

·论 著·

# 2017—2019年苏州市空气主要污染物浓度对 医院门诊数影响的时间序列分析

朱小红<sup>1</sup>, 刘强<sup>1</sup>, 周晓龙<sup>1</sup>, 赵敏娟<sup>1</sup>, 陆颂文<sup>1</sup>, 王瑛<sup>1</sup>, 陆颖枫<sup>2</sup>, 张宸<sup>2</sup>, 杨海兵<sup>1</sup>

1. 苏州市疾病预防控制中心环境卫生科, 江苏 苏州 215000; 2. 苏州大学医学部公共卫生学院, 江苏 苏州 215000

**摘要:**目的 探讨苏州市细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)、NO<sub>2</sub>、臭氧8 h浓度(O<sub>3</sub>-8h)、CO和SO<sub>2</sub>等污染物浓度对医院总门诊数及呼吸系统疾病的影响。方法 收集2017年1月1日—2019年12月31日苏州市市立医院门诊数据、大气污染物的数据以及气象资料,采用广义相加泊松回归模型分析苏州市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>-8 h、CO、SO<sub>2</sub>等污染物暴露与医院总门诊数及呼吸系统疾病门诊人数之间的关系,计算各污染物质量浓度每上升10 μg/m<sup>3</sup>的RR值及其95%CI。结果 2017—2019年苏州市市立医院总门诊数5 974 736人,呼吸系统门诊数525 691人,日均总门诊M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>)为5 298(4 194, 6 967)人,日均呼吸系统门诊M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>)为463(362, 575)人。大气污染物PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>-8 h、CO的年日均中位浓度为34.0 μg/m<sup>3</sup>、56.0 μg/m<sup>3</sup>、42.0 μg/m<sup>3</sup>、8.0 μg/m<sup>3</sup>、94.0 μg/m<sup>3</sup>、0.6 mg/m<sup>3</sup>。在控制气温气压等气象因素、星期几效应和假期效应的影响后,总门诊数单日效应最高和平均效应分别出现在当天和第5天,即PM<sub>2.5</sub>浓度每上升10 μg/m<sup>3</sup>,总门诊患病数在单日最佳滞后(lag0)和平均最佳滞后(lag05)条件下,RR(95%CI)为1.006(1.005~1.007)和1.007(1.006~1.008);呼吸系统门诊患病数单日效应最高和平均效应分别出现在第4天和第6天,即PM<sub>2.5</sub>浓度每上升10 μg/m<sup>3</sup>,总门诊数在单日最佳滞后(lag4)和平均最佳滞后(lag06)条件下,RR(95%CI)为1.007(1.006~1.008)和1.017(1.015~1.019);在多污染模型中,同时将PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO和O<sub>3</sub>-8 h引入模型后,医院总门诊和呼吸系统就医风险均升高,其RR(95%CI)分别为1.010(1.009~1.011)和1.012(1.010~1.014)。结论 苏州市大气中PM<sub>2.5</sub>浓度的升高可能引起总疾病数及呼吸系统疾病风险的增加,引入多污染模型时风险增加。

**关键词:** 细颗粒物; 可吸入颗粒物; 二氧化氮; 臭氧8 h浓度; 一氧化硫; 二氧化碳; 医院总门诊数; 呼吸系统门诊数

中国图书资料分类号: R181.3+4

文献标识码: A

文章编号: 1004-1257(2021)09-1241-06

DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2021.0313

## Influence of main air pollutant concentration on hospital outpatient number in Suzhou City from 2017-2019: a time series analysis

ZHU Xiao-hong<sup>1</sup>, LIU Qiang<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-long<sup>1</sup>, ZHAO Min-xian<sup>1</sup>, LU Song-wen<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, LU Ying-feng<sup>2</sup>,  
ZHANG Chen<sup>2</sup>, YANG Hai-bing<sup>1</sup>

1. Environmental Hygiene Division, Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Suzhou Jiangsu, 215000, China; 2. School of Public Health, Medical Department, Suzhou University, Suzhou Jiangsu, 215000, China

**Abstract:** **Objective** To explore the influence of fine particles (PM<sub>2.5</sub>), inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>), NO<sub>2</sub>, ozone concentration in 8 hours (O<sub>3</sub>-8 h), CO, SO<sub>2</sub> and other pollutants concentration on total hospital outpatient number and respiratory diseases in Suzhou City. **Methods** The outpatient data of Suzhou Municipal Hospital, air pollutant data and meteorological data from January 1, 2017 to December 31, 2019 in Suzhou City were collected. The generalized additive Poisson regression model was used to analyze the relationships between exposure of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>-8 h, CO and SO<sub>2</sub> on hospital outpatient number and number of outpatients with respiratory diseases, and calculate the relative risk (RR) value and 95% confidence intervals (CI) for every 10 μg/m<sup>3</sup> increase of each pollutant. **Results** From 2017-2019, the total number of outpatient clinics in Suzhou Municipal Hospital was 5 974 736, the number of respiratory outpatient clinics was 525 691, average daily outpatient number M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>) was 5 298 (4 194, 6 967), and average daily respiratory outpatient number M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>) was 463 (362, 575). The daily median concentration of atmospheric pollutant PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>-8 h and CO was 34.0 μg/m<sup>3</sup>, 56.0 μg/m<sup>3</sup>, 42.0 μg/m<sup>3</sup>, 8.0 μg/m<sup>3</sup>, 94.0 μg/m<sup>3</sup> and 0.6 mg/m<sup>3</sup>, respectively. After adjusting for the meteorological variables such as daily temperature, air pressure, the day of the week effect and the holiday effect, the highest single-day effect and average effect of total outpatient number appeared on the day and the 5th day respectively, namely at the single-day optimal lag condition (lag0) and average optimal lag condition (lag05), the RR (95%CI) was respectively 1.006 (1.005-1.007) and 1.007 (1.006-1.008) with a 10 μg/m<sup>3</sup> increase of PM<sub>2.5</sub> concentration. The

基金项目: 苏州市科教兴卫青年科技项目(KJXW2017055)

作者简介: 朱小红, 女, 副主任医师, 主要从事环境卫生工作。

通信作者: 王瑛, 主管医师, E-mail: 605604859@qq.com

Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

highest single-day effect and average effect of respiratory outpatient number appeared on the 4th day and the 6th day respectively, namely at the optimal lag conditions (lag4) and (lag06), the  $RR(95\%CI)$  on single-day and average effect of respiratory outpatient number was respectively 1.007(1.006-1.008) and 1.017(1.015-1.019) with a  $10\text{ g/m}^3$  increase of  $PM_{2.5}$  concentration. While taking  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  and  $O_3$ -8h in the multi pollution model at the same time, the risks of total outpatient service and respiratory system were increased, the  $RR(95\%CI)$  was 1.010(1.009-1.011) and 1.012(1.010-1.014) respectively. **Conclusion** The increase of  $PM_{2.5}$  in atmosphere in Suzhou City may lead to the increase of total diseases and respiratory disease risk, and the risk may be higher if multi-pollution model is introduced.

**Keywords:**  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ;  $NO_2$ ;  $O_3$ -8 h;  $CO$ ;  $SO_2$ ; Total hospital outpatient number; Respiratory outpatient number

随着经济的发展,空气污染问题日益凸显,目前普遍关注和监测的污染物指标主要有细颗粒物( $PM_{2.5}$ )、可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、臭氧8 h浓度( $O_3$ -8 h)、 $CO$ <sup>[1-3]</sup>。国内外大量研究均证实,空气污染是影响人类健康的主要环境危害因素之一<sup>[4-6]</sup>。WHO早在2012年评估认为全球370万人过早死亡归因于空气污染,其中约25%死于呼吸系统疾患<sup>[7]</sup>。据《柳叶刀》发布的最新全球疾病负担报告,2017年全球有20%的死亡归因于不健康饮食,然后依次为高血压、吸烟、高血糖和空气污染。近年来苏州市的空气污染问题受到了政府、公众和社会的普遍关注,已有部分研究对 $PM_{2.5}$ 污染物的健康影响进行了描述<sup>[8-10]</sup>,但是对多年的连续观察效应研究不多。我们通过运用时间序列的广义相加模型分析2017—2019年期间苏州市不同大气污染物对医院总门诊和呼吸系统疾病门诊急症量的影响,并探究不同污染物组合对健康的影响,以期政府进行空气污染管理和健康防护政策的制定提供参考依据。

## 1 资料与方法

**1.1 空气质量及气象参数监测** 苏州市2017年1月1日—2019年12月31日大气污染物的数据以及气象资料分别来源于苏州市环境监测中心和苏州市气象局,其日均浓度来源于8个国控监测点的日平均值。大气污染物数据主要包括 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$ -8 h、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ ;气象资料包括温度( $^{\circ}C$ )、相对湿度(%)、气压(Hpa)以及风速(m/s)。

**1.2 苏州市市立医院本门诊数据监测** 收集2017年1月1日—2019年12月31日苏州市市立医院门诊数据,具体信息包括苏州市市立医院本部2017—2019年总门诊数和呼吸系统门诊数等资料,按照国际疾病分类第十版(ICD-10)进行疾病分类,其ICD编码分别为:总门诊数(A00-R99)、呼吸系统疾病(J00-J99, R04-R07, R09.0-R09.3)。

**1.3 统计学分析** 采用R4.0.2软件,分析指标为大气 $PM_{2.5}$ 浓度每升高 $10\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ,每日医院门诊数增加或减少的相对危险度( $RR$ ),检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

**1.3.1 描述分析及相关分析** 本次分析中数值变量不满足正态分布,采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述大气污染物、气象参数及心血管疾病死亡的平均水平。

**1.3.2 广义相加模型** 采用广义相加泊松回归模型(GAM)分析 $PM_{2.5}$ 暴露与苏州市市立医院门诊数之间的关系,并控制大气其他污染物以及气象因素的混杂影响,即分析 $PM_{2.5}$ 质量浓度每上升 $10\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ,医院门诊量的 $RR$ ,并根据广义交叉检验来确定平滑参数的值。

其具体GAM模型如下<sup>[4]</sup>:

$$\text{Log}E(Y_i) = \alpha + \beta X_i + \sum \delta_i Q_{ti} + \text{DOW}(\text{Week}) + \text{vocation} + \sum s_j(Z_{tj}, df)$$

式中: $Y_i$ —第*i*天当日死亡(门诊)人数; $E(Y_i)$ —*i*日医院门诊的数学期望值; $\alpha$ —截距; $\beta$ — $PM_{2.5}$ 的回归系数; $X_i$ —第*i*日 $PM_{2.5}$ 的浓度; $\delta_i$ —其他大气污染物的回归系数; $Q_{ti}$ —第*i*日其他大气污染物的浓度; $s$ —平滑样条函数; $Z_{tj}$ —第*i*日与 $PM_{2.5}$ 非线性相关的变量,包括温度、相对湿度、气压以及风速等气象指标; $df$ —自由度; $\text{DOW}$ —反应“星期几效应”的哑变量; $\text{vocation}$ —法定节假日变量。

引入 $PM_{2.5}$ 污染物模型,并考虑其滞后效应,选择lag0~lag7进行分析,其中lag0表示当日效应,lag1表示滞后1日效应,以此类推;移动平均效应中,选择lag01~lag07进行分析,其中lag01表示滞后0~1天的平均滞后效应,lag02表示滞后0~2天的平均滞后效应,以此类推。

## 2 结果

**2.1 日门诊数、主要污染物浓度及气象因素的描述结果** 2017—2019年苏州市市立医院总门诊数5 974 736人,呼吸系统门诊数525 691人,日均总门诊 $M(P_{25}, P_{75})$ 为5 298(4 194, 6 967)人,日均呼吸系统门诊 $M(P_{25}, P_{75})$ 为463(362, 575)人。2017—2019年苏州市日均气压 $M(P_{25}, P_{75})$ 为1 015.49(1 007.8, 1 022.6)Hpa,日气温 $M(P_{25}, P_{75})$ 为18.6(9.7, 25.2) $^{\circ}C$ ,相对湿度的日均值 $M(P_{25}, P_{75})$ 为72.57%(64.0%, 82.0%),日均风速 $M(P_{25}, P_{75})$ 2.57(1.9, 3.1)m/s。大气污染物 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $O_3$ -8 h、 $CO$ 的全年日均浓度 $M(P_{25}, P_{75})$ 为34.0(24.0,

50.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、56.0 (42.0, 80.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、42.0 (32.0, 54.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8.0 (5.0~12.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、94.0 (66.5, 131.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.6 (0.5, 0.8)  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。见表1。

**2.2 大气  $\text{PM}_{2.5}$  对苏州市市立医院总门诊数的影响**  $\text{PM}_{2.5}$  对苏州市市立医院总门诊数滞后效应表现如下:对于单日效应,  $\text{PM}_{2.5}$  滞后效应当天效应最大, 然后先降低, 再缓慢升高, 即 lag0 的  $\text{PM}_{2.5}$  每升高 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 总门诊患病数  $RR(95\%CI)$  为 1.006 (1.005~1.007); 对于平均效应, 过去 6 天的效应最大, 即当日 lag0~lag6 的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度移动平均值每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 总门诊患病数的  $RR(95\%CI)$  为 1.007 (1.006~1.008)。见表2、图1~2。

**2.3 大气  $\text{PM}_{2.5}$  对呼吸系统疾病患病的影响**  $\text{PM}_{2.5}$  对苏州市市立医院呼吸系统门诊数滞后效应表现如下:

对于单日效应,  $\text{PM}_{2.5}$  滞后效应先降低, 再缓慢升高, 第4天(lag4)的效应最大, 即 lag4 的  $\text{PM}_{2.5}$  每升高 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 总门诊患病数  $RR(95\%CI)$  为 1.007 (1.006~1.008), 在第7天开始降低; 对于平均效应, 过去 6 天的效应最大, 即当日 lag0 至 lag6 的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度移动平均值每增加 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 呼吸系统疾病患病的  $RR(95\%CI)$  为 1.017 (1.015~1.019)。见表3、图3~4。

**2.4 2017—2019年苏州市市立医院本部每日门诊数与大气污染物浓度变化趋势分析** 结果显示,  $\text{PM}_{2.5}$  呈现明显季节性, 表现为冬季高, 夏季低, 且年间的总体变化趋势一致。呼吸系统门诊数同样呈现季节波动, 即冬高夏低, 与  $\text{PM}_{2.5}$  趋势一致, 而总门诊数的变化趋势季节波动不明显, 冬季略微高于其他季节。见图5~6。

表1 2017—2019年苏州市市立医院日总门诊数、主要大气污染物浓度及气象因素水平( $n=1\ 095$ )

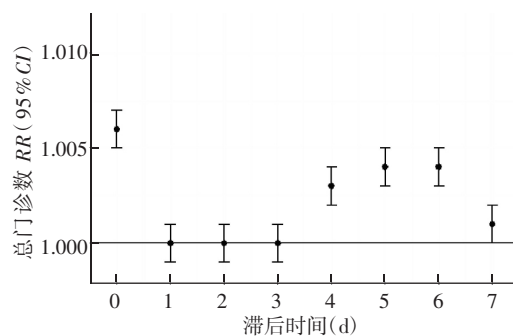
因素	$\bar{x} \pm s$	最小值	$P_{25}$	$P_{50}$	$P_{75}$	最大值
日总门诊数(例)	5 456±1746	806	4 194	5 298	6 967	10 152
日呼吸系统门诊数(例)	480±150	161	362	463	575	945
日循环系统门诊数(例)	238±118	7	135	228	336	554
平均气温( $^{\circ}\text{C}$ )	17.8±9.0	-1.2	9.7	18.6	25.2	35.7
相对湿度(%)	72.6±12.7	31.0	64.0	73.0	82.0	99.0
风速(m/s)	2.6±1.0	0.2	1.9	2.4	3.1	8.2
$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	41.1±25.6	8.0	24.0	34.0	50.0	222.0
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	64.4±31.8	11.0	42.0	56.0	80.0	249.0
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	44.8±18.0	14.0	32.0	42.0	54.0	129.0
$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	9.2±5.0	2.0	5.0	8.0	12.0	32.0
$\text{O}_3$ -8 h( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	101.3±46.4	7.0	66.5	94.0	131.0	252.0
$\text{CO}$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0.7±0.3	0.2	0.5	0.6	0.8	2.0

注:  $\text{PM}_{2.5}$ —细颗粒物;  $\text{PM}_{10}$ —可吸入颗粒物;  $\text{O}_3$ -8 h—臭氧 8 h 浓度。

表2 2017—2019年苏州市大气  $\text{PM}_{2.5}$  浓度每增加 10  $\text{g}/\text{m}^3$  时日门诊数的相对危险度

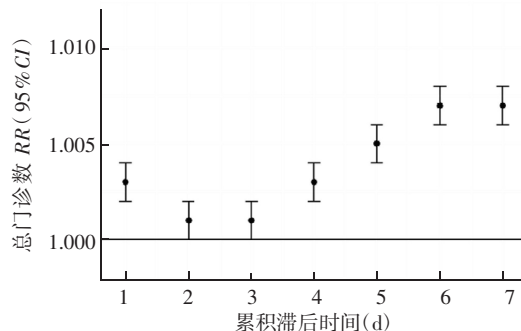
滞后(天)	总门诊数		呼吸系统疾病门诊数	
	$RR$	$95\%CI$	$RR$	$95\%CI$
lag0	1.006	1.005~1.007	1.003	1.002~1.004
lag1	1.000	0.999~1.001	1.001	1.000~1.002
lag2	1.000	0.999~1.001	1.003	1.002~1.004
lag3	1.000	0.999~1.001	1.005	1.004~1.006
Lag4	1.003	1.002~1.004	1.007	1.006~1.008
Lag5	1.004	1.003~1.005	1.006	1.005~1.007
Lag6	1.004	1.003~1.005	1.006	1.005~1.007
Lag7	1.001	1.000~1.002	1.001	1.000~1.002
Lag01	1.003	1.002~1.004	1.002	1.001~1.003
Lag02	1.001	1.000~1.002	1.004	1.003~1.005
Lag03	1.001	1.000~1.002	1.007	1.005~1.009
Lag04	1.003	1.002~1.004	1.010	1.008~1.012
Lag05	1.005	1.004~1.006	1.014	1.012~1.016
Lag06	1.007	1.006~1.008	1.017	1.015~1.019
Lag07	1.007	1.006~1.008	1.017	1.015~1.019

注:  $\text{PM}_{2.5}$ —细颗粒物; Lag0—当日效应, Lag1—滞后 1 日效应, 以此类推; Lag01—滞后 0~1 天的平均滞后效应, Lag02—滞后 0~2 天的平均滞后效应, 以此类推。



注:  $\text{PM}_{2.5}$ —细颗粒物。

图1 苏州市大气  $\text{PM}_{2.5}$  对总门诊数的单日滞后效应



注:  $\text{PM}_{2.5}$ —细颗粒物。

图2 苏州市大气  $\text{PM}_{2.5}$  对总门诊数的累积滞后效应



**2.5 大气 PM<sub>2.5</sub> 与其他污染物联合效应对总门诊数影响** 本次分析最佳滞后期以单日最佳滞后效应来确定,即以滞后当天来计算不同模型下的 *RR* 值及 95%*CI*。见表 3。

表 3 不同污染物模型条件下 PM<sub>2.5</sub> 与苏州市市立医院总门诊数之间的关系

污染物模型	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>P</i>
单污染物模型			
PM <sub>2.5</sub>	1.006	1.005~1.007	<0.05
双污染物模型			
PM <sub>2.5</sub> +PM <sub>10</sub>	1.011	1.010~1.012	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +SO <sub>2</sub>	1.005	1.004~1.006	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +NO <sub>2</sub>	1.001	1.000~0.002	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +CO	1.005	1.004~1.006	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +O <sub>3</sub> -8 h	1.005	1.004~1.006	<0.05
多污染物模型			
PM <sub>2.5</sub> +SO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub> +CO+O <sub>3</sub> -8 h	1.010	1.009~1.011	<0.05

注:PM<sub>2.5</sub>—细颗粒物;PM<sub>10</sub>—可吸入颗粒物;O<sub>3</sub>-8 h—臭氧 8 h 浓度;纳入模型中的变量均为滞后当天的值,所有模型均控制了气象因素。

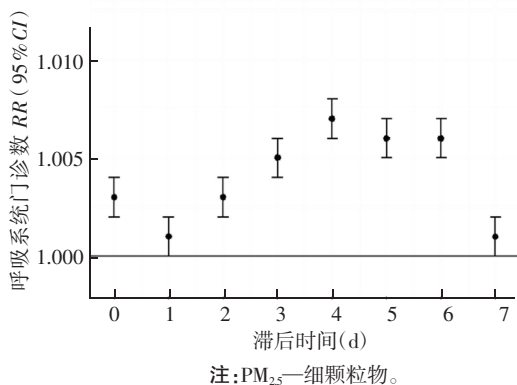


图 3 苏州市大气 PM<sub>2.5</sub> 对呼吸系统门诊数的单日滞后效应

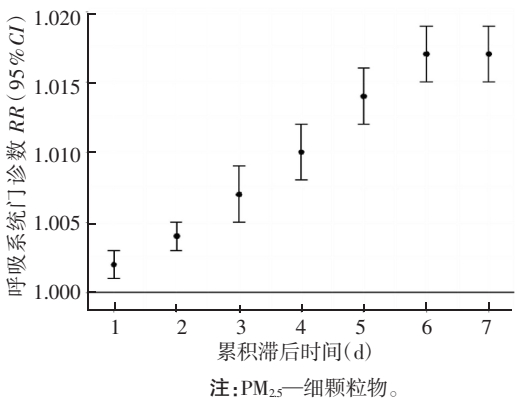


图 4 苏州市大气 PM<sub>2.5</sub> 对呼吸系统门诊数的累积滞后效应

**2.5.1 单污染物模型** 调整气象因素后,大气中 PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,苏州市市立医院的总门诊就医风险最佳单日滞后效应发生在当天,其 *RR* (95%*CI*) 为 1.006 (1.005~1.007)。

**2.5.2 双污染物模型** 调整气象因素后,当引入其他大气污染物后,苏州市市立医院的总门诊就医风险变化趋势如下。当引入 PM<sub>10</sub> 后,PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,总门诊数的 *RR* (95%*CI*) 为 1.011 (1.010~1.012);引入

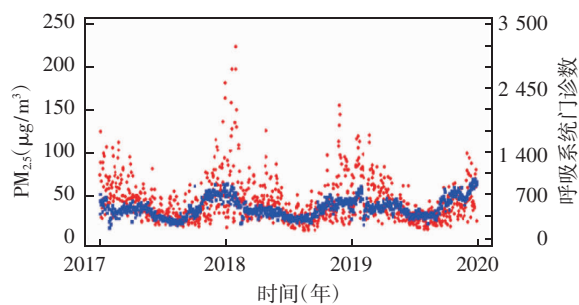


图 5 2017—2019 年苏州市市立医院本部每日呼吸系统门诊数与大气污染物浓度变化趋势散点图

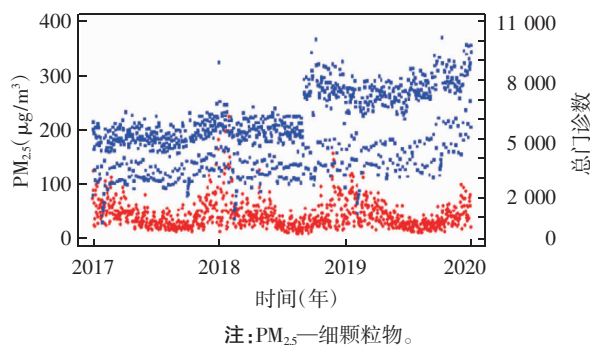


图 6 2017—2019 年苏州市市立医院本部每日总门诊数与大气污染物浓度变化趋势散点图

SO<sub>2</sub> 后,PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,总门诊数的 *RR* (95%*CI*) 为 1.005 (1.004~1.006);引入 NO<sub>2</sub> 后,*RR* (95%*CI*) 为 1.001 (1.000~1.002);引入 CO 后,*RR* (95%*CI*) 为 1.005 (1.004~1.006);引入 O<sub>3</sub>-8 h 后,*RR* (95%*CI*) 为 1.005 (1.004~1.006)。双污染模型中,PM<sub>2.5</sub> 纳入 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>-8 h 后滞后效应差异有统计学意义,但是除了 PM<sub>10</sub> 有增强、NO<sub>2</sub> 有明显降低作用外,其他几种的变化不大。

**2.5.3 多污染物模型** 当同时将 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub> 引入模型后,苏州市市立医院的总门诊就医风险达到最大,其 *RR* 值为 1.010。

**2.6 大气 PM<sub>2.5</sub> 与其他污染物联合效应对呼吸系统疾病门诊数的影响** 本次分析最佳滞后期以单日最佳滞后效应来确定,即以滞后 4 天来计算不同模型下的 *RR* 值及 95%*CI*。见表 4。

**2.6.1 单污染物模型** 调整气象因素后,大气中 PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,苏州市市立医院的呼吸系统疾病门诊就医风险单日最佳滞后效应发生在第 4 天,其 *RR* (95%*CI*) 为 1.007 (1.006~1.008)。

**2.6.2 双污染物模型** 调整气象因素后,当引入其他大气污染物后,苏州市市立医院的呼吸系统疾病门诊就医风险变化趋势如下。当引入 PM<sub>10</sub> 后,PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,*RR* (95%*CI*) 为 1.009 (1.007~1.011);当引入 SO<sub>2</sub> 后,PM<sub>2.5</sub> 浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>,*RR* (95%*CI*) 为 1.005 (1.004~1.006);当引入 NO<sub>2</sub> 后,*RR* (95%*CI*) 为

表4 不同污染物模型条件下PM<sub>2.5</sub>与苏州市市立医院  
呼吸系统门诊数之间的关系

污染物模型	RR	95%CI	P
单污染物模型			
PM <sub>2.5</sub>	1.007	1.006~1.008	<0.05
双污染物模型			
PM <sub>2.5</sub> +PM <sub>10</sub>	1.009	1.007~1.011	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +SO <sub>2</sub>	1.005	1.004~1.006	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +NO <sub>2</sub>	1.003	1.002~1.004	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +CO	1.009	1.008~1.010	<0.05
PM <sub>2.5</sub> +O <sub>3</sub> -8 h	1.006	1.005~1.007	<0.05
多污染物模型			
PM <sub>2.5</sub> +SO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub> +CO+O <sub>3</sub> -8 h	1.012	1.010~1.014	<0.05

注:PM<sub>2.5</sub>—细颗粒物;PM<sub>10</sub>—可吸入颗粒物;O<sub>3</sub>-8 h—臭氧8 h浓度;纳入模型中的变量均为滞后4天的值,所有模型均控制了气象因素。

1.003(1.002~1.004);当引入CO后,RR(95%CI)为1.009(1.008~1.010);当引入O<sub>3</sub>-8 h后,RR(95%CI)为1.006(1.005~1.007)。双污染模型中,PM<sub>2.5</sub>纳入PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>-8 h后滞后效应有统计学意义,但是除了PM<sub>10</sub>和CO有增强作用,NO<sub>2</sub>有明显降低现象,O<sub>3</sub>-8 h、SO<sub>2</sub>变化不大。

2.6.3 多污染物模型 当同时将PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>-8 h引入模型后,苏州市市立医院的呼吸系统门诊就医风险达到最大,其RR值为1.012。

### 3 讨论

近年来,国内外一些研究证实,大气污染物PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统等疾病有关。周玮等<sup>[11]</sup>发现PM<sub>2.5</sub>高水平暴露可能使慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者肺功能下降,使患者气道炎症以及氧化应激的程度升高,并加重病情;顾雯雯等<sup>[12]</sup>研究发现我国PM<sub>2.5</sub>每增加10 μg/m<sup>3</sup>,居民呼吸系统疾病死亡率增加0.48%。胡晓等<sup>[13]</sup>发现宁波地区呼吸系统疾病死亡人数与PM<sub>2.5</sub>存在明显正相关。

本研究结果显示,3年苏州市大气污染PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>的年均浓度超过了GB 3095—2012《环境空气质量标准》一级标准,且PM<sub>2.5</sub>对门诊总疾病和呼吸系统疾病存在急性效应。大气中PM<sub>2.5</sub>浓度的升高与苏州市市立医院门诊总疾病和呼吸系统疾病就诊数呈现正相关性。调整气象等因素后,大气中PM<sub>2.5</sub>浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>,苏州市市立医院的总门诊就医风险增加0.4%,呼吸系统门诊就医风险增加0.7%。与国内外研究结果基本一致,但不同地区的研究中PM<sub>2.5</sub>对总门诊患病和呼吸系统疾病患病风险的效应估计值略有不同。张标等<sup>[14]</sup>的研究结果显示,在上海市第十人民医院崇明分院每日总门诊中,PM<sub>2.5</sub>每升高10 μg/m<sup>3</sup>,门诊量(ER)增加0.17%;PM<sub>2.5</sub>每升高10 μg/m<sup>3</sup>,呼吸系统疾病门诊量增加0.38%。崔亮亮等<sup>[15]</sup>的研究结果显示,济南市大气PM<sub>2.5</sub>日均浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>,儿童内科疾病门诊总量和

儿童呼吸系统疾病就诊量分别增加0.45%(95%CI:0.34%~0.55%)和0.54%(95%CI:0.42%~0.66%)。李静等<sup>[16]</sup>的研究结果显示,在低温条件下,北京市昌平区日PM<sub>2.5</sub>浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>,日门诊总量、内科日门诊量、内科呼吸系统疾病日门诊量的累积超额危险度(CER)分别为0.147%(95%CI:0.085%~0.209%)、0.161%(95%CI:0.096%~0.226%)、0.100%(95%CI:0.037%~0.163%)。李文静等<sup>[17]</sup>的研究结果显示,北京市大气PM<sub>2.5</sub>浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>,儿科总门诊量、儿科呼吸系统疾病门诊量分别增加0.525%(95%CI:0.428%~0.622%)、0.589%(95%CI:0.473%~0.706%)。

本研究发现PM<sub>2.5</sub>对人群健康的急性影响存在滞后效应,研究显示单日效应滞后当天,PM<sub>2.5</sub>与总门诊疾病就诊风险关联最高;平均效应滞后5天时,PM<sub>2.5</sub>与门诊总疾病就诊风险最高。这个结果与文献[18]的研究结果相似,但也略有不同。崔亮亮等<sup>[15]</sup>对济南市的研究发现,PM<sub>2.5</sub>单日效应滞后1天时,内科门诊总量风险达到最高值;平均滞后效应4天时,内科门诊总量风险最高。贾云飞等<sup>[19]</sup>对南京市的研究发现,单独滞后效应当天,PM<sub>2.5</sub>与内科门诊总量风险最大,平均滞后效应6天时,PM<sub>2.5</sub>与内科门诊总量风险最大。张标等<sup>[14]</sup>对上海市崇明区的研究发现,PM<sub>2.5</sub>对上海市第十人民医院崇明分院总门诊单日效应滞后在1天时最大。

本研究显示单日效应滞后4天时,PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统疾病门诊就诊风险关联最高;平均效应滞后6天时,PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统疾病就诊风险最高。刘准等<sup>[18]</sup>对武汉市的研究发现,单日效应滞后当天,PM<sub>2.5</sub>与儿童呼吸系统疾病就诊风险最高;累积效应滞后4天时,PM<sub>2.5</sub>与儿童呼吸系统疾病就诊风险最高。贾云飞等<sup>[19]</sup>对南京市的研究发现,单独滞后效应当天,PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统疾病就诊量发生的风险最大;平均滞后效应6天时,PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统疾病就诊量发生的风险最大。韩璐瑶等<sup>[20]</sup>对西安市的研究发现,PM<sub>2.5</sub>对呼吸系统疾病门诊急诊人数的影响最强效应期在滞后第6日。李玉荣等<sup>[21]</sup>对合肥市的研究发现,单日效应滞后4天时,PM<sub>2.5</sub>对肺炎日门诊量的影响最大。王荀等<sup>[22]</sup>对深圳市龙岗区的研究发现,单日效应滞后3天时,PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统门诊量的风险最高。游颖琦等<sup>[23]</sup>对无锡市的研究发现,当天或单日效应滞后4天时,PM<sub>2.5</sub>对呼吸系统门诊量的影响有统计学意义;累积效应滞后5天时,PM<sub>2.5</sub>对呼吸系统门诊量的影响效应值最大。

本研究对污染物的模型进行了考虑,将污染物分为单污染物模型、双污染模型以及多污染物模型。当大气中PM<sub>2.5</sub>引入其他污染物时,总门诊和呼吸系统门

诊患病风险会增高。当大气  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$ -8h 同时存在时,其对门诊总疾病就诊风险和呼吸系统就诊风险的影响最大。这可能是因为其他大气污染物的存在会相互影响,产生增强的作用,从而导致  $PM_{2.5}$  与疾病之间的关系变强。

本研究利用 2017—2019 年苏州市大气污染物数据和市立医院门诊数分析了  $PM_{2.5}$  与疾病之间的影响,有一定的局限性,如果条件允许,可以进一步分析全市医院疾病就诊的情况,且仅能分析短期急性效应,难以分析  $PM_{2.5}$  等大气污染对疾病的长期影响,因此存在一定的局限性。

**作者声明** 本文无实际或潜在的利益冲突

## 参考文献

- [1] 李嘉琦,左平春,李仓敏,等.我国城市空气中有毒有害污染物暴露分析[J].中国环境监测,2019,35(1):59-74.
- [2] 刘昌景,黄飞,杨志洲,等.我国空气污染物与人群呼吸系统疾病死亡急性效应的 Meta 分析[J].中华流行病学杂志,2015,36(8):889-895.
- [3] 李景鑫,陈思宇,王式功,等.2013—2014 年我国大气污染物的时空分布特征及  $SO_2$  质量浓度年代际变化[J].中国科技论文,2017,12(3):336-345.
- [4] 文晓霞,赖天文,吴斌. $PM_{2.5}$  与慢性气道炎症疾病的相关研究进展[J].临床肺科杂志,2019,24(8):1513-1517.
- [5] ZHANG ZZ,ZHANG QY,DOMINIQUE E,et al.T(H)17-Induced Neutrophils Enhance the Pulmonary Allergic Response Following BALB/c Exposure to House Dust Mite Allergen and Fine Particulate Matter From California and China[J].Toxicol Sci,2018,164(2):627-643.
- [6] 施小明.空气污染、气候变化与健康:从证据到行动[J].中华预防医学杂志,2019,53(1):1-3.
- [7] WORLD HEALTH ORGANIZATION(WHO).Ambient air pollution:A global assessment of exposure and burden of disease [R].Geneva:WHO,2016.
- [8] 陈鑫,王临池,郭倩岚,等.苏州市大气  $PM_{2.5}$  浓度与心脑血管疾病死亡的时间序列分析[J].中华疾病控制杂志,2019,23(6):661-666.
- [9] 邹卉,张斌,万正茂,等.苏州工业园区大气  $PM_{2.5}$  中主要重金属污染特征及其健康风险评价[J].环境监测管理与技术,2017,29(4):37-41.
- [10] 王建军,刘强,王瑛,等.苏州市室内外空气颗粒物中内毒素初步研究[J].环境与健康杂志,2019,36(6):534-536.
- [11] 周玮,姜淑娟.大气细颗粒物污染与慢性阻塞性肺疾病气道炎症和氧化应激关系研究[J].中国医药导报,2020,17(5):125-128.
- [12] 顾雯雯,杨洛贤,程庆林.大气  $PM_{2.5}$  对呼吸系统疾病死亡率影响的 meta 分析[J].预防医学,2018,30(11):1100-1105+1111.
- [13] 胡晓,俞科爱,张国超,等.宁波地区气象因素与大气污染对呼吸系统死亡率影响分析[J].浙江气象,2019,40(4):22-27+42.
- [14] 张标,王锦香.上海市崇明区大气污染物与医院门诊量关系的时间序列研究[J].环境与职业医学,2019,36(4):376-380.
- [15] 崔亮亮,李新伟,耿兴义,等.2013 年济南市大气  $PM_{2.5}$  污染及雾霾事件对儿童门诊量影响的时间序列分析[J].环境与健康杂志,2015,32(6):489-493.
- [16] 李静,王焕新,屈龙,等.昌平区  $PM_{2.5}$  和气温对日门诊量的交互影响[J].预防医学,2019,31(6):593-596+599.
- [17] 李文静,张美云,万博宇,等.北京市大气  $PM_{2.5}$  污染对某医院儿科门诊量影响的时间序列研究[J].现代预防医学,2018,45(7):1184-1188.
- [18] 刘准,陈丹,霍细香,等.武汉市大气污染物水平与儿童呼吸道疾病门诊量的滞后效应分析[J].环境与职业医学,2018,35(2):124-130.
- [19] 贾云飞,韦丽,唐彦钊,等.2015—2017 年南京市大气污染物对儿童内科门诊量影响的时间序列分析[J].职业与健康,2020,36(5):666-669+673.
- [20] 韩璐瑶,吴克坚,高永恒,等.不同大气污染物对呼吸系统疾病门诊量的影响[J].中华肺部疾病杂志(电子版),2020,13(2):229-235.
- [21] 李玉荣,肖长春,林浩飞,等.合肥市大气污染与肺炎门诊量的时间序列研究[J].环境与健康杂志,2016,33(11):960-963.
- [22] 王荀,廖玉学,刘丽红,等.深圳市龙岗区大气污染物与医院呼吸系统疾病门诊量的广义相加模型分析[J].实用预防医学,2019,26(1):59-62.
- [23] 游颖琦,朱晶颖,张旭辉,等.无锡市大气污染对成人内科门诊量影响的时间序列研究[J].山东大学学报(医学版),2018,56(11):53-60.

收稿日期:2020-09-16 修回日期:2020-12-20 责任编辑:张文洁

(上接第 1240 页)

- exposed to arsenic via the drinking water:dose-response relationships in review[J].Toxicol Appl Pharmacol,2004,198(3):243-252.
- [8] 王学琴,靳峰,陈阿丽,等.宁夏 2012 年饮水型地方性砷中毒监测结果分析[J].中国地方病防治杂志,2013,28(5):358-359.
  - [9] 范中学,李跃,李晓茜,等.2010—2014 年陕西省燃煤污染型砷中毒监测结果分析[J].中华地方病学杂志,2015,34(1):41-44.
  - [10] 郭昌禄,钟民荣,黄立强,等.瑞金市饮水型地方性砷中毒流行病学调查[J].环境与健康杂志,2011,28(4):335-337.
  - [11] 李生梅,姜泓,何多龙,等.2010—2013 年青海省饮水型地方性砷中毒监测结果分析[J].中华地方病学杂志,2016,35(12):888-891.
  - [12] 王正辉,李军,程晓天,等.山西省地方性砷中毒流行现状[J].中国地方病学杂志,2004,23(4):362-364.
  - [13] 梁婧,陈斌,常晓燕,等.微波消解-原子荧光法测定尿中砷含量的不确定度分析[J].职业与健康,2017,33(5):619-621.
  - [14] 柴园庆.内蒙古饮水型地方性砷中毒病区居民砷的全环境暴露研究[D].北京:中国科学院大学,2016.
  - [15] 刘九君,崔娜,郭志伟,等.2009—2018 年内蒙古自治区饮水型地方性砷中毒监测结果分析[J].中华地方病学杂志,2019,38(12):971-974.
  - [16] 孙殿军.我国重点地方病主要研究问题的梳理与认识[J].中华地方病学杂志,2015,34(1):8-11.
  - [17] 陈德,张长增,王晓林,等.饮水型地方性砷中毒病区改水效果观察[J].中国地方病防治杂志,2001,16(5):292-295.
  - [18] 赵新华,沈雁峰,孙殿军,等.中国饮水型砷中毒重病区病情调查报告[J].中华地方病学杂志,2005,24(6):639-642.
  - [19] 孙殿军.应进一步加强我国地方性砷中毒现场流行病学研究[J].中华地方病学杂志,2006,25(1):1-2.
  - [20] 孙殿军,高彦辉,于光前.中国“十一五”地方性砷中毒主要防治与研究任务的探析[J].中华地方病学杂志,2006,25(1):3-5.
  - [21] 沈雁峰,孙殿军,韩贺鹏,等.2004 年度中央转移支付项目饮水型地方性砷中毒调查报告[J].中华地方病学杂志,2007,26(6):673-676.
  - [22] 张微,王骋,于光前,等.2010 年全国饮水型地方性砷中毒监测报告[J].中华地方病学杂志,2012,31(1):55-59.

收稿日期:2020-11-09 修回日期:2021-03-29 责任编辑:张文洁