

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第10期

Vol.39 No.10

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国典型城市环境大气挥发性有机物特征比值	王鸣, 陈文泰, 陆思华, 邵敏 (4393)
2015年北京大气 VOCs 时空分布及反应活性特征	张博韬, 安欣欣, 王琴, 闫贺, 刘保献, 张大伟 (4400)
北京市建筑类涂料 VOCs 排放清单编制技术方法及应用	邓子钰, 高美平, 王庆玮, 聂磊 (4408)
基于实测的建筑类涂料挥发性有机物 (VOCs) 含量水平及组分特征	高美平, 邓子钰, 聂磊, 邵霞, 安小栓 (4414)
2014~2016年京津冀沿山城市空气质量首要污染物特征分析	王晓彦, 王帅, 朱莉莉, 许荣, 李健军 (4422)
北京市大气环境 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 及其碳质组分季节变化特征及来源分析	樊啸辰, 郎建奎, 程水源, 王晓琦, 吕喆 (4430)
南京春季北郊地区大气 PM _{2.5} 中主要化学组分及碳同位素特征	周一鸣, 韩珣, 王瑾瑾, 陈善莉, 沈潇雨, 章炎麟, 朱彬, 郭照冰 (4439)
热脱附法快速分析大气细颗粒物中非极性有机物	马英歌, 吴霞, 彭梦梦, 冯加良, 郁建珍, 乔利平, 周敏, 朱书慧, 李莉 (4446)
杭州市空气细颗粒物浓度与哮喘就诊人次的关系	王安旭, 陈曦, 宋从波, 应颂敏, 李倩, 吴琳, 毛洪钧 (4457)
基于远程通讯技术的混动公交车 SCR 系统运行及 NO _x 排放特征	杨强, 胡馨遥, 黄成, 陈昀, 刘佳栋, 李莉, 熊忠亮, 唐伟 (4463)
基于环境风险排序的流域优先污染物筛选	李奇峰, 吕永龙, 王佩, 张悦清 (4472)
重庆远郊丰都雪玉洞流域大气无机氮湿沉降变化特征与来源分析	段世辉, 蒋勇军, 张远瞩, 胡刘婵, 曾泽, 吕现福 (4479)
黑龙江凉水国家级自然保护区大气氮沉降特征	宋蕾, 田鹏, 张金波, 金光泽 (4490)
脱甲河水系 N ₂ O 关键产生过程及氮素来源探讨	赵强, 吕成文, 秦晓波, 吴红宝, 万运帆, 廖育林, 鲁艳红, 李健陵 (4497)
生物炭添加对曝气人工湿地脱氮及氧化亚氮释放的影响	王宁, 黄磊, 罗星, 梁岩, 王燕, 陈玉成 (4505)
黑麦草对水体中镉-壬基酚复合污染的生理响应及修复	史广宇, 李中义, 张路, 程媛媛, 陈宏伟, 施维林 (4512)
城市黑臭水体的吸收特性分析	丁潇蕾, 李云梅, 吕恒, 朱利, 温爽, 雷少华 (4519)
岷江上游水体中 DOM 光谱特征的季节变化	范诗雨, 秦纪洪, 刘堰杨, 孙辉 (4530)
防渗型生物滞留中试系统降雨径流水质与三维荧光特征	林修咏, 王书敏, 李强, 谢云成 (4539)
基于 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的农业区地下河硝酸盐污染来源	盛婷, 杨平恒, 谢国文, 洪爱花, 曹聪, 谢世友, 时伟宇 (4547)
垃圾填埋场地下水溶解性有机物光谱特征	彭莉, 虞敏达, 何小松, 刘思佳, 张鹏 (4556)
铅负载颗粒沸石改良底泥对水中磷酸盐的吸附行为	梁舒静, 林建伟, 詹艳慧, 汪振华, 李雅灵, 何思琪, 陈海洋, 唐凤霞, 李志强 (4565)
基于紫外光谱分析的腐殖质混凝控制	张北辰, 张晓蕾, 秦兰兰, 黄海鸥 (4576)
AAO 工艺联合臭氧削减污水中微量有机污染物及遗传毒性	李默, 汪震哲, 陈志强, 温沁雪 (4584)
抗生素抗性基因在两级废水处理系统中的分布和去除	李奥林, 陈吕军, 张衍, 代天娇, 田金平, 刘锐, 温东辉 (4593)
磁性壳聚糖凝胶球固定厌氧氨氧化菌对废水氨氮去除的影响	刘志文, 陈琛, 彭晓春, 谢武明, 黄镇扬, 韩庆吉 (4601)
海藻糖强化厌氧氨氧化耦合反硝化工艺处理高盐废水的脱氮除碳效能	杨振琳, 于德爽, 李津, 王晓霞, 冯莉 (4612)
低温下 A ² /O-BAF 反硝化除磷脱氮特性	黄剑明, 赵智超, 郑隆举, 邵兆伟, 安芳娇, 陈永志 (4621)
O ₃ -BAC 深度处理石化废水厂尾水的特性及菌群结构分析	张超, 单明皓, 许丹宁, 古明哲, 代蓓蓓, 纪轩, 孙井梅 (4628)
基于 MBR 不同种泥短程硝化启动的微生物群落结构分析	吴鹏, 陈亚, 张婷, 沈耀良, 徐乐中 (4636)
3 种不同工艺切换下活性污泥菌群结构及代谢产物对污泥沉降性能的影响	温丹丹, 袁林江, 陈希, 王洋, 申童童, 刘小博 (4644)
硫酸盐还原菌活性污泥胞外聚合物对环丙沙星的吸附机制	张会群, 贾妍艳, 方荷婷, 阴琳婉, 吕慧 (4653)
包埋活性污泥反硝化性能的快速提高及群落分析	杨宏, 徐富, 孟琛, 苏姗, 袁星 (4661)
中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析	尚二萍, 许尔琪, 张红旗, 黄彩红 (4670)
典型区土壤重金属空间插值方法与污染评价	马宏宏, 余涛, 杨忠芳, 侯青叶, 曾庆良, 王锐 (4684)
秸秆与化肥减量配施对菜地土壤温室气体排放的影响	黄容, 高明, 黎嘉成, 徐国鑫, 吕盛, 罗梅 (4694)
不同肥料施用对设施蔬菜地 NH ₃ 挥发和 N ₂ O 排放的影响	山楠, 韩圣慧, 刘继培, 陈清, 袁玉玲, 王立刚, 李虎 (4705)
施肥类型和水热变化对农田土壤氮素矿化及可溶性有机氮动态变化的影响	田飞飞, 纪鸿飞, 王乐云, 郑西来, 辛佳, 能惠 (4717)
长期不同施肥量对全程氨氧化细菌丰度的影响	王梅, 王智慧, 石孝均, 蒋先军 (4727)
典型绿洲不同土壤类型有机碳含量及其稳定碳同位素分布特征	陈新, 贡璐, 李杨梅, 安申群, 赵晶晶 (4735)
凹凸棒石及其改性材料对土壤镉生物有效性的影响与机制	陈展祥, 陈传胜, 陈卫平, 焦文涛 (4744)
天然有机物活化过硫酸盐降解土壤有机污染物效果	刘琼枝, 廖晓勇, 李尤, 龚雪刚, 曹红英, 罗俊鹏 (4752)
水分管理和外源硒对水稻吸收累积铅的影响	万亚男, 刘哲, Aboubacar Younoussa Camara, 余垚, 王琪, 李花粉 (4759)
窖水中微生物降解污染物的关键细菌	杨浩, 杨晓妮, 张国珍, 王宝山, 张翔, 李健 (4766)
砷氧化菌对胡敏酸络合 As(Ⅲ) 的氧化作用	李泽姣, 崔岩山, 尹乃毅, 蔡晓琳, 都慧丽, 王鹏飞 (4778)
海域高温油田 1 株耐高温耐盐硫酸盐还原菌的筛选与生理特性及活性抑制	杨春璐, 苑美玉, 史荣久, 闫鹏举, 赵峰, 韩斯琴, 张颖 (4783)
1 株耐盐异养硝化-好氧反硝化菌 <i>Zobellella</i> sp. B307 的分离及脱氮特性	白洁, 陈琳, 黄潇, 胡春辉, 赵阳国, 李岍然 (4793)
1 株镰刀菌属 KY123915 的分离及其对 17 β -雌二醇的降解特性	吴蔓莉, 祝长成, 祁燕云, 时艺馨, 徐会宁, 杨瑾如 (4802)
氟喹诺酮对垂直流人工湿地性能及微生物群落的影响	李新慧, 郑权, 李静, 王晓慧, 海热提 (4809)
林可霉素菌渣堆肥微生物群落多样性分析	任省涛, 郭夏丽, 芦阿度, 张倩倩, 郭笑盈, 王岩, 王连忠, 张宝宝 (4817)
DEP 对蚯蚓抗氧化酶系的影响及 DNA 损伤	平令文, 李现旭, 张翠, 宋佩佩, 王金花, 朱鲁生, 王军 (4825)
生活垃圾焚烧灰灰矿物学特性及重金属分布	李建陶, 曾鸣 (4834)
《环境科学》征订启事 (4429) 《环境科学》征稿简则 (4471) 信息 (4529, 4777, 4816)	

杭州市空气细颗粒物浓度与哮喘就诊人次的关系

王安旭^{1,2}, 陈曦³, 宋从波^{1,2}, 应颂敏^{4,5}, 李倩^{1,2}, 吴琳^{1,2}, 毛洪钧^{1,2*}

(1. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350; 2. 南开大学城市交通污染防治研究中心, 天津 300071; 3. 天津医科大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 天津 300070; 4. 浙江大学医学院附属第二医院呼吸与危重症医学科, 杭州 310006; 5. 浙江大学医学院药理教研室, 杭州 310031)

摘要: 为研究大气细颗粒物污染对哮喘门诊就诊的短期影响及各人群的易感性差异, 收集杭州市某医院 2013 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日哮喘门诊(含急诊)资料, 以及同期空气污染数据和气象数据, 考虑到污染物浓度与呼吸系统疾病就诊人次及气象因素之间的非线性关系, 采用时间序列广义相加模型及分层分析的方法研究空气污染对哮喘影响的滞后效应及人群按性别、年龄分层的易感性差异, 对平均温度、平均相对湿度及长期趋势等采用自然立方样条函数进行平滑拟合, 同时用哑元变量控制星期几效应和节假日效应的影响。在 $P=0.01$ 水平下 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、 SO_2 之间均呈显著的正相关性, 而气温与 3 种污染物之间呈显著的负相关性。 $PM_{2.5}$ 日均浓度每升高 $10 \mu g \cdot m^{-3}$, 对哮喘就诊人次影响的相对危险度(relative risk, RR)在滞后 5d 达到最大值, 为 1.005 6(95% CI: 1.002 1~1.009 1), 且具有统计学意义($P<0.05$)。在男性人群和 18~64 岁人群中, 细颗粒物浓度对于哮喘就诊人次的影响在滞后 3~5 d 的 RR 值均具有统计学意义, 在女性人群和 ≥ 65 岁人群中, 在滞后 5 d 时 RR 值均具有统计学意义。在多污染物模型中, 引入 NO_2 的影响后 $PM_{2.5}$ 对哮喘就诊人次的影响在滞后 5 d 时的 RR 有所提升。杭州市 $PM_{2.5}$ 浓度的升高可能会造成 3~5 d 内哮喘门诊就诊人次的增加, 且对男性人群和老年人群影响更为明显。

关键词: 空气污染; 短期影响; 时间序列分析; 哮喘; 门诊人数

中图分类号: X503.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)10-4457-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201712090

Association Between Fine Particulate Matter and Asthma Hospital Outpatient Visits in Hangzhou

WANG An-xu^{1,2}, CHEN Xi³, SONG Cong-bo^{1,2}, YING Song-min^{4,5}, LI Qian^{1,2}, WU Lin^{1,2}, MAO Hong-jun^{1,2*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China; 2. Center for Urban Transport Emission Research (CUTER), Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; 4. Department of Respiratory and Critical Care Medicine of Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310006, China; 5. Department of Pharmacology, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310031, China)

Abstract: To study the short-term effects of air pollution on asthma visits and differences in susceptibility to various groups of people, data for asthma visits from January 1, 2013 to December 31, 2015 were obtained from a Hangzhou hospital. Considering the nonlinear relationships among concentration of air pollutants, respiratory hospital outpatient visits and meteorological factors, Generalized Additive Models (GAM) and stratification analysis were used to explore the lag effects and differences in people stratifications. The natural cubic spline function was used for smoothing the average temperature, the average relative humidity and the long-term trend, using dummy variables to control the effect of the day of the week and of holidays. Correlation of $PM_{2.5}$, NO_2 and SO_2 daily mean concentrations were significant (under 0.01) in Spearman correlation analysis, while the correlations of daily mean temperature and 3 pollutants were significantly negative. The lag effects of $PM_{2.5}$ concentration on outpatient visits of asthma peaked at 3-5 days. The relative risk of asthma reached maximum at lag day 5 as 1.005 6 (95% CI: 1.002 1-1.009 1), with per $10 \mu g \cdot m^{-3}$ increment of $PM_{2.5}$ concentration. The relative risk of asthma outpatient visits of all groups of patients were statistically significant ($P<0.05$). The relative risk of asthma outpatient visits of males and young and middle-aged group were statistically significant at lag days 3-5, and for females and the elderly, were statistically significant at lag day 5. With the introduction of the effects of NO_2 , the relative risk of asthma outpatient visits increased at lag 5 day in co-pollutant models. The authors concluded that the increase of $PM_{2.5}$ may be related to the increase of asthma hospital outpatient visits within 3-5 days in Hangzhou, and the effects on male group and elderly group were more definite.

Key words: air pollution; short-term effects; time-series analysis; asthma; hospital outpatient visits

近年来, 随着我国城市化进程加快和经济高速发展, 空气污染已逐渐引起高度重视^[1], 尤其是对于公众健康的影响越来越大^[2], 已受到越来越多研究者的关注^[3]。已有流行病学研究表明, 空气污染

收稿日期: 2017-12-12; 修订日期: 2018-03-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0212104)

作者简介: 王安旭(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为空气污染与人群健康, E-mail: wang_anxu@126.com

* 通信作者, E-mail: hongjun_mao@hotmail.com

的短期暴露与呼吸系统及心血管疾病相关^[4~7]. 而作为主要空气污染物之一的细颗粒物 (fine particulate matter, $PM_{2.5}$) 对人类健康的影响已成为国内外研究的热点. 已有研究发现^[8~10], $PM_{2.5}$ 与死亡率的升高有着显著关系. 此外, $PM_{2.5}$ 也对心血管疾病有一定影响^[11~14].

国内目前对颗粒物与哮喘的关系已有部分研究, 如 Tian 等^[15] 发现 $PM_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu g \cdot m^{-3}$, 医院哮喘就诊人次增加 0.67% (95% CI: 0.53% ~ 0.81%). 已有研究主要集中在严重污染地区, 而对于杭州市颗粒物与哮喘就诊人次关系的研究还比较少. 近年来杭州冬季频频出现连续灰霾天气, 对人群健康带来极大危害^[16]. 由于污染物浓度与呼吸系统疾病就诊人次及气象因素之间的关系往往并不是线性或单调的, 而广义相加模型能够对响应变量和解释变量间是非线性或非单调的关系进行数据分析^[17], 故本研究采用时间序列广义相加模型及人群分层的分析方法, 收集杭州市某医院 2013 ~ 2015 年呼吸系统疾病门诊资料, 分析细颗粒物对哮喘门诊就诊人次的短期影响及各人群的易感性差异, 以期为有针对性地保护易感人群、保障公众健康提供依据.

1 材料与方法

1.1 资料来源

每日呼吸系统疾病资料来源于 2013 年 1 月 1 日 ~ 2015 年 12 月 31 日杭州市某三甲医院, 每日呼吸系统疾病发病信息包括病人姓名、性别、年龄、就诊日期等, 并将诊断结果按国际疾病分类 (ICD-10) 编码筛选出哮喘 (J45).

大气污染物资料及气象因素资料来源于杭州市环境监测中心, 包括细颗粒物 ($PM_{2.5}$)、二氧化硫 (SO_2)、二氧化氮 (NO_2) 的日平均浓度 ($\mu g \cdot m^{-3}$)、平均温度 ($^{\circ}C$)、平均相对湿度 (%) 等. 数据中的缺失值采用均值插补的方法进行了补充.

1.2 分析方法

对于污染物及气象因素间的相关性, 由于数据不服从正态分布, 因此采用 Spearman 相关分析, 检验水平为 $P = 0.01$. 相对于总人群, 每日哮喘发病为小概率事件, 其发病人数近似 Poisson 分布, 因此采用 Poisson 回归的广义相加模型 (generalized additive models, GAM) 分析空气污染物浓度与日呼吸系统疾病就诊人次的关系. 研究中对平均温度、平均相对湿度及长期趋势等采用自然立方样条函数

进行平滑拟合, 同时用哑元变量控制星期几效应和节假日效应的影响, 将当日、1 d 前至 7 d 前污染物浓度引入模型, 基本模型如下:

$$\lg[E(Y_t)] = \alpha + \beta \times c_{\text{pollutant, lag}} + \text{ns}(\text{time, df}) + \text{ns}(\text{temperature, df}) + \text{ns}(\text{humidity, df}) + \text{DOW} + \text{Holiday}$$

式中, Y_t 为第 t 日哮喘就诊人次; $E(Y_t)$ 为第 t 日哮喘就诊人次的期望值; α 为残差; β 为回归系数; $c_{\text{pollutant, lag}}$ 为某滞后天数时的污染物浓度, 单位为 $\mu g \cdot m^{-3}$; ns 为自然立方样条平滑函数; df 为自由度; DOW 为星期哑元变量; Holiday 为节假日哑元变量; time 为日期. 模型中的自由度取值根据 AIC 最小原则确定, 对应日期、日平均温度、平均相对湿度的自由度分别为 7 a^{-1} 、3、3.

建立基本模型后, 引入污染物浓度数据, 估算出空气污染物的回归系数 β , 并计算出污染物浓度每升高 $10 \mu g \cdot m^{-3}$ 时的相对危险度 (relative risk, RR), 即 $RR = e^{10 \times \beta}$, 及其 95% 置信区间 (95% CI) $e^{10 \times (\beta \pm 1.96SE)}$.

统计分析由 R 3.2.3 软件及该软件中的 MGCV 数据包实现^[18].

2 结果与分析

2.1 描述性分析

2013 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日杭州市大气中主要污染物 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 的日均浓度、主要气象因素的描述性统计结果见表 1, 哮喘就诊人次分层统计描述结果见表 2. 由表 1 可见, 杭州市 $PM_{2.5}$ 与 NO_2 浓度年均值均高于国家空气质量二级标准^[19], 而 SO_2 浓度年均值则低于国家空气质量二级标准. 2013 ~ 2015 年间, 哮喘就诊人次共 29 705 人, 男女性别比接近 4:6; 未成年人群 (< 18 岁) 仅占 2.3%, 老年人群 (≥ 65 岁) 占 14.3%, 18 ~ 64 岁人群约占 83.4%.

2.2 空气污染物与气象因素的相关性

空气污染物与气象因素的 Spearman 相关性分析结果见表 3, 污染物间均有 $P = 0.01$ 水平下显著的正相关性, 且相关性较强. 气温与 3 种污染物之间呈显著的负相关性, 相对湿度与 $PM_{2.5}$ 和 SO_2 之间呈显著的负相关性, 而相对湿度与 NO_2 和平均气温之间的相关性并不显著.

2.3 空气污染物与每日就诊人次的关系

2.3.1 单污染物模型

表 4 展示了在单污染物模型中, 不同滞后天数

表 1 空气污染物浓度和气象因素描述性统计

Table 1 Descriptions of air pollutants and meteorological factors

项目	天数/d	平均值	标准差	最小值	P25	中位数	P75	最大值	年均值国家空气质量二级标准
NO ₂ /μg·m ⁻³	1 095	48.69	18.07	12.14	35.71	46.05	58.94	136.00	40
PM _{2.5} /μg·m ⁻³	1 095	62.39	37.55	8.94	37.43	54.70	77.00	376.00	35
SO ₂ /μg·m ⁻³	1 095	21.41	12.13	4.33	12.36	18.91	27.00	85.00	60
平均气温/℃	1 095	17.82	8.83	-1.94	10.07	19.08	24.94	35.39	—
相对湿度/%	1 095	68.35	13.54	25.42	58.79	69.98	78.32	97.65	—

表 2 哮喘就诊人次统计

Table 2 Descriptions of asthma hospital outpatient visits

分层	哮喘	
	n	比例/%
全人群	29 705	—
男	12 256	41.3
女	17 449	58.7
0~17 岁	693	2.3
18~64 岁	24 763	83.4
≥65 岁	4 249	14.3

表 3 杭州市 2013~2015 年空气污染物浓度与气象因素的 Spearman 相关系数¹⁾

Table 3 Spearman's correlation coefficient between air pollutants concentration and meteorological factors

	NO ₂	PM _{2.5}	SO ₂	平均气温	相对湿度
NO ₂	1.00 **	0.74 **	0.72 **	-0.48 **	-0.04
PM _{2.5}		1.00 **	0.67 **	-0.41 **	-0.13 **
SO ₂			1.00 **	-0.44 **	-0.34 **
平均气温				1.00 **	0.00
相对湿度					1.00 **

1) ** 表示 $P < 0.01$

最大，在滞后 5 d 时对 18~64 岁人群影响最大，RR 值分别为 1.010 2 (95% CI: 1.004 4~1.015 9)、1.006 9 (95% CI: 1.002 9~1.011 0)；对于女性人群和 ≥65 岁人群，PM_{2.5} 对就诊人次增加的影响都在滞后 5 d 具有统计学显著的正效应，RR 值分别为 1.008 2 (95% CI: 1.003 4~1.013 0)、1.009 6 (95% CI: 1.000 3~1.019 0)。

图 2 是大气 PM_{2.5} 浓度与哮喘就诊人次在滞后 5d 的暴露-反应关系曲线。在低浓度下哮喘就诊人次的增长较为缓慢，而当 PM_{2.5} 浓度升高时，哮喘就诊人次的增速有明显升高的趋势，当浓度达到一定高度后，哮喘就诊人次的增长再次趋于平缓。

2.3.2 多污染物模型

表 5 展示了在多污染物模型中，分别及同时引入 NO₂ 和 SO₂ 两种污染物后在滞后 5 d 时 PM_{2.5} 对全人群及分层人群哮喘就诊人次的影响。单独引入 NO₂ 后，PM_{2.5} 对哮喘就诊人次影响的 RR 有所提高，为 1.006 9 (95% CI: 1.002 4~1.011 4)。单独引入 SO₂ 后，PM_{2.5} 对哮喘就诊人次的影响的 RR 无

下 PM_{2.5} 日均浓度对居民哮喘就诊人次的 RR 及 95% 置信区间。对于哮喘疾病，PM_{2.5} 对就诊人次增加的影响在滞后 3 d、5 d 具有统计学显著的正效应。

图 1 为 PM_{2.5} 污染对不同人群哮喘就诊人次影响的滞后效应。对于男性人群和 18~64 岁人群，PM_{2.5} 对就诊人次增加的影响在滞后 3~5 d 具有统计学显著的正效应，在滞后 4 d 时对男性人群影响

表 4 PM_{2.5} 影响总人群哮喘就诊人次的相对危险度 (单污染物模型)¹⁾

Table 4 RR and 95% CI of PM_{2.5} with a 10 μg·m⁻³ increment to asthma outpatient visits in total population in single pollutant models

滞后天数/d	相对危险度 (95% CI)
0	0.997 4 (0.993 5~1.001 3)
1	0.995 1 (0.991 4~0.998 8) *
2	0.994 9 (0.991 3~0.998 5) *
3	1.004 0 (1.000 6~1.007 5) *
4	1.002 4 (0.998 9~1.005 9)
5	1.005 6 (1.002 1~1.009 1) *
6	1.000 4 (0.996 9~1.003 9)
7	1.000 9 (0.997 2~1.004 5)

1) * 表示 $P < 0.05$

明显变化，为 1.005 4 (95% CI: 1.001 4~1.009 5)。同时引入 NO₂ 和 SO₂ 后，PM_{2.5} 对哮喘就诊人次的影响的 RR 有所提升，为 1.006 6 (95% CI: 1.002 0~1.011 3)。3 组结果均在 $P = 0.05$ 水平下显著。将不同人群受到的影响纳入分析后，当单独引入 SO₂ 时，PM_{2.5} 对各人群哮喘就诊人次影响的 RR 无明显变化；而当单独引入 NO₂ 时，PM_{2.5} 对男性和

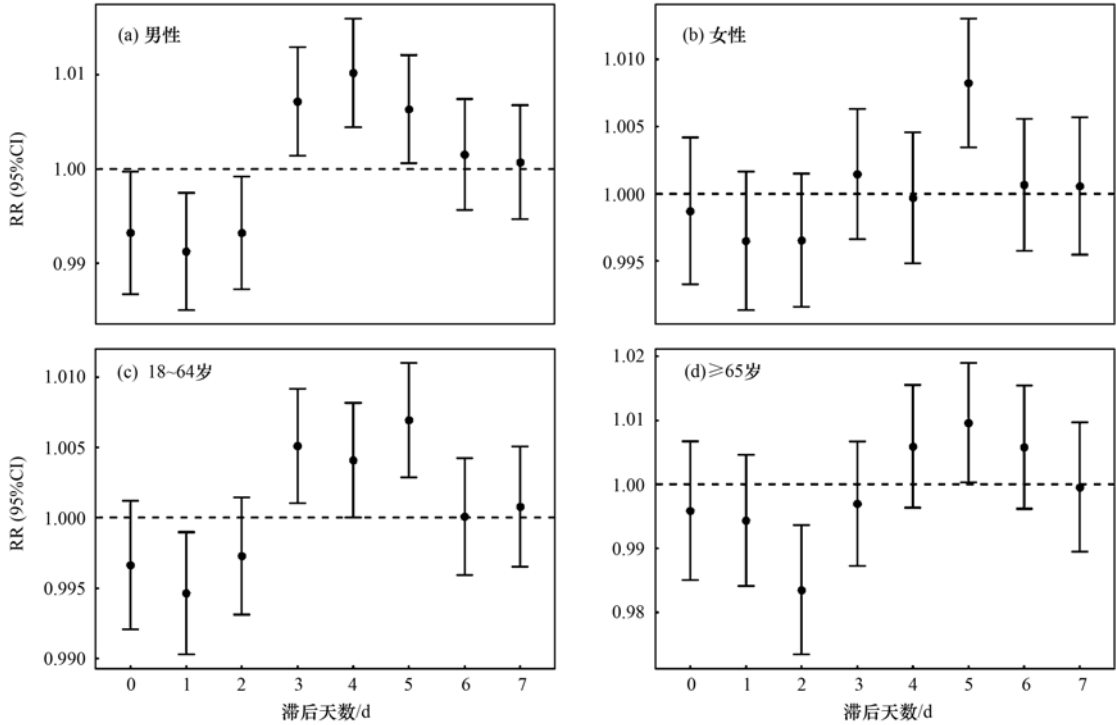
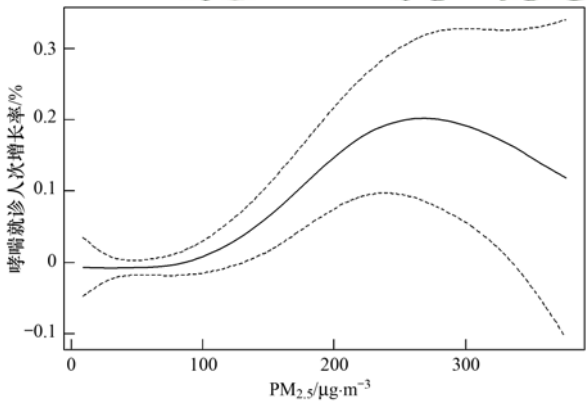


图1 $\text{PM}_{2.5}$ 影响不同人群哮喘就诊人次的相对危险度

Fig. 1 RR and 95% CI of $\text{PM}_{2.5}$ with a $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increment to asthma outpatient visits in different groups



实线为随 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化的哮喘就诊人次增长百分率, 虚线为相应的 95% 置信区间上下限

图2 大气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与哮喘就诊人次在滞后 5 d 的暴露-反应关系曲线

Fig. 2 Exposure-response curve for ambient $\text{PM}_{2.5}$ concentration and asthma hospital outpatient visits at lag 5 day

老年人群哮喘就诊人次的影响的 RR 有所提高; 在同时引入 NO_2 和 SO_2 后, $\text{PM}_{2.5}$ 同样对男性和老年人群哮喘就诊人次的影响的 RR 有所提高. 分层人群的结果除老年人群在引入 SO_2 后不显著外, 均在 $P=0.05$ 水平下显著.

3 讨论

本研究通过时间序列泊松分布广义相加模型, 定量分析了杭州市大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度与哮喘疾病就诊人次的关系, 并按性别、年龄进行了分层分析. 结果表明, $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度与哮喘就诊人次之间存在滞后效应且其影响在滞后 5 d 达到最大, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 哮喘就诊人次的 RR 为 1.005 6 (95% CI: 1.002 1 ~ 1.009 1). 在单污染物模型和多污染物模型的结果中, 通过对比发现加入 NO_2 后 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对哮喘就诊人次的影响有所提

表5 空气污染影响哮喘就诊人次的相对危险度(多污染物模型)¹⁾

Table 5 RR and 95% CI of $\text{PM}_{2.5}$ with a $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increment to asthma outpatient visits in co-pollutant models

项目	相对危险度(95% CI)		
	$\text{PM}_{2.5} + \text{NO}_2$	$\text{PM}_{2.5} + \text{SO}_2$	$\text{PM}_{2.5} + \text{NO}_2 + \text{SO}_2$
全人群	1.006 9 (1.002 4 ~ 1.011 4) *	1.005 4 (1.001 4 ~ 1.009 5) *	1.006 6 (1.002 0 ~ 1.011 3) *
男性	1.009 6 (1.002 2 ~ 1.017 1) *	1.008 2 (1.001 5 ~ 1.015 0) *	1.010 1 (1.002 4 ~ 1.017 8) *
女性	1.009 8 (1.003 6 ~ 1.016 1) *	1.006 0 (1.000 4 ~ 1.011 7) *	1.008 4 (1.002 0 ~ 1.014 8) *
18 ~ 64 岁	1.008 3 (1.003 1 ~ 1.013 6) *	1.006 7 (1.001 9 ~ 1.011 4) *	1.008 0 (1.002 5 ~ 1.013 4) *
≥65 岁	1.017 3 (1.005 2 ~ 1.029 5) *	1.008 2 (0.997 3 ~ 1.019 3)	1.015 3 (1.002 9 ~ 1.027 9) *

1) * 表示 $P<0.05$

高, 而 SO_2 的加入并未产生明显影响, 认为 NO_2 浓度对哮喘就诊人次可能有一定影响, 需要进一步研究. 多污染物模型相较单污染物模型而言, 考虑了不同污染物间可能存在的协同效应, 得出环境污染物的影响应当更接近实际情况.

已有研究表明, 可吸入颗粒物特别是细颗粒物对哮喘就诊人次有着显著影响. Kim 等^[11]的研究发现, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对哮喘就诊人次从滞后 2 ~ 5 d 开始有着统计学显著的正效应, 且不同组分的滞后时间分布有所不同. Lee 等^[20]的研究发现, 在单污染物模型中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高一个 IQR ($20.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 在滞后 4 d 时儿童哮喘就诊人次增加 6.59% (95% CI: 4.51% ~ 8.72%); 而在多污染物模型中调整了其他污染物的影响后, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高一个 IQR, 滞后 4 d 时儿童哮喘就诊人次增加 3.24% (95% CI: 0.93% ~ 5.60%). Qiu 等^[21]的研究发现, 在单污染物模型中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每上升一个 IQR ($26.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 哮喘就诊人次增加 4.35% (95% CI: 1.66% ~ 7.11%), 而在双污染物模型中哮喘就诊人次则增加了 4.14% (95% CI: 0.77% ~ 7.63%). 本研究结果与其他此类研究结果相似, 在单污染物模型中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 滞后 5d 时哮喘就诊人次增加 0.56% (95% CI: 0.21% ~ 0.91%), 而在多污染物模型中引入 NO_2 和 SO_2 后, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 滞后 5d 时哮喘就诊人次增加 0.66% (95% CI: 0.20% ~ 1.13%).

从性别分层看, 男性与女性人群哮喘就诊人次的滞后效应趋势上未表现出显著差异, 但受到的影响上男性人群要略高于女性人群, 也有研究^[22]发现空气污染对男性的影响较女性明显, 这可能是由于研究地区男性工作场所更多处于室外, 更易暴露于污染物中, 且防护意识不足所造成的. 但也有研究表明^[8,23,24], 女性人群呼吸系统疾病就诊人次受颗粒物影响更大, 这可能是由于女性人群体质对于颗粒物污染更加敏感, 暴露于较高浓度时更易导致哮喘等呼吸道疾病的形成和发作. 从年龄分层来看, 18 ~ 64 岁人群和 ≥ 65 岁人群受到 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的显著影响, 且 ≥ 65 岁人群受到影响较 18 ~ 64 岁人群更大, 这也与以往研究结论一致. 有研究已经指出^[22~24], 老年人群受颗粒物浓度影响更为显著.

环境中的 PM_{10} 按照空气动力学直径可分为粗颗粒物 (粒径 $2.5 \sim 10 \mu\text{m}$)、细颗粒物 (即 $\text{PM}_{2.5}$)、超细颗粒物 (粒径 $< 0.1 \mu\text{m}$). 粗颗粒物主要沉积在大传导气道中; 细颗粒物主要沉积在呼吸道中,

尤其是小气道和肺泡; 超细颗粒物主要沉积在肺泡中. 过渡金属、多环芳烃和环境持久性自由基是颗粒物的成分, 它们有可能引起氧化应激以及与哮喘相关的许多表型变化. 此外, 颗粒物中经常含有各种免疫原性物质, 如真菌孢子和花粉, 这些物质与哮喘症状的加重密切相关^[25].

综上所述, 本研究发现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度升高会导致医院哮喘就诊人次增加, 且其影响在不同人群中存在一定差异, 老年人群可能为细颗粒物污染的易感人群. 此外, 由于人体更多时候暴露在室内环境中, 因此以室外监测站点空气污染物浓度作为人群暴露评价指标的合理性不足, 有待进一步研究.

4 结论

(1) 杭州市空气细颗粒物浓度对哮喘就诊人次的影响在单日滞后 3 d 和 5 d 具有统计学意义, 其中最佳滞后时间为 5 d.

(2) 在最佳滞后时间的条件下, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 哮喘就诊人次增加 0.56%; 在多污染物模型中引入 NO_2 后, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 哮喘就诊人次增加 0.69%.

(3) 就性别和年龄而言, 杭州市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对 ≥ 65 岁的老年人群哮喘就诊人次影响最大, 对男性人群的影响较女性人群明显.

参考文献:

- [1] 郝吉明, 李欢欢, 沈海滨. 中国大气污染防治进程与展望[J]. 世界环境, 2014, (1): 58-61.
Hao J M, Li H H, Shen H B. Process and prospects of China air pollution control[J]. World Environment, 2014, (1): 58-61.
- [2] 王健, 舒家泽, 陈新宇, 等. 细颗粒物载带组分与呼吸系统健康的关系[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2013, 36(12): 970-972.
- [3] Hu G P, Zhong N S, Ran P X. Air pollution and COPD in China[J]. Journal of Thoracic Disease, 2015, 7(1): 59-66.
- [4] Stern G, Latzin P, Rösli M, et al. A prospective study of the impact of air pollution on respiratory symptoms and infections in infants[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2013, 187(12): 1341-1348.
- [5] Gold D R, Mittleman M A. New insights into pollution and the cardiovascular system 2010 to 2012[J]. Circulation, 2013, 127(18): 1903-1913.
- [6] Guan W J, Zheng X Y, Chung K F, et al. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action[J]. Lancet, 2016, 388(10054): 1939-1951.
- [7] He T F, Yang Z Y, Liu T, et al. Ambient air pollution and years of life lost in Ningbo, China[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 22485.
- [8] Di Q, Dai L Z, Wang Y, et al. Association of short-term

- exposure to air pollution with mortality in older adults [J]. *JAMA*, 2017, **318**(24): 2446-2456.
- [9] Corrigan A E, Becker M M, Neas L M, *et al.* Fine particulate matters: The impact of air quality standards on cardiovascular mortality[J]. *Environmental Research*, 2018, **161**: 364-369.
- [10] Achilleos S, Kioumourtzoglou M A, Wu C D, *et al.* Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis[J]. *Environment international*, 2017, **109**: 89-100.
- [11] Kim S Y, Peel J L, Hannigan M P, *et al.* The temporal lag structure of short-term associations of fine particulate matter chemical constituents and cardiovascular and respiratory hospitalizations[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2012, **120**(8): 1094-1099.
- [12] 刘晓剑, 吴永胜, 付英斌, 等. 深圳市空气 PM_{2.5} 与心脑血管疾病死亡的广义相加模型分析[J]. *中华疾病控制杂志*, 2016, **20**(2): 207-209.
- Liu X J, Wu Y S, Fu Y B, *et al.* Time-series analysis of air pollution and cardiovascular mortality in Shenzhen[J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2016, **20**(2): 207-209.
- [13] 谢元博, 陈娟, 李巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. *环境科学*, 2014, **35**(1): 1-8.
- Xie Y B, Chen J, Li W. An assessment of PM_{2.5} related health risks and impaired values of Beijing residents in a consecutive high-level exposure during heavy haze days[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(1): 1-8.
- [14] 孙兆彬, 陶燕, 崔蕊蕊, 等. 北京地区奥运会期间 PM_{2.5} 对心脑血管疾病的影响[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(11): 3481-3488.
- Sun Z B, Tao Y, Cui M M, *et al.* The effect of PM_{2.5} on cardiovascular and cerebrovascular diseases in Beijing areas during the Olympic Games[J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(11): 3481-3488.
- [15] Tian Y H, Xiang X, Juan J, *et al.* Fine particulate air pollution and hospital visits for asthma in Beijing, China [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **230**: 227-233.
- [16] 陈秋方, 孙在, 谢小芳. 杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(8): 2851-2856.
- Chen Q F, Sun Z, Xie X F. Distribution of atmospheric ultrafine particles during haze weather in Hangzhou [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(8): 2851-2856.
- [17] 贾彬, 王彤, 王琳娜, 等. 广义可加模型共线性及其在空气污染问题研究中的应用[J]. *第四军医大学学报*, 2005, **26**(3): 280-283.
- Jia B, Wang T, Wang L N, *et al.* Concavity in generalized additive models in study of air pollution [J]. *Journal of The Fourth Military Medical University*, 2005, **26**(3): 280-283.
- [18] Wood S N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models[J]. *Journal of the Royal Statistical Society*, 2011, **73**(1): 3-36.
- [19] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [20] Lee S L, Wong W H S, Lau Y L. Association between air pollution and asthma admission among children in Hong Kong [J]. *Clinical & Experimental Allergy*, 2006, **36**(9): 1138-1146.
- [21] Qiu H, Yu I T S, Tian L W, *et al.* Effects of coarse particulate matter on emergency hospital admissions for respiratory diseases: A time-series analysis in Hong Kong[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2012, **120**(4): 572-576.
- [22] 陶燕, 羊德容, 兰岚, 等. 兰州市空气污染对呼吸系统疾病入院人数的影响[J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(1): 175-180.
- Tao Y, Yang D R, Lan L, *et al.* Relationship between air pollutant and respiratory diseases hospitalization in Lanzhou[J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(1): 175-180.
- [23] 张莹, 邵毅, 王式功, 等. 北京市空气污染物对呼吸系统疾病门诊人数的影响[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(9): 2401-2407.
- Zhang Y, Shao Y, Wang S G, *et al.* Relationship between air pollutant and respiratory diseases hospital outpatient visits in Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(9): 2401-2407.
- [24] Tao Y, Mi S Q, Zhou S H, *et al.* Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Lanzhou, China [J]. *Environmental Pollution*, 2014, **185**: 196-201.
- [25] Guarnieri M, Balmes J R. Outdoor air pollution and asthma[J]. *The Lancet*, 2014, **383**(9928): 1581-1592.

CONTENTS

Ratios of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Various Cities of China	WANG Ming, CHEN Wen-tai, LU Si-hua, <i>et al.</i> (4393)
Temporal Variation, Spatial Distribution, and Reactivity Characteristics of Air VOCs in Beijing 2015	ZHANG Bo-tao, AN Xin-xin, WANG Qin, <i>et al.</i> (4400)
Research and Application of the Technical Method for the Compilation of VOCs Emission Inventories from Architectural Coatings in Beijing	DENG Zi-yu, GAO Mei-ping, WANG Qing-wei, <i>et al.</i> (4408)
Content Levels and Compositions Characteristics of Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission from Architectural Coatings Based on Actual Measurement	GAO Mei-ping, DENG Zi-yu, NIE Lei, <i>et al.</i> (4414)
Characteristics of Primary Pollutants of Air Quality in Cities Along the Taihang Mountains in Beijing-Tianjin-Hebei Region During 2014-2016	WANG Xiao-yan, WANG Shuai, ZHU Li-li, <i>et al.</i> (4422)
Seasonal Variation and Source Analysis for PM _{2.5} , PM ₁ and Their Carbonaceous Components in Beijing	FAN Xiao-chen, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4430)
Chemical Constitution and Carbon Isotopic Compositions of PM _{2.5} in the Northern Suburb of Nanjing in Spring	ZHOU Yi-ming, HAN Xun, WANG Jin-jin, <i>et al.</i> (4439)
Analysis of Non-polar Organic Compounds in PM _{2.5} by Rapid Thermo-desorption Method Coupled with GC/MS	MA Ying-ge, WU Xia, PENG Meng-meng, <i>et al.</i> (4446)
Association Between Fine Particulate Matter and Asthma Hospital Outpatient Visits in Hangzhou	WANG An-xu, CHEN Xi, SONG Cong-bo, <i>et al.</i> (4457)
Hybrid Electric Bus SCR System Operation and NO _x Emission Characteristics Based on Remote Communication Technology	YANG Qiang, HU Qing-yao, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (4463)
Selection of Priority Contaminants in a Watershed Using Risk Ranking Methodology	LI Qi-feng, LÜ Yong-long, WANG Pei, <i>et al.</i> (4472)
Characteristics and Sources of Atmospheric Inorganic Nitrogen Wet Deposition in Xueyu Cave Watershed, Outer Suburbs of Chongqing City	DUAN Shi-hui, JIANG Yong-jun, ZHANG Yuan-zhu, <i>et al.</i> (4479)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Heilongjiang Liangshui National Nature Reserve	SONG Lei, TIAN Peng, ZHANG Jin-bo, <i>et al.</i> (4490)
Key Production Process of Nitrous Oxide and Nitrogen Sources in Tuojia River	ZHAO Qiang, LÜ Cheng-wen, QIN Xiao-bo, <i>et al.</i> (4497)
Impact of Biochar on Nitrogen Removal and Nitrous Oxide Emission in Aerated Vertical Flow Constructed Wetland	WANG Ning, HUANG Lei, LUO Xing, <i>et al.</i> (4505)
Physiological Responses of Ryegrass in Cadmium-Nonylphenol Co-contaminated Water and the Phytoremediation Effects	SHI Guang-yu, LI Zhong-yi, ZHANG Lu, <i>et al.</i> (4512)
Analysis of Absorption Characteristics of Urban Black-odor Water	DING Xiao-lei, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (4519)
Seasonal Variations of DOM Spectral Characteristics in the Surface Water of the Upstream Minjiang River	FAN Shi-yu, QIN Ji-hong, LIU Yan-yang, <i>et al.</i> (4530)
Water Quality and Three-Dimensional Fluorescence of Stormwater Runoff from Lined Bioretention Field Cells	LIN Xiu-yong, WANG Shu-min, LI Qiang, <i>et al.</i> (4539)
Nitrate-Nitrogen Pollution Sources of an Underground River in Karst Agricultural Area Using ¹⁵ N and ¹⁸ O Isotope Technique	SHENG Ting, YANG Ping-heng, XIE Guo-wen, <i>et al.</i> (4547)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter in Landfill Groundwater	PENG Li, YU Min-da, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (4556)
Adsorption Behavior of Phosphate from Water on Zirconium-loaded Granular Zeolite-amended Sediment	LIANG Shu-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4565)
Control of Coagulant Dosing for Humic Substances Based on Ultraviolet Spectrum Analysis	ZHANG Bei-chen, ZHANG Xiao-lei, QIN Lan-lan, <i>et al.</i> (4576)
Reduction of Wastewater Organic Micro-pollutants and Genotoxicity in a Hybrid Process Involving Anaerobic-anoxic-oxic and Ozonation Treatments	LI Mo, WANG Zhen-zhe, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (4584)
Distribution and Removal of Antibiotic Resistance Genes in Two Sequential Wastewater Treatment Plants	LI Ao-lin, CHEN Li-jun, ZHANG Yan, <i>et al.</i> (4593)
Effect of Magnetic Chitosan Hydrogel Beads with Immobilized Feamnox Bacteria on the Removal of Ammonium from Wastewater	LIU Zhi-wen, CHEN Chen, PENG Xiao-chun, <i>et al.</i> (4601)
Enhanced Nitrogen and Carbon Removal Performance of Simultaneous ANAMMOX and Denitrification (SAD) with Trehalose Addition Treating Saline Wastewater	YANG Zhen-lin, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Denitrifying Phosphorus Removal by A ² /O-BAF at Low Temperatures	HUANG Jian-ming, ZHAO Zhi-chao, ZHENG Long-ju, <i>et al.</i> (4621)
Characteristics of Advanced Treatment of Treated Petrochemical Water by O ₃ -BAC and Analysis of Consortium Structure	ZHANG Chao, SHAN Ming-hao, XU Dan-ning, <i>et al.</i> (4628)
Microbial Community Characteristics of Shortcut Nitrification Start-up in Different MBR-Inoculated Sludges	WU Peng, CHEN Ya, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (4636)
Effect of Microbial Community Structure and Metabolites on Sludge Settling Ability Under Three Different Switching Condition Processes	WEN Dan-dan, YUAN Lin-jiang, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4644)
Adsorption Mechanisms of Ciprofloxacin by Extracellular Polymeric Substances of Sulfate-reducing Bacteria Sludge	ZHANG Hui-qun, JIA Yan-yan, FANG He-ting, <i>et al.</i> (4653)
Rapid Improvement of Denitrification Performance of Embedded Activated Sludge and Community Analysis	YANG Hong, XU Fu, MENG Chen, <i>et al.</i> (4661)
Spatial-Temporal Trends and Pollution Source Analysis for Heavy Metal Contamination of Cultivated Soils in Five Major Grain Producing Regions of China	SHANG Er-ping, XU Er-qi, ZHANG Hong-qi, <i>et al.</i> (4670)
Spatial Interpolation Methods and Pollution Assessment of Heavy Metals of Soil in Typical Areas	MA Hong-hong, YU Tao, YANG Zhong-fang, <i>et al.</i> (4684)
Effect of Straw Residues in Combination with Reduced Fertilization Rate on Greenhouse Gas Emissions from a Vegetable Field	HUANG Rong, GAO Ming, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (4694)
Emission of NH ₃ and N ₂ O from Spinach Field Treated with Different Fertilizers	SHAN Nan, HAN Sheng-hui, LIU Ji-pei, <i>et al.</i> (4705)
Effects of Various Combinations of Fertilizer, Soil Moisture, and Temperature on Nitrogen Mineralization and Soluble Organic Nitrogen in Agricultural Soil	TIAN Fei-fei, JI Hong-fei, WANG Le-yun, <i>et al.</i> (4717)
Long-term Fertilization Effects on the Abundance of Complete Ammonia Oxidizing Bacteria(Comammox <i>Nitrospira</i>) in a Neutral Paddy Soil	WANG Mei, WANG Zhi-hui, SHI Xiao-jun, <i>et al.</i> (4727)
Spatial Variation of Soil Organic Carbon and Stable Isotopes in Different Soil Types of a Typical Oasis	CHEN Xin, GONG Lu, LI Yang-mei, <i>et al.</i> (4735)
Effect and Mechanism of Attapulgite and Its Modified Materials on Bioavailability of Cadmium in Soil	CHEN Zhan-xiang, CHEN Chuan-sheng, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4744)
Persulfate Oxidation Effect of Soil Organic Pollutants by Natural Organic Matters	LIU Qiong-zhi, LIAO Xiao-yong, LI You, <i>et al.</i> (4752)
Lead Uptake and Accumulation in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) with Water Management and Selenite Fertilization	WAN Ya-nan, LIU Zhe, Aboubacar Younoussa Camara, <i>et al.</i> (4759)
Key Bacteria for the Microbial Degradation of Pollutants in Cellar Water	YANG Hao, YANG Xiao-ni, ZHANG Guo-zhen, <i>et al.</i> (4766)
Oxidation of Humic Acid Complexing As(III) by As(III)-Oxidizing Bacteria	LI Ze-jiao, CUI Yan-shan, YIN Nai-yi, <i>et al.</i> (4778)
A Thermotolerant and Halotolerant Sulfate-reducing Bacterium in Produced Water from an Offshore High-temperature Oilfield in Bohai Bay, China: Isolation, Phenotypic Characterization, and Inhibition	YANG Chun-lu, YUAN Mei-yu, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (4783)
Isolation and Nitrogen Removal Characteristics of Salt-tolerant Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacteria <i>Zobellella</i> sp. B307	BAI Jie, CHEN Lin, HUANG Xiao, <i>et al.</i> (4793)
Isolation, Identification and Degradation Characteristics of a 17β-estradiol Degrading Strain <i>Fusarium</i> sp. KY123915	WU Man-li, ZHU Chang-cheng, QI Yan-yun, <i>et al.</i> (4802)
Effect of Fluoroquinolones on Performance and Microbial Community of a Vertical Flow Constructed Wetland	LI Xin-hui, ZHENG Quan, LI Jing, <i>et al.</i> (4809)
Microbial Community Diversity Analysis During Lincomycin Mycelia Dreg with Manure	REN Sheng-tao, GUO Xia-li, LU A-qian, <i>et al.</i> (4817)
Oxidative Stress and DNA Damage Induced by DEP Exposure in Earthworms	PING Ling-wen, LI Xian-xu, ZHANG Cui, <i>et al.</i> (4825)
Mineralogy Characteristics and Heavy Metal Distribution of MSWI Fly Ash	LI Jian-tao, ZENG Ming (4834)