

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2020.297

# 空气污染与呼吸系统疾病发病率的关系分析

汪 锋, 刘 辛

(重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044)

**摘要:** 基于2013年1月至2018年12月重庆市某医院45 380个呼吸系统疾病确诊病例的微观数据, 使用该医院多种呼吸系统疾病确诊量作为呼吸系统疾病发病率的代理变量, 与中华人民共和国生态环境部公布的城市空气质量月度报告中的重庆市各类空气污染物的月均浓度指标进行匹配, 使用计数数据泊松回归模型定量分析了城市空气质量与各类呼吸系统疾病发病率之间的统计关系。研究发现: 空气污染是呼吸系统疾病发病的重要诱因,  $PM_{2.5}$  月均质量浓度增加  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 支气管哮喘、慢性支气管炎、上呼吸道感染、社区获得性肺炎、肺气肿、慢性阻塞性肺疾病平均确诊病例数量将提高约 0.2% 至 1.1%。

**关键词:** 呼吸系统疾病; 空气污染; 泊松回归模型

中图分类号: X18

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2021)04-097-10

## The relationship of air pollution and respiratory diseases: Evidence from micro data of a hospital in Chongqing

WANG Feng, LIU Xin

(School of Economics and Business Administration, Chongqing University,  
Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** Based on the micro data of 45 380 cases of respiratory diseases in a hospital from January 2013 to December 2018, this paper uses the Poisson regression model to analyze the statistical relationship between urban air quality and the incidence of various respiratory diseases. The confirmed amount of various respiratory diseases in the hospital was used as the proxy variable of the incidence of respiratory diseases and matched with the monthly average concentration index of various air pollution of Chongqing from the monthly report of urban air quality issued by the Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. The results show that air pollution is an important inducement of respiratory diseases. When the monthly average concentration of  $PM_{2.5}$  increases by  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , the number of cases of bronchial asthma, chronic bronchitis, upper respiratory tract infection, community-acquired pneumonia, emphysema and chronic obstructive pulmonary diseases will increase by 0.2% to 1.1%.

**Keywords:** respiratory diseases; air pollution; Poisson regression model

收稿日期: 2019-12-15 网络出版日期: 2020-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(71973019); 国家社会科学基金项目(17BGL144); 中央高校基本科研业务费(NO. 2019CDSKXYJG0037)。

Supported by National Natural Science Foundation of China(71973019), National Social Science Foundation of China (17BGL144) and Fundamental Research Funds for the Central Universities (NO. 2019CDSKXYJG0037).

作者简介: 汪锋(1982—), 男, 博士, 博士生导师, 主要从事技术经济及管理研究, (E-mail) wangfeng2008@cqu.edu.cn.

中国的城市化和工业化进程不可避免地伴随着环境污染。目前中国许多城市正在遭受严重的雾霾污染。国家生态环境部通报 2018 年全国 338 个城市中有 262 个  $PM_{2.5}$  平均浓度超标,空气质量超标天数比例高达 21%。空气质量的下降对居民健康和生活质量造成严重威胁,世界卫生组织估计 2016 年的空气污染导致全世界 420 万人过早死亡<sup>[1]</sup>。大量医学研究领域的文献认为空气污染不仅会直接导致癌症、心血管疾病和呼吸系统疾病的发病率升高,而且与人口死亡率升高直接相关<sup>[2-9]</sup>。中国严重的空气污染引起了国内学术界的广泛关注,基于中国数据研究空气污染健康风险的实证研究也日益丰富<sup>[10-14]</sup>。

中国政府高度关注空气污染治理问题,2018 年 8 月全国人大修订了《中华人民共和国大气污染防治法》,国务院分别于 2018 年和 2013 年发布了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》和《大气污染防治行动计划》,并在全国范围内建设“国家环境空气质量检测网”,能够实时监测和预报各城市的空气质量。基于多年积累的城市空气污染监测数据,笔者使用 2013 年 1 月至 2018 年 12 月重庆市某医院 54 337 个呼吸系统疾病确诊病例的微观数据,通过假设该医院服务社区的人口规模在短期内没有显著的变化,使用多种呼吸系统疾病确诊量作为呼吸系统疾病发病率的代理变量,与中华人民共和国生态环境部公布的城市空气质量月度报告中的重庆各类空气污染物的月度浓度指标进行匹配,定量分析城市空气质量与各类呼吸系统疾病发病率之间的统计关系。

本文的研究一方面提供了最新的基于中国西部特大城市重庆市空气污染暴露健康风险的实证证据;另一方面,由于“国家环境空气质量检测网”提供了不同种类空气污染物浓度的详细数据,因此能够细致地评估不同种类空气污染物带来的负外部性和社会福利损失,为有针对性地制定环境政策和公共卫生政策提供准确的基础信息。

## 1 数据与样本

### 1.1 呼吸系统疾病确诊病例微观数据

本文中使用的呼吸系统疾病微观数据来源于重庆市某医院 2013 年 1 月至 2018 年 12 月确诊的呼吸系统疾病确诊病例,包括支气管哮喘、慢性支气管炎、上呼吸道感染、社区获得性肺炎、细菌性肺炎、肺气肿、慢性阻塞性肺疾病、肺恶性肿瘤。此外,作为一个对照组,非呼吸系统疾病急性心肌梗死疾病确诊病例也纳入了实证研究的微观数据之中。

所获取呼吸系统疾病微观数据的医院为重庆市主城区区域性中心医院,6 年的观测样本期间内获得了该医院 45 380 个被调查种类疾病确诊病例的详细资料。重庆市 2013 年至 2018 年年均常住人口增长率为 0.87%,增长较为缓慢,因此假设该医院服务社区的人口规模在样本期内没有显著的变化,使用某类呼吸系统疾病确诊量作为该呼吸系统疾病发病率的代理变量。由于该医院信息系统的限制,部分时间段内的呼吸系统疾病确诊病例资料无法获取。所使用的呼吸系统疾病确诊病例时间分布如表 1 所示。

表 1 重庆市某医院呼吸系统疾病确诊病例数(2013—2018)

Table 1 Case number of respiratory diseases in a hospital in Chongqing (2013—2018)

疾病类型	确诊病例数	统计时间段	
支气管哮喘	2 347	2013 年 1 月至 2018 年 12 月	
慢性支气管炎	7 002	2015 年 1 月至 2018 年 12 月	
上呼吸道感染	25 706	2013 年 1 月至 2013 年 12 月;2015 年 1 月至 2017 年 12 月	
呼吸系统 疾病	社区获得性肺炎	2 982	2013 年 1 月至 2018 年 12 月
	细菌性肺炎	130	2018 年 1 月至 2018 年 12 月
	肺气肿	4 000	2015 年 1 月至 2018 年 12 月
	慢性阻塞性肺疾病	2 149	2014 年 1 月至 2018 年 12 月
	肺恶性肿瘤	910	2013 年 1 月至 2018 年 12 月

续表 1

疾病类型		确诊病例数	统计时间段
心血管系统 疾病	急性心肌梗死	154	2013年1月至2018年12月
合计		45 380	

## 1.2 空气污染观测数据

随着城市雾霾污染在中国引起公众的高度关注,中国政府推出了新的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)、《环境空气质量评价技术规范(试行)》(HJ 663—2013),从2013年起将大气中的细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、一氧化碳日均值第95百分位(CO-95per)质量浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )、臭氧日最大8小时第90百分位(O<sub>3</sub>-8H-90per)质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )纳入日常大气环境质量监测范围,并测算城市环境空气质量综合指数。

中华人民共和国生态环境部通过其官方网站(<http://www.mee.gov.cn/>)提供了全国各城市的“全国空气质量实时发布”“城市空气质量状况月报”等官方权威空气质量地面监测数据。这一数据来源于中华人民共和国生态环境部下属的中国环境监测总站在全国范围内建设的“国家环境空气质量检测网”,包括全国338个地级以上城市(含地、州、盟所在城市)设置的监测点位1436个(其中含135个清洁对照点)。

2014年12月以后“城市空气质量状况月报”报告了各大城市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO和O<sub>3</sub>月均浓度数据,2014年12月之前虽然没有具体空气污染物的月均浓度数据,但报告了各大城市的环境空气质量综合指数,可以视为空气污染程度的综合观测变量。环境空气质量综合指数是描述城市环境空气质量综合状况的无量纲指数,它综合考虑了SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、O<sub>3</sub>六项空气污染物的污染程度,环境空气质量综合指数数值越大表明综合污染程度越重。其计算方法为首先计算各空气污染物的单项指数,计算公式为

$$I_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中: $C_i$ 为污染物 $i$ 的浓度值, $S_i$ 为污染物 $i$ 的日均值大气环境二级标准。

将上述六项空气污染物的单项指标进行加总即可得到环境空气质量综合指数

$$I_{\text{sum}} = \sum_i I_i, \quad (2)$$

式中: $I_{\text{sum}}$ 为环境空气质量综合指数, $I_i$ 污染物 $i$ 的单项指数, $i$ 包括全部六项空气污染物指标,即SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO和O<sub>3</sub>。

与目前在中国雾霾问题研究中被大量使用的卫星空间观测数据<sup>[15]</sup>相比,中国环境监测总站地面监测数据具有两大优势:第一,地面监测数据可以获得不同类型空气污染物的观测数据,从而获得空气污染物结构变化,及其与特定呼吸系统疾病关系的信息;第二,目前公布和使用的卫星空间观测数据存在一定的时滞,无法获得最新的城市空气质量情况。

使用2013年至2018年“城市空气质量状况月报”中的重庆市空气质量月度环境空气质量综合指数和2014年12月至2018年12月重庆市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO和O<sub>3</sub>月均浓度数据来衡量重庆市的空气质量情况。文中所使用的重庆市某医院呼吸系统疾病月度确诊量数据和城市空气质量月度数据的变量定义及其描述性统计如表2所示。

表 2 变量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of variables

变量	最小值	最大值	平均值	标准差	样本量	
空气污染指标	PM <sub>2.5</sub> /( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	23	127	49.35	21.33	48
	PM <sub>10</sub> /( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	43	176	75.5	25.22	48
	SO <sub>2</sub> /( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	7	27	12.79	4.32	48
	NO <sub>2</sub> /( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	31	58	45.15	6.39	48
	CO/( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	0.9	2.3	1.28	0.30	48
	O <sub>3</sub> /( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	29	209	113.71	53.77	48
	空气污染综合指数	2.95	9.43	4.81	1.18	71
疾病每月确诊病例数	支气管哮喘	7	73	32.60	13.99	72
	慢性支气管炎	14	241	145.88	63.21	48
	上呼吸道感染	109	909	535.54	188.07	48
	社区获得性肺炎	10	97	41.42	18.28	72
	细菌性肺炎	5	31	10.83	9.32	12
	肺气肿	15	142	83.33	30.14	48
	慢性阻塞性肺疾病	16	80	35.82	14.80	60
	肺恶性肿瘤	4	28	12.64	4.31	72
	急性心肌梗死	0	5	2.14	1.35	72

## 2 实证分析

为了准确地评估各类空气污染物与呼吸系统疾病发病率之间的关系,实证分析分为两步。第一步使用统计学相关性分析,寻找变量之间的统计学规律;第二步根据呼吸系统疾病确诊量的数据特征,使用计数数据泊松回归模型定量衡量城市空气污染对呼吸系统疾病发病率的影响。

### 2.1 相关性分析

样本相关系数是最为常用的衡量 2 个变量之间线性相关程度的统计指标,如式(3)所示。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) / (n-1)}{S_X S_Y}, \quad (3)$$

式中:分子为 X 和 Y 之间的样本协方差,分母为变量 X 和 Y 各自的标准差的乘积。使用相关性分析对各类呼吸系统疾病发病率与空气污染物浓度的实证结果如表 3 所示。

表 3 空气污染与呼吸系统疾病确诊量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between air pollution and respiratory diseases

	支气管哮喘	慢性支气管炎	上呼吸道感染	社区获得性肺炎	细菌性肺炎	肺气肿	慢性阻塞性肺疾病	肺恶性肿瘤	急性心肌梗死
PM <sub>2.5</sub>	0.460*** (0.001)	0.482*** (0.001)	0.205 (0.238)	0.587*** (0.000)	0.695** (0.012)	0.458*** (0.001)	0.627*** (0.000)	0.248* (0.089)	0.043 (0.772)
PM <sub>10</sub>	0.476*** (0.001)	0.462*** (0.001)	0.236 (0.172)	0.570*** (0.000)	0.690** (0.013)	0.475*** (0.000)	0.652*** (0.000)	0.267* (0.066)	0.080 (0.589)

续表 3

	支气管哮喘	慢性支气管炎	上呼吸 系统感染	社区获 得性肺炎	细菌性 肺炎	肺气肿	慢性阻塞性 肺疾病	肺恶性 肿瘤	急性心肌 梗死
SO <sub>2</sub>	0.636*** (0.000)	0.586*** (0.000)	0.164 (0.346)	0.646*** (0.000)	0.582** (0.047)	0.511*** (0.000)	0.675*** (0.000)	0.283* (0.051)	0.071 (0.633)
NO <sub>2</sub>	0.171 (0.247)	0.459*** (0.001)	0.203 (0.243)	0.353** (0.014)	0.435 (0.157)	0.531*** (0.000)	0.293** (0.044)	0.347** (0.016)	0.080 (0.589)
CO	0.462*** (0.001)	0.462*** (0.001)	0.177 (0.310)	0.555*** (0.000)	0.598** (0.040)	0.431*** (0.003)	0.534*** (0.000)	0.253* (0.083)	0.016 (0.914)
O <sub>3</sub>	-0.265* (0.069)	-0.421*** (0.003)	-0.280 (0.104)	-0.569*** (0.000)	-0.409 (0.187)	-0.371*** (0.010)	-0.347** (0.016)	-0.263* (0.071)	-0.064 (0.667)
空气污染 综合指数	0.208* (0.083)	0.480*** (0.001)	0.195 (0.190)	0.404*** (0.001)	0.795*** (0.002)	0.487*** (0.001)	0.624*** (0.000)	-0.074 (0.538)	-0.130 (0.279)

注:括号内为样本来自相关系数等于 0 的总体的概率。上标\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的置信度水平下显著。

从表 3 可以发现,空气污染物浓度与多种呼吸系统疾病发病率存在显著的正相关关系。空气污染加重时,不仅各类急性呼吸系统疾病确诊量会增加,慢性呼吸系统疾病就医确诊的数量也会增加,空气污染是呼吸系统疾病发生或病情加重的重要诱因。

具体而言,支气管哮喘、慢性支气管炎、社区获得性肺炎、细菌性肺炎、肺气肿、慢性阻塞性肺疾病、肺恶性肿瘤病患者确诊量在空气污染加重的月份会增加。但上呼吸系统感染和作为对照组的急性心肌梗死在所研究的时间段和样本中,与空气污染之间不存在统计意义上的相关关系。

臭氧污染主要由人为排放的氮氧化物和挥发性有机物在高温、日照充足、空气干燥条件下转化形成。从重庆市的月度空气污染数据来看,臭氧日最大 8 小时第 90 百分位浓度(O<sub>3</sub>-8H-90per)与其他空气污染物月均浓度之间存在显著的负相关关系,与各类呼吸系统疾病确诊量也存在负相关关系,因此不构成呼吸系统疾病发病的诱因。

### 2.2 回归分析

呼吸系统疾病确诊量是典型的计数数据(count type),只能取非负整数,为了对这类数据建模,采用考虑计数数据特性的泊松概率分布(Poisson probability distribution),构建泊松回归模型(Poisson regression model, PRM)进行估计。

泊松回归模型对空气污染与呼吸系统疾病发病率之间的关系进行回归分析,具体的模型形式为

$$y_t = E(y_t) + u_t = \lambda_t + u_t, \tag{4}$$

其中,

$$\lambda_t = E(y_t | X_t) = e^{BX} = e^{\beta_0 + \beta_1 pollution_t + \beta_2 temp_t + \beta_3 sun_t}, \tag{5}$$

则

$$Pr[Y = y_t | X] = \frac{e^{-\lambda} \lambda^{y_t}}{y_t!} = \frac{e^{-BX} \lambda^{y_t}}{y_t!}, y_t = 0, 1, 2, \dots. \tag{6}$$

式中:被解释变量  $y_t$  为所调查医院某类呼吸系统疾病月度确诊数量; $\lambda_t$  为泊松分布的参数被解释变量  $y_t$  的条件均值; $X$  为决定  $\lambda_t$  的解释变量向量,假设与呼吸系统疾病发病率相关的因素包括空气污染程度  $pollution_t$ , 以及气候因素控制变量月平均气温  $temp_t$  和日照时数  $sun_t$ 。控制变量月平均气温和日照时数的数据来源于历年《重庆市统计年鉴》和中国气象局主办的中国天气网(www.weather.com.cn)。根据相关性分析的结果,回归分析中不包括上呼吸系统感染、急性心肌梗死两类与空气污染在月度数据中不相关的疾病,同时不使用空气污染中的臭氧日最大 8 小时第 90 百分位浓度数据。

上述泊松回归模型的参数为非线性,可以通过极大似然估计方法(maximum likelihood estimate, MLE)对该非线性回归模型进行估计。重庆市  $PM_{2.5}$  月均浓度对呼吸系统疾病确诊量影响的估计结果如表 4 所示。

表 4 使用计数数据泊松回归模型的极大似然估计结果表明, $PM_{2.5}$  月均质量浓度增加  $1 \mu g/m^3$ , 当月支气管哮喘平均确诊病例数量将提高约 1.1%, 慢性支气管炎平均确诊病例数量将提高约 0.8%, 上呼吸道感染平均确诊病例数量将提高约 0.2%, 社区获得性肺炎平均确诊病例数量将提高约 0.7%, 肺气肿平均确诊病例数量将提高约 0.5%, 慢性阻塞性肺疾病平均确诊病例数量将提高约 1%。上述实证结论表明  $PM_{2.5}$  污染是呼吸系统疾病发病的重要诱因,带来较大的公共卫生风险。但在所考察的样本区间, $PM_{2.5}$  污染与细菌性肺炎、肺恶性肿瘤平均确诊数量与无关。除了肺恶性肿瘤以外,表 4 中的似然比例统计量在所有的回归结果中概率值均很低,表明模型中的解释变量能够很好的解释被解释变量各类呼吸系统疾病确诊量的变化。

表 4  $PM_{2.5}$  月均浓度对呼吸系统疾病确诊量影响的极大似然估计结果

Table 4 Maximum likelihood estimation results about  $PM_{2.5}$  and respiratory diseases

解释变量	被解释变量							
	支气管哮喘	慢性支气管炎	上呼吸系统感染	社区获得性肺炎	细菌性肺炎	肺气肿	慢性阻塞性肺疾病	肺恶性肿瘤
$PM_{2.5}$	0.011*** (0.000)	0.008*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.007*** (0.000)	0.035 (0.194)	0.005*** (0.000)	0.010*** (0.000)	0.002 (0.466)
$temp_t$	0.034*** (0.000)	0.002 (0.644)	-0.000 (0.002)	-0.005 (0.460)	-0.058 (0.278)	-0.006 (0.138)	-0.004 (0.541)	-0.001 (0.946)
$sun_t$	-0.002*** (0.002)	-0.001*** (0.007)	-0.000 (0.000)	-0.001 (0.223)	0.007** (0.003)	-0.001 (0.126)	0.001** (0.037)	-0.001 (0.467)
截距项	2.440*** (0.000)	4.629*** (0.000)	6.296*** (0.050)	3.473*** (0.000)	1.210 (0.515)	4.351*** (0.000)	2.879*** (0.000)	2.442*** (0.000)
似然比	54.206*** (0.000)	280.236*** (0.000)	40.737*** (0.000)	91.291*** (0.000)	44.828*** (0.000)	115.953*** (0.000)	65.179*** (0.000)	4.356 (0.226)
样本量	46 months	46 months	35 months	46 months	11 months	46 months	46 months	46 months

注:括号内为零假设系数等于零成立的概率值。上标\*\*、\*\*\* 分别表示在 5%、1%的置信度水平下显著。

表 5 报告了本文中涉及的所有空气污染物对呼吸系统疾病确诊量泊松回归模型的极大似然估计系数,以及系数等于零的概率值,在估计过程中使用了气候因素控制变量月平均气温  $temp_t$  和日照时数  $sun_t$ 。从表 5 的估计结果来看, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $CO$  污染以及空气污染综合指数与支气管哮喘、慢性支气管炎、上呼吸道感染、社区获得性肺炎、肺气肿和慢性阻塞性肺疾病确诊量之间的极大似然估计系数为正,且显著的异于 0,表明空气污染增加会带来上述呼吸系统疾病的确诊量的增加。 $NO_2$  污染与社区获得性肺炎、细菌性肺炎和肺恶性肿瘤以外的其他呼吸系统疾病确诊量之间也存在上述关系。虽然细菌性肺炎确诊量与单独某项空气污染物月均浓度无关,但月度空气污染综合指数能够解释细菌性肺炎确诊量的变化,表明空气污染是细菌性肺炎的致病原因之一。与上述研究结论不同,表 3 显示上呼吸道感染与各种空气污染物浓度之间不存在相关关系,但表 5 的泊松回归模型极大似然估计结果表明空气污染暴露将增加罹患上呼吸道感染的风险。表 3 显示肺恶性肿瘤确诊量与各种空气污染物浓度之间存在正相关关系,但表 5 的泊松回归模型极大似然估计结果表明空气污染暴露与罹患肺恶性肿瘤的风险无关。

表5 空气污染对呼吸系统疾病确诊量的极大似然估计结果

Table 5 Maximum likelihood estimation results about air pollution and respiratory diseases

解释变量	被解释变量:支气管哮喘					
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	空气污染综合指数
<i>pollution<sub>t</sub></i>	0.011*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.070*** (0.000)	0.022*** (0.001)	0.960*** (0.000)	0.102*** (0.000)
<i>temp<sub>t</sub></i>	0.034*** (0.000)	0.036*** (0.007)	0.039*** (0.000)	0.024*** (0.002)	0.032*** (0.000)	0.039*** (0.000)
<i>sun<sub>t</sub></i>	-0.002*** (0.002)	-0.003*** (0.001)	-0.003*** (0.000)	-0.002*** (0.006)	-0.001 (0.283)	-0.004*** (0.000)
截距项	2.440*** (0.000)	2.297*** (0.000)	2.030*** (0.000)	2.172*** (0.000)	1.649*** (0.000)	2.584*** (0.000)
似然比	54.206*** (0.000)	60.472*** (0.000)	101.114*** (0.000)	20.56*** (0.000)	60.272*** (0.000)	73.988*** (0.000)
样本量	46 months	46 months	46 months	46 months	46 months	69 months
解释变量	被解释变量:慢性支气管炎					
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	空气污染综合指数
<i>pollution<sub>t</sub></i>	0.008*** (0.000)	0.006*** (0.000)	0.051*** (0.000)	0.032*** (0.001)	0.575*** (0.000)	0.161*** (0.000)
<i>temp<sub>t</sub></i>	0.002 (0.644)	0.001 (0.869)	0.004 (0.209)	0.005 (0.180)	-0.003 (0.343)	0.001 (0.779)
<i>sun<sub>t</sub></i>	-0.001*** (0.007)	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001** (0.034)	0.000 (0.987)	-0.001*** (0.000)
截距项	4.629*** (0.000)	4.618*** (0.000)	4.348*** (0.000)	3.506*** (0.000)	4.286*** (0.000)	4.283*** (0.000)
似然比	280.236*** (0.000)	269.584*** (0.000)	418.731*** (0.000)	282.538*** (0.000)	253.595*** (0.000)	294.230*** (0.000)
样本量	46 months	46 months	46 months	46 months	46 months	46 months
解释变量	被解释变量:上呼吸道感染					
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	空气污染综合指数
<i>pollution<sub>t</sub></i>	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.006** (0.002)	0.006*** (0.000)	0.085** (0.026)	0.074*** (0.000)
<i>temp<sub>t</sub></i>	-0.000 (0.002)	0.001 (0.523)	-0.002 (0.002)	0.000 (0.970)	-0.003 (0.180)	0.017*** (0.000)
<i>sun<sub>t</sub></i>	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.669)	0.000 (0.750)	-0.002*** (0.000)
截距项	6.296*** (0.050)	6.219*** (0.000)	6.342*** (0.000)	6.083*** (0.000)	6.302*** (0.000)	5.797*** (0.000)
似然比	40.737*** (0.000)	53.894*** (0.000)	32.142*** (0.000)	39.692*** (0.000)	31.533*** (0.000)	263.523*** (0.000)
样本量	35months	35 months	35 months	35months	35 months	35 months





续表 5

解释变量	被解释变量:慢性阻塞性肺疾病					
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	空气污染综合指数
<i>pollution<sub>t</sub></i>	0.010 *** (0.000)	0.008 *** (0.000)	0.050 *** (0.000)	0.011 * (0.087)	0.757 *** (0.000)	0.200 *** (0.000)
<i>temp<sub>t</sub></i>	-0.004 (0.541)	-0.004 (0.563)	-0.008 (0.280)	-0.019 *** (0.009)	-0.010 (0.162)	0.008 (0.140)
<i>sun<sub>t</sub></i>	0.001 ** (0.037)	0.001 (0.107)	0.001 (0.123)	0.002 ** (0.022)	0.003 *** (0.000)	-0.001 (0.205)
截距项	2.879 *** (0.000)	2.798 *** (0.000)	2.854 *** (0.000)	3.179 *** (0.000)	2.421 *** (0.000)	2.463 *** (0.000)
似然比	65.179 *** (0.000)	67.135 *** (0.000)	72.814 *** (0.000)	25.655 *** (0.000)	56.004 *** (0.000)	118.767 *** (0.000)
样本量	46 months	46 months	46 months	46 months	46 months	57 months
解释变量	被解释变量:肺恶性肿瘤					
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	空气污染综合指数
<i>pollution<sub>t</sub></i>	0.002 (0.466)	0.002 (0.339)	0.016 (0.174)	0.012 (0.239)	0.084 (0.720)	-0.038 (0.285)
<i>temp<sub>t</sub></i>	-0.001 (0.946)	0.001 (0.964)	0.001 (0.936)	0.003 (0.815)	-0.003 (0.761)	0.009 (0.308)
<i>sun<sub>t</sub></i>	-0.001 (0.467)	-0.001 (0.419)	-0.001 (0.405)	-0.001 (0.508)	-0.001 (0.565)	-0.002 *** (0.011)
截距项	2.442 *** (0.000)	2.370 *** (0.000)	2.315 *** (0.000)	1.907 *** (0.002)	2.472 *** (0.000)	2.745 *** (0.000)
似然比	4.356 (0.226)	4.724 (0.193)	5.654 (0.130)	5.220 (0.156)	3.961 (0.266)	8.550 ** (0.036)
样本量	46 months	46 months	46 months	46 months	46 months	69 months

注:括号内为零假设系数等于零成立的概率值。上标\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的置信度水平下显著。

### 3 结 论

定量评估了空气污染与各类呼吸系统疾病发病率之间统计关系,得到的主要结论如下:

1) 空气污染是呼吸系统疾病发病的重要诱因之一,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 污染以及空气污染综合指数与支气管哮喘、慢性支气管炎、上呼吸道感染、肺炎、肺气肿和慢性阻塞性肺疾病之间存在明确的统计相关性,空气污染加重会显著地增加罹患上述呼吸系统疾病的可能性。

2) 肺恶性肿瘤、急性心肌梗死两种疾病与各类空气污染浓度之间不存在统计意义上的联系,在本文的研究样本区间内,空气污染不会增加上述两种疾病的确诊病例数量。

3) 以 PM<sub>2.5</sub> 为例,重庆市 PM<sub>2.5</sub> 月均质量浓度增加 1 μg/m<sup>3</sup>,支气管哮喘、慢性支气管炎、上呼吸道感染、社区获得性肺炎、肺气肿、慢性阻塞性肺疾病平均确诊病例数量将提高约 0.2%~1.1%。

基于重庆市某医院四万五千多个呼吸系统疾病确诊病例微观数据的实证研究表明空气污染与罹患呼吸系统疾病的风险高度相关,考虑到中国 2018 年全年高达 6 万亿的医疗卫生费用支出,大力治理空气污染,降低空气中的污染物浓度将减少大量的呼吸系统疾病治疗费用支出,带来显著的社会效益和经济效益。

## 参考文献:

- [1] World Health Organization. Ambient (outdoor) air quality and health [EB/OL]. 2018(2018-5-2) [2019-11-15]. [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [2] Bai N, Khazaei M, Eeden S F V, et al. The pharmacology of particulate matter air pollution-induced cardiovascular dysfunction [J]. *Pharmacology & Therapeutics*, 2007, 113(1):16-29.
- [3] Katanoda K, Sobue T, Satoh H, et al. An association between long-term exposure to ambient air pollution and mortality from lung cancer and respiratory diseases in Japan [J]. *Journal of Epidemiology*, 2011, 21(2):132-143.
- [4] Raaschou-Nielsen O, Andersen Z J, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) [J]. *The Lancet Oncology*, 2013, 14(9):813-822.
- [5] Shah A S, Langrish J P, Nair H, et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis [J]. *The Lancet*, 2013, 382(9897):1039-1048.
- [6] Beatty T K M, Shimshack J P. Air pollution and children's respiratory health: a cohort analysis [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2014, 67(1):39-57.
- [7] Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project [J]. *The Lancet*, 2014, 383(9919):785-795.
- [8] Lelieveld J, Evans J S, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale [J]. *Nature*, 2015, 525(7569):367-371.
- [9] Liu C, Chen R J, Francesco S, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2019, 381(8):705-715.
- [10] Chen Y Y, Ebenstein A, Greenstone M, et al. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River Policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(32):12936-12941.
- [11] Ebenstein A, Fan M, Greenstone M, et al. New evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River Policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(39):10384-10389.
- [12] Barwick P J, Li S, Rao D, et al. The morbidity cost of air pollution: evidence from consumer spending in China [J/OL]. *Social Science Electronic Publishing*, 2018[2019-09-25]. <https://www.nber.org/papers/w24688>
- [13] Zhang X, Chen X, Zhang X B. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(37):9193-9197.
- [14] Zhang L Q, Liu W W, Hou K, et al. Air pollution-induced missed abortion risk for pregnancies [J]. *Nature sustainability*, 2019, 2(11):1011-1017.
- [15] van Donkelaar A, Martin R V, Brauer M, et al. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2015, 123(2):135-143.

(编辑 郑洁)