

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第4期

Vol.39 No.4

**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

京津冀地区钢铁行业污染物排放清单及对PM<sub>2.5</sub>影响 ..... 段文娇, 郎建全, 程水源, 贾佳, 王晓琦 (1445)

京津冀内陆平原地区PM<sub>2.5</sub>浓度时空变化定量模拟 ..... 郝静, 孙成, 郭兴宇, 王卫, 刘方田, 党海燕 (1455)

成都市冬季相对湿度对颗粒物浓度和大气能见度的影响 ..... 刘凡, 谭钦文, 江霞, 蒋文举, 宋丹林 (1466)

华山地区PM<sub>2.5</sub>中无机离子垂直分布特征 ..... 曹聪, 王格慧, 吴灿, 李建军, 刘浪, 李瑾, 余兴 (1473)

烟花爆竹集中燃放的大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)成分图谱 ..... 谢瑞加, 侯红霞, 陈永山 (1484)

长三角地区中小燃煤锅炉PM<sub>2.5</sub>成分谱特征 ..... 徐健, 黄成, 李莉, 陈勇航, 楼晟荣, 乔利平, 王鸿宇 (1493)

民用燃煤排放分级颗粒物中重金属排放因子 ..... 严沁, 孔少飞, 刘海彪, 王伟, 吴剑, 郑明明, 郑淑容, 杨国威, 吴方琪 (1502)

冬、春季青岛大气气溶胶中乙二酸的分布特征及影响因素 ..... 张帅, 石金辉, 姚小红, 高会旺 (1512)

青岛大气降水中微量元素的浓度及溶解度 ..... 李茜, 石金辉, 李鹏志, 姚小红, 高会旺 (1520)

辽东湾大气中多环芳烃的含量组成及气粒分配 ..... 张玉凤, 宋永刚, 田金, 赵海勃, 杨爽, 吴金浩 (1527)

典型地区大气新型卤代阻燃剂污染特征、来源分析及人体暴露 ..... 李琦路, 杨孔, 李军, 张干 (1537)

苏州工业园区室内外颗粒物中多溴联苯醚污染特征及人体暴露水平 ..... 王俊霞, 顾海东, 张占恩, 钱飞跃 (1544)

上海市大气污染对感冒疾病相对危险度的影响 ..... 杨丝絮, 马玉霞, 周建丁, 周骥 (1552)

城镇化河流溶解性有机质的荧光特性与水质相关性:以宁波市北仑区芦江为例 ..... 曹昌丽, 梁梦琦, 何桂英, 纵亚男, 唐剑锋 (1560)

艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨 ..... 曹灿, 张飞, 阿依尼格·亚力坤, 朱世丹, 郭苗, 阿丽米热·塔力甫江, Kung Hsiangte (1568)

三峡澎溪河水华期间水体CH<sub>4</sub>浓度及其通量变化特征初探 ..... 秦宇, 张渝阳, 李哲, 马健荣 (1578)

漓江段地表水体旱季硝酸盐动态变化特征及其来源 ..... 苗迎, 章程, 肖琼, 赵海娟, 李成习 (1589)

柳江流域饮用水源地重金属污染与健康风险评价 ..... 张清华, 韦永著, 曹建华, 于爽 (1598)

黄柏河流域梯级水库沉积物磷形态特征及磷释放通量分析 ..... 刘佳, 雷丹, 李琼, 王亮, 张平, 肖尚斌 (1608)

白洋淀典型持久性有机污染物污染特征与风险评估 ..... 高秋生, 焦立新, 杨柳, 田自强, 杨苏文, 安月霞, 贾海斌, 崔志丹 (1616)

典型有机氯农药在珠三角地区多介质环境中的归趋模拟 ..... 高梓闻, 徐月, 亦如瀚 (1628)

河道水旁路处理中试工艺中PPCPs的去除效果及机制 ..... 李力, 朱耕, 白瑶, 赵健, 曹之淇, 郭泓利, 李凌云, 左剑勇 (1637)

茶普生在氯消毒过程中的去除、转化与风险评价 ..... 樊鑫鑫, 杜尔登, 李佳琦, 赵顺利, 王聿琳, 彭明国 (1645)

真空紫外/氯处理饮用水典型致嗅物质 ..... 孙昕, 张焱, 史路肖, 陈笑涵, 唐晓 (1654)

热活化过硫酸盐降解三氯生 ..... 蒋梦迪, 张清越, 季跃飞, 陆隽鹤 (1661)

水体模拟颗粒物对四环素的吸附特性及基本规律 ..... 徐龙凤, 魏群山, 吕强, 唐立朋, 刘亚男, 柳建设 (1668)

海水优化ANAMMOX包埋固定化及其处理含海水污水的脱氮性能 ..... 单晓静, 于德爽, 李津, 陈光辉, 冯莉, 吕廷廷, 邵青 (1677)

外源甜菜碱投加增强高盐废水厌氧氨氧化脱氮性能 ..... 于德爽, 吴国栋, 李津, 周同, 王晓静 (1688)

硝化污泥富集及其强化高氨氮冲击的中试研究 ..... 盛晓琳, 崔灿灿, 王家德, 刘锐, 徐峰, 陈吕军 (1697)

分段进水对改良A<sup>2</sup>/O-BAF双污泥系统反硝化除磷脱氮的影响 ..... 南彦斌, 彭永臻, 曾立云, 赵智超, 刘宏, 李慧, 陈永志 (1704)

不同温度下应用比值控制实现连续流好氧颗粒污泥短程硝化 ..... 梁东博, 卞伟, 阚睿哲, 王文啸, 赵青, 孙艺齐, 李军 (1713)

智能化曝气控制A/O工艺活性污泥特性演化对内源反硝化脱氮的作用机制 ..... 徐旻昉, 胡湛波, 张穗生, 李昊航 (1720)

温度对一体式厌氧流化床膜生物反应器运行效能及微生物群落结构的影响 ..... 李玥, 胡奇, 高大文 (1731)

污泥臭氧原位减量工艺中抗生素的去除 ..... 汪鲁, 黄伟伟, 李彦刚, 强志民 (1739)

零价铁对污泥厌氧消化过程中四环素抗性基因水平转移的作用影响 ..... 杨帆, 徐雯丽, 钱雅洁, 刘振鸿, 薛昱, 高品 (1748)

环境因子对全自养脱氮颗粒污泥功能菌协同效应的影响 ..... 陈希, 钱飞跃, 王建芳, 高军军, 沈耀良, 贾珣 (1756)

后置固相反硝化滤池工艺沿程微生物特性 ..... 张千, 吉芳英, 徐璇 (1763)

复合菌株YH01+YH02强化SBR好氧反硝化脱氮及菌群结构分析 ..... 陈海升, 曹刚, 张迪, 黄郑郑, 莫测辉 (1773)

氮磷失衡下膨胀污泥性能及膨胀菌群落结构变化 ..... 贺雪濛, 丁丽丽, 张璐璐, 顾卓江, 任洪强 (1782)

1株铜绿假单胞菌对苊的降解特性及代谢途径 ..... 李想, 张雪英, 周俊, 宋军, 王建刚, 雍晓雨, 贾红华 (1794)

铜尾矿库坝面土壤微生物群落动态的驱动因子 ..... 李磊, 景炬辉, 刘晋仙, 柴宝峰 (1804)

垦殖对桂林会仙喀斯特湿地土壤养分与微生物活性的影响 ..... 黄科朝, 沈育伊, 徐广平, 黄玉清, 张德楠, 孙英杰, 李艳琼, 何文, 周龙武 (1813)

黄土丘陵区退耕还林还草对土壤细菌群落结构的影响 ..... 陈孟立, 曾全超, 黄懿梅, 倪银霞 (1824)

河岸带表层土壤的铁氨氧化(Feammox)脱氮机制的探究 ..... 丁帮环, 李正魁, 朱鸿杰, 陈湜, 覃云斌, 杨建华, 胡优优 (1833)

藏猪扰动作用下的高寒草甸土壤退化特征及微生物群落结构变化 ..... 展鹏飞, 肖德荣, 闫鹏飞, 刘振亚, 马金成, 陈志明, 格茸, 田伟, 王行 (1840)

深圳湾典型红树植物根表铁膜及其重金属富集特征 ..... 沈小雪, 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉 (1851)

香港周边海域野生鱼体内DDTs和PCBs的含量分布和食用风险评估 ..... 苏杨, 鲍恋君, 曾永平 (1861)

偏远高山湿地土壤中PAHs污染特征:以神农架大九湖为例 ..... 胡天鹏, 邢新丽, 柯艳萍, 毛瑶, 黎荧, 郑煌, 喻月, 张家泉, 祁士华 (1872)

西南地区典型森林水库土壤和沉积物汞的迁移转化特征 ..... 孙涛, 马明, 王永敏, 安思危, 王定勇 (1880)

广西西江流域土壤镉含量特征及风险评估 ..... 宋波, 杨子杰, 张云霞, 王佛鹏, 周浪, 李黎, 钟雪梅 (1888)

长期施肥对旱地红壤及作物中砷累积的影响 ..... 张蓉, 余光辉, 李亚青 (1901)

三元土壤调理剂对田间水稻镉累积转运的影响 ..... 辜娇峰, 周航, 贾润语, 王倩倩, 李虹呈, 张平, 彭佩钦, 廖柏寒 (1910)

稻田土壤性质与水稻镉含量的定量关系 ..... 王梦梦, 何梦媛, 苏德纯 (1918)

钙基膨润土辅助对堆肥及土壤Cu、Zn形态转化和白菜吸收的影响 ..... 赵军超, 王权, 任秀娜, 李荣华, Mukesh Kumar Awasthi, Altaf Hussain Lahori, 张增强 (1926)

外源碳和氮输入对降水变化下土壤呼吸的短期影响 ..... 贺玉龙, 齐玉春, 彭琴, 董云社, 郭树芳, 闫钟清, 李兆林, 王丽芹 (1934)

模拟降水量减少对大豆-冬小麦轮作农田土壤呼吸的影响 ..... 王朝辉, 陈书涛, 孙鹭, 胡正华 (1943)

紫色土丘陵区农田源头沟渠一氧化氮排放的季节差异及影响因素 ..... 田琳琳, 任光前, 朱波 (1952)

季节非对称升温对喀斯特土壤CO<sub>2</sub>释放的影响 ..... 唐国勇, 张春华, 刘方炎, 李昆, 马艳 (1962)

《环境科学》征订启事 (1472) 《环境科学》征稿简则 (1511) 信息 (1755, 1839, 1925)

# 上海市大气污染对感冒疾病相对危险度的影响

杨丝絮<sup>1</sup>, 马玉霞<sup>1\*</sup>, 周建丁<sup>1</sup>, 周骥<sup>2</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000; 2. 上海市气象与健康重点实验室, 上海 200030)

**摘要:** 探讨上海市主要大气污染 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的日平均浓度变化以及上海市大气污染对感冒疾病的影响. 本文汇总了 2008 年 1 月 1 日~2010 年 12 月 31 日上海市大气污染、气象要素, 以及感冒日就诊人数数据, 采用时间序列的 Poisson 半参数广义相加模型, 通过平滑样条函数控制长期趋势、“星期几效应”及气象因素等混杂因素的影响, 分析上海市大气污染物与居民健康的暴露-反应关系, 并按年龄进行分层分析, 定量评估上海市大气污染对感冒日就诊人数的影响及滞后效应. 结果表明, 上海市大气污染物 PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub> 浓度每增加一个 IQR, 感冒疾病发生的相对危险度为 1.024 0 (1.023 3 ~ 1.024 6)、1.020 6 (1.020 1 ~ 1.021 2)、0.939 3 (0.938 4 ~ 0.940 2)、1.008 0 (1.006 9 ~ 1.008 6), 大气污染物 PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub> 浓度每增加 10 μg·m<sup>-3</sup>, 感冒日就诊人数分别增加 0.5%、1.0%、-2.0%、0.2%. 在多污染模型中, 在引入其他污染物后, NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的结果较单污染模型是基本减小的, PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 的结果是基本增大的. 上海市大气污染对感冒疾病的发生有影响.

**关键词:** 空气污染; 时间序列; 感冒; 就诊人数; 相对危险度

中图分类号: X171.5; R12 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)04-1552-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.201705168

## Effect of Air Pollution on the Cold Disease in Shanghai

YANG Si-xu<sup>1</sup>, MA Yu-xia<sup>1\*</sup>, ZHOU Jian-ding<sup>1</sup>, ZHOU Ji<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Meteorology and Health in Shanghai, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** This study discusses the changes in the daily average concentrations of the main air pollutants, such as PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub>, in Shanghai, and the effects of air pollution on cold in Shanghai. For this study, data on air pollutants, meteorological factors, and the number of daily hospital visits from cold in Shanghai were collected from January 1, 2008 to December 31, 2010. Using the time series Poisson semi-parametric generalized additive model, and controlling for the long-term trend, “week” effect, and meteorological factors by smoothing the spline function, the exposure-response relationship between air pollution and human health in Shanghai was analyzed. The study sets up the model according to age, evaluating the impact and the lag effect of air pollution on the number of daily hospital visits. Results show that when PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and PM<sub>2.5</sub> increase by an IQR, the relative risk of cold disease is 1.024 0 (1.023 3- 1.024 6), 1.020 6 (1.020 1- 1.021 2), 0.939 3 (0.938 4- 0.940 2), and 1.008 0 (1.006 9- 1.008 6), and when PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and PM<sub>2.5</sub> increase by 10 μg·m<sup>-3</sup>, the daily hospital visits increase by 0.5%, 1.0%, -2.0%, and 0.2%. In the multi-polluted model, the results of NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> are basically lower compared to the results of the single-pollutant model, the results of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> are higher. Air pollution in Shanghai has an impact on the incidence of cold disease.

**Key words:** air pollution; time series; cold; daily hospital visits; relative risk

众多国内外研究表明, 大气 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 等污染物的浓度对人体健康有一定的影响<sup>[1-8]</sup>, 国内外针对呼吸系统疾病、心血管系统疾病发病率、死亡率、就诊人数与大气主要污染物之间的暴露反应关系展开了一系列研究<sup>[9, 10]</sup>. 20 世纪 90 年代在欧洲的研究表明, PM<sub>10</sub> 每增加 10 μg·m<sup>-3</sup>, 居民死亡率增加 0.6%<sup>[11]</sup>. 土耳其的一项研究表明, PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 浓度每增加 10 μg·m<sup>-3</sup>, 入院人数的 ER 值为 1.50、1.27 和 0.61<sup>[12]</sup>. 张莹等<sup>[13]</sup>对北京市的研究结果发现大气 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 浓度每增加 10 μg·m<sup>-3</sup>, 呼吸系统疾病就诊人数的相对危险度分别为 1.011 4、1.021 3 和 1.011 3. 马关培等<sup>[14]</sup>的研究发现, 广州

市 PM<sub>2.5-10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 浓度每增加 10 μg·m<sup>-3</sup>, 医院呼吸系统疾病日门诊量的相对危险度分别为 1.002 5 (95% CI: 0.998 9 ~ 1.018 2), 1.003 5 (95% CI: 1.001 2 ~ 1.016 4), 1.002 4 (95% CI: 1.001 6 ~ 1.005 6) 和 1.002 8 (95% CI: 0.977 8 ~ 1.007 8).

20 世纪 90 年代以后, 半参数广义相加模型的时间序列分析已被国外许多国家及城市广泛应用于

收稿日期: 2017-05-15; 修订日期: 2017-10-16

基金项目: 上海市气象与健康重点实验室开放课题项目 (QXJK201608); 中央高校基本科研业务费专项 (lzujbky-2017-69)

作者简介: 杨丝絮 (1994~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为医疗气象, E-mail: yangsx\_16@lzu.edu.cn

\* 通信作者, E-mail: mayuxia07@lzu.edu.cn

研究空气污染急性暴露健康效应,并已经初步证实了大气污染物浓度与居民健康效应(死亡、发病、就诊人次)之间存在统计学关系.半参数广义相加模型因其运用多种非参数平滑函数,能更好地控制混杂因素(如长期趋势、星期效应、节假日效应、气象因素等),这是时间序列方法的一个主要优点.本文利用上海市2008年1月1日至2010年12月31日大气污染和气象因素数据探讨了上海市主要污染物的污染特征,并结合2008年1月1日至2010年12月31日上海市某区医院感冒日就诊人数数据,采用时间序列的Possion半参数广义相加模型,通过平滑样条函数控制长期趋势、“星期几效应”及气象因素等混杂因素的影响,分析上海市大气污染物与居民健康的暴露-反应关系,并按年龄进行分层分析.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

感冒日就诊人数数据来源于上海市某区医院,包括2008年1月1日至2010年12月31日上海市感冒日就诊人数以及入院者的年龄.上海市大气污染物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 和 $O_3$ )数据来源于上海市环境监测站.采用线性插值对缺失数据进行填补来得到完整的日均浓度序列<sup>[15]</sup>.地面气象数据来源于上海市气象局,包括平均温度、相对湿度、平均气压和风速.

### 1.2 方法

采用SPSS 19.0统计软件进行统计描述和分析,运用Pearson相关分析大气污染物 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 以及平均气温、相对湿度、气压、风速之间的相关性.相对于总人口来说,上海市感冒疾病患者日就诊属于小概率事件,其实际分布更符合回归模型<sup>[16]</sup>.因此本研究将回归模型(Possion)引入半参数广义相加模型(GAM)<sup>[17]</sup>中,利用该模型来研究大气污染物的短期波动对感冒疾病发病率变化的急性影响.首先利用非参数平滑样条函数的方法排除“星期几效应”、长期趋势、气象因素等混杂因素的影响.再将大气污染物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 和 $O_3$ )的浓度作为线性变量引入模型中,同医院感冒日就诊人数建立泊松广义相加模型.根据AIC最小原则,确定非参数平滑样条函数的自由度取值,同时考察大气污染对感冒日就诊人数影响的滞后效应.具体模型如下:

$$\lg[E(Y_k)] = \alpha + DOW + HOL +$$

$$\beta X_k + s(\text{time}, df) + s(Z_k, df)$$

式中, $Y_k$ 为第 $k$ 日的就诊人数, $E(Y_k)$ 为第 $k$ 日就诊人数的期望值, $\alpha$ 代表截距,DOW代表处理“星期几效应”的虚拟变量,HOL代表处理“节假日效应”的虚拟变量, $s$ 为非参数样条平滑函数(smoothing spline function), $df$ 为自由度, $df=1$ 相当于直线变量, $X_k$ 为第 $k$ 日的大气污染浓度, $\beta$ 为回归系数,time为时间日期, $Z_k$ 为第 $k$ 日的气象因素变量,包括平均温度、相对湿度、平均气压和风速.

在建立模型的过程中考虑到大气污染物对感冒日就诊人数的滞后效应,将各污染物当日(lag0)、1~6 d前浓度(lag1、lag2、lag3、lag4、lag5和lag6)分别建立GAM模型.采用AIC最小原则对模型进行检验<sup>[18]</sup>,确定最佳滞后天数,选择最优模型进行暴露-反应关系分析,并按年龄分层建立模型.在确定最优模型后,将 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 和 $O_3$ 这4种污染物引入模型,分析多种污染物协同作用下大气污染物对居民健康造成的影响如何变化,由此确定研究期间影响感冒日就诊人数的主要危险因子.根据模型估算出各种污染物的回归系数,计算当4种污染物的浓度增加自身平均浓度的四分位距(IQR)时,感冒日就诊人数的相对危险度(relative risk, RR), $RR = \text{EXP}(\beta \times \text{IQR})$ ,并在此基础上计算RR的95%置信区间(95% CI) $\text{EXP}[(\beta \pm 1.96SE) \times \text{IQR}]$ ,污染物浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,感冒日就诊人数变化的百分比为:

$$\text{变化量} = \frac{10}{\text{IQR}} \times (\text{RR} - 1) \times 100\%$$

模型部分采用R3.3.2软件进行统计分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 描述性分析

大气污染物、气象因素以及感冒日就诊人数的频数分布见表1.研究期间上海有14 930例感冒日就诊患者, $NO_2$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和 $O_3$ 的日均浓度分别为52.32、49.36、66.04和33.13  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . $NO_2$ 、 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 的国家二级浓度限值的年均值为40、35和70  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ <sup>[19]</sup>, $O_3$ 的国家二级浓度限值的日最大8 h平均值为160  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . $NO_2$ 和 $PM_{2.5}$ 的浓度都超标,超过国家二级标准.平均温度为-3.14~34.40℃,相对湿度为73.30%,平均风速为2.10  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,平均气压为1 015.45 hPa,符合上海市亚热带海洋性季风气候的特征.

表 1 上海市 2008-2010 年大气污染物、气象要素和日就诊人数的频数分布

Table 1 Frequency distribution of air pollutants in Shanghai from 2008 to 2010

项目	指标	$\bar{x} \pm s$	最小值	最大值	中位数	P25	P50	P75	IQR
大气污染物	NO <sub>2</sub>	52.32 ± 0.74	9.80	338.92	48.51	39.16	48.51	60.16	21.00
	PM <sub>2.5</sub>	49.36 ± 1.00	2.00	276.00	41.41	23.10	41.41	68.84	45.74
	PM <sub>10</sub>	66.04 ± 1.36	2.50	454.20	55.72	34.37	55.72	84.97	50.60
	O <sub>3</sub>	33.13 ± 0.41	1.98	78.82	31.72	22.60	31.71	42.42	29.82
气象因素	温度	17.20 ± 0.28	-3.14	34.40	18.17	9.35	18.17	24.97	15.62
	湿度	73.30 ± 0.35	31.63	95.88	73.89	66.32	73.90	81.59	15.26
	风速	2.10 ± 0.02	0.58	5.26	1.99	1.56	1.99	2.58	1.05
	气压	1 015.45 ± 0.27	995.99	1 037.15	1 015.33	1 008.16	1 015.33	1 021.93	13.77
日就诊人数	总人数	14 930.09 ± 183.40	2 904.00	32 719.00	14 516.50	10 240.50	14 516.50	18 628.50	8 388.00
	≤15 岁	1 068.56 ± 9.67	32.00	2 602.00	1 071.00	895.00	1 071.00	1 230.25	335.25
	15 ~ 65 岁	8 850.98 ± 110.98	2 252.00	20 025.00	8 550.50	5 970.50	8 550.50	10 723.25	4 752.75
	≥65 岁	5 010.56 ± 75.24	526.00	11 619.00	4 712.50	3 104.75	4 712.50	7 002.50	3 897.75

2008 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日期间 NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub> 平均浓度和疾病人数的时间序列如图 1 所示, 从中可以看到 NO<sub>2</sub> 的浓度基本保持不变, 在 2008 年 11 月有一个峰值. 由于 PM<sub>2.5</sub> 缺少一部分污染资料采用线性插值的方法弥补, 在时间序列上表现为一条直线. PM<sub>10</sub> 与 PM<sub>2.5</sub> 浓度的变化趋势基本一致, 具有较强的相关性, 表现为夏季低、冬季高. 从图 1 中可以明显地看出 O<sub>3</sub> 的浓度有周期性变化, 夏季浓度高、冬季浓度低, 呈波浪型变化. 发病人数有明显的周期性变化, 在夏季较低, 冬季较高, 基本呈波浪型上升变化, 发病人数

逐年升高.

## 2.2 大气污染与气象因素的 pearson 相关分析

如表 2 所示, NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 之间存在显著的正相关, 且均有统计学意义, 说明污染物之间有一定的协同作用, 其中 PM<sub>2.5</sub> 与 PM<sub>10</sub> 的相关性较强, 相关系数为 0.783. 温度、湿度和风速与 NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 这 3 种污染物呈显著的负相关, 气压则与这 3 种污染物呈显著的正相关. O<sub>3</sub> 与其他污染物的相关性不具有统计学意义, 与气压和湿度呈现负相关, 与温度呈正相关, 与风速的相关性没有统计学意义.

表 2 上海市 2008-2010 年大气污染物与气象因素的 Pearson 相关分析

Table 2 Correlation analysis of air pollutants and meteorological factors in Shanghai from 2008 to 2010

	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	温度	气压	湿度	风速
NO <sub>2</sub>	1	0.465 **	0.431 **	0.046	-0.158 **	0.140 **	-0.088 **	-0.477 **
PM <sub>2.5</sub>		1	0.783 **	-0.016	-0.333 **	0.194 **	-0.133 **	-0.235 **
PM <sub>10</sub>			1	-0.008	-0.300 **	0.201 **	-0.308 **	-0.237 **
O <sub>3</sub>				1	0.358 **	-0.298 **	-0.206 **	0.047

1) \*\* 表示  $P < 0.01$ , \* 表示  $P < 0.05$

## 2.3 回归模型拟合分析

### 2.3.1 单污染模型

大气污染物对感冒日就诊人数 RR 的变化规律如图 2 所示. 上海市空气中的 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的浓度水平对感冒日就诊人数有显著影响. PM<sub>10</sub> 对不同人群的影响具有一定的滞后效应, 并且滞后时间略有差异. 总人数、≤15 岁、15 ~ 65 岁、≥65 岁的 RR 值分别为 1.024 0、1.035 3、1.022 5、1.021 6, 并均有统计学意义, ≤15 岁的相对危险度 RR 值在滞后 1 d (lag1), 其余人群均在当天 (lag0) 达到最大. NO<sub>2</sub> 对总人数、≤15 岁、15 ~ 65 岁、≥65 岁的 RR 值分别为 1.020 6、1.013 9、1.018 3、

1.027 2, 均有统计学意义, 所有人群的相对危险度 RR 值均在当天 (lag0) 达到最大. PM<sub>2.5</sub> 对总人数、≤15 岁、15 ~ 65 岁、≥65 岁的 RR 值分别为 1.007 8、1.057 5、1.009 5、0.996 1, 除 ≥65 岁外均有统计学意义, ≤15 岁的相对危险度 RR 在滞后 1 d (lag1), 其余人群均在当天 (lag0) 达到最大. O<sub>3</sub> 对总人数、≤15 岁、15 ~ 65 岁、≥65 岁的 RR 值分别为 0.939 3、0.979 5、0.946 6、0.926 0, 并均无统计学意义, ≤15 岁的相对危险度 RR 值在滞后 3 d (lag3) 达到最大, 其余人群均在滞后 6 d (lag6) 达到最大. 总人数和 15 ~ 65 岁受 PM<sub>10</sub> 影响最大. PM<sub>10</sub> 浓度每增加一个四分位距, 总人数和 15 ~ 65 岁的

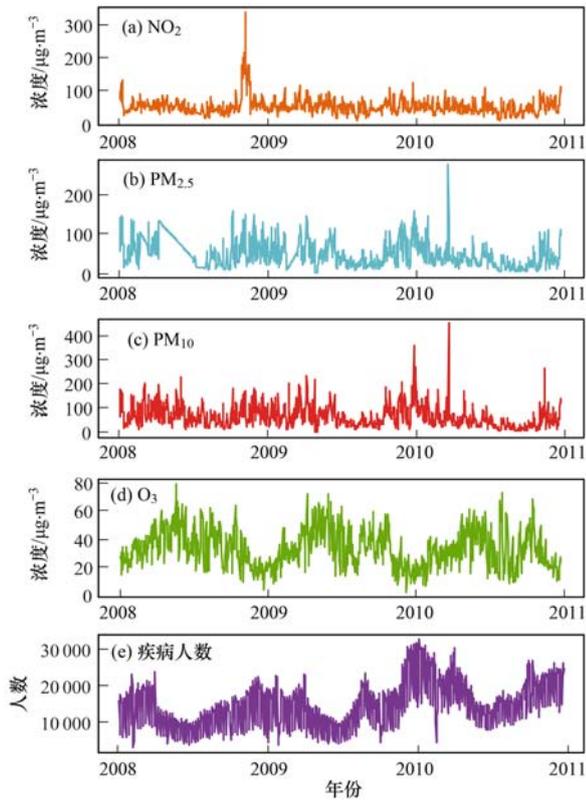


图 1 上海市 2008 ~ 2010 年大气污染物和疾病人数的时间序列  
Fig. 1 Time chart of the number of air pollutants and diseases in Shanghai from 2008 to 2010

RR 分别是 1.024 0、1.022 5。≤15 岁受 PM<sub>2.5</sub> 影响更大，PM<sub>2.5</sub> 浓度每增加一个四分位距，RR 值为 1.060 7。≥65 岁受 NO<sub>2</sub> 影响更大，NO<sub>2</sub> 浓度每增加一个四分位距，RR 值为 1.027 2。

表 3 显示按年龄分组列出的每种污染物浓度增加 10 µg·m<sup>-3</sup> 就诊人数增加百分比  
表 3 不同群体空气污染物浓度增加 10 µg·m<sup>-3</sup> 就诊人数增加百分比

Table 3 Increase in percentages with a 10 µg·m<sup>-3</sup> increase in air pollutants for different groups

分组	污染物	增长百分比/%
总人数	NO <sub>2</sub>	<b>0.98</b>
	PM <sub>2.5</sub>	0.17
	PM <sub>10</sub>	0.47
	O <sub>3</sub>	-1.21
≤15 岁	NO <sub>2</sub>	0.66
	PM <sub>2.5</sub>	<b>1.33</b>
	PM <sub>10</sub>	0.71
	O <sub>3</sub>	-0.35
15 ~ 65 岁	NO <sub>2</sub>	<b>0.87</b>
	PM <sub>2.5</sub>	0.21
	PM <sub>10</sub>	0.44
	O <sub>3</sub>	-1.09
≥65 岁	NO <sub>2</sub>	<b>1.30</b>
	PM <sub>2.5</sub>	-0.09
	PM <sub>10</sub>	0.43
	O <sub>3</sub>	-1.46

1) 粗体字表示影响每种人群最大的污染物

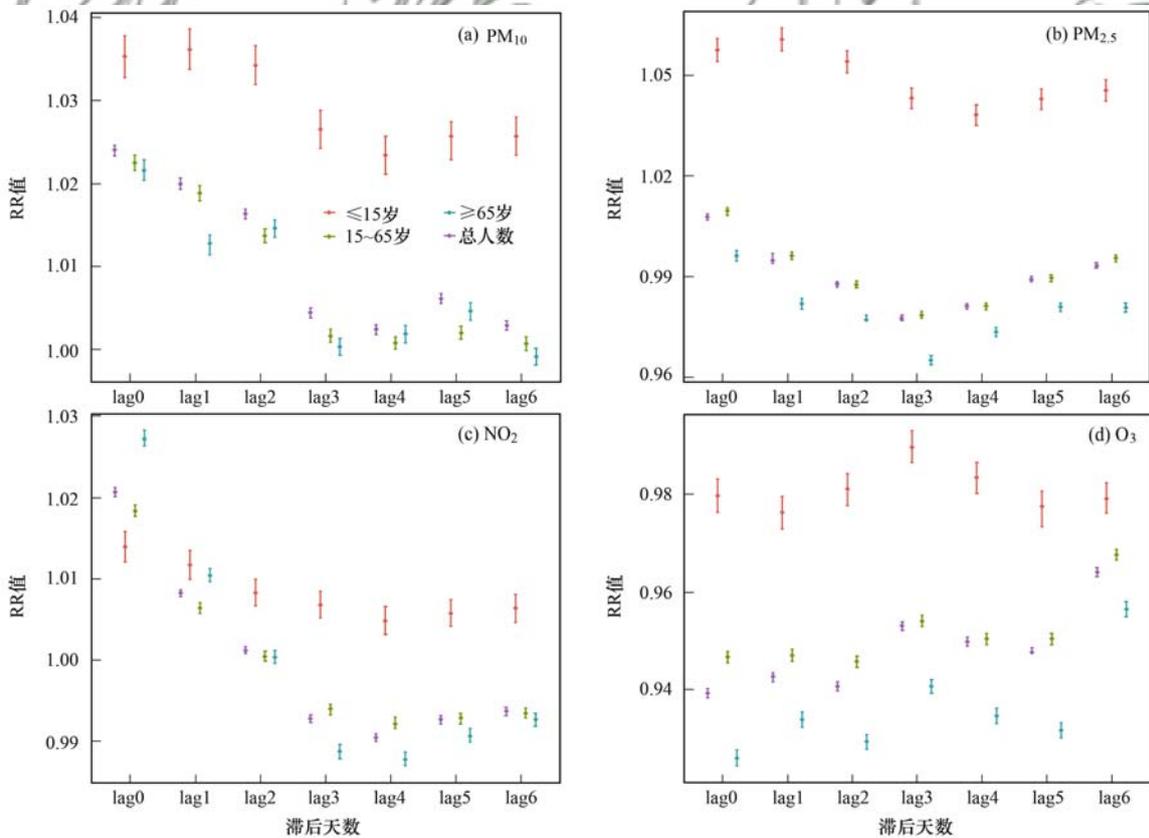


图 2 不同大气污染物滞后效应的相对危险度 RR 值

Fig. 2 Relative risk RR value of air pollutant hysteresis effect

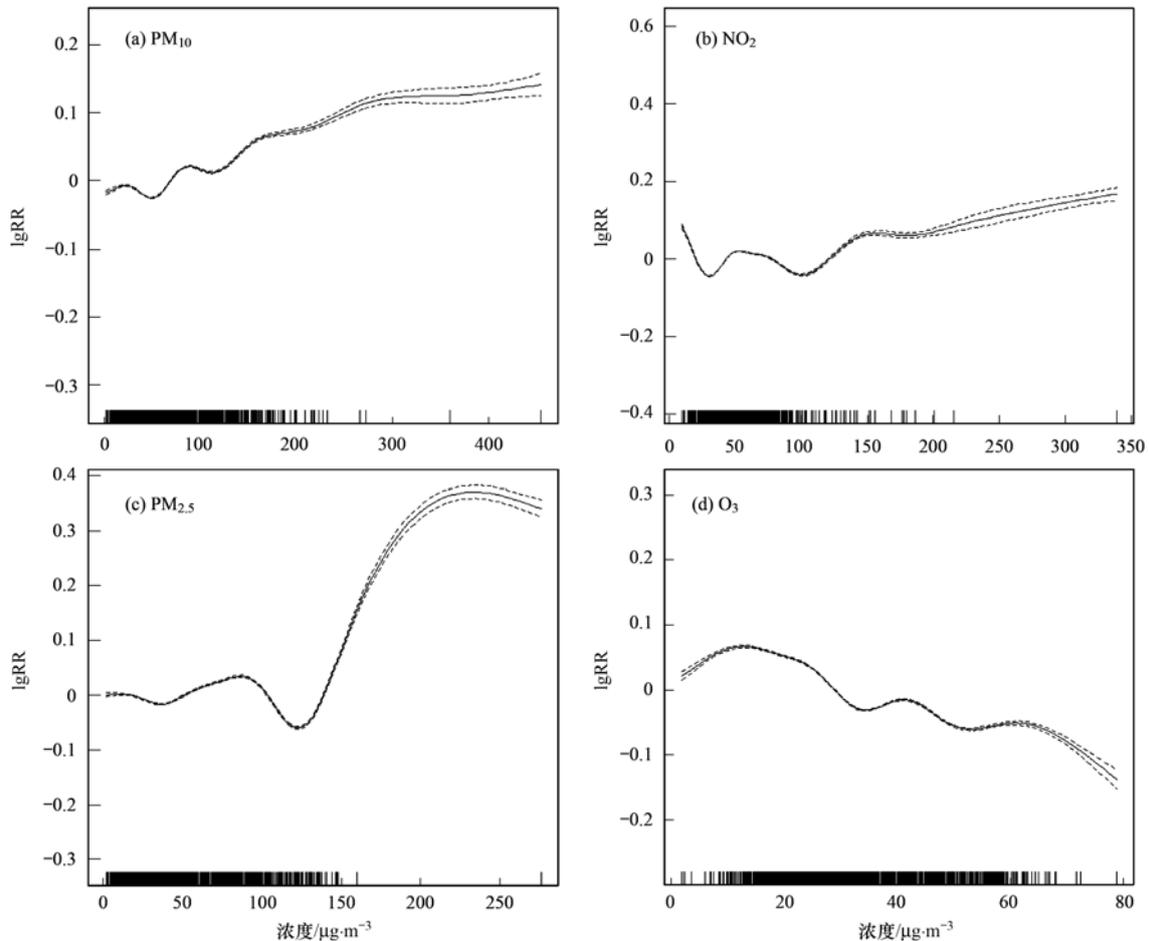
加  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  时感冒日就诊人数的增加百分比。PM<sub>2.5</sub> 在中年组 (15 ~ 65 岁) 中效果最好。少年组 ( $\leq 15$  岁)、老年组 ( $\geq 65$  岁) 和总人数发现 NO<sub>2</sub> 影响更大。

大气污染物 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 浓度在最佳滞后天数下与感冒日就诊人数的暴露-反应关系曲线如图 3 所示。可见随着 PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 浓度的升高, 感冒疾病发病风险呈波动上升, 其暴露-反应关系呈波动上升的曲线关系, 这与张江华等<sup>[20]</sup>的研究结果比较一致。随着 O<sub>3</sub> 浓度的增加, 感冒疾病发病风险呈波动下降, 其暴露-反应关系呈波动下降曲线关系。

### 2.3.2 多污染模型

多污染模型各污染物的 RR 值见表 4。PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 在 lag0 和 lag1 有最大的滞后效应。O<sub>3</sub>

的最大滞后效应基本在 lag6。对总人数来说, PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 在多污染模型中的 RR 值都是有所上升的, PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的 RR 值是有所下降的并且不具有统计学意义, PM<sub>10</sub> 的 RR 值明显高于其他污染物。对  $\leq 15$  岁来说, 除了 O<sub>3</sub> 以外, 其他污染物在多污染模型中的 RR 值相对单污染模型是有所下降的, NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的 RR 值不具有统计学意义。PM<sub>2.5</sub> 对  $\leq 15$  岁的影响是明显大于其他人群的。对 15 ~ 65 岁来说, PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 在多污染模型中的 RR 值相比单污染模型稍有增加, NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的 RR 值减小, O<sub>3</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 不具有统计学意义, PM<sub>10</sub> 的 RR 值明显高于其他污染物。对  $\geq 65$  岁来说, 除 PM<sub>2.5</sub> 之外, 其余污染物在多污染模型下的 RR 值相比于单污染模型都有所增加, O<sub>3</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的值不具有统计学意义, PM<sub>10</sub> 的 RR 值明显高于其他污染物。



横坐标上的黑线表示数据中包含的污染物浓度

图 3 不同大气污染物的暴露反应关系曲线

Fig. 3 Exposure reaction curve of air pollutants

## 3 讨论

现阶段国内外开展的流行病学研究发现大气污

染物与上呼吸道感染、哮喘、肺炎、慢性阻塞性肺疾病 (COPD) 等呼吸系统疾病的发生密切相关<sup>[21, 22]</sup>。本研究采用时间序列的 Poisson 半参数广

表 4 大气污染影响感冒日就诊人数的相对危险度<sup>1)</sup>(多污染模型)

Table 4 Relative effects of air pollution on the number of daily hospital visits from cold (multi-pollution model)

分层	污染物(天数/d)	单污染	多污染
全人群	PM <sub>10</sub> (0)	1.024 0(1.023 3 ~ 1.024 6) *	1.038 1(1.037 0 ~ 1.039 2) *
	NO <sub>2</sub> (0)	1.020 6(1.020 1 ~ 1.021 2)	1.018 2(1.017 6 ~ 1.018 8) *
	O <sub>3</sub> (6)	0.964 0(0.963 1 ~ 0.964 9)	0.968 4(0.967 5 ~ 0.969 3)
	PM <sub>2.5</sub> (0)	1.007 8(1.006 9 ~ 1.008 6)	0.963 8(0.962 4 ~ 0.965 1)
≤15 岁	PM <sub>10</sub> (1)	1.036 1(1.033 7 ~ 1.038 6) *	1.010 8(1.007 4 ~ 1.014 3) *
	NO <sub>2</sub> (0)	1.013 9(1.012 0 ~ 1.015 8) *	1.0076(1.005 6 ~ 1.009 5)
	O <sub>3</sub> (3)	0.989 5(0.986 3 ~ 0.992 7)	0.992 4(0.989 2 ~ 0.995 6)
	PM <sub>2.5</sub> (1)	1.060 7(1.057 3 ~ 1.064 1) *	1.046 6(1.041 8 ~ 1.051 4) *
15~65 岁	PM <sub>10</sub> (0)	1.022 5(1.021 6 ~ 1.023 4) *	1.039 6(1.038 3 ~ 1.041 0) *
	NO <sub>2</sub> (0)	1.018 3(1.017 6 ~ 1.019 0) *	1.017 1(1.016 3 ~ 1.018 2) *
	O <sub>3</sub> (6)	0.967 5(0.966 4 ~ 0.968 6)	0.970 0(0.969 6 ~ 0.971 9)
	PM <sub>2.5</sub> (0)	1.009 5(1.008 3 ~ 1.010 6)	0.969 9(0.968 1 ~ 0.971 6)
≥65 岁	PM <sub>10</sub> (0)	1.021 6(1.020 4 ~ 1.022 8) *	1.051 4(1.049 5 ~ 1.053 3) *
	NO <sub>2</sub> (0)	1.027 2(1.026 3 ~ 1.028 2) *	1.027 2(1.026 3 ~ 1.028 2) *
	O <sub>3</sub> (6)	0.956 4(0.954 9 ~ 0.957 9)	0.962 2(0.960 7 ~ 0.963 7)
	PM <sub>2.5</sub> (0)	0.996 1(0.994 6 ~ 0.997 7)	0.933 8(0.931 5 ~ 0.936 1)

1) \* 表示该天 RR 具有统计学意义,  $P < 0.05$ ; 多污染列中粗体字表示每种人群 RR 值最大的污染物

义相加模型,分析 2008~2010 年上海市某区医院感冒疾病门诊量与大气污染物浓度之间的定量关系。结果表明,上海市大气污染物 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的浓度对感冒日就诊人数有影响并且存在一定的滞后效应。不同污染物的最佳滞后天数不同:PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的最佳滞后天数在 lag0 和 lag1, O<sub>3</sub> 的最佳滞后天数基本在 lag6。空气中大气污染物 PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的浓度每增加 10  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 感冒日就诊人数分别增加 0.47%、0.98%、-1.21%、0.17%。对于 O<sub>3</sub> 来说,浓度的升高未使门诊量上升。这与杨春雪等人的研究结果是一致的,这是因为一方面本文所使用的数据中 O<sub>3</sub> 的浓度均在我国环境空气质量的臭氧标准 0.16  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  以下,另一方面,也有研究表明 O<sub>3</sub> 对心血管疾病影响较大,而对呼吸系统疾病的影响尚不明确<sup>[23]</sup>。上海市 NO<sub>2</sub> 年均值浓度为 52.32  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 超过国家二级标准,增加一个 IQR 浓度的 RR 值在同类研究中处于中等水平<sup>[20, 24, 25]</sup>。NO<sub>2</sub> 增加 10  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 就诊人数增加 0.98%, 对人群的影响是比较大的。这可能是因为上海 NO<sub>2</sub> 的产生方式与国内其他地方略有不同,上海作为世界第一大港口,燃煤以及船用燃料的排放是不可忽视的一个原因。PM<sub>2.5</sub> 对儿童的影响比对其他人群大得多,这可能的原因是,PM<sub>2.5</sub> 粒径小,经呼吸道吸入后可直达肺泡部位,作用于肺泡巨噬细胞、II 型肺泡上皮细胞,可诱发肺炎炎症,从而导致呼吸系统疾病<sup>[26]</sup>,

儿童的器官还没有发育健全容易受到影响。PM<sub>10</sub> 的年均浓度为 66.04  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 低于国家二级标准(70  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 对人群健康效应的影响属于较低水平。

在多污染模型中,PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 对感冒疾病门诊量的效应估计值较单污染模型降低,PM<sub>2.5</sub> 降低得较为显著。PM<sub>10</sub> 除对 ≤15 岁外,对其他人群的感冒疾病门诊量的效应估计值较单污染模型有显著升高。O<sub>3</sub> 在引入其他污染物后效应估计值变化不大。上述结果提示各污染物导致的非特异性健康效应并非简单叠加,三污染模型反映污染物之间可能存在相互作用,因此其描述的结果可能更客观。然而各种大气污染物浓度之间存在较强的共线性,即污染物浓度高度相关,加之它们可能存在的相互作用,可能会影响模型的真实性和准确性。

本研究尚存在一定的局限性,研究中收集的门诊资料存在样本量少、时间短的问题,疾病资料只是上海某区医院的资料,并不是整个上海市医院的资料,可能会降低研究结果的代表性。由于资料来源限制,本研究未展开气象因素对居民感冒日就诊人数和对不同性别的影响研究,以后将以此做为本研究工作的延续和补充。

#### 4 结论

(1) 2008~2010 年期间上海市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的浓度表现为冬春季高、夏秋季低的特点。而 O<sub>3</sub> 的浓度变化与它们相反表现为夏季高、冬季低

的特点.

(2)上海市大气污染物  $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 、 $PM_{2.5}$  浓度每增加  $10 \mu g \cdot m^{-3}$ , 总感冒日就诊人数分别增加 0.47%、0.98%、-1.21%、0.17%,  $\leq 15$  岁感冒日就诊人数分别增加 0.71%、0.66%、-0.35%、1.33%, 15~65 岁感冒日就诊人数分别增加 0.44%、0.87%、-1.09%、0.21%,  $\geq 65$  岁感冒日就诊人数分别增加 0.43%、1.30%、-1.46%、-0.09%.

(3) $NO_2$  和  $PM_{2.5}$  在引入其他污染物后对不同人群影响并不稳定, 但大多数是有降低作用的, 且均有统计学意义.  $O_3$  和  $PM_{10}$  在引入其他污染物后对不同人群的影响基本是呈上升作用的.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 杨维, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 237-243.  
Yang W, Zhao W J, Gong Z N, *et al.* Spatial distribution of inhalable particulate and association with respiratory disease in Beijing City[J]. Environmental Science, 2013, **34**(1): 237-243.
- [ 2 ] 谢鹏, 刘晓云, 刘兆荣, 等. 珠江三角洲地区大气污染对人群健康的影响[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(7): 997-1003.  
Xie P, Liu X Y, Liu Z R, *et al.* Impact of exposure to air pollutants on human health effects in Pearl River Delta[J]. China Environmental Science, 2010, **30**(7): 997-1003.
- [ 3 ] 曾强, 李国星, 张磊, 等. 大气污染对健康影响的疾病负担研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2015, **32**(1): 85-90.  
Zeng Q, Li G X, Zhang L, *et al.* Burden of disease due to ambient air pollution: a review of recent studies[J]. Journal of Environment and Health, 2015, **32**(1): 85-90.
- [ 4 ] Morelli X, Rieux C, Cyrus J, *et al.* Air pollution, health and social deprivation: a fine-scale risk assessment [ J ]. Environmental Research, 2016, **147**: 59-70.
- [ 5 ] Lin Y K, Chang S C, Lin C S, *et al.* Comparing ozone metrics on associations with outpatient visits for respiratory diseases in Taipei Metropolitan area [ J ]. Environmental Pollution, 2013, **177**: 177-184.
- [ 6 ] Shen Y, Wu Y Y, Chen G D, *et al.* Non-linear increase of respiratory diseases and their costs under severe air pollution [ J ]. Environmental Pollution, 2017, **224**: 631-637.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] Ma Y X, Zhao Y X, Yang S X, *et al.* Short-term effects of ambient air pollution on emergency room admissions due to cardiovascular causes in Beijing, China. [ J ]. Environmental Pollution, 2017, **230**: 974-980.
- [ 10 ] Liu Y W, Xie S G, Yu Q, *et al.* Short-term effects of ambient air pollution on pediatric outpatient visits for respiratory diseases in Yichang city, China [ J ]. Environmental Pollution, 2017, **227**: 116-124.
- [ 11 ] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, *et al.* Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project [ J ]. Epidemiology, 2001, **12**(5): 521-531.
- [ 12 ] Çapraz Ö, Deniz A, Doğan N. Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015 [ J ]. Chemosphere, 2017, **181**: 544-550.
- [ 13 ] 张莹, 邵毅, 王式功, 等. 北京市空气污染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.
- [ 14 ] 马关培, 邹宝兰, 许振成, 等. 广州市某区医院呼吸系统疾病门诊人数与大气污染关系的时间序列研究 [ J ]. 环境与健康杂志, 2012, **29**(6): 526-528.  
Ma G P, Zou B L, Xu Z C, *et al.* Association of respiratory diseases outpatient visits and air pollution in a district, Guangzhou: a time-series study [ J ]. Journal of Environment and Health, 2012, **29**(6): 526-528.
- [ 15 ] Millard S P, Neerchal N K. Environmental statistics with S-Plus [ M ]. London: CRC Press, 2000.
- [ 16 ] Schwartz J, Spix C, Touloumi G, *et al.* Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions [ J ]. Journal of Epidemiology & Community Health, 1996, **50**(Suppl 1): S3-11.
- [ 17 ] Dominici F, McDermott A, Zeger S L, *et al.* On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health [ J ]. American Journal of Epidemiology, 2002, **156**(3): 193-203.
- [ 18 ] Akaike H. Factor analysis and AIC [ J ]. Psychometrika, 1987, **52**(3): 317-332.
- [ 19 ] GB 3095-2012, 环境空气质量标准 [ S ].
- [ 20 ] 张江华, 郭常义, 许慧慧, 等. 上海市大气污染与某医院呼吸系统疾病门诊量关系的时间序列研究 [ J ]. 环境与职业医学, 2014, **31**(11): 846-851.  
Zhang J H, Guo C Y, Xu H H, *et al.* Time-series analysis on association between air pollution and outpatient visits for respiratory diseases in a hospital in Shanghai [ J ]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2014, **31**(11): 846-851.
- [ 21 ] 刘迎春, 龚洁, 杨念念, 等. 武汉市大气污染与居民呼吸系统疾病死亡关系的病例交叉研究 [ J ]. 环境与健康杂志, 2012, **29**(3): 241-244.  
Liu Y C, Gong J, Yang N N, *et al.* Association between air pollution and mortality of respiratory diseases in Wuhan: a case-crossover study [ J ]. Journal of Environment and Health, 2012, **29**(3): 241-244.

- [22] Wu S W, Ni Y, Li H Y, *et al.* Short-term exposure to high ambient air pollution increases airway inflammation and respiratory symptoms in chronic obstructive pulmonary disease patients in Beijing, China [J]. *Environment International*, 2016, **94**: 76-82.
- [23] 杨春雪, 阚海东. 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.
- [24] Ma Y X, Xiao B S, Liu C, *et al.* Association between ambient air pollution and emergency room visits for respiratory diseases in spring dust storm season in Lanzhou, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, **13** (6): 613.
- [25] 田瑜, 王金艳, 李旭, 等. 兰州市大气污染对人体呼吸系统疾病的影响[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2017, **53** (3): 415-420.
- Tian Y, Wang J Y, Li X, *et al.* Relationship between air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Lanzhou City [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2017, **53**(3): 415-420.
- [26] 胡建荣, 许华俊, 李庆云, 等. 细颗粒物 PM<sub>2.5</sub>对全身各系统疾病的影响及相关机制研究进展[J]. *临床肺科杂志*, 2015, **20**(5): 926-928.

环境科学

## CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory from Iron and Steel Industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and Its Impact on PM <sub>2.5</sub> .....	DUAN Wen-jiao, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (1445)
Simulation of the Spatio-temporally Resolved PM <sub>2.5</sub> Aerosol Mass Concentration over the Inland Plain of the Beijing-Tianjin-Hebei Region .....	HAO Jing, SUN Cheng, GUO Xing-yu, <i>et al.</i> (1455)
Effect of Relative Humidity on Particulate Matter Concentration and Visibility During Winter in Chengdu .....	LIU Fan, TAN Qin-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (1466)
Vertical Distributional Characteristics of Inorganic Ions of PM <sub>2.5</sub> at Mt. Huashan, Inland China .....	CAO Cong, WANG Ge-hui, WU Can, <i>et al.</i> (1473)
Analysis of the Composition of Atmospheric Fine Particles (PM <sub>2.5</sub> ) Produced by Burning Fireworks .....	XIE Rui-jia, HOU Hong-xia, CHEN Yong-shan (1484)
Chemical Composition Characteristics of PM <sub>2.5</sub> Emitted by Medium and Small Capacity Coal-fired Boilers in the Yangtze River Delta Region .....	XU Jian, HUANG Cheng, LI Li, <i>et al.</i> (1493)
Emission Factors of Heavy Metals in Size-resolved Particles Emitted from Residential Coal Combustion .....	YAN Qin, KONG Shao-fei, LIU Hai-biao, <i>et al.</i> (1502)
Distribution of Oxalate in Atmospheric Aerosols and the Related Influencing Factors in Qingdao, During Winter and Spring .....	ZHANG Shuai, SHI Jin-hui, YAO Xiao-hong, <i>et al.</i> (1512)
Concentrations and Solubility of Trace Elements in Atmospheric Precipitation in Qingdao .....	LI Qian, SHI Jin-hui, LI Peng-zhi, <i>et al.</i> (1520)
Occurrence and Gas-particle Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Air of Liaodong Bay .....	ZHANG Yu-feng, SONG Yong-gang, TIAN Jin, <i>et al.</i> (1527)
Analysis of Sources, Pollution Characteristics, and Human Exposure to Atmospheric New Halogenated Flame Retardants in Selected Areas .....	LI Qi-lu, YANG Kong, LI Jun, <i>et al.</i> (1537)
Contamination Characterization and Human Exposure Levels to Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor and Outdoor Air in Industrial Park of Suzhou City .....	WANG Jun-xia, GU Hai-dong, ZHANG Zhan-en, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Air Pollution on the Cold Disease in Shanghai .....	YANG Si-xu, MA Yu-xia, ZHOU Jian-ding, <i>et al.</i> (1552)
Fluorescent Dissolved Organic Matter and Its Correlation with Water Quality in a Urban River; A Case Study of the Lujiang River in Beilun, Ningbo .....	CAO Chang-li, LIANG Meng-qi, HE Gui-ying, <i>et al.</i> (1560)
Relationship Between Landscape Pattern and Water Quality in the Ebinur Lake Region .....	CAO Can, ZHANG Fei, Ayinigeer·Yalikun, <i>et al.</i> (1568)
CH <sub>4</sub> Fluxes During the Algal Bloom in the Pengxi River .....	QIN Yu, ZHANG Yu-yang, LI Zhe, <i>et al.</i> (1578)
Dynamic Variations and Sources of Nitrate During Dry Season in the Lijiang River .....	MIAO Ying, ZHANG Cheng, XIAO Qiong, <i>et al.</i> (1589)
Heavy Metal Pollution of the Drinking Water Sources in the Lujiang River Basin, and Related Health Risk Assessments .....	ZHANG Qing-hua, WEI Yong-zhu, CAO Jian-hua, <i>et al.</i> (1598)
Characteristics of Phosphorus Fractions and Phosphate Diffusion Fluxes of Sediments in Cascade Reservoirs of the Huangbai River .....	LIU Jia, LEI Dan, LI Qiong, <i>et al.</i> (1608)
Occurrence and Ecological Risk Assessment of Typical Persistent Organic Pollutants in Baiyangdian Lake .....	GAO Qiu-sheng, JIAO Li-xin, YANG Liu, <i>et al.</i> (1616)
Simulating the Fate of Typical Organochlorine Pesticides in the Multimedia Environment of the Pearl River Delta .....	GAO Zi-wen, XU Yue, YI Ru-han (1628)
Mechanisms and Efficiencies of Removal of PPCPs by Pilot River Water Bypass Treatment Process .....	LI Li, ZHU Bing, BAI Yao, <i>et al.</i> (1637)
Chlorination of Naproxen; Removal, Transformation and Risk Assessment .....	FAN Xin-xin, DU Er-deng, LI Jia-qi, <i>et al.</i> (1645)
Removing Typical Odorants in Drinking Water by Vacuum Ultraviolet Combined with Chlorine .....	SUN Xin, ZHANG Yi, SHI Lu-xiao, <i>et al.</i> (1654)
Degradation of Triclosan by Heat Activated Persulfate Oxidation .....	JIANG Meng-di, ZHANG Qing-yue, JI Yue-fei, <i>et al.</i> (1661)
Adsorption of Tetracycline on Simulated Suspended Particles in Water .....	XU Long-feng, WEI Qun-shan, LÜ Qiang, <i>et al.</i> (1668)
Characteristics and Performance of Embedded ANAMMOX Bacteria in Treating Saline Wastewater .....	SHAN Xiao-jing, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (1677)
Enhanced Nitrogen Removal of ANAMMOX Treating Saline Wastewater With Betaine Addition .....	YU De-shuang, WU Guo-dong, LI Jin, <i>et al.</i> (1688)
Pilot-scale Experiment on Enrichment of Nitrifying Activated Sludge and Its Application in Enhancing a Wastewater Biological Treatment System Against Ammonia Shocking Loads .....	SHENG Xiao-lin, CUI Can-can, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (1697)
Effect of Step Feed on Denitrifying Phosphorus and Nitrate Removal in a Modification of the Two Sludge A <sup>2</sup> /O-BAF System .....	NAN Yan-bin, PENG Yong-zhen, ZENG Li-yun, <i>et al.</i> (1704)
Achieving Partial Nitrification in a Continuous-flow Aerobic Granular Sludge Reactor at Different Temperatures Through Ratio Control .....	LIANG Dong-bo, BIAN Wei, KAN Rui-zhe, <i>et al.</i> (1713)
Mechanism of Action of Activated Sludge Properties in Nitrogen Removal by Endogenous Denitrification Through an Intelligent Aeration-controlled A/O Process .....	XU Min-yang, HU Zhan-bo, ZHANG Sui-sheng, <i>et al.</i> (1720)
Effect of Temperature on the Performance and Microbial Community Structure in an Integrated Anaerobic Fluidized-bed Membrane Bioreactor Treating Benzothiazole Wastewater .....	LI Yue, HU Qi, GAO Da-wen (1731)
Removal of Antibiotics During In-situ Sludge Ozone-reduction Process .....	WANG Lu, BEN Wei-wei, LI Yan-gang, <i>et al.</i> (1739)
Effect of Zero Valent Iron on the Horizontal Gene Transfer of Tetracycline Resistance Genes During Anaerobic Sludge Digestion Process .....	YANG Fan, XU Wen-li, QIAN Ya-jie, <i>et al.</i> (1748)
Effects of Environmental Factors on the Synergy of Functional Bacteria in Completely Autotrophic Granular Sludge .....	CHEN Xi, QIAN Fei-yue, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (1756)
Microbiological Characteristics of a Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process .....	ZHANG Qian, JI Fang-ying, XU Xuan (1763)
Aerobic Denitrification and Microbial Community Shift in SBR Bioaugmented with Strains YH01 and YH02 .....	CHEN Hai-sheng, CAO Gang, ZHANG Di, <i>et al.</i> (1773)
Performance, Sludge Characteristics, and the Microbial Community Dynamics of Bulking Sludge Under Different Nitrogen and Phosphorus Imbalances .....	HE Xue-meng, DING Li-li, ZHANG Lu-lu, <i>et al.</i> (1782)
Degradation Characteristics and Metabolic Pathway of a Pyrene-Degrading <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain .....	LI Xiang, ZHANG Xue-ying, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (1794)
Driving Factors of the Dynamics of Microbial Community in a Dam of Copper Mine Tailings .....	LI Cui, JING Ju-hui, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (1804)
Effects of Reclamation on Soil Nutrients and Microbial Activities in the Huixian Karst Wetland in Guilin .....	HUANG Ke-chao, SHEN Yu-yi, XU Guang-ping, <i>et al.</i> (1813)
Effects of the Farmland-to-Forest/Grassland Conversion Program on the Soil Bacterial Community in the Loess Hilly Region .....	CHEN Meng-li, ZENG Quan-chao, HUANG Yi-mei, <i>et al.</i> (1824)
Insight into the Mechanism of Feamnox in the Surface Soils of a Riparian Zone .....	DING Bang-jing, LI Zheng-kui, ZHU Hong-jie, <i>et al.</i> (1833)
Soil Degradation-Associated Microbial Community Structure Changes in an Alpine Meadow Under Tibetan Pig Herding .....	ZHAN Peng-fei, XIAO De-rong, YAN Peng-fei, <i>et al.</i> (1840)
Characteristics of Iron Plaque and Its Heavy Metal Enrichment in Typical Mangrove Plants in Shenzhen Bay, China .....	SHEN Xiao-xue, LI Rui-li, CHAI Min-wei, <i>et al.</i> (1851)
Spatial Distribution of DDTs and PCBs in Wild Fish from Hong Kong Coastal Areas and Potential Human Health Risk Assessment .....	SU Yang, BAO Lian-jun, ZENG Eddy Y (1861)
Pollution Characteristics of PAHs in Soil from a Remote Mountain Wetland-Dajuhu Lake, Shengongjia .....	HU Tian-peng, XING Xin-li, KE Yan-ping, <i>et al.</i> (1872)
Migration and Transformation of Mercury in Unsubmerged Soil and Sediment at One Typical Forest Reservoir in Southwest China .....	SUN Tao, MA Ming, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (1880)
Accumulation of Cd and Its Risks in the Soils of the Xijiang River Drainage Basin in Guangxi .....	SONG Bo, YANG Zi-jie, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (1888)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on As Accumulation in Upland Red Earth and the Crops Growing on It .....	ZHANG Rong, YU Guang-hui, LI Ya-qing (1901)
Effects of a Tribasic Amendment on Cadmium and Arsenic Accumulation and Translocation in Rice in a Field Experiment .....	GU Jiao-feng, ZHOU Hang, JIA Run-yu, <i>et al.</i> (1910)
Quantitative Relationship Between Paddy Soil Properties and Cadmium Content in Rice Grains .....	WANG Meng-meng, HE Meng-yuan, SU De-chun (1918)
Effect of Ca-bentonite on Cu and Zn Forms in Compost and Soil, and Their Absorption by Chinese Cabbage .....	ZHAO Jun-chao, WANG Quan, REN Xiu-na, <i>et al.</i> (1926)
Effects of Short-term Exogenous Nitrogen and Carbon Input on Soil Respiration Under Changing Precipitation Pattern .....	HE Yun-long, QI Yu-chun, PENG Qin, <i>et al.</i> (1934)
Effects of Simulated Precipitation Reduction on Soil Respiration in a Soybean-Winter Wheat Rotation Cropland .....	WANG Zhao-hui, CHEN Shu-tao, SUN Lu, <i>et al.</i> (1943)
Seasonal Variation in Nitric Oxide Emission from an Agricultural Headwater Ditch in the Hilly Purple Soil Area and the Factors Influencing Emission .....	TIAN Lin-lin, REN Guang-qian, ZHU Bo (1952)
Effects of Seasonal Asymmetric Warming on Soil CO <sub>2</sub> Release in Karst Region .....	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i> (1962)