控制区和过渡区上,光化学指标法显示的 VOCs 控制区范围更广,而敏感性系数法则将更多的区域 判定为过渡区.

对南京市所有网格分别基于光化学指标法和敏 感性系数法得到的O3生成敏感区进行统计分析,共 包含7种情况(表2),结果如图2(d).结果表明,两种 方法具有较高的一致性(约一半的网格两种方法对 敏感区判断一致),相同区域主要位于高淳区南部、 栖霞区和六合区南部,以及零星分布在其他区域.占 比第二(25.9%)的是敏感性系数法判定为过渡区,光 化学指标法判定为 VOCs 控制区(IVHT)的情形,主要 位于离中心城区较近的江宁区和浦口区.占比第三 (19.2%)是敏感性系数判定为过渡区,光化学指标法 判定为NO<sub>x</sub>控制区(INHT)的情形,主要位于离中心 城区更远的溧水区和六合区.其余情况的占比较低 (<3%). 空间上较高的一致性验证了两种判定方法 在南京的适用性,不过敏感性系数法得到的过渡区 范围更大,即认为O<sub>3</sub>生成对VOCs和NO<sub>4</sub>两种前体物 均敏感,而光化学指标法倾向于判定为对单一污染 物(VOCs或NO<sub>x</sub>)敏感.

P(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)/P(HNO<sub>3</sub>)=0.35判定O<sub>3</sub>生成敏感性,从而 进一步依据VOCs或NO<sub>4</sub>示踪物对O<sub>3</sub>进行源分 配<sup>[39,40]</sup>.考虑到临界值可能会对结果产生影响,本研 究将采用默认临界值的光化学指标法与敏感性系数 法作比较,结果如图2(e)所示.两种方法的一致性由 50.5%下降至36.6%,主要区域仍位于六合区、高淳 区的南部及栖霞区.相比采用[0.55,0.75]作为临界 值,采用单一临界值0.35扩大了该方法定义的NO<sub>4</sub>敏 感区的范围(原本的过渡区和部分VOCs控制区被定 义为NO<sub>4</sub>控制区),因此部分原本显示为SAME情形 的江宁区、浦口区和六合区南部转变为INHT,导致 INHT(光化学指标判定为NO<sub>4</sub>控制,敏感性系数认为 是共同控制)占比明显增加,由占比第三(19.2%)变 为占比第一(47.3%).相应地,IVHT占比下降10%.

## 2.2 基于 OBM 的 O<sub>3</sub> 敏感性

由于OBM 是基于观测的方法,因此仅能反映观 测站点的0,敏感性.本研究中,南京观测站点基准情 景(情景1)显示 RIRvocs和 RIR<sub>NO</sub>大于0,且 RIRvocs> 2RIR<sub>x0</sub>(图3),说明南京城市的O<sub>3</sub>生成整体表现为 VOCs敏感,与其他研究得到的结果相对一致 OBM 以 NO<sub>x</sub>和非甲烷总烃(non-methane hydrocarbon, NMHC)作为模型的约束条件,但通常缺失 HCHO 和 HONO 的观测浓度,因此可能会对 OBM 的结果产生 影响.有研究显示, HCHO的缺失导致 OBM 的 O<sub>3</sub>-VOCs-NO、敏感性结果趋向 VOCs 控制<sup>[27]</sup>, HONO 的缺 失也使得 OBM 结果不确定性增加<sup>[42,43]</sup>;另外,监测中 催化剂可能会将氨气和硝酸等气态含氮化合物也转 化为NO,导致NO<sub>2</sub>观测数值高估<sup>[44]</sup>,这也可能致使 OBM结果趋向 VOCs 控制.因此本研究设置了4个情 景模拟来探讨 HCHO、HONO 观测缺失和 NO2 观测可 能的高估对OBM结果的影响,具体设置如下:情景1 为基础模拟,情景2在情景1基础上加入了WRF-CMAQ模拟的HCHO浓度,情景3将基础情景的NO2 观测数值减半,情景4参考以往对HONO/NO<sub>x</sub>排放估 算的研究<sup>[45~48]</sup>,使用 1% 观测 NO<sub>2</sub>作为 HONO 浓度 输入.

在三维空气质量模型中,通常采用默认临界值

表 2	光化字指标法和敏感性系数法判定南京市	03 敏感性的比较

Table 2Comparison of O3 sensitivity determined using the photochemical indicator and sensitivity coefficients

项目	W (1, 22, 45, 47, 54	白肉出石料汁	空间占比/%		
	兀化子佰仦法	兀化字指标法	采用临界值[0.55, 0.75]	采用临界值0.35	
IVHN	VOCs控制区	NO <sub>x</sub> 控制区	0.0	0.25	
INHT	NO <sub>x</sub> 控制区	过渡区	19.2	47.3	
IVHT	VOCs控制区	过渡区	25.9	15.7	
SAME	判定结果一致		50.5	36.6	
ITHV	过渡区	VOCs控制区	0.5	0	
ITHN	过渡区	NO <sub>x</sub> 控制区	2.5	0	
INHV	NO <sub>x</sub> 控制区	VOCs控制区	1.5	0.25	







比较4种情景的RIR值后发现,O<sub>3</sub>对前体物NO<sub>x</sub>和VOCs的加权平均RIR均为正值,RIR<sub>NOx</sub>范围在0.11~0.18,RIR<sub>vocs</sub>范围在0.27~0.29,差异较小,但是对O<sub>3</sub>敏感性产生了不同的影响.情景2显示加入HCHO后,RIR<sub>vocs</sub>轻微下降(-1%),RIR<sub>NO</sub>上升(4%). 情景4显示加入HONO后,RIR<sub>vocs</sub>几乎不变.因此,HCHO和HONO观测数据缺失可能对该站点在本模 拟时段的O<sub>3</sub>敏感性判别影响不大(情景2和情景4同 基准情景一样都是 VOCs 控制).不过,HONO 和 HCHO浓度的模拟误差可能造成结果具有一定的不 确定性.相比基准情景,情景3的O<sub>3</sub>敏感性由 VOCs 控制转变为共同控制,其中 RIR<sub>NO</sub>增幅较大(41%), 说明在南京地区,若高估 NO<sub>2</sub>观测值,则可能会低估 O<sub>3</sub>对 NO<sub>2</sub>的敏感性.

## 2.3 不同方法对 O3敏感性判断的比较

由于 OBM 存在空间局限性,提取了光化学指标 法和敏感性系数法在监测站点(118.76°E,32.06°N) 的结果,比较了 EBM 和 OBM 对南京该站点逐日和逐 小时 O<sub>3</sub>敏感性判定的差异.图4分别探讨了 OBM 计 算的每天日间(08:00~17:00)RIR<sub>N0.</sub>/RIR<sub>vocs</sub>值与基 于 CMAQ 模拟的光化学指标  $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$ 和 敏感性系数比值 S<sub>N</sub>/S<sub>V</sub>的相关性.3种比值越大,都表 示 O<sub>3</sub>化学生成对 NO<sub>x</sub>越敏感.其中,RIR 比值与光化 学指标存在弱相关性( $R^2$ =0.22),而敏感性系数 S<sub>N</sub>/S<sub>V</sub> 和 RIR 不相关( $R^2$ =0.05).图4(a)显示 OBM 得到的 RIR 比值和光化学指标法的差异主要集中于 0.5< RIR<sub>N0.</sub>/RIR<sub>vocs</sub> < 2 区域,此时 OBM 判定为共同控 制,光化学指标法  $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$  < 0.55,所有 时刻均为 VOCs 控制.因此,在小时尺度上,光化学指



45 卷



图 4 日间(08:00~17:00) RIR<sub>NO.</sub>/RIR<sub>VOCs</sub>和P(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)/P(HNO<sub>3</sub>)、RIR<sub>NO.</sub>/RIR<sub>VOCs</sub>和S<sub>N</sub>/S<sub>V</sub>的相关性 Fig. 4 Correlation of hourly RIR<sub>NO.</sub>/RIR<sub>VOCs</sub> and  $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$ , RIR<sub>NO.</sub>/RIR<sub>VOCs</sub> and  $S_N/S_V$  during the daytime (08:00-17:00)

标法相比 OBM 低估了  $O_3$ 对 NO<sub>x</sub>的敏感性.图4(b)显示当 OBM 结果在日间表现为共同控制时(0.5 < RIR<sub>NO<sub>x</sub></sub>/RIR<sub>VOCs</sub> < 2),敏感性系数比值  $S_N/S_V$ 分散在  $-1\sim10$ 范围内,大部分集中在>1区域.

表3统计了基于3种方法判断的观测站点全天 及日间每小时的O<sub>3</sub>-VOCs-NO<sub>x</sub>敏感性情况占比,总 体而言,日间相比全天,VOCs敏感占比降低,共同控 制和NO<sub>x</sub>敏感占比上升(光化学指标法除外),这与夜 间 03生成通常以 VOCs 敏感为主有关. 其中, 敏感性 系数法NO<sub>\*</sub>敏感日间相比白天明显增加(27%~50%); OBM方法 VOCs敏感占比降低(由全天的50%降至目 间的25%),共同控制占比明显增加(43%至67%).与 其他两种方法不同,光化学指标法显示观测站点O<sub>3</sub> 生成始终处于 VOCs 敏感, 这与 2.1 节中空间分布上 光化学指标法对应 VOCs 敏感的占比更多结论一致. OBM方法表明日间O3生成受两种前体物共同控制的 情况占比最高(67%),而敏感性系数法则显示日间 NO<sub>x</sub>控制主导(50%). 根据南京观测站点的对比结 果,图4和表3都说明,OBM结果与光化学指标法倾 向于将O3生成敏感性归于共同控制或VOCs控制,而 对NO<sub>x</sub>敏感性较低,敏感性系数法则更加倾向于NO<sub>x</sub> 控制.模拟的VOCs高于观测值,可能造成基于EBM 的光化学指标法或敏感性系数法相比 OBM 对 NO<sub>x</sub>更 加敏感,在一定程度上解释了敏感性系数法和OBM

表3 不同方法 $O_3$ -VOCs-NO<sub>x</sub>敏感性的逐小时比较/%

Table 3 Comparison of the  $O_3$ -VOCs-NO $_x$  sensitivity on an hourly basis with different methods/%

155 🗖	光化学	指标法	敏感性	系数法	OF	BM
坝日	全天	日间	全天	日间	全天	日间
VOCs控制	100	100	33	27	50	25
共同控制	0	0	40	23	43	67
NO <sub>x</sub> 控制	0	0	27	50	7	8

的差异,而光化学指标法仍显示对VOCs敏感,因此该方法可能高估对VOCs的敏感性.

图 5 为研究时段内 3 种方法涉及的指标和对应 的O3敏感性的逐日变化.由于观测的VOCs物种种类 有限,模拟的VOCs总浓度高于观测的VOCs总浓度. 臭氧最大8h滑动平均值(MDA8 O3)的模拟浓度与观 测浓度接近,变化趋势也相似,总体为先上升后下 降.NO2的观测与模拟浓度逐日变化相对较小,NO2的 模拟浓度会略低于观测浓度.光化学指标法的结果 显示观测站点 O3敏感性始终表现为 VOCs 控制, P(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)/P(HNO<sub>3</sub>)日均值集中在 0~0.1 范围内,其 变化趋势与模拟的 VOCs 浓度类似, 在7月27日达到 峰值. 敏感性系数法中, Sv和 Sn高值一般出现在 O3体 积分数较高时.在O3模拟浓度最高的7月27日,Sv较 前一日降低,SN达到最大且超过Sv,O3生成由VOCs敏 感转变为NO<sub>x</sub>敏感,这可能与高VOCs浓度有关.OBM 结果则显示,7月22~26日期间,RIRvocs和RIRvo 波动 不大.7月27日 VOCs 观测浓度骤升,但 03敏感性仍 处于 VOCs 控制.7月28日, VOCs 观测浓度下降, NO2 浓度上升,RIRvocs和RIRvo分别出现了明显的下降和 上升,03敏感性变为共同控制.在7月29~31日,无论 模拟还是观测的O<sub>3</sub>体积分数都明显下降,此时光化 学指标  $P(H_2O_2) / P(HNO_3)$  和敏感性系数( $S_N n S_V$ ) 都大幅降低,O3生成处于 VOCs 控制区. 然而,RIRvocs 和RIR<sub>NO</sub>分别持续上升和下降,基于OBM,该观测站 点 O<sub>3</sub>生成由共同控制转为 VOCs 控制.3 种方法在高 O<sub>3</sub>污染时(7月27~28日)的结果差异最为明显.7月 27日光化学指标法和OBM显示该日O<sub>3</sub>形成由VOCs 控制,敏感性系数显示该日 0,形成由 NO,控制;7月 28日敏感性系数法和OBM显示共同控制,光化学指

RIR<sub>NO<sub>x</sub></sub>

- RIR<sub>VOCs</sub>

07-29 07-30

VOCs控制

07-31





标法显示 VOCs 控制.因此,下文进一步对比了这3 种方法在0,重污染时段的差异.

图6为3种方法分别在重污染时段[时段1:7月 27~28日,观测ρ(MDA8 O<sub>3</sub>)=229 μg·m<sup>-3</sup>]和相对清洁 的时段 [时段2:7月30~31日,观测 p(MDA8 O<sub>3</sub>)=121 μg·m<sup>-3</sup>]的 O<sub>3</sub>敏感性逐小时结果.在重污染发生时 (时段1),3种方法判定的0<sub>3</sub>敏感性主要在12:00~ 23:00出现明显的差别,其余时段,3种方法通常判定 为对 VOCs 敏感. 其中, 光化学指标法结果显示 O3生 成始终由 VOCs 控制,敏感性系数法的结果显示7月 27日10:00~22:00为NO,控制, 而OBM显示该时段为 共同控制,基于3种方法的O3敏感性各不相同.7月 28日12:00~20:00敏感性系数法与OBM均显示为

NO<sub>x</sub>控制,这与光化学指标的VOCs控制不同.在相对 清洁的时段(时段2),3种方法的结果差别不大,均显 示为共同控制或 VOCs 控制. OBM 显示 VOCs 控制时 段主要在夜间,敏感性系数法显示在12:00左右对 VOCs较敏感,其余时段多数表现为共同控制.另外, 3种方法在O3重污染时差别较大,尤其是在午后.综 上所述,敏感性系数法和OBM方法对O3敏感性的判 断相对接近,建议优先使用以上两种方法,而光化学 指标法可能高估对 VOCs 的敏感性.

## 3 结论

(1)光化学指标法和敏感性系数法得到的南京 市0,敏感性的空间分布较为一致(约51%的网格对

ŀ



图 6 不同方法在重污染时段和相对清洁时段的  $O_3$ 敏感性时间序列

Fig. 6 Time series of O3 sensitivity determined using different methods during the polluted period and relatively clean period

应的 O<sub>3</sub>敏感性相同),两者均表明,城市中心以 VOCs 控制和共同控制为主,郊区以 NO<sub>4</sub>控制为主.不过, 敏感性系数法对应的过渡区范围更广,而光化学指 标法更倾向于将 O<sub>3</sub>生成判定为对单一污染物(VOCs 或 NO<sub>4</sub>)敏感.另外,光化学指标法的结果也会受所采 用的临界值的影响.

(2)相比 EBM 方法,OBM 方法的局限性在于仅能 判断观测站点的 O<sub>3</sub>生成敏感性.对于本研究中的城 市站点,用于约束模型的观测数据中缺失 HCHO 和 HONO 的浓度可能对 O<sub>3</sub>敏感性判断影响较小,而 NO<sub>2</sub> 观测浓度的潜在误差(可能高于实际浓度)则会造成 OBM 低估对 NO<sub>x</sub>的敏感性.

(3)基于3种方法的观测站点的O<sub>3</sub>敏感性时间序 列表明,重污染时的O<sub>3</sub>敏感性结果与清洁时段相比, 各方法间差异较大.光化学指标法判定观测站点的 O<sub>3</sub>生成始终为VOCs控制.OBM和敏感性系数法的结 果相对接近,其中敏感性系数法判定重污染日的下 午,O<sub>3</sub>生成为NO<sub>4</sub>控制,而OBM则对应NO<sub>4</sub>控制或共 同控制.在实际应用中,建议优先选择敏感性系数法 或OBM识别南京O<sub>3</sub>敏感性.

#### 参考文献:

- Zhang Y F, Ma Y X, Feng F L, et al. Respiratory mortality associated with ozone in China: A systematic review and metaanalysis [J]. Environmental Pollution, 2021, 280, doi: 10.1016/ j. envpol. 2021. 116957.
- [2] 叶伟鹏,刘苗苗,毕军.中国臭氧短期暴露与人群死亡之间 关系的Meta分析研究[J].环境科学学报,2020,40(7):2644-2651.

Ye W P, Liu M M, Bi J. Meta-analysis of the associations between short-term ozone exposure and human mortality in China[J]. Acta

Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(7): 2644-2651.
[3] 王莼璐, 王毅一, 史之浩, 等. 基于多源融合数据評估2014—2018年中国地表大气臭氧污染变化及其健康影响[J]. 大气科学学报, 2021, 44(5): 737-745.
Wang C L, Wang Y Y, Shi Z H, et al. Assessment of surface ozone pollution change and its health effect in China from 2014 to 2018 based on multi-source fusion data [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2021, 44(5): 737-745.

- [4] Shi W Y, Sun Q H, Du P, et al. Modification effects of temperature on the ozone-mortality relationship: a nationwide multicounty study in China [J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(5): 2859-2868.
- [5] Yang N, Wang X K, Zheng F X, et al. The response of marigold (*Tagetes erecta* Linn.) to ozone: impacts on plant growth and leaf physiology[J]. Ecotoxicology, 2017, 26(1): 151-164.
- Li D Y, Shindell D, Ding D, et al. Surface ozone impacts on major crop production in China from 2010 to 2017 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2022, 22(4): 2625-2638.
- [7] 胡定珠.海温和臭氧变化对平流层气候的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [8] 张健恺,刘玮,韩元元,等.平流层臭氧变化对对流层气候影响的研究进展[J].干旱气象,2014,32(5):685-693.
   Zhang J K, Liu W, Han Y Y, *et al.* Progresses in influence of variations in stratospheric ozone on tropospheric climate [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5):685-693.
- [9] Wei J, Li Z Q, Li K, et al. Full-coverage mapping and spatiotemporal variations of ground-level ozone (O<sub>3</sub>) pollution from 2013 to 2020 across China [J]. Remote Sensing of Environment, 2022, 270, doi: 10.1016/j.rse. 2021.112775.
- [10] Wang Z B, Li J X, Liang L W. Spatio-temporal evolution of ozone pollution and its influencing factors in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration [J]. Environmental Pollution, 2020, 256, doi: 10.1016/j. envpol. 2019. 113419.
- [11] Li K, Jacob D J, Shen L, et al. Increases in surface ozone pollution in China from 2013 to 2019: anthropogenic and meteorological influences [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2020, 20(19): 11423-11433.

- [12] 赵伟,高博,卢清,等. 2006~2019年珠三角地区臭氧污染趋势[J]. 环境科学, 2021, 42(1): 97-105.
   Zhao W, Gao B, Lu Q, *et al.* Ozone pollution trend in the Pearl River Delta region during 2006-2019[J]. Environmental Science, 2021, 42(1): 97-105.
- Li X B, Yuan B, Parrish D D, et al. Long-term trend of ozone in southern China reveals future mitigation strategy for air pollution
   [J]. Atmospheric Environment, 2022, 269, doi: 10.1016/j. atmosenv. 2021. 118869.
- [14] Tong L, Xiao H, Yi H, et al. Spatial regionalization on surface ozone in the Yangtze River Delta of China[J]. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2022, 58(2): 207-218.
- [15] Tang K Q, Zhang H R, Feng W H, et al. Increasing but variable trend of surface ozone in the Yangtze River Delta region of China
   [J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10, doi: 10. 3389/fenvs. 2022. 836191.
- Sillman S, Vautard R, Menut L, et al. O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>-VOC sensitivity and NO<sub>x</sub>-VOC indicators in Paris: Results from models and atmospheric pollution over the Paris area (ESQUIF) measurements
   J. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, 108, doi: 10.1029/2002JD001561.
- [17] Sillman S. Tropospheric ozone and photochemical smog [J]. Treatise on Geochemistry (Second Edition), 2014, 11: 415-437.
- [18] 叶绿萌, 樊少芬, 常鸣, 等.珠三角地区秋季臭氧生成敏感性
   时空变化模拟研究[J].南京大学学报(自然科学), 2016, 52
   (6):977-988.
  - Ye L M, Fan S F, Chang M, *et al.* Spatial and temporal distribution of ozone sensitive district in Pearl River Delta region during autumn [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2016, **52**(6): 977-988.
- [19] Tan Z F, Lu K D, Dong H B, et al. Explicit diagnosis of the local ozone production rate and the ozone-NO<sub>x</sub>-VOC sensitivities [J]. Science Bulletin, 2018, 63(16): 1067-1076.
- [20] Jin X M, Holloway T. Spatial and temporal variability of ozone sensitivity over China observed from the Ozone Monitoring Instrument [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2015, 120(14): 7229-7246.
- [21] Li L, Xie F J, Li J Y, et al. Diagnostic analysis of regional ozone pollution in Yangtze River Delta, China: a case study in summer 2020[J]. Science of the Total Environment, 2022, 812, doi: 10. 1016/j. scitotenv. 2021. 151511.
- [22] Koplitz S, Simon H, Henderson B, et al. Changes in ozone chemical sensitivity in the United States from 2007 to 2016 [J].
   ACS Environmental Au, 2022, 2(3): 206-222.
- [23] Shen H Z, Sun Z, Chen Y L, et al. Novel method for ozone isopleth construction and diagnosis for the ozone control strategy of Chinese cities [J]. Environmental Science & Technology, 2021, 55(23): 15625-15636.
- [24] Itahashi S, Mathur R, Hogrefe C, et al. Modeling stratospheric intrusion and trans-Pacific transport on tropospheric ozone using hemispheric CMAQ during April 2010 - Part I : model evaluation and air mass characterization for stratosphere - troposphere transport[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2020, 20(6): 3373-3396.
- [25] Sillman S. The use of NO<sub>y</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and HNO<sub>3</sub> as indicators for ozone-NO<sub>x</sub>-hydrocarbon sensitivity in urban locations [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1995, **100**(D7): 14175-14188.
- [26] Sillman S, He D Y. Some theoretical results concerning O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>-VOC chemistry and NO<sub>x</sub>-VOC indicators [J]. Journal of

Geophysical Research: Atmospheres, 2002, **107**(D22), doi: 10. 1029/2001JD001123.

- [27] Xu D N, Yuan Z B, Wang M, et al. Multi-factor reconciliation of discrepancies in ozone-precursor sensitivity retrieved from observation- and emission-based models [J]. Environment International, 2022, 158, doi: 10.1016/j. envint. 2021.106952.
- [28] Dunker A M, Yarwood G, Ortmann J P, et al. Comparison of source apportionment and source sensitivity of ozone in a threedimensional air quality model [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(13): 2953-2964.
- [29] 李菁,戴竹君,李正金,等.基于卫星观测的南京臭氧时空分 布及变化特征[J].生态环境学报,2019,28(10):2012-2019.
  Li J, Dai Z J, Li Z J, *et al.* Ozone spatial-temporal distribution and trend over Nanjing: Insight from satellite [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(10): 2012-2019.
- [30] An J L, Zou J N, Wang J X, et al. Differences in ozone photochemical characteristics between the megacity Nanjing and its suburban surroundings, Yangtze River Delta, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22 (24) : 19607-19617.
- [31] An J Y, Huang Y W, Huang C, et al. Emission inventory of air pollutants and chemical speciation for specific anthropogenic sources based on local measurements in the Yangtze River Delta region, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2021, 21 (3): 2003-2025.
- [32] Guenther A B, Jiang X, Heald C L, et al. The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions
   [J]. Geoscientific Model Development, 2012, 5(6): 1471-1492.
- [33] Wiedinmyer C, Akagi S K, Yokelson R J, et al. The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning[J]. Geoscientific Model Development, 2011, 4(3): 625-641.
- Li X, Qin M M, Li L, et al. Examining the implications of photochemical indicators for O<sub>3</sub> NO<sub>x</sub> VOC sensitivity and control strategies: a case study in the Yangtze River Delta (YRD), China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2022, 22 (22): 14799-14811.
- [35] Cohan D S, Hakami A, Hu Y T, et al. Nonlinear response of ozone to emissions: source apportionment and sensitivity analysis
   [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(17): 6739-6748.
- [36] Wang X S, Zhang Y H, Hu Y T, et al. Decoupled direct sensitivity analysis of regional ozone pollution over the Pearl River Delta during the PRIDE-PRD2004 campaign [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(28): 4941-4949.

[37] 张英南,薛丽坤,陈天舒,等. 基于观测的模型(OBM)的发展 历程及其在我国大气化学研究中的应用与展望[J]. 环境科学 研究, 2022, 35(3): 621-632.
Zhang Y N, Xue L K, Chen T S, et al. Development history of Observation-Based Model (OBM) and its application and prospect in atmospheric chemistry studies in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(3): 621-632.

- [38] Ying Q, Li J Y. Implementation and initial application of the nearexplicit Master Chemical Mechanism in the 3D Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(19): 3244-3256.
- [39] Kwok R H F, Baker K R, Napelenok S L, et al. Photochemical grid model implementation and application of VOC, NO<sub>x</sub>, and O<sub>3</sub> source apportionment [J]. Geoscientific Model Development,

- [40] Ge S J, Wang S J, Xu Q, et al. Characterization and sensitivity analysis on ozone pollution over the Beaumont-Port Arthur Area in Texas of USA through source apportionment technologies [J]. Atmospheric Research, 2021, 247, doi: 10.1016/j. atmosres. 2020. 105249.
- [41] 张玉欣,安俊琳,王俊秀,等.南京工业区挥发性有机物来源 解析及其对臭氧贡献评估[J].环境科学,2018,39(2): 502-510.
  Zhang Y X, An J L, Wang J X, *et al.* Source analysis of volatile organic compounds in the Nanjing industrial area and evaluation of their contribution to ozone[J]. Environmental Science, 2018, 39 (2): 502-510.
- [42] Lu K D, Zhang Y H, Su H, et al. Oxidant (O<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) production processes and formation regimes in Beijing [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010, 115(D7), doi: 10. 1029/2009JD012714.
- [43] Lin H T, Wang M, Duan Y S, et al. O<sub>3</sub> sensitivity and contributions of different NMHC sources in O<sub>3</sub> formation at urban and suburban sites in Shanghai [J]. Atmosphere, 2020, 11(3), doi: 10.3390/atmos11030295.

- [44] McClenny W A, Williams E J, Cohen R C, et al. Preparing to measure the effects of the NO<sub>x</sub> SIP Call— methods for ambient air monitoring of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>y</sub>, and individual NO<sub>x</sub> species [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, 52 (5): 542-562.
- [45] Trinh H T, Imanishi K, Morikawa T, et al. Gaseous nitrous acid (HONO) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) emission from gasoline and diesel vehicles under real-world driving test cycles [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2017, 67 (4) : 412-420.
- [46] Kurtenbach R, Becker K H, Gomes J A G, et al. Investigations of emissions and heterogeneous formation of HONO in a road traffic tunnel [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35 (20): 3385-3394.
- [47] Rappenglück B, Lubertino G, Alvarez S, et al. Radical precursors and related species from traffic as observed and modeled at an urban highway junction [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2013, 63(11): 1270-1286.
- [48] Yu Y H, Cheng P, Li H R, et al. Budget of nitrous acid (HONO) at an urban site in the fall season of Guangzhou, China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2022, 22(13): 8951-8971.





# HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

# CONTENTS

Impacts of Anthropogenic Emission Reduction on Urban Atmospheric Oxidizing Capacity During the COVID-19 Lockdown	·····ZHU Jian-lan, QIN Mo-mei, ZHU Yan-hong, et al.	. ( 617 )
Transport and Potential Sources Regions of Double High Pollution in Nanjing by Different Synoptic Situations	······QIN Yang, HU Jian-lin, KONG Hai-jiang	(626)
Differences of Three Methods in Determining Ozone Sensitivity in Nanjing ·····	······CHEN Gan-yu, LI Xun, LI Lin, et al.	. ( 635 )
Characteristics of Ozone Concentration in Shanghai and Its Associated Atmospheric Circulation Background During Summer Half-years free	om 2006 to 2021	
	ZHENG Qing-feng, LIANG Ping, DUAN Yu-sen, et al.	. ( 645 )
Distribution Characteristics of Near Surface Ozone Volume Fraction in Shanxi Province Based on Atmospheric Composition Observation Neuropean Composition Characteristics of Near Surface Ozone Volume Fraction in Shanxi Province Based on Atmospheric Composition Observation Neuropean Composition Characteristics of Neuropean Characteristics of Neuropean Composition Characteristics of Neuropean Characteristics	etwork	
	LI Ying, WANG Shu-min, PEI Kun-ning, et al.	. ( 655 )
Photochemical Mechanism and Control Strategy Optimization for Summertime Ozone Pollution in Yining City	WANG Wen-ting, GU Chao, LI Li-ming, et al.	. (668)
Characteristics, Sources, and Ozone-sensitive Species of VOCs in Four Seasons in Yuncheng	······YIN Shi-jie, LIU Xin-gang, LIU Ya-fei, et al.	. (678)
Pollution Characteristics, Source Analysis, and Activity Analysis of Atmospheric VOCs During Winter and Summer Pollution in Zhengzho	ou ······LAI Meng-jie, ZHANG Dong, YU Shi-jie, et al.	. (689)
Pollution Characteristics, Sources, and Secondary Generation of Organic Acids in PM2.5 in Zhengzhou	LI Zi-han, DONG Zhe, SHANG Lu-qi, et al.	. ( 700 )
Nonlinear Variations in PM2.5 Concentration in the Three Major Urban Agglomerations in China	"WU Shu-qi, GU Yang-yang, ZHANG Tian-yue, et al.	. ( 709 )
Medium and Long-term Carbon Emission Projections and Emission Reduction Potential Analysis of the Lingang Special Area Based on the	: LEAP Model	
	WU Qiong, MA Hao, REN Hong-bo, et al.	. ( 721 )
Dynamic Analysis on Carbon Metabolism of the Northern Region of China Under the Background of Carbon Emission Trading Policy	ZHENG Hong-mei, SHEN Fang, XU Guang-yao, et al.	. ( 732 )
Carbon Reduction Analysis of Life Cycle Prediction Assessment of Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Considering Regional Features and Vehi	cle Type Differences	
	MA Jing, CAI Xu, ZHANG Chun-mei, et al.	. ( 744 )
Nitrate Pollution Characteristics and Its Quantitative Source Identification of Major River Systems in China	·····WEI Ying-huai, HU Min-peng, CHEN Ding-jiang	(755)
Effects of Land Use Structure and Spatial Pattern at Different Temporal and Spatial Scales on Water Quality in Suzhou Creek	······TAN Juan, XIONG Li-jun, WANG Qing, et al.	. ( 768 )
Spatial-temporal Variation in Water Quality of Rain-source Rivers in Shenzhen from 2015 to 2021 and Its Response to Rainfall	····WEI Bi-ying, CHENG Jian-mei, SU Xiao-yu, et al.	. ( 780 )
Chemical Characteristics of Shallow Groundwater in the Yellow River Diversion Area of Henan Province and Identification of Main Control	Pollution Sources	
	WANG Shuai, REN Yu, GUO Hong, et al.	. ( 792 )
Chemical Characteristics and Genetic Analysis of Karst Groundwater in the Beijing Xishan Area	GUO Gao-xuan, DAI Yin-dong, XU Liang, et al.	. ( 802 )
Hydrochemical Characteristics and Its Origin of Surface Water and Groundwater in Dianbu River Basin	······ZHENG Tao, QIN Xian-yan, WU Jian-xiong	( 813 )
Hydrochemical Characteristics and Genesis Mechanism of Groundwater in the Dry Period in the Zhangjiakou Area	JIN Ai-fang, YIN Xiu-lan, LI Chang-qing, et al.	. ( 826 )
Distribution of Typical Resistant Bacteria and Resistance Genes in Source Water of the Middle and Lower Reaches of the Yellow River	MIN Wei, GAO Ming-chang, SUN Shao-fang, et al.	. ( 837 )
Contamination Characteristics, Detection Methods, and Control Methods of Antibiotic Resistance in Pharmaceutical Wastewater	······PENG An-ping, GAO Hu, ZHANG Xin-bo	(844)
Effect of Water Components on Aggregation and Sedimentation of Polystyrene Nano-plastics	uan-yang, ZHENG Wen-li, CHEN Guan-tong-yi, et al.	. ( 854 )
Lead Removal from Water by Calcium-containing Biochar with Saturated Phosphate	LIU Tian, LÜ Si-lu, DU Xing-guo, et al.	. ( 862 )
Preparation of Chitosan-modified Biochar and Its Adsorption Mechanism for Cd2+ in Aqueous Solution	·····JIANG Ling, AN Jing-yue, YUE Xiao-qiong, et al.	. (873)
Efficacy and Mechanism of Tetracycline Adsorption by Boron-doped Mesoporous Carbon	ZOU Zhen, XU Lu, OIAO Wei, et al.	. (885)
Adsorption Properties of Magnetic Phosphorous Camellia Oleifera Shells Biochar to Sulfamethoxazole in Water	HAN Shuai-peng, TANG Li-wen, LIU Qin, et al.	. ( 898 )
High Resolution Emission Inventory of Greenhouse Gas and Its Characteristics in Guangdong, China	LU Oing, TANG Ming-shuang, LIAO Tong, et al.	( 909 )
Ecosystem CO, Exchange and Its Environmental Regulation of a Restored Wetland in the Liaohe River Estuary	LIU Si-qi, CHEN Hong, XING Qing-hui, et al.	. (920)
Effects of Biochar Application Two Years Later on N.O and CH. Emissions from Rice-Vegetable Rotation in a Tropical Region of China	HU Yu-ije, TANG Rui-ije, HU Tian-vi, et al.	( 929 )
Research and Application Progress of Biochar in Amelioration of Saline-Alkali Soil	WEI Ying, IIAO Le, ZHANG Peng, et al.	(940)
Effect of No-tillage on Soil Aggregates in Farmland · A Meta Analysis	XU Yi-ping, RAO Yue-yue, MENG Yan, et al.	(952)
Spatio-temporal Evolution and Multi-scenario Simulation of Carbon Storage in Karst Regions of Central Guizhou Province · Taking Puding	County as An ExampleLI Yue, LUO Hong-fen	(961)
Effects of Different Modifiers on Aggregates and Organic Carbon in Acidic Purple Soil	······································	(974)
Effect of Ca Modified Biochar on the Chemical Speciation of Soil Phosphorus and Its Stabilization Mechanism	·······ZHANG Chao, ZHAI Fu-jie, SHAN Bao-ging	(983)
Plant Diversity Changes and Its Driving Factors of Ahandoned Land at Different Restoration Stages in the Middle of the Oinling Mountains	YAN Cheng-long, XUE Yue, WANG Yi-fei, et al.	(992)
Contamination Characteristics and Ecological Risk of Antibiotics in Contaminated Sites of Typical Pharmaceutical Factories in China		( ))= )
VA	NG Jiong-bin, HUANG Zheng, ZHAO Jian-Jiang, et al.	(1004)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of Guangzhou	····ZOU Zi-hang, CHEN Lian, ZHANG Pei-zhen, et al.	(1015)
Quantifying the Contribution of Soil Heavy Metals to Ecological and Health Risk Sources	······PAN Yong-xing, CHEN Meng, WANG Xiao-tong	(1026)
Potential Ecological Risk Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils around Typical Factories in Hunan	Province Based on Monte -Carlo Simulation	(,
		(1038)
Health Risk Assessment for an Arsenic-contaminated Site Based on Monte Carlo Simulation and Parameters Optimization	YUAN Bei, LIU Hu-peng, DU Ping, et al.	(1049)
Pollution Source Apportionment of Heavy Metals in Cultivated Soil Around a Red Mud Yard Based on APCS-MLR and PMF Models		(1058)
Characteristics and Mechanism of Cd Release and Transport in Soil Contaminated with PE-Cd	WANG Di, XII Shao-hui, SHAO Ming-yan, et al.	(1069)
Characterization of Reductive Dechlorination of Chlorinated Fthylenes by Anaerobic Consortium		(1080)
Analysis of Heavy Metal Pollution Evaluation and Correlation of Farmland Soil and Vegetables in Zhaotong City	ZHANG Hao, DONG Chun-vu, YANG Hai-chan, et al.	(1000)
Safe Utilization Effect of Passivator on Mild to Moderate Cadmium Contaminated Farmland	ANG Xiao-iing ZHANG Dong-ming CAO Yang et al.	(1098)
Simultaneous Immobilization of Cadmium and Arsonic in Paddy Soils with Noval Fa-Mn Combined Cranhane Ovide	······································	(1107)
Effects of the Application of Irrigation Water Containing Zn at the Key Growth Period on the Untake and Transport of Cd in Rice	············ZHOU Xia HU Yu-dan ZHOU Hang et al.	(1118)
Effects of Evogonous Zine on Crowth and Root Architecture Classification of Maiza Saedlings Under Cadmium Stress		(1110)
Mitigative Effect of Bare Farth Element Cerium on the Growth of Zine-stressed Wheat ( <i>Triticum gestivum</i> L.) Seedlings	ANG Jing-jing XII Zheng-yang JIAO Oju-juan et al	(1120)
Two-stage Inhibition Effects of Burkholderia en VA Annliegtion on Cadmium Untake and Transport in Wheat	CIIO Jia-ija WANG Chang-rong IIII Zhong-gi et al.	(1150)
Effects of Combined Stress of High Density Polyethylene Micronlastics and Chlorimuron-athyl on Souhaen Crowth and Rhizoenhaze Rogion	ial Community	(1150)
anous of communication of the money responsible intropraence and continuant citiyi on boyucan orowin and unitabilited bacter	·····HII Xiao-vue HIIA Zi-wai VAO Lun-guang at al	(1161)
Human Accumulation and Toxic Effects of Microplastics. A Critical Review	O Ya-ho WANG Chang-chan PENC Wu-muong at al	(1173)
Overview of the Annlication of Machine Learning for Identification and Environmental Risk Assocsment of Micronlastics		(1185)
Research Process on the Combined Pollution of Microplastics and Tyrical Pollutants in Agricultural Soils		(1106)
Research Progress in Fleetrachemical Detection and Removal of Micro/Nano Plastics in Water	HENG Wei-kang LIII Zhen-zhong VIANG Viao-fang	(1210)
Factors Influencing Willingness of Farmers to Pay for Agricultural Non-noint Source Pollution Control Record on Distributed Cognitive The	oryGIIO Chen-hao LI Lin-fai XIA Yian-li	(1220)
united and a set of the	j See shen hao, Li Lin Iei, Alia Aldii li	()