

· 论 著 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2020.22.002

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20200925.1510.004.html\(2020-09-25\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20200925.1510.004.html(2020-09-25))

重庆市主城区区域 2014—2018 年大气污染物 PM_{2.5} 对居民呼吸系统疾病死亡影响的时间序列研究*

王子豪,沈卓之,吴芸芸,向新志,丁贤彬

(重庆市疾病预防控制中心 400042)

[摘要] **目的** 分析重庆市 5 个主要城区细颗粒物(PM_{2.5})对居民呼吸系统疾病死亡的影响。**方法** 收集重庆市 5 个城区 2014 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日 PM_{2.5} 日均浓度、呼吸系统疾病死亡数据和气象监测数据。采用广义相加模型,控制长期趋势、气象因素及星期几效应等混杂因素,分析 PM_{2.5} 单独暴露及其与二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)联合暴露时对全人群及不同性别人群呼吸系统疾病死亡的急性效应。**结果** 2014—2018 年重庆市 5 个城区 PM_{2.5} 日均浓度为 51.08 μg/m³。单污染模型显示,PM_{2.5} 对全人群呼吸系统疾病死亡的影响在滞后 2 d 时最大,其浓度每升高 10 μg/m³ 导致全人群呼吸系统疾病死亡率增加 0.98%(95%CI:0.28%~1.69%);女性、男性分别在滞后 1 d 和 2 d 时效应最大,PM_{2.5} 对女性呼吸系统疾病死亡率的影响高于男性,其浓度每升高 10 μg/m³ 对应的死亡率分别增加 1.45%(95%CI:0.40%~2.52%)、0.88%(95%CI:0.05%~1.71%)。多污染模型显示,分别校正 SO₂、NO₂、CO 及全部污染物后,PM_{2.5} 对男性呼吸系统疾病死亡率的影响消失,而对女性呼吸系统疾病死亡率的效应增高,在全污染模型中 PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 导致女性死亡率增加 2.11%(95%CI:0.57%~3.67%)。**结论** 重庆市主要城区 PM_{2.5} 浓度升高导致呼吸系统疾病死亡率增加,对女性呼吸系统疾病死亡的急性效应更强。

[关键词] 细颗粒物;呼吸系统疾病;死亡;性别差异;广义相加模型;时间序列分析

[中图分类号] R56;X513

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2020)22-3688-05

Impact of atmospheric pollutant PM_{2.5} on deaths from respiratory diseases in the main urban areas of Chongqing from 2014 to 2018: a time-series study*

WANG Zihao, SHEN Zhuozhi, WU Yunyun, XIANG Xinzhi, DING Xianbin

(Chongqing Center for Disease Control and Prevention, Chongqing 400042, China)

[Abstract] **Objective** To analyse the impact of fine particulate matter (particulate matter with an aerodynamic diameter less than or equal to 2.5 μm, PM_{2.5}) on deaths from respiratory diseases of residents in five typical urban areas of Chongqing. **Methods** The average daily concentration of PM_{2.5}, respiratory system death data and meteorological monitoring data from January 1, 2014 to December 31, 2018 in five urban areas of Chongqing were collected. The generalized additive model was used to adjust confounding factors, including the long-term trend, meteorological conditions and day-of-week effects, and the acute effects of exposure to PM_{2.5} and PM_{2.5} combined with SO₂, NO₂ and CO on deaths from respiratory diseases of general population of Chongqing and different genders were analysed. **Results** The average daily concentration of PM_{2.5} in the five urban areas in Chongqing from 2014 to 2018 was 51.08 μg/m³. The single pollutant model revealed that the impact of PM_{2.5} on deaths from respiratory diseases in the whole population was the greatest lagging 2 d, and increasing the PM_{2.5} concentration by 10 μg/m³ resulted in a 0.98%(95%CI:0.28%—1.69%) increase in the mortality of respiratory diseases. The impact of PM_{2.5} on deaths from respiratory diseases in females and males was the greatest lagging 1 d and 2 d, respectively. The impact of PM_{2.5} on deaths from respiratory diseases in females was higher than that in males, of which the mortality was increased by 1.45%(95%CI:0.40%—2.52%) and 0.88%(95%CI:0.05%—1.71%) respectively while the PM_{2.5} concentration increased by 10 μg/m³. The combinational model indicated that after adjusting for SO₂, NO₂, CO and other air pollutants, the

* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目重点项目(2018ZDXM006)。 作者简介:王子豪(1982—),主治医师,本科,主要从事环境卫生、职业卫生研究。

impact of $PM_{2.5}$ on the mortality of respiratory diseases of males was reduced to a negligible level, while the impact on mortality in females was increased. The mortality of respiratory diseases in females was increased by 2.11% (95% CI: 0.57%–3.67%), when the $PM_{2.5}$ concentration increased by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the all-pollutant model.

Conclusion The increase of $PM_{2.5}$ concentration in the five typical urban areas of Chongqing would lead to an increase in the mortality of respiratory diseases of the residents, and the acute effects might be more severe on female populations.

[Key words] particulate matter 2.5; respiratory disease; death; gender differences; generalized additive model; time-series analysis

随着社会发展,大气颗粒物污染对人群健康的影响已成为备受关注的公共卫生问题。2017 年《全球疾病负担评估》显示,大气颗粒物污染为排名第 5 位的健康危险因素^[1],中国归因于大气颗粒物污染的死亡人数约为 85 万,健康寿命损失年约为 2 000 万年^[2]。细颗粒物($PM_{2.5}$)是大气颗粒污染物的主要成分,由于其颗粒小,更容易深入肺部刺激肺泡壁,对肺功能造成严重损伤^[3]。近年来,多项流行病学研究表明, $PM_{2.5}$ 急性暴露与各种呼吸系统疾病的发病及死亡密切相关^[4-6]。重庆作为中国西部唯一的直辖市,人口密集、工业发达,并且位于四川盆地东南部,以山地地形为主,气候潮湿,不利于大气污染物扩散,城市大气污染问题备受关注,但关于 $PM_{2.5}$ 健康效应的相关研究资料匮乏。本文采用广义相加模型的时间序列分析方法,定量评估 2014—2018 年重庆市 5 个城区 $PM_{2.5}$ 污染对居民呼吸系统疾病死亡的影响,为制订大气污染相关的健康防控策略提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 研究地区

本研究覆盖重庆市 5 个主要城区,包括渝中区、沙坪坝区、南岸区、九龙坡区和江北区。这些区域人口密集、经济发达,对重庆市城区污染及暴露情况具有良好代表性。

1.1.2 死因监测资料

上述 5 个主要城区 2014—2018 年死因个案资料来源于重庆市疾病预防控制中心死因监测系统,主要包括性别、死亡日期、出生日期、根本死因等变量。根本死因以国际疾病分类第 10 版(ICD-10)进行编码,提取根本死因为呼吸系统疾病(J00~J99)的个案,对死亡日期进行汇总,计算 5 个城区每日呼吸系统疾病死亡总人数。考虑不同性别人群在生理、心理及社会行为特点等方面均存在差异,本文按照性别进行分层。

1.1.3 环境与气象监测资料

上述 5 个主要城区 2014—2018 年逐日空气污染物监测数据来源于重庆市环境保护局,主要包括 $PM_{2.5}$ 、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、一氧化碳(CO)等变量,覆盖 5 个主要城区的 17 个国控环保监

测站点,计算所有监测站点污染物浓度的日均值并纳入分析。气象监测数据来源于重庆市气象局,主要包括日平均温度($^{\circ}\text{C}$)、日平均相对湿度(%)、日平均气压(hPa)和日平均风速(m/s)。

1.2 方法

1.2.1 描述性分析与相关性分析

对重庆市 5 个主要城区呼吸系统疾病死因数据、大气污染数据及气象数据进行描述性分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 、百分位数(P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75})、最大值和最小值等进行描述,采用 Spearman 秩相关进行变量间相关性分析。

1.2.2 统计模型构建

本研究采用广义相加模型分析 $PM_{2.5}$ 对居民呼吸系统疾病死亡的急性效应。相对于总人口而言,居民每日因呼吸系统疾病死亡为小概率事件,服从泊松分布。考虑到日死亡人数的过分散问题,采用类泊松分布作为连接函数。基本公式如下: $\log[E(Y_t)] = \alpha + \beta X_t + ns(t, df) + s(Z_t, df) + DOW$ 。其中, $E(Y_t)$ 为第 t 天呼吸系统疾病死亡人数的期望值; α 为截距项; X_t 为第 t 天大气污染物浓度; β 为大气污染物的回归系数; $ns(t, df)$ 为时间的平滑样条函数,用于控制长期趋势和季节效应; $s(Z_t, df)$ 为气象监测数据(包括日平均温度、相对湿度、气压、风速)的平滑样条函数,用以控制气象条件的影响; df 为各变量对应的自由度; DOW 为控制星期几效应的哑变量。参考现有研究^[7-8],时间自由度为 7,日平均温度、相对湿度、气压、风速的自由度为 3。

单污染物模型只纳入 $PM_{2.5}$,考虑大气污染物的滞后效应,对单日滞后 0~6 d 分别进行分析。在单污染物模型的基础上,选择最大滞后效应对应的滞后时间,分别纳入 SO_2 、 NO_2 、CO 及全部污染物,拟多污染物模型,比较单污染物模型和多污染物模型健康效应结果的差异,以分析其他大气污染物对 $PM_{2.5}$ 健康效应的影响。本研究以 $PM_{2.5}$ 日均浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,死亡人数的相对危险度(RR , $RR = e^{\beta}$)、超额危险度[ER , $ER = (RR - 1) \times 100\%$]及其 95% 置信区间(95% CI)作为效应指标。数据整理及统计分析使用 R3.6.0 软件,通过 mgcv 软件包拟合广义相加模型。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

为验证模型的稳定性,本研究改变了样条函数自由度,增加或减少其他气象因素,以及改变样条函数类型,结果趋势一致,显示对模型最终结果无较大影响。

2 结 果

2.1 呼吸系统疾病死亡、大气污染物和气象因素的一般情况

2014 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日,重庆市 5 个城区呼吸系统疾病死亡人数共计 21 042 人,平均每天 11.53 人,其中男性死亡 13 262 人,平均每天 7.26 人,女性死亡 7 780 人,平均每天 4.26 人;大气污染物:PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 日均浓度分别为 51.08 μg/m³、14.65 μg/m³、43.26 μg/m³、1.02 mg/m³;气象因素:日平均气压、温度、相对湿度、风速分别为 983.31

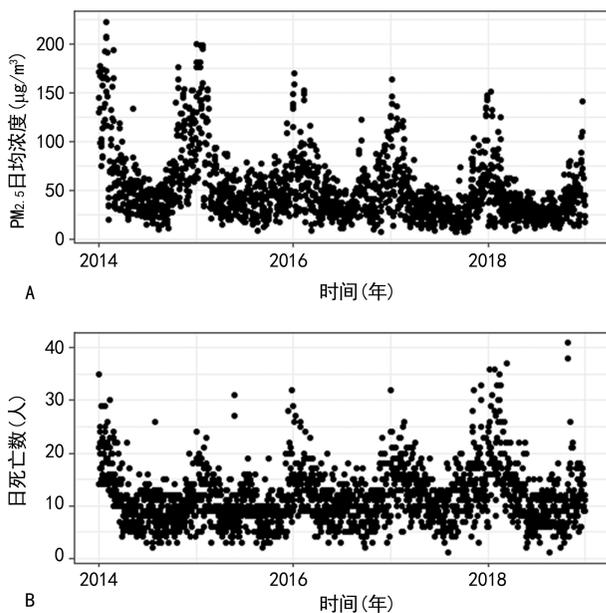
hPa、19.35 °C、75.76%、1.33 m/s。2014—2018 年重庆市 5 个城区居民呼吸系统疾病日死亡数、大气污染物和气象因素一般情况见表 1。PM_{2.5} 日均浓度与呼吸系统疾病日死亡数均存在季节周期性,表现为冬春季数值高、夏秋季数值低,且 PM_{2.5} 日均浓度总体有下降趋势,见表 1、图 1。

2.2 相关性分析

对呼吸系统疾病日死亡数、大气污染物浓度及气象因素进行相关性分析,结果显示,日死亡数与 PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO、日平均气压呈正相关($P < 0.05$),与日平均温度、风速呈负相关($P < 0.05$);各大气污染物浓度与日平均气压呈正相关($P < 0.05$),与日平均温度、风速呈负相关($P < 0.05$),见表 2。

表 1 2014—2018 年重庆市 5 个城区居民呼吸系统疾病日死亡数、大气污染物和气象因素概况

变量	平均值($\bar{x} \pm s$)	最小值	P_{25}	P_{50}	P_{75}	最大值
日死亡人数(人)						
全人群	11.53±5.34	1	8	11	14	41
男性	7.26±3.66	0	5	7	9	30
女性	4.26±2.68	0	2	4	6	18
大气污染物						
PM _{2.5} (μg/m ³)	51.08±33.76	7.47	28.77	41.75	62.51	222.44
SO ₂ (μg/m ³)	14.65±9.59	3.78	8.80	12.00	16.78	92.67
NO ₂ (μg/m ³)	43.26±12.63	13.33	34.06	41.96	51.07	94.79
CO(mg/m ³)	1.02±0.27	0.43	0.83	0.99	1.17	2.46
气象因素						
日平均气压(hPa)	983.31±8.51	963.10	976.30	982.95	989.90	1 012.30
日平均温度(°C)	19.35±7.72	1.20	12.40	19.55	25.00	36.50
日平均相对湿度(%)	75.76±11.38	38.00	68.00	77.00	84.75	97.00
日平均风速(m/s)	1.33±0.37	0.3	1.1	1.3	1.5	3.7



A:PM_{2.5} 日均浓度;B:呼吸系统疾病日死亡数。

图 1 2014—2018 年重庆市呼吸系统疾病日死亡数与 PM_{2.5} 日均浓度的时间趋势

2.3 单污染物模型分析

控制时间趋势、气压、温度、相对湿度、风速及星期几效应,分析不同滞后时间 PM_{2.5} 对居民呼吸系统疾病死亡的影响,见图 2。在全人群中,PM_{2.5} 在滞后 1~3 d 时对呼吸系统疾病死亡存在影响,其中滞后 2 d 时效应最大,其日均浓度每升高 10 μg/m³,全人群呼吸系统疾病死亡率增加 0.98% (95% CI: 0.28%~1.69%);在男性中,PM_{2.5} 仅在滞后 2 d 时存在效应,其日均浓度每升高 10 μg/m³,男性呼吸系统疾病死亡率增加 0.88% (95% CI: 0.05%~1.71%);在女性中,PM_{2.5} 在滞后 1、2 d 时对呼吸系统疾病死亡率存在影响,其中滞后 1 d 时效应最大,其日均浓度每升高 10 μg/m³,女性呼吸系统疾病死亡率增加 1.45% (95% CI: 0.40%~2.52%)。

2.4 多污染物模型分析

在单污染模型的基础上,选择各人群对应的最大滞后效应,分别纳入 SO₂、NO₂、CO 及全部污染物建立双污染物模型及全污染模型,见图 3。在全人群中,校正 CO 后,PM_{2.5} 对呼吸系统疾病死亡的影响改变不

大,当 PM_{2.5} 日均浓度每升高 10 μg/m³,全人群呼吸系统疾病死亡率增加 0.98%(95%CI:0.13%~1.85%);分别校正 SO₂、NO₂ 及全部污染物的影响时,PM_{2.5} 效应降低且效应值无统计学意义。在男性中,校正 SO₂、NO₂、CO 及全部污染物,PM_{2.5} 效应降低且均无统计

学意义。在女性中,校正 SO₂、NO₂、CO 及全部污染物后,PM_{2.5} 效应增强且均有统计学意义;在全污染模型中 PM_{2.5} 日均浓度每升高 10 μg/m³,女性呼吸系统疾病死亡率增加 2.11%(95%CI:0.57%~3.67%)。

表 2 2014—2018 年重庆市 5 个城区居民呼吸系统疾病日死亡数、大气污染物浓度和气象因素相关性分析

	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO	日平均气压	日平均温度	日平均相对湿度	日平均风速
日死亡数	0.18 ^a	0.09 ^a	0.14 ^a	0.13 ^a	0.26 ^a	-0.39 ^a	0.03	-0.08 ^a
PM _{2.5}	1.00	0.69 ^a	0.65 ^a	0.74 ^a	0.38 ^a	-0.40 ^a	-0.04	-0.30 ^a
SO ₂		1.00	0.45 ^a	0.56 ^a	0.24 ^a	-0.22 ^a	-0.32 ^a	-0.18 ^a
NO ₂			1.00	0.53 ^a	0.32 ^a	-0.28 ^a	-0.12 ^a	-0.35 ^a
CO				1.00	0.36 ^a	-0.42 ^a	0.26 ^a	-0.36 ^a
日平均气压					1.00	-0.87 ^a	0.32 ^a	-0.26 ^a
日平均温度						1.00	-0.41 ^a	0.24 ^a
日平均相对湿度							1.00	-0.22 ^a
日平均风速								1.00

^a:P<0.05。

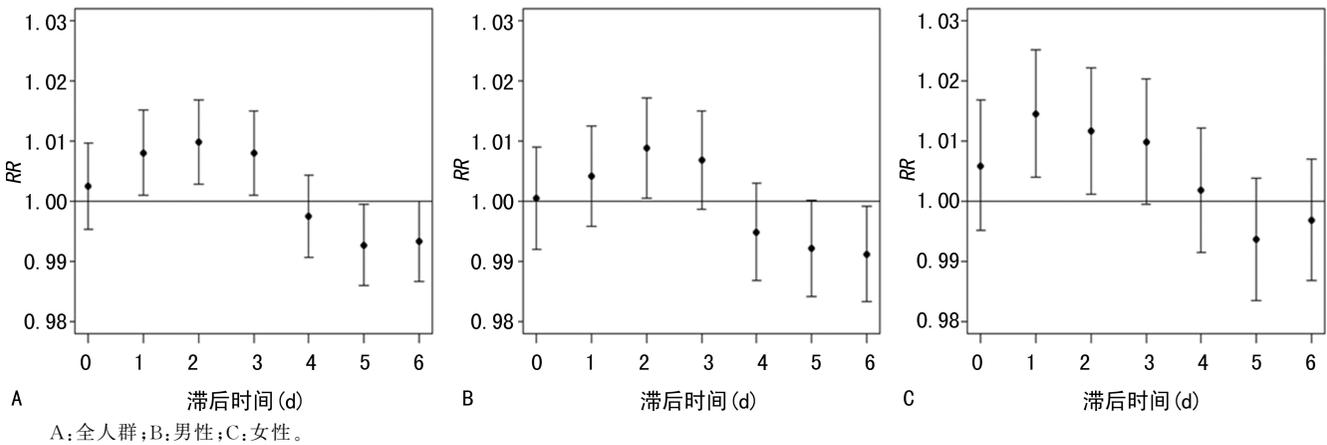


图 2 单污染模型中 PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 不同人群呼吸系统疾病死亡的 RR 值

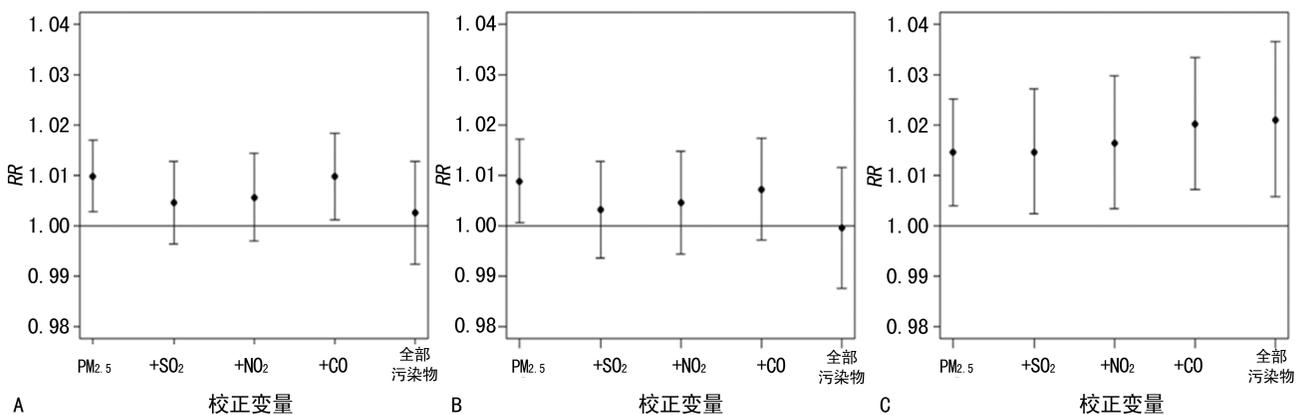


图 3 多污染模型中 PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 不同人群呼吸系统疾病死亡的 RR 值

3 讨论

本研究对 2014—2018 年重庆市 5 个主要城区进行时间序列分析,探讨 PM_{2.5} 暴露对居民呼吸系统疾病死亡的急性影响。本研究结果显示,重庆市 5 个城区 PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 日均浓度分别为 51.08 μg/m³、14.65 μg/m³、43.26 μg/m³、1.02 μg/m³,依据国

家《环境空气质量标准》(GB3095-2012)^[9] 年平均浓度限值,SO₂、CO 在一级浓度限值范围内,而 PM_{2.5}、NO₂ 超过二级浓度限制。PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 导致全人群呼吸系统疾病死亡率增加 0.98%(95%CI:0.28%~1.69%),与兰州市研究结果 0.96%(95%CI:0.45%~1.47%)^[10] 基本一致。重

庆市数据分析的结果略高于其他地区的类似研究。一项基于中国 22 个城市大气污染健康效应的文献综述显示,PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 呼吸系统疾病死亡率升高 0.75% (95% CI: 0.39% ~ 1.11%)^[11]。成都地区结果显示,PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³ 呼吸系统疾病死亡率增加 0.31% (95% CI: 0.10% ~ 0.52%)^[12]。各项研究 PM_{2.5} 效应强度的差异可能与研究地区人口结构、大气污染物浓度、颗粒物组成、气象条件等因素有关。

本研究结果显示,PM_{2.5} 对女性呼吸系统疾病死亡的影响大于男性,与一项基于上海市的研究结果一致^[13]。主要原因可能是空气污染对非吸烟者的效应大于吸烟者^[14],而重庆市男性吸烟率高于女性^[15],因此对女性效应更强;其次,女性气道反应性一般高于男性,并且女性主要采用胸式呼吸,与男性主要采用的腹式呼吸相比,更容易导致颗粒物在肺内沉积^[16]。

为评价多种大气污染物暴露时 PM_{2.5} 对居民呼吸系统疾病死亡的影响,本研究拟合了多污染模型。在分别校正 SO₂、NO₂、CO 及全部污染物后,PM_{2.5} 对男性呼吸系统疾病死亡的影响消失,而对女性死亡率的效应增高。这说明除 PM_{2.5} 外,SO₂、NO₂、CO 等其他污染物对男性呼吸系统疾病死亡的联合效应不容忽视;而相较于其他大气污染物,女性对 PM_{2.5} 更为敏感,PM_{2.5} 可能是引起女性呼吸系统疾病死亡的独立危险因素。

综上所述,本研究对 2014—2018 年重庆市 5 个主要城区死亡及环境数据进行分析,提示 PM_{2.5} 急性暴露增加居民呼吸系统疾病死亡风险,女性更为易感。这是对我国西南地区 PM_{2.5} 急性效应研究结果的补充,可为相关环境政策的制定提供依据。

参考文献

- [1] COHEN A J, BRAUER M, BURNETT R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015[J]. *Lancet*, 2017, 389(10082): 1907-1918.
- [2] Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD 2017, ambient particulate matter pollution, both sexes, all ages, 2017, deaths/DALYs [EB/OL]. (2020-02-07) [2020-03-16]. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>.
- [3] XING Y F, XU Y H, SHI M H, et al. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8(1): E69-74.
- [4] REN M, FANG X, LI M, et al. Concentration-response relationship between PM_{2.5} and daily respiratory deaths in China: a systematic review and metaregression analysis of time-series studies [J]. *Biomed Res Int*, 2017(2017): 5806185.
- [5] 陈晨, 孙志颖, 孙庆华, 等. 2013—2015 年大气 PM_{2.5} 持续高暴露对中国 40 个区/县人群死亡的影响 [J]. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(1): 76-80.
- [6] 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.
- [7] 陈志永, 陈小岳, 董慧斌, 等. 常州市大气细颗粒物对老年人死亡影响的时间序列研究 [J]. *现代预防医学*, 2019, 46(7): 1181-1185.
- [8] CHEN F, DENG Z, DENG Y, et al. Attributable risk of ambient PM₁₀ on daily mortality and years of life lost in Chengdu, China [J]. *Sci Total Environ*, 2017(581/582): 426-433.
- [9] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准: GB3095-2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [10] 王任洪. 兰州市大气污染与呼吸、循环系统疾病死亡的时间序列分析 [D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [11] LU F, XU D, CHENG Y, et al. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population [J]. *Environ Res*, 2015, 136: 196-204.
- [12] 曾婕, 刘睿聪, 陈剑宇, 等. 成都市 PM_{2.5} 水平与人群呼吸系统疾病死亡的时间序列研究 [J]. *江苏预防医学*, 2017, 28(2): 144-146.
- [13] 牟喆, 耿福海, 叶晓芳, 等. 上海市大气污染对不同特征居民呼吸疾病就诊人数影响 [J]. *中国公共卫生*, 2016, 32(4): 513-516.
- [14] POPE C A, BURNETT R T, TURNER M C, et al. Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationships [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(11): 1616-1621.
- [15] 沈卓之, 丁贤彬, 毛德强, 等. 重庆市 2014 年成年人吸烟、戒烟行为及认知现状调查 [J]. *中华流行病学杂志*, 2015, 36(11): 1236-1243.
- [16] CLOUGHERTY J E. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology [J]. *Cien Saude Colet*, 2011, 16(4): 2221-2238.