

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

中国主要城市土壤重金属累积特征与风险评价

彭驰, 何亚磊, 郭朝晖, 肖细元, 张严



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年1月

第43卷 第1期
Vol.43 No.1

目次

中国主要城市土壤重金属累积特征与风险评价 彭驰, 何亚磊, 郭朝晖, 肖细元, 张严 (1)

植物生长调节剂在土壤中的环境行为综述 陈亮, 侯杰, 胡晓蕾, 张纪兆, 王浩达 (11)

基于铁泥的磁性水处理材料制备及应用进展 曾辉平, 翟龙雪, 李冬, 张杰 (26)

不同臭氧度量指标对我国人群总死亡影响的 Meta 分析 阮芳芳, 刘纪新, 陈芷薇, 曾贤刚 (37)

北京市海坨山冬季不同污染过程下气溶胶化学组分及其潜在来源分析 赵德龙, 王飞, 刘丹彤, 田平, 盛久江, 周崑, 肖伟, 杜远谋, 卢俐, 黄梦宇, 何晖, 丁德平 (46)

武汉冬季大气 PM_{2.5} 小时分辨率源贡献识别及潜在影响域分析 蒋书凝, 孔少飞, 郑煌, 曾昕, 陈楠, 祁士华 (61)

运城市 PM_{2.5} 时空分布特征和潜在源区季节分析 王姝涛, 张强, 温肖宇, 冀乃超, 赵文婷, 罗淑贞, 陈志, 翟程凯 (74)

中国东部冷锋推进中的 PM_{2.5} 三维结构变化特征 牟南南, 朱彬, 卢文 (85)

粤港澳大湾区大气中硝基多环芳烃污染特征与风险评估 李彦希, 谢丹平, 黎玉清, 金梦, 丁紫荣, 闫雅楠, 赵波 (93)

西南地区大型综合工业区和周边区域大气 VOCs 污染特征及健康风险评估 李陵, 张丹, 胡伟, 徐芹, 吴虹, 袁睿, 蒲茜, 郝宇杭, 唐志欣, 赖明敏 (102)

拉萨市挥发性有机物的组成特征、季节变化和来源解析 余家燕, 韩燕, 陈木兰, 张惠芳, 陈阳, 刘建国 (113)

杭州 COVID-19 期间大气 VOCs 体积分数变化特征 林旭, 严仁嫦, 金嘉佳, 许凯儿, 何曦, 叶辉, 何纪平 (123)

上海城郊夏季大气 VOCs 在臭氧生成中的作用 金丹 (132)

铜川市秋冬季大气 VOCs 特征及其 O₃ 和 SOA 形成潜势分析 易宵霄, 李姜豪, 李光华, 路珍珍, 孙智钢, 高健, 邓顺熙 (140)

电子垃圾拆解回收 VOCs 排放特征与排放因子 谢丹平, 黄忠辉, 刘旺, 聂鹏, 黄钟坤, 贺辉, 陈晓燕 (150)

不同传输通道下珠江三角洲臭氧与前体物非线性响应关系 伍永康, 陈伟华, 颜丰华, 毛敬英, 袁斌, 王伟文, 王雪梅 (160)

淄博市城郊臭氧污染特征及影响因素分析 王雨燕, 杨文, 王秀艳, 王帅, 白瑾丰, 程颖 (170)

昭通市周边扬尘重金属污染特征及健康风险 庞晓晨, 韩新宇, 史建武, 包宇斋, 宁平, 张朝能, 向峰 (180)

城市路面积尘微塑料污染特征 方芹, 牛司平, 陈予东, 于江华 (189)

塔里木河流域东部降水稳定同位素特征与水汽来源 宋洋, 王圣杰, 张明军, 石玉东 (199)

赤水河流域水体抗生素污染特征及风险评估 吴天宇, 李江, 杨爱江, 李彦澄, 陈瑀, 何强, 马凯, 胡霞, 王斌, 艾佳, 钟雄 (210)

无定河流域地表水地下水的水化学特征及控制因素 李书鉴, 韩晓, 王文辉, 李志 (220)

白洋淀府河影响区沉积物营养盐和重金属污染特征及风险评估 陈兴宏, 李立青, 张美一, 张伟军, 王东升, 王洪杰 (230)

九龙江口红树林湿地表层沉积物中微塑料赋存特征与重金属的关系 刘倡君, 罗专溪, 闫钰, 林惠荣, 胡恭任, 于瑞莲 (239)

北京市北运河水系底栖动物群落与水环境驱动因子的关系及水生态健康评价 胡小红, 左德鹏, 刘波, 黄振芳, 徐宗学 (247)

城市河道再生水特征水质因子空间变异机制分析 刘全忠, 彭柯, 苏振华, 邸琰茗, 郭道宇 (256)

苏州景观河道表层沉积物间隙水-上覆水中 DOM 特性分析 李超男, 何杰, 朱学惠, 李学艳 (267)

苏州城区雨水管道沉积物典型污染物分布特征 叶蓉, 盛铭军, 姜永波, 武宇圣, 黄天寅 (277)

信号分子强化改性挂膜沸石持续抑制沉积物中氨氮释放 徐金兰, 许洋, 李修民, 国森, 刘成海 (285)

三峡水库调度对支流水体叶绿素 a 和环境因子垂向分布的影响 田盼, 李亚莉, 李莹杰, 李虹, 王丽婧, 宋林旭, 纪道斌, 赵星星 (295)

李家河水库春季分层期 nirS 型反硝化菌群特征分析 梁伟光, 黄廷林, 张海涵, 杨尚业, 刘凯文, 李程遥, 温成成, 李伟涛, 蔡晓春 (306)

岗南水库沉积物好氧反硝化菌群落时空分布特征 张紫薇, 陈召莹, 张甜娜, 周石磊, 崔建升, 罗晓 (314)

宁夏地区地下水金属元素分布特征及健康风险评估 王晓东, 田伟, 张雪艳 (329)

快速城镇化三角洲地区高碘地下水赋存特征及驱动因素;以珠江三角洲为例 吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 周冰, 李备 (339)

长三角一体化示范区青浦区水环境中 22 种 PPCPs 的多介质分布特征及风险评估 张智博, 段艳平, 沈嘉豪, 俞文韬, 罗鹏程, 涂耀仁, 高峻 (349)

洞庭湖及入湖河流中 209 种多氯联苯同类物分布特征与风险评估 黄智峰, 郑丙辉, 尹大强, 崔婷婷, 赵兴茹 (363)

基于流量和溶存浓度的河流水系氧化亚氮释放量估算 李冰清, 胡敏鹏, 王铭烽, 张育福, 吴昊, 周佳, 吴锴彬, 戴之舟, 陈丁江 (369)

三峡库区万州段河流水-气界面 CO₂ 通量支干流对比及影响机制初探 秦宇, 欧阳常悦, 王雨潇, 方鹏 (377)

功能化凹凸棒吸附材料的制备及其对重金属废水中 Pb²⁺ 的吸附行为 廖晓峰, 钟静萍, 陈云嫩, 邱延省, 任嗣利 (387)

铁氮共掺杂生物炭对二级水溶解性有机物的吸附特性与长效性评价 吴晨曦, 许路, 金鑫, 石烜, 金鹏康 (398)

沸石悬浮填料生物移动床的亚硝化特性 邓翠兰, 郭露, 汪晓军, 陈振国 (409)

温度对 ANAMMOX 生物膜工艺的脱氮影响与菌群结构分析 吴珊, 王淑雅, 王芬, 季民 (416)

填料对 ANAMMOX 污泥活性恢复的影响及菌群特征 罗景文, 杨津津, 李绍康, 赵昕宇, 杨一飞, 韩嘉琛, 李翔 (424)

基于 PMF 模型的宁南山区小流域土壤重金属空间分布及来源解析 夏子书, 白一茹, 王幼奇, 高小龙, 阮晓晗, 钟艳霞 (432)

浙中典型硫铁矿田土壤重金属含量特征及健康风险 成晓梦, 孙彬彬, 吴超, 贺灵, 曾道明, 赵辰 (442)

农产品视角的城郊黑土地田土壤重金属风险分区 吴松泽, 王冬艳, 李文博, 王兴佳, 闫卓冉 (454)

基于 DGT 技术的广西碳酸盐岩区稻米镉含量主控因素 宋波, 肖乃川, 马丽钧, 李龙, 陈同斌 (463)

调理剂耦合水分管理对双季稻镉和铅累积的阻控效应 李林峰, 王艳红, 李义纯, 唐明灯, 李奇, 艾绍英 (472)

设施叶菜类蔬菜重金属镉、铅和砷累积特征及健康风险评估 董俊文, 高培培, 孙洪欣, 周昶, 张香玉, 薛培英, 刘文菊 (481)

电子垃圾拆解固废渣-土壤-蔬菜中多氯联苯污染特征与健康风险评估 张亚萍, 吕占禄, 王先良, 张晗, 郭凌川, 丁秀丽, 张金良 (490)

雷州半岛南部典型农用地土壤-作物的有机氯农药残留特征和健康风险评估 梁晓晖, 解启来, 郑芊, 杨北辰, 叶金明, 唐成金 (500)

重金属含量对城市土壤真菌群落结构的影响 郭大陆, 张建, 申思, 余子洁, 杨军顺, 罗红燕 (510)

长期施肥对黄土高原梯田土壤养分特征和微生物资源限制的影响 吴春晓, 高小峰, 闫本帅, 梁彩群, 陈佳瑞, 王国梁, 刘国彬 (521)

土地利用变化后不同种植年限香榧土壤微生物群落的组成及多样性 姜霓雯, 梁辰飞, 张勇, 蒋仲龙, 董佳琦, 吴家森, 傅伟军 (530)

化肥和有机肥配施生物炭对土壤磷酸酶活性和微生物群落的影响 杨文娜, 余添, 罗东海, 熊子怡, 王莹燕, 徐曼, 王子芳, 高明 (540)

秦岭中段撂荒地植被恢复过程中土壤微生物代谢特征 薛悦, 康海斌, 杨航, 冰德叶, 晁志, 张凯, 王得祥 (550)

全生物降解地膜原料颗粒对土壤性质、小麦生长和养分吸收转运的影响 闫文豪, 王春丽, 王莉玮, 易廷辉, 卞京军, 支梅, 孙琪惠, 宿锦锦, 赵秀兰 (560)

秸秆还田对冬小麦-夏玉米农田土壤固碳、氧化亚氮排放和全球增温潜势的影响 万小楠, 赵珂悦, 吴雄伟, 白鹤, 杨学云, 顾江新 (569)

不同臭氧度量指标对我国人群总死亡影响的 Meta 分析

阮芳芳^{1,2}, 刘纪新^{2*}, 陈芷薇², 曾贤刚²

(1. 宁波财经学院国际经济贸易学院, 宁波 315175; 2. 中国人民大学环境学院, 北京 100872)

摘要: 探讨不同臭氧度量指标对我国人群总死亡风险的影响. 基于中国知网、万方数据库、维普中文服务平台、Web of Science 和 PubMed 数据库, 检索了建库至 2020 年 12 月底发表的相关时间序列研究和病例交叉研究, 最终纳入 22 项合格研究. 按照臭氧每日 1 h 最大浓度(O_{3-M1h})、每日 8 h 最大平均浓度(O_{3-M8h})和每日 24 h 平均浓度(O_{3-24h})分别进行 Meta 分析. 结果表明, O_{3-M1h} 指标 (RR#, 1.005 2; 95% CI, 1.003 1~1.007 3) 与人群总死亡风险增加的关联更加密切, O_{3-24h} 指标 (RR #, 1.003 6; 95% CI, 1.002 5~1.004 8) 和 O_{3-M8h} 指标 (RR#, 1.003 1; 95% CI, 1.002 2~1.004 1) 关联较弱. 3 类指标的亚组分析表明, 冷季臭氧的总死亡风险更高, 老年人 (≥ 65 岁) 更容易受臭氧污染的影响, 且北方地区总死亡风险高于南方地区.

关键词: 臭氧(O_3); 臭氧度量指标; 总死亡; Meta 分析; 中国

中图分类号: X515 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)01-0037-09 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202105118

Meta-analysis of the Impact of Different Ozone Metrics on Total Mortality in China

RUAN Fang-fang^{1,2}, LIU Ji-xin^{2*}, CHEN Zhi-wei², ZENG Xian-gang²

(1. College of International Economics and Trade, Ningbo University of Finance and Economics, Ningbo 315175, China; 2. School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: This study explores the effect of different ozone metrics on the total mortality risk in China. Using the CNKI, Wanfang, VIP, Web of Science, and PubMed databases, the time series studies and case crossover studies from the establishment of each database to December 31, 2020 were retrieved, and 22 eligible studies were included in this analysis. A meta-analysis was performed for the ozone metrics of O_{3-M1h} , O_{3-M8h} , and O_{3-24h} . The results indicated that the increase in the total mortality risk is more closely associated with O_{3-M1h} (RR #, 1.005 2; 95% CI, 1.003 1-1.007 3) and is more weakly associated with O_{3-24h} (RR #, 1.003 6; 95% CI, 1.002 5-1.004 8) and O_{3-M8h} (RR #, 1.003 1; 95% CI, 1.002 2-1.004 1). A subgroup analysis of the three metrics revealed that the total mortality risk of ozone is higher in the cold season, the elderly (≥ 65) are more vulnerable to ozone pollution, and the total mortality risk in the north is higher than that in the south.

Key words: ozone(O_3); ozone metrics; total mortality; Meta-analysis; China

臭氧是危害人类健康的二级污染物, 流行病学研究表明, 人体暴露于环境臭氧会导致不良健康后果, 包括增加死亡率和发病率^[1,2], 并且臭氧和颗粒物对人群健康的影响独立^[3]. 有研究指出, 全球臭氧水平将随着气候变暖而增加, 因而与臭氧有关的健康影响证据对气候变化研究具有重要意义^[4]. 在欧洲, 臭氧被认为是对人体健康、植被、作物和材料造成不利影响的最具破坏性的空气污染物, 而且未来可能会变得更糟^[5,6]. 据估计, 臭氧污染导致全球每年约 70 多万人死亡^[7].

随着中国近几十年来工业化和城镇化的快速发展, NO_x 和 VOC_s 等臭氧前体污染物的排放量显著增加^[8], 中国臭氧浓度的上升速度远高于世界其他国家^[9]. 近年来, 我国各地臭氧污染加剧显著^[10~13], 京津冀地区平均增长速率达 $4.97 \mu g \cdot (m^3 \cdot a)^{-1}$ ^[10]. 在世界范围内, 中国臭氧污染事件比日本、韩国、欧洲和美国更加频繁和强烈^[14]. 随着监测数据的完善, 越来越多的学者开始关注中国臭氧污染对人体健康的影响. 大量流行病学研究证实臭氧短期暴露与我国居民死亡风险增加有关.

然而, 研究使用的臭氧度量指标并不统一, 主要有每日 1 h 最大浓度 (O_{3-M1h})、每日 8 h 最大平均浓度 (O_{3-M8h}) 和每日 24 h 平均浓度 (O_{3-24h}). 考虑到臭氧浓度的日变化和季节变化特征以及臭氧前体污染物释放的变异性, 不同度量方式的臭氧浓度可能受地区、季节、天气、城市化和人口密度等因素的影响. 因此, 在与臭氧有关的研究中, 选择度量指标是一个主要的分析挑战. 忽略臭氧指标的差异, 直接使用不同度量指标得出的值, 可能会导致错误和误导性的健康风险结论^[15]. Li 等^[16] 的研究使用多种指标探讨广州臭氧污染对全因死亡的短期影响, 认为 O_{3-M8h} 是研究环境臭氧暴露对健康影响的适当指标. 谷亚亚等^[17] 针对北京顺义区的研究发现居民每日死亡对 O_{3-M1h} 比 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 敏感. 而 Sun 等^[18] 的研究使用中国 10 城市 34 个地区的数据结果认为 O_{3-24h} 是估计中国臭氧短期暴露与居民死亡的最佳指标.

收稿日期: 2021-05-12; 修订日期: 2021-07-05

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题项目(22NDQN285YB)

作者简介: 阮芳芳(1988~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为环境健康和环境经济学, E-mail: 2007_ff@163.com

* 通信作者, E-mail: jixinliu@hotmail.com

荟萃分析 (Meta) 可以提高结果的统计能力和概括性, 已被广泛用于探索环境因素与人类健康之间的关系. 夏钟^[19] 和叶伟鹏等^[20] 的研究使用 O_{3-M8h} 指标对我国臭氧污染的全因死亡风险进行 Meta 分析, 也有学者通过美国环保署制定的标准转换系数将臭氧指标转换为 O_{3-M8h} 进行 Meta 分析^[21,22]. 目前, 尚没有研究系统地评估不同臭氧度量指标对我国人群过早死亡影响的比较分析. 基于此, 本文通过系统回顾我国已发表的臭氧短期暴露与人群总死亡关系的流行病学研究, 评估和比较 3 类臭氧指标 (O_{3-M1h} 、 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h}) 对人群总死亡风险的影响, 以期为今后开展臭氧健康影响研究提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 总体思路

系统搜索各数据库建库至 2020 年 12 月底发表的与中国有关的臭氧污染健康影响研究, 根据入选标准筛选文献并提取文献中的关键信息. 使用 Stata14 软件进行 Meta 分析, 评估 3 类臭氧指标对人群总死亡风险的影响, 并进行发表偏倚检验和敏感性分析, 同时探讨季节、性别、年龄和地区等的效应修饰作用和可能的异质性来源.

1.2 检索策略

通过系统检索, 从中文数据库 (中国知网、万方数据库和维普中文服务平台) 和英文数据库 (Web of Science、PubMed) 中检索建库至 2020 年 12 月 31 日发表的中国臭氧污染与人群总死亡关系的研究. 使用搜索词“臭氧 (ozone)/ O_3 ”、“中国 (China)” 和“全因死亡/总死亡/非意外死亡”的组合进行检索. 并对检索到的研究和已有相关 Meta 分析中的参考文献进行审查, 以补充其他相关研究.

1.3 纳入标准与排除标准

纳入标准: ①研究中国臭氧短期暴露与人群总死亡之间的关系; ②臭氧度量指标为 O_{3-M1h} 、 O_{3-M8h} 、 O_{3-24h} 中一个或多个; ③报告了定量暴露-反应关系及其 95% 置信区间 (95% CI); ④研究为时间序列研究或病例交叉研究; ⑤全因死亡是主要结果 (ICD-9:001-799, ICD-10: A00-R99); ⑥污染数据和气象数据来自有关监测中心, 所有数据均经过质量保证和质量控制.

排除标准: ①针对特定人群或高风险人群的研究; ②非原创研究, 如综述、评论; ③室内源臭氧暴露或职业暴露的研究; ④剔除重复报告, 包括使用相同数据的研究; ⑤未提供单污染模型的研究结果; ⑥未提供全年估计值.

1.4 数据提取与处理

从符合条件的文献中摘录以下项目: 第一作者、发表年份、研究区域和时期、研究设计、研究模型及滞后结构、臭氧度量指标及浓度信息、健康结果和具体的风险估计值. 此外, 记录相关气象信息和其他污染物浓度信息.

对以多个城市或地区为研究对象的文献, 若其中包含每个城市的研究结果, 则分别提取相关信息; 若只报告了多地区的综合估计值或荟萃分析值, 则只对该研究做综述与比较分析, 不纳入 Meta 分析中. 另外, 有研究报告了不同滞后时间的结果, 需对滞后时间做出选择. 然而, 目前针对短期影响还没有关于滞后时间筛选的标准方法. 本文遵循 Atkinson 等^[23] 的研究总结的规则, 如果研究只提出一个滞后时间估计值, 则记录该估计值; 如果提出多个滞后时间, 则依据以下标准顺序选择滞后时间进行 Meta 分析: ①作者关注或预先陈述的滞后时间; ②统计上最显著的滞后时间 (正或负); ③效应估计值最大的滞后时间 (正或负). 在 ②和③的基础上选择单日滞后的分析结果.

相对危险度 (relative risk, RR) 是医学和公共卫生研究中较为常用和直观的估计方式, 因此, 本文使用 RR 度量健康效应, 将所有研究报告的效应值标准化为污染物浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 RR 值及其 95% CI, 转换公式见式 (1). 一些研究使用比值比 (odds ratio, OR) 和超额危险度 (excess risk, ER), 根据先前的研究^[24], 假设在所有关于全因和病因特异性死亡率的文章中, 结果的累积发生率低于 10%, OR 应该接近 RR, 即 $OR = RR$. 而 ER 转换公式见式 (2).

$$RR_{\text{标准化}} = RR_{\text{原始}}^{\text{增量}(10)/\text{增量}(\text{原始})} \quad (1)$$

$$RR = 1 + ER \quad (2)$$

关于每日 8 h 浓度指标, 除了最常见的 O_{3-M8h} , 也有一些学者使用特定时间段的 8 h 平均浓度 (10:00 ~ 18:00 和 09:00 ~ 17:00), 认为这两个时间段内的臭氧平均浓度是臭氧日最大 8 h 平均浓度值. Wong 等^[25] 和 Kan 等^[26] 的研究分别使用 8 h (09:00 ~ 17:00) 指标和 O_{3-M8h} 指标, 报告了同一时期上海臭氧暴露与全因死亡之间的关系, 两者的研究结果一致. 因此, 本文假设使用每日特定时间 8h 平均浓度指标与 O_{3-M8h} 指标无异.

1.5 统计分析

使用 Stata14 汇总纳入的风险值进行评估, 所有检验均为双侧检验, 统计学显著性要求 $P < 0.05$. 采用逆方差法对所选研究的风险估计值进行汇总, 其总体效果估计值为单个研究风险估计值的平均

值,由研究方差的逆加权得到.假设纳入的研究是所有可能结果的随机选择,使用随机效应模型进行汇总.使用 Cochran 的 Q 检验 (P 值) 和 I^2 统计量来评估研究之间的异质性.若 $P > 0.05$, $I^2 < 50%$,则认为各研究间有统计学同质性;若 $P \leq 0.05$, $I^2 \geq 50%$,但临床上判断各组间具有一致性需要进行合并时,则认为各研究间有统计学异质性;其他情况则认为无法判断异质性的来源,不进行 Meta 分析.通过漏斗图和 Egger's 统计检验评估发表偏倚,通过逐一剔除法进行敏感性分析以检查结果的稳健性,通过亚组分析和 Meta 回归进一步检测异质性的来源.

此外,为了使多个臭氧度量指标之间具有可比性,在原有数据分析的基础上,采用美国环保署^[27]给出的转换比例标准 ($O_{3-M1h} : O_{3-M8h} : O_{3-24h} = 2 : 1.5 : 1$) 将所有估计值转换为 O_{3-M8h} 指标下的标准估计值.

表 1 多城市研究结果

Table 1 Multi-city research results

地区	研究年份	臭氧指标	RR (95% CI)	文献
江苏省 9 城市	2013 ~ 2014	O_{3-M8h}	1.005 6 (1.003 6, 1.007 6)	[28]
272 城市	2013 ~ 2015	O_{3-M8h}	1.002 4 (1.001 3, 1.003 5)	[29]
10 城市 34 区县	2013 ~ 2015	O_{3-M1h}	1.002 6 (1.001 2, 1.003 9)	[18]
		O_{3-M8h}	1.003 7 (1.002 0, 1.005 5)	
		O_{3-24h}	1.006 0 (1.003 3, 1.008 8)	
江苏省	2015 ~ 2017	O_{3-M8h}	1.001 0 (1.000 3, 1.001 6)	[30]
福建省	2017 ~ 2018	O_{3-M8h}	1.005 7 (1.004 0, 1.007 4)	[31]

2.2 Meta 分析结果

总体分析表明(表 3),臭氧的 3 类指标均与人群的总死亡风险增加显著相关, $\rho(O_3)$ 每增加 $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 人群的总死亡风险增加 0.39% (O_{3-M1h})、0.31% (O_{3-M8h}) 和 0.54% (O_{3-24h}), 在 O_{3-M1h} 和 O_{3-M8h} 指标中观察到较大的异质性(56.4% 和 91.0%). 将臭氧指标浓度标准化后, O_{3-M1h} 指标风险值最高, O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 风险值较低且结果较为接近. 通过漏斗图(图 1) 和 Egger 检验发现, 在 O_{3-M8h} 指标观察到发表偏倚, 另外 2 个指标未观察到明显的发表偏倚.

2.3 敏感性分析

逐一剔除法表明, O_{3-M1h} 、 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 指标的合并效应量点估计范围分别为 1.003 0 ~ 1.004 3、1.002 8 ~ 1.003 4 和 1.004 7 ~ 1.005 8 与原始估计结果基本一致, 表明 Meta 分析结果可靠. 进一步考虑研究设计和研究质量对估计结果的影响, 分别删除病例交叉研究^[41] 和未说明诊断标准的研究^[49], O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 指标合并效应量(未标准化) 变为 1.002 9 (1.002 0 ~ 1.003 8) 和 1.005 2 (1.003 6 ~ 1.006 7) 估计结果未发生明显改变, 再次表明 Meta

2 结果与分析

2.1 文献检索结果与研究特征

经过标题、摘要和全文评估, 剔除使用相同研究区域和时间的文献后, 共有 27 项研究纳入进一步分析, 其中有 5 项研究仅给出多城市分析结果(表 1), 未纳入 Meta 分析中. 纳入 Meta 分析的 22 项研究中, 有 7 项研究使用 O_{3-M1h} 指标, 18 项研究使用 O_{3-M8h} 指标, 8 项研究使用 O_{3-24h} 指标, 其中有 5 项研究同时报告了 3 个指标的结果, 1 项研究同时报告了 O_{3-M1h} 和 O_{3-M8h} 指标的结果; 除文献[41] 的研究设计为病例交叉外, 其余研究均为时间序列; 已有研究发表时间为 2008 ~ 2020 年, 研究开展时间为 1994 ~ 2019 年, 涉及 20 个城市; 在这些研究中, 有 7 项研究报告了季节分析结果, 9 项研究报告了性别分析结果, 7 项研究报告了不同年龄层的分析结果. 具体特征如表 2 所示.

分析结果的稳健性.

2.4 亚组分析

分别按照季节、性别、年龄、区域和滞后类型进行分组, 使用随机效应模型进行亚组分析, 结果如表 4 所示, 为便于比较, 将所有指标 RR 值标准化为 O_{3-M8h} 的 RR 值.

季节分组结果显示, 在冷季, 3 类臭氧指标均与总死亡风险增加显著相关, 死亡风险高于全年, O_{3-M1h} 指标风险值最高, O_{3-24h} 指标风险值最低; 在暖季, 3 类臭氧指标均未观察到显著关联, 提示季节可能是异质性的来源之一. 性别分组结果显示, 男性和女性的总死亡风险都有统计学意义, 在 O_{3-M1h} 和 O_{3-M8h} 指标中, 女性风险比男性更大, 而在 O_{3-24h} 指标中相反. 对于 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 指标, 性别不同可能是其异质性的来源之一.

年龄分组结果显示, ≥ 65 岁的老年人是敏感人群, < 65 岁人群的总死亡风险不显著. 提示年龄不同可能是异质性的来源之一. 区域分组结果显示, 南方和北方城市均与总死亡风险增加显著相关, 在 O_{3-M1h} 指标中, 南北方没有明显差异, 在 O_{3-M8h} 和

表 2 纳入 Meta 分析研究的特征¹⁾

Table 2 Characteristics of included studies

地区	研究年份	臭氧指标	诊断标准	研究模型	滞后	亚组	文献
上海	2001 ~ 2004	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GLM	Lag 01	暖季、冷季、男、女和≥65 岁	[26]
武汉	2001 ~ 2004	O _{3-M8h}	ICD-9; 001-799	GAM	Lag 01	无	[25]
佛山、中山、珠海	2006 ~ 2008	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GLM	Lag 12	无	[32]
苏州	2007 ~ 2008	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 01	暖季、冷季、男、女和≥65 岁	[33]
		O _{3-M8h}					
		O _{3-24h}					
苏州	2008 ~ 2009	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 02	暖季和冷季	[34]
		O _{3-M8h}					
		O _{3-24h}					
上海	2001 ~ 2008	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 0	无	[35]
广州	2006 ~ 2008	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 06	暖季和冷季	[36]
北京	2007 ~ 2008	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 01	无	[37]
苏州	2005 ~ 2008						
香港	1996 ~ 2002						
高雄	1994 ~ 2008						
台中	1994 ~ 2008						
台北	1994 ~ 2008						
广州	2006 ~ 2008	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GLM	Lag 2	暖季和冷季	[16]
		O _{3-M8h}					
		O _{3-24h}					
北京	2009 ~ 2011	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GLM	Lag 1	男、女、<65 岁和≥65 岁	[38]
		O _{3-M8h}					
		O _{3-24h}					
广州 东莞 佛山 江门 肇庆	2013 ~ 2014	O _{3-24h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 02	暖季和冷季	[39]
南京	2013 ~ 2015	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 03	男、女、<65 岁和≥65 岁	[40]
北京	2005 ~ 2013	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GLR	Lag 0	暖季	[41]
南京	2013 ~ 2016	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 2	无	[42]
		O _{3-M8h}			Lag 1		
宜昌	2014 ~ 2016	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-Y99	GLM	Lag 6	男和女	[43]
合肥	2013 ~ 2015	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 0	男、女、<65 岁和≥65 岁	[44]
广州	2006 ~ 2016	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 2	无	[45]
北京	2012 ~ 2016	O _{3-M1h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 1	男、女和≥65 岁	[17]
		O _{3-M8h}					
		O _{3-24h}					
广州	2013 ~ 2018	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 03	男、女、<74 岁和≥75 岁	[46]
合肥	2013 ~ 2018	O _{3-M8h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 4	无	[47]
丽水	2013 ~ 2018	O _{3-24h}	ICD-10; A00-R99	GAM	Lag 2	无	[48]
福州	2016 ~ 2018	O _{3-24h}	未说明	GLM	Lag 1	男和女	[49]

1) GAM (Generalized additive model) 表示广义加性模型; GLM (Generalized linear model) 表示广义线性模型; GLR (Conditional logistic regression) 表示条件式逻辑回归; Lag1 表示单日滞后模型; Lag01 表示多日滞后模型

表 3 总体 Meta 分析结果¹⁾

Table 3 Overall Meta-analysis results

项目	O _{3-M1h}	O _{3-M8h}	O _{3-24h}
RR (95% CI)	1.003 9 (1.002 3, 1.005 5) *	1.003 1 (1.002 2, 1.004 1) *	1.005 4 (1.003 7, 1.007 2) *
RR# (95% CI)	1.005 2 (1.003 1, 1.007 3) *	1.003 1 (1.002 2, 1.004 1) *	1.003 6 (1.002 5, 1.004 8) *
估计值/个	7	25	12
I ² /%; P	56.4; 0.033	91.0; 0.000	23.0; 0.217
P (Egger 检验)	0.208	0.000	0.254

1) RR# 为臭氧指标标准化为 O_{3-M8h} 后的 RR 值; * 表示 P < 0.05

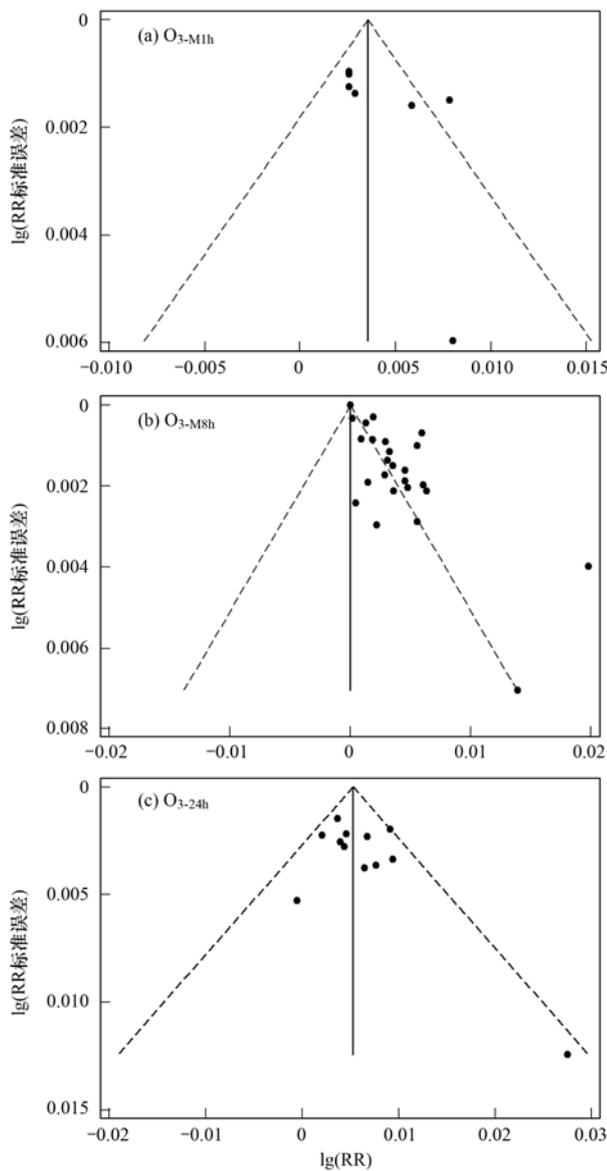
图1 O_{3-M1h} 、 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 指标对总死亡风险影响的漏斗图

Fig. 1 Funnel plot of the impacts of O_{3-M1h} , O_{3-M8h} , and O_{3-24h} on total mortality

O_{3-24h} 指标中,北方的总死亡风险要高于南方.在南方, O_{3-M1h} 指标风险值最高,而在北方, O_{3-M8h} 指标风险值最高,没有证据表明研究区域是异质性的来源.滞后类型分组结果显示,单日滞后和多日滞后均与总死亡风险增加显著相关,在 O_{3-M1h} 指标中,多日滞后风险高于单日滞后,而在 O_{3-M8h} 和 O_{3-24h} 指标中,单日风险更高.对于 O_{3-24h} 指标,滞后类型的不同可能是异质性的来源之一.

2.5 Meta 回归分析

由于在总体分析中显示出较大的异质性,因此通过 Meta 回归方法来探索异质性的可能来源.选择研究地点、诊断标准、研究模型、滞后类型、臭氧日均浓度和日平均温度作为协变量,进行回归分析.结果表明,对于 O_{3-M1h} 指标,这些指标对异质性没有显著贡献;对于 O_{3-M8h} 指标,研究模型对异质性有显著贡献 ($P = 0.002$),并可以解释 22.31% 的异质性;对于 O_{3-24h} 指标,滞后类型对异质性有显著贡献 ($P = 0.035$),解释了该指标的全部异质性.

2.6 暴露-反应函数

在多城市 5 项 Meta 分析中,有 2 项针对江苏省的研究提供了臭氧的暴露-反应函数和阈值信息.陈凯^[28]的研究发现,臭氧对人群总死亡的影响并不存在一个“阈值”,当臭氧浓度低于环境空气质量二级标准时,仍与人群总死亡显著相关.汪庆庆等^[30]的研究发现,臭氧在低浓度时对死亡的效应不明显,但在浓度达到 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 后臭氧死亡效应逐渐上升,且无明显阈值.在 22 项纳入 Meta 分析的研究中,有 2 项研究提供了线性暴露-反应关系的证据^[33,45];有研究认为臭氧存在阈值浓度 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),在滞后 0~3 d,臭氧浓度高于阈值时,总死亡风险单调增加^[46];而杨春雪^[33]的研究认为不存在臭氧阈值浓度.

表 4 亚组分析结果¹⁾

Table 4 Subgroup analysis results

项目	O_{3-M1h}		O_{3-M8h}		O_{3-24h}		
	RR # (95% CI)	$I^2/\%$	RR # (95% CI)	$I^2/\%$	RR # (95% CI)	$I^2/\%$	
季节	暖季	1.001 6(0.998 5,1.004 7)	0.0	1.002 0(0.999 6,1.004 4)	72.8	1.001 7(1.000 0,1.003 4)	0.0
	冷季	1.007 9(1.000 5,1.015 4)*	57.0	1.007 4(1.000 7,1.014 0)*	87.5	1.003 9(1.002 0,1.005 9)*	0.0
性别	男性	1.005 1(1.002 1,1.008 1)*	40.6	1.0036(1.001 7,1.005 4)*	37.6	1.005 2(1.002 3,1.008 0)*	9.1
	女性	1.006 8(1.002 6,1.011 0)*	63.0	1.004 0(1.002 5,1.005 4)*	0.0	1.003 5(1.001 1,1.005 9)*	0.0
年龄	<65 岁	1.003 1(0.998 7,1.007 6)	0.0	1.002 7(0.999 9,1.005 5)	32.8	—	—
	≥65 岁	1.007 1(1.003 3,1.010 8)*	74.1	1.004 5(1.002 6,1.006 4)*	52.7	1.004 6(1.002 4,1.006 8)*	2.1
区域	南方	1.005 3(1.002 4,1.008 2)*	62.4	1.002 8(1.001 9,1.003 8)*	91.1	1.003 5(1.002 2,1.004 9)*	28.9
	北方	1.005 3(1.001 1,1.009 6)*	67.7	1.007 1(1.001 9,1.012 4)*	86.5	1.004 2(1.001 2,1.007 3)*	31.4
滞后	单日	1.004 2(1.002 5,1.005 9)*	16.1	1.004 1(1.002 1,1.006 1)*	81.3	1.004 9(1.003 4,1.006 4)*	0.0
	多日	1.007 3(1.001 3,1.013 4)*	73.8	1.002 6(1.001 6,1.003 5)*	89.6	1.003 6(1.002 5,1.004 8)*	0.0

1) RR#为臭氧指标标准化为 O_{3-M8h} 后的 RR 值; * 表示 $P < 0.05$

2.7 与其他国家 Meta 分析的比较

本文检索了 2010 年至今发表的其他国家有关臭氧暴露总死亡分析的 Meta 研究,如表 5 所示,合并效应值转换为 $\rho(O_3)$ 每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 RR (95% CI). 臭氧短期暴露的 Meta 研究显示,无论是针对全球还是亚洲的研究均表明臭氧对人群总死亡风险增加有显著影响. 尽管 Orellano 等^[24]的研究只使用 O_{3-8h} 和 O_{3-24h} 指标,未说明 Meta 分析时的指标,但仍可以看出该文得出的研究结果与本文的接近. 而亚洲研究汇总估计值较低,可能是纳入效应值

过少的原因. 臭氧长期暴露的 Meta 研究未发现臭氧全年平均浓度与死亡风险之间存在关联的证据^[50, 51],但暖季发现臭氧暴露与总死亡风险正相关,这与臭氧短期暴露的结果不一致.

另外, Bell 等^[52]的研究系统回顾了 1988 ~ 2013 年全球臭氧短期暴露对死亡或住院的敏感性人群,认为敏感性最有利的证据是年龄,老年人的死亡风险高于年轻人,而女性死亡风险较高的关联性证据有限. Orellano 等^[24]的研究针对全球在按年龄、性别和洲划分的亚组分析中,未显示出亚组间的统计差异.

表 5 其他国家臭氧总死亡风险 Meta 分析

Table 5 Meta-analysis of ozone total mortality risk in other countries

臭氧指标	RR(95% CI)	特征	文献
—	1.004 3(1.003 4, 1.005 2)	短期,全球,48 个效应值	[24]
O_{3-8h}	1.000 7(0.998 4, 1.003 0)	短期,亚洲,4 个效应值	[53]
全年	0.970 0(0.930 0, 1.020 0)	长期,全球,9 个全年效应值,7 个暖季效应值	[51]
暖季	1.010 0(1.000, 1.020 0)		
全年	0.994 9(0.994 9, 1.00 0)	长期,全球,7 个全年效应值,4 个暖季效应值	[50]
暖季	1.000(0.994 9, 1.010 2)		

3 讨论

本文使用中国(中国香港、澳门和台湾资料暂缺)的臭氧暴露-反应关系系数,评估了 3 类臭氧度量指标短期暴露的人群总死亡风险,敏感性分析和发表偏倚检验表明研究结果的可靠性. 总体上,使用 O_{3-M1h} 指标的风险估计值最高,使用 O_{3-8h} 和 O_{3-24h} 指标的风险估计值较低且结果相似. 在同时使用 3 类指标的 5 项流行病学研究中,有研究认为 O_{3-24h} 指标风险估计最高^[16, 34],有研究认为 O_{3-M1h} 指标风险估计最高^[17, 33, 38]. 将所有臭氧指标下的效应值标准化为 O_{3-8h} 指标的 RR 值并进行 Meta 分析,合并效应值为 1.003 6(1.002 8 1.004 4)与 O_{3-24h} 指标的合并效应值一致,低于 O_{3-M1h} 指标的合并效应值. 进一步表明不同臭氧度量指标对人群总死亡具有不同的影响,直接将不同度量指标合并估计会产生偏差,低估臭氧污染对人群的健康影响.

以往关于我国臭氧 Meta 分析的研究经常使用 O_{3-8h} 指标(转换后或未转换)^[20, 22],或者未考虑流行病学研究中所使用臭氧指标的不同,忽略了臭氧死亡率风险估计对不同臭氧度量指标的潜在敏感性. 臭氧度量时间的选择反映了数据的可用性或研究人员对暴露时间框架生物学相关性的理解,影响风险估计^[18, 54]. 当健康影响由高浓度峰值触发时,使用反映峰值污染水平的平均时间(O_{3-M1h} 和 O_{3-8h})的指标可能比 24 h 平均值更具生物相关性^[54]. 相反, O_{3-24h} 指标更能代表平均暴露量. 世界卫生组织

(WHO)建议,最大 8 h 平均值是研究环境臭氧暴露对健康影响的适当指标. Moshhammer 等^[55]的研究观察到, O_{3-M1h} 指标和 O_{3-8h} 指标比 O_{3-24h} 指标更能预测当天死亡率. Bell 等^[56]的研究认为基于 1 h 最大值和 8 h 平均值的臭氧风险值要好于基于 24 h 平均值的臭氧风险值. 最近一项针对哮喘发作的 Meta 研究发现,使用 O_{3-M1h} 和 O_{3-8h} 进行的风险估计显著且相似,而使用 O_{3-24h} 指标的风险估计值较小^[57].

在本文筛选出的多城市 5 项研究中, Sun 等^[18]的研究使用 3 类臭氧指标对 10 城市 34 区县进行了流行病学研究,将其结果按照本文的要求标准化后, O_{3-M1h} 、 O_{3-8h} 和 O_{3-24h} 的 RR#(95% CI)分别为 1.003 5(1.001 6 1.005 2)、1.003 7(1.002 0 1.005 5)和 1.004 0(1.002 2 1.005 9). O_{3-24h} 指标风险值最大, O_{3-M1h} 最小,但三者的估计值比较接近,与本文的研究结果并不一致,这可能与研究区域的分布和选择有关. Yin 等^[29]的研究针对 272 个城市进行的流行病学研究结果显示, O_{3-8h} 每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 人群总死亡 RR(95% CI)为 1.002 4(1.001 3 1.003 5)低于本文的估计值.

本文在 O_{3-M1h} 和 O_{3-8h} 指标的 Meta 分析中发现较大的异质性. 首先, 3 类指标均在冷季观察到显著影响,而在暖季未发现显著影响. 越来越多的研究发现温度是臭氧健康影响的重要驱动因素. Chen 等^[34]的研究发现在苏州冷季和低温臭氧死亡效应更强; Cheng 等^[58]针对上海的研究发现臭氧和极端低温对总死亡率和死因特异性死亡率的影响相似;

另一项在广州的研究也发现相似的结果, 仅在冷季观察到臭氧对总死亡的显著影响^[36]. 相反, 在西方的多数研究中发现, 暖季或高温对总死亡的影响更大^[50,51,59]. 这种不一致可以部分由不同气候和地域下不同的臭氧暴露模式来解释. 并且, 在本文关于季节的亚组分析中, 除一项来自北京的研究^[41]外, 其余研究均在南方, 该研究发现暖季总死亡风险估计值大于全年估计, 南方的气候和人群的生活方式特征可能使得冷季臭氧的健康影响更显著. 第二, 性别存在差异性, 除 O_{3-24h} 指标外, 其他臭氧指标均显示女性是敏感人群, 班婕等^[38]和明小燕等^[43]的研究也发现男性健康影响无统计学意义. 第三, 不同年龄的差异性, 针对 < 65 岁的亚组分析没有统计学意义, 且 ≥ 65 岁的老年人死亡风险更高. 另外, Meta 回归结果表明, 研究模型和滞后类型可能分别是 O_{3-M8h} 指标和 O_{3-24h} 指标异质性来源. 由于纳入亚组分析的效应值较少, 分析结果应当谨慎解读.

本文存在一些局限性. 首先, 由于积极的、显著的结果更容易被发表, 因此 Meta 分析的结果可能受到发表偏倚的影响. 其次, 使用恒定的比例对臭氧指标进行转换可能存在偏差和不确定性, 本文选择的是美国环保署提供的转换比例, 与中国的实际情况可能存在一定的偏差. 第三, 纳入的研究多数采用 O_{3-M8h} 指标, 针对 O_{3-M1h} 和 O_{3-24h} 指标的研究较少, 在亚组分析和 Meta 回归中可能缺少数据支撑. 最后, 在 27 项研究中, 只有少数研究调查了暴露-反应关系的形状以及阈值浓度的存在性, 尚没有明确证据表明臭氧阈值浓度的存在性.

4 结论

本文在已有 Meta 分析的基础上, 更新了最新的流行病学研究成果, 3 类臭氧指标的 Meta 分析均表明臭氧短期暴露与我国人群的总死亡风险增加显著相关. 这种关联在冷季更明显, 且女性和老年人是敏感人群. 通过不同指标间的比较发现, 使用峰值指标 O_{3-M1h} 更能体现出与环境臭氧接触的生物学量度, O_{3-M1h} 每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 我国人群总死亡风险增加 0.39% (95% CI: 0.23%, 0.55%).

参考文献:

- [1] Samet J M, Zeger S L, Dominici F, et al. The national morbidity, mortality, and air pollution study. part II: morbidity and mortality from air pollution in the United States [J]. Research Report (Health Effects Institute), 2000, **94**: 5-70.
- [2] Malig B J, Pearson D L, Chang Y B, et al. A time-stratified case-crossover study of ambient ozone exposure and emergency department visits for specific respiratory diagnoses in California (2005-2008) [J]. Environmental Health Perspectives, 2016, **124**(6): 745-753.
- [3] Ito K, De Leon S F, Lippmann M. Associations between ozone and daily mortality: analysis and Meta-analysis [J]. Epidemiology, 2005, **16**(4): 446-453.
- [4] Orru H, Ebi K L, Forsberg B. The interplay of climate change and air pollution on health [J]. Current Environmental Health Reports, 2017, **4**(4): 504-517.
- [5] Mills G, Hayes F, Simpson D, et al. Evidence of widespread effects of ozone on crops and (semi-)natural vegetation in Europe (1990-2006) in relation to AOT40- and flux-based risk maps [J]. Global Change Biology, 2011, **17**(1): 592-613.
- [6] Sicard P, Serra R, Rossello P. Spatiotemporal trends in ground-level ozone concentrations and metrics in France over the time period 1999-2012 [J]. Environmental Research, 2016, **149**: 122-144.
- [7] Anenberg S C, Horowitz L W, Tong D Q, et al. An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling [J]. Environmental Health Perspectives, 2010, **118**(9): 1189-1195.
- [8] Verstraeten W W, Neu J L, Williams J E, et al. Rapid increases in tropospheric ozone production and export from China [J]. Nature Geoscience, 2015, **8**(9): 690-695.
- [9] Tang H Y, Takigawa M, Liu G, et al. A projection of ozone-induced wheat production loss in China and India for the years 2000 and 2020 with exposure-based and flux-based approaches [J]. Global Change Biology, 2013, **19**(9): 2739-2752.
- [10] 余益军, 孟晓艳, 王振, 等. 京津冀地区城市臭氧污染趋势及原因探讨 [J]. 环境科学, 2020, **41**(1): 106-114.
- [10] Yu Y J, Meng X Y, Wang Z, et al. Driving factors of the significant increase in surface ozone in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China, during 2013-2018 [J]. Environmental Science, 2020, **41**(1): 106-114.
- [11] 钱悦, 许彬, 夏玲君, 等. 2016~2019 年江西省臭氧污染特征与气象因子影响分析 [J]. 环境科学, 2021, **42**(5): 2190-2201.
- [11] Qian Y, Xu B, Xia L J, et al. Characteristics of ozone pollution and relationships with meteorological factors in Jiangxi province [J]. Environmental Science, 2021, **42**(5): 2190-2201.
- [12] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [13] 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.
- [14] Lu X, Hong J Y, Zhang L, et al. Severe surface ozone pollution in China: a global perspective [J]. Environmental Science & Technology Letters, 2018, **5**(8): 487-494.
- [15] Lange S S. Comparing apples to oranges: Interpreting ozone concentrations from observational studies in the context of the United States ozone regulatory standard [J]. Science of the Total Environment, 2018, **644**: 1547-1556.
- [16] Li T T, Yan M L, Ma W J, et al. Short-term effects of multiple ozone metrics on daily mortality in a megacity of China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, **22**(11): 8738-8746.

- [17] 谷亚亚, 甄国新, 谈敦芳, 等. 北京市顺义区大气臭氧对居民每日死亡的影响[J]. 环境与健康杂志, 2019, **36**(4): 329-334.
Gu Y Y, Zhen G X, Tan D F, *et al.* Effects of ambient ozone on daily mortality in Shunyi district, Beijing [J]. Journal of Environment and Health, 2019, **36**(4): 329-334.
- [18] Sun Q, Wang W, Chen C, *et al.* Acute effect of multiple ozone metrics on mortality by season in 34 Chinese counties in 2013-2015[J]. Journal of Internal Medicine, 2018, **283**(5): 481-488.
- [19] 夏钟. 南京市空气污染的健康效应评价[D]. 南京: 南京大学, 2019.
Xia Z. Assessment of the health effect of air pollution in Nanjing [D]. Nanjing: Nanjing University, 2019.
- [20] 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.
- [21] 董继元, 刘兴荣, 张本忠, 等. 我国臭氧短期暴露与人群死亡风险的 Meta 分析[J]. 环境科学学报, 2016, **36**(4): 1477-1485.
Dong J Y, Liu X R, Zhang B Z, *et al.* Meta-analysis of association between short-term ozone exposure and population mortality in China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, **36**(4): 1477-1485.
- [22] Yan M L, Liu Z R, Liu X T, *et al.* Meta-analysis of the Chinese studies of the association between ambient ozone and mortality [J]. Chemosphere, 2013, **93**(6): 899-905.
- [23] Atkinson R W, Kang S, Anderson H R, *et al.* Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis[J]. Thorax, 2014, **69**(7): 660-665.
- [24] Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, *et al.* Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis[J]. Environment International, 2020, **142**, doi: 10.1016/j.envint.2020.105876.
- [25] Wong C M, Vichit-Vadakan N, Kan H D, *et al.* Public health and air pollution in Asia (PAPA): A multicity study of short-term effects of air pollution on mortality [J]. Environmental Health Perspectives, 2008, **116**(9): 1195-1202.
- [26] Kan H D, London S J, Chen G H, *et al.* Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China; The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) study [J]. Environmental Health Perspectives, 2008, **116**(9): 1183-1188.
- [27] US EPA. Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants[R]. Washington: US EPA, 2006.
- [28] 陈凯. 气候变化背景下高温和臭氧污染对人群健康的影响研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.
Chen K. Health impact of heat and ozone pollution under a changing climate: A Jiangsu assessment[D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
- [29] Yin P, Chen R J, Wang L J, *et al.* Ambient ozone pollution and daily mortality: a nationwide study in 272 Chinese cities[J]. Environmental Health Perspectives, 2017, **125**(11), doi: 10.1289/EHP1849.
- [30] 汪庆庆, 叶云杰, 张嘉尧, 等. 江苏省大气污染物联合暴露对人群死亡风险急性效应的多中心研究[J]. 中华预防医学杂志, 2019, **53**(1): 86-92.
Wang Q Q, Ye Y J, Zhang J Y, *et al.* Multi-site analysis of acute effects of air pollutants combination exposure on mortality in Jiangsu Province, China [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2019, **53**(1): 86-92.
- [31] 林丽钦, 黄艳艳, 钟文玲, 等. 2017—2018 年闽近地面臭氧污染对人群健康的影响[J]. 福建医药杂志, 2020, **42**(1): 141-145.
Lin L Q, Hang Y Y, Zhong W L, *et al.* Human health impact of exposure to surface ozone pollution in Fujian Province during 2017-2018[J]. Fujian Medical Journal, 2020, **42**(1): 141-145.
- [32] Tao Y B, Huang W, Huang X L, *et al.* Estimated acute effects of ambient ozone and nitrogen dioxide on mortality in the Pearl River Delta of Southern China [J]. Environmental Health Perspectives, 2012, **120**(3): 393-398.
- [33] 杨春雪. 细颗粒物和臭氧对我国居民死亡影响的急性效应研究[D]. 上海: 复旦大学, 2012.
Yang C X. Acute effects of fine particulate matter and ozone on daily mortality in China [D]. Shanghai: Fudan University, 2012.
- [34] Chen K, Yang H B, Ma Z W, *et al.* Influence of temperature to the short-term effects of various ozone metrics on daily mortality in Suzhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, **79**: 119-128.
- [35] Chen R J, Wang X, Meng X, *et al.* Communicating air pollution-related health risks to the public: An application of the Air Quality Health Index in Shanghai, China[J]. Environment International, 2013, **51**: 168-173.
- [36] Liu T, Li T T, Zhang Y H, *et al.* The short-term effect of ambient ozone on mortality is modified by temperature in Guangzhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, **76**: 59-67.
- [37] Chen R J, Cai J, Meng X, *et al.* Ozone and daily mortality rate in 21 cities of East Asia; how does season modify the association? [J]. American Journal of Epidemiology, 2014, **180**(7): 729-736.
- [38] 班婕, 李浩浩. 北京市不同度量方式下臭氧短期暴露人群急性健康效应研究[J]. 环境与健康杂志, 2016, **33**(4): 287-291.
Ban J, Li T T. Short-term effects of different ozone metrics on daily mortality in Beijing [J]. Journal of Environment and Health, 2016, **33**(4): 287-291.
- [39] 刘涛, 曾韦霖, 林华亮, 等. 珠江三角洲地区大气臭氧引起居民死亡风险的时空分布及其修饰因素[J]. 华南预防医学, 2016, **42**(3): 201-7.
Liu T, Zeng W L, Lin H L, *et al.* Temporal-spatial distribution of mortality risk caused by ambient ozone and its modification factors in the Pearl River Delta region [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2016, **42**(3): 201-207.
- [40] 陈琦, 孙宏, 陈晓东, 等. 南京市臭氧短期暴露人群急性健康效应研究[J]. 江苏预防医学, 2017, **28**(4): 366-368, 386.
Chen Q, Sun H, Chen X D, *et al.* Acute health impacts of ozone exposure on daily mortality in Nanjing [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2017, **28**(4): 366-368, 386.
- [41] Li Y, Shang Y, Zheng C J, *et al.* Estimated acute effects of ozone on mortality in a rural district of Beijing, China, 2005-2013: a time-stratified case-crossover study [J]. International

- Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, **15** (11), doi: 10.3390/ijerph15112460.
- [42] 常倩. 南京市大气污染物对居民心脑血管、呼吸系统患病和死亡的影响[D]. 南京: 东南大学, 2018.
Chang Q. The influence of air pollutants on cardiovascular and cerebrovascular, respiratory diseases and death in Nanjing[D]. Nanjing: Southeast University, 2018.
- [43] 明小燕, 李燕, 杨勇, 等. 宜昌市臭氧对人群死亡急性效应[J]. 环境卫生学杂志, 2018, **8**(5): 423-428.
Ming X Y, Li Y, Yang Y, *et al.* Acute effect of ozone on death of population in Yichang[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2018, **8**(5): 423-428.
- [44] Lei R Q, Zhu F R, Cheng H, *et al.* Short-term effect of PM_{2.5}/O₃ on non-accidental and respiratory deaths in highly polluted area of China[J]. Atmospheric Pollution Research, 2019, **10** (5): 1412-1419.
- [45] Wu R S, Song X M, Chen D H, *et al.* Health benefit of air quality improvement in Guangzhou, China: results from a long time-series analysis (2006-2016) [J]. Environment International, 2019, **126**: 552-559.
- [46] Li M M, Dong H, Wang B G, *et al.* Association between ambient ozone pollution and mortality from a spectrum of causes in Guangzhou, China [J]. The Science of the Total Environment, 2020, **754**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142110.
- [47] Sui X, Zhang J Q, Zhang Q, *et al.* The short-term effect of PM_{2.5}/O₃ on daily mortality from 2013 to 2018 in Hefei, China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2021, **43**(1): 153-169.
- [48] 韦正峥, 郭云, 吕梅乐, 等. 浙江省丽水市空气质量的健康效应分析[J]. 中国环境科学, 2020, **40**(8): 3294-3302.
Wei Z Z, Guo Y, Lv M L, *et al.* Effect of air quality alerts on human health in Lishui City, Zhejiang province [J]. China Environmental Science, 2020, **40**(8): 3294-3302.
- [49] 吴传城, 姜雨, 周权, 等. 2016—2018年福州市城区大气污染与居民每日循环系统疾病死亡人数相关性研究[J]. 中国预防医学杂志, 2020, **21**(11): 1216-1220.
Wu C C, Jiang Y, Zhou Q, *et al.* Correlation between air pollution and the daily deaths of urban residents from circulatory system diseases in Fuzhou in 2016-2018[J]. Chinese Preventive Medicine, 2020, **21**(11): 1216-1220.
- [50] Atkinson R W, Butland B K, Dimitroulopoulou C, *et al.* Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and Meta-analysis of evidence from cohort studies[J]. Bmj Open, 2016, **6**(2), doi: 10.1136/bmjopen-2015-009493.
- [51] Huangfu P J, Atkinson R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis[J]. Environment International, 2020, **144**, doi: 10.1016/j.envint.2020.105998.
- [52] Bell M L, Zanobetti A, Dominici F. Who is more affected by ozone pollution? a systematic review and Meta-analysis [J]. American Journal of Epidemiology, 2014, **180**(1): 15-28.
- [53] Atkinson R W, Cohen A, Mehta S, *et al.* Systematic review and meta-analysis of epidemiological time-series studies on outdoor air pollution and health in Asia [J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2012, **5**(4): 383-391.
- [54] Darrow L A, Klein M, Sarnat J A, *et al.* The use of alternative pollutant metrics in time-series studies of ambient air pollution and respiratory emergency department visits [J]. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 2011, **21** (1): 10-19.
- [55] Moshhammer H, Hutter H P, Kundi M. Which metric of ambient ozone to predict daily mortality? [J]. Atmospheric Environment, 2013, **65**(2): 171-176.
- [56] Bell M L, Hobbs B F, Ellis H. Metrics matter: Conflicting air quality rankings from different indices of air pollution [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2005, **55** (1): 97-106.
- [57] Li X, Chen Q, Zheng X Y, *et al.* Effects of ambient ozone concentrations with different averaging times on asthma exacerbations: A Meta-analysis [J]. Science of the Total Environment, 2019, **691**: 549-561.
- [58] Cheng Y X, Kan H D. Effect of the interaction between outdoor air pollution and extreme temperature on daily mortality in Shanghai, China[J]. Journal of Epidemiology, 2012, **22**(1): 28-36.
- [59] Pascal M, Wagner V, Chatignoux E, *et al.* Ozone and short-term mortality in nine French cities: Influence of temperature and season[J]. Atmospheric Environment, 2012, **62**: 566-572.

CONTENTS

Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils of Major Cities in China	PENG Chi, HE Ya-lei, GUO Zhao-hui, <i>et al.</i>	(1)
Environmental Behaviors of Plant Growth Regulators in Soil; A Review	CHEN Liang, HOU Jie, HU Xiao-lei, <i>et al.</i>	(11)
Preparation and Application of Magnetic Water Treatment Materials Based on Iron Sludge	ZENG Hui-ping, ZHAI Long-xue, LI Dong, <i>et al.</i>	(26)
Meta-analysis of the Impact of Different Ozone Metrics on Total Mortality in China	RUAN Fang-fang, LIU Ji-xin, CHEN Zhi-wei, <i>et al.</i>	(37)
Variation Characteristics and Potential Sources of the Mt. Haituo Aerosol Chemical Composition in Different Pollution Processes During Winter in Beijing, China	ZHAO De-long, WANG Fei, LIU Dan-tong, <i>et al.</i>	(46)
Real-time Source Apportionment of PM _{2.5} and Potential Geographic Origins of Each Source During Winter in Wuhan	JIANG Shu-ning, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i>	(61)
Spatiotemporal Distribution and Seasonal Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Yuncheng City	WANG Yun-tao, ZHANG Qiang, WEN Xiao-yu, <i>et al.</i>	(74)
Three-dimensional Structure Variation of PM _{2.5} During Cold Front Advance in Eastern China	MOU Nan-nan, ZHU Bin, LU Wen	(85)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	LI Yan-xi, XIE Dan-ping, LI Yu-qing, <i>et al.</i>	(93)
Atmospheric VOCs Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Large-scale Integrated Industrial Area and Surrounding Areas in Southwest China	LI Ling, ZHANG Dan, HU Wei, <i>et al.</i>	(102)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Lhasa	YU Jia-yan, HAN Yan, CHEN Mu-lan, <i>et al.</i>	(113)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) Volume Fraction During Hangzhou COVID-19 Period	LIN Xu, YAN Ren-chang, JIN Jia-jia, <i>et al.</i>	(123)
Role of Atmospheric VOCs in Ozone Formation in Summer in Shanghai Suburb	FANG Qin, NIU Si-ping, CHEN Yu-dong, <i>et al.</i>	(132)
Characteristics of VOCs and Formation Potentials of O ₃ and SOA in Autumn and Winter in Tongchuan, China	YI Xiao-xiao, LI Jiang-hao, LI Guang-hua, <i>et al.</i>	(140)
Emission Characteristics and Emission Factors of Volatile Organic Compounds from E-waste Dismantling and Recycling Processes	XIE Dan-ping, HUANG Zhong-hui, LIU Wang, <i>et al.</i>	(150)
Nonlinear Response Relationship Between Ozone and Precursor Emissions in the Pearl River Delta Region Under Different Transmission Channels	WU Yong-kang, CHEN Wei-hua, YAN Feng-hua, <i>et al.</i>	(160)
Characteristics of Ozone Pollution and Influencing Factors in Urban and Suburban Areas in Zibo	WANG Yu-yan, YANG Wen, WANG Xiu-yan, <i>et al.</i>	(170)
Pollution Characteristics and Health Risk of Heavy Metals in Fugitive Dust Around Zhaotong City	PANG Xiao-chen, HAN Xin-yu, SHI Jian-wu, <i>et al.</i>	(180)
Characteristics of Microplastic Present in Urban Road Dust	FANG Qin, NIU Si-ping, CHEN Yu-dong, <i>et al.</i>	(189)
Stable Isotopes of Precipitation in the Eastern Tarim River Basin and Water Vapor Sources	SONG Yang, WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i>	(199)
Characteristics and Risk Assessment of Antibiotic Contamination in Chishui River Basin, Guizhou Province, China	WU Tian-yu, LI Jiang, YANG Ai-jiang, <i>et al.</i>	(210)
Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Surface Water and Groundwater in Wuding River Basin	LI Shu-jian, HAN Xiao, WANG Wen-hui, <i>et al.</i>	(220)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of the Fuhe River Influenced Area, Baiyangdian Lake	CHEN Xing-hong, LI Li-qing, ZHANG Mei-yi, <i>et al.</i>	(230)
Occurrence Characteristics of Microplastics in Mangrove Sediments in the Jiulong River Estuary and the Association with Heavy Metals	LIU Chang-jun, LUO Zhuan-xi, YAN Yu, <i>et al.</i>	(239)
Quantitative Analysis of the Correlation Between Macroenthos Community and Water Environmental Factors and Aquatic Ecosystem Health Assessment in the North Canal River Basin of Beijing	HU Xiao-hong, ZUO De-peng, LIU Bo, <i>et al.</i>	(247)
Analysis on the Spatial Variability Mechanism of the Characteristic Water Quality Factors of Urban River Channel Reclaimed Water	LIU Quan-zhong, PENG Ke, SU Zhen-hua, <i>et al.</i>	(256)
DOM Characteristics Analysis of Surface Sediment-overlying Water in Suzhou Landscape River Course	LI Chao-nan, HE Jie, ZHU Xue-hui, <i>et al.</i>	(267)
Distribution of Typical Pollutants from Rainwater Sewer Sediments in Suzhou City	YE Rong, SHENG Ming-jun, JIANG Yong-bo, <i>et al.</i>	(277)
Persistent Inhibition of Ammonium Released from Contaminated Sediments Through a Modified Zeolite and Biofilm System Enhanced by Signaling Molecules	XU Jin-lan, XU Yang, LI Xiu-min, <i>et al.</i>	(285)
Effects of the Three Gorges Reservoir Operation on Vertical Distribution of Chlorophyll a and Environmental Factors in Tributaries	TIAN Pan, LI Ya-li, LI Ying-jie, <i>et al.</i>	(295)
Characteristic Analysis of <i>nirS</i> Denitrifying Bacterial Community in Lijiahe Reservoir During Stratification	LIANG Wei-guang, HUANG Ting-lin, ZHANG Hai-han, <i>et al.</i>	(306)
Spatial and Temporal Distribution of Aerobic Denitrification Bacterial Community in Sediments of Gangan Reservoir	ZHANG Zi-wei, CHEN Zhao-ying, ZHANG Tian-na, <i>et al.</i>	(314)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Metal Elements for Groundwater in the Ningxia Region of China	WANG Xiao-dong, TIAN Wei, ZHANG Xue-yan	(329)
Geochemical Characteristics and Driving Factors of High-Iodine Groundwater in Rapidly Urbanized Delta Areas: A Case Study of the Pearl River Delta	LU Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(339)
Multimedia Distribution Characteristics and Risk Assessment of 22 PPCPs in the Water Environment of Qingpu District, Yangtze River Delta Demonstration Area	ZHANG Zhi-bo, DUAN Yan-ping, SHEN Jia-hao, <i>et al.</i>	(349)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of 209 Polychlorinated Biphenyls in Dongting Lake and the Inflow Rivers	HUANG Zhi-feng, ZHENG Bing-hui, YIN Da-qiang, <i>et al.</i>	(363)
Estimation of Nitrous Oxide Emission from River System Based on Water Discharge and Dissolved Nitrous Oxide Concentration	LI Bing-qing, HU Min-peng, WANG Ming-feng, <i>et al.</i>	(369)
Comparison Between Tributary and Main Stream and Preliminary Influence Mechanism of CO ₂ Flux Across Water-air Interface in Wanzhou in the Three Gorges Reservoir Area	QIN Yu, OUYANG Chang-yue, WANG Yu-xiao, <i>et al.</i>	(377)
Preparation of Functional Attapulgite Composite and Its Adsorption Behaviors for Congo Red	LIAO Xiao-feng, ZHONG Jing-ping, CHEN Yun-nen, <i>et al.</i>	(387)
Adsorption Characteristics and Long-term Effectiveness Evaluation of Iron-nitrogen Co-doped Biochar for Secondary Water-Soluble Organic Matter	WU Chen-xi, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i>	(398)
Nitritation Performance of Zeolite Moving Bed Biofilm Reactor for Ammonium Wastewater Treatment	DENG Cui-lan, GUO Lu, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i>	(409)
Effect of Temperature on ANAMMOX Process in Sequencing Batch Biofilm Reactors; Nitrogen Removal Performance and Bacterial Community	WU Shan, WANG Shu-ya, WANG Fen, <i>et al.</i>	(416)
Effects of Carriers on ANAMMOX Sludge Activity Recovery and Microbial Flora Characteristics	LUO Jing-wen, YANG Jin-jin, LI Shao-kang, <i>et al.</i>	(424)
Spatial Distribution and Source Analysis of Soil Heavy Metals in a Small Watershed in the Mountainous Area of Southern Ningxia Based on PMF Model	XIA Zi-shu, BAI Yi-ru, WANG You-qi, <i>et al.</i>	(432)
Heavy Metal Concentration Characteristics and Health Risks of Farmland Soils in Typical Pyrite Mining Area of the Central Zhejiang Province, China	CHENG Xiao-meng, SUN Bin-bin, WU Chao, <i>et al.</i>	(442)
Risk Zoning of Heavy Metals in a Peri-urban Area in the Black Soil Farmland Based on Agricultural Products	WU Song-ze, WANG Dong-yan, LI Wen-bo, <i>et al.</i>	(454)
Main Control Factors of Cadmium Content in Rice in Carbonate Rock Region of Guangxi Based on the DGT Technique	SONG Bo, XIAO Nai-chuan, MA Li-jun, <i>et al.</i>	(463)
Inhibitory Effects of Soil Amendment Coupled with Water Management on the Accumulation of Cd and Pb in Double-Cropping Rice	LI Lin-feng, WANG Yan-hong, LI Yi-chun, <i>et al.</i>	(472)
Characteristics and Health Risk Assessment of Cadmium, Lead, and Arsenic Accumulation in Leafy Vegetables Planted in a Greenhouse	DONG Jun-wen, GAO Pei-pe, SUN Hong-xin, <i>et al.</i>	(481)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls in E-waste Disposal Residue-Soil-Vegetable	ZHANG Ya-ping, LU Zhan-lu, WANG Xian-jiang, <i>et al.</i>	(490)
Soil-crop Distribution and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides on Typical Agricultural Land in Southern Leizhou Peninsula	LIANG Xiao-hui, XIE Qi-lai, ZHENG Qian, <i>et al.</i>	(500)
Effects of Heavy Metal Content on Fungal Community Structure in Urban Soil	GUO Da-lu, ZHANG Jian, SHEN Si, <i>et al.</i>	(510)
Effects of Long-term Fertilization on Soil Nutrient Characteristics and Microbial Resource Restrictions in a Terrace on the Loess Plateau	WU Chun-xiao, GAO Xiao-feng, YAN Ben-shuai, <i>et al.</i>	(521)
Microbial Composition and Diversity in Soil of <i>Torreya grandis</i> cv. <i>Merrillii</i> Relative to Different Cultivation Years After Land Use Conversion	JIANG Ni-wen, LIANG Chen-fei, ZHANG Yong, <i>et al.</i>	(530)
Effect of Combined Application of Biochar with Chemical Fertilizer and Organic Fertilizer on Soil Phosphatase Activity and Microbial Community	YANG Wen-na, YU Luo, LUO Dong-hai, <i>et al.</i>	(540)
Extracellular Enzyme Stoichiometry and Microbial Metabolism Limitation During Vegetation Restoration Process in the Middle of the Qinling Mountains, China	XUE Yue, KANG Hai-bin, YANG Hang, <i>et al.</i>	(550)
Effects of Biodegradable Film Raw Material Particles on Soil Properties, Wheat Growth, and Nutrient Absorption and Transportation	MIN Wen-hao, WANG Chun-li, WANG Li-wei, <i>et al.</i>	(560)
Effects of Stalk Incorporation on Soil Carbon Sequestration, Nitrous Oxide Emissions, and Global Warming Potential of a Winter Wheat-Summer Maize Field in Guanzhong Plain	WAN Xiao-nan, ZHAO Ke-yue, WU Xiong-wei, <i>et al.</i>	(569)