

中国大气PM_{2.5}短期暴露对心血管疾病死亡率影响的meta分析

王欣, 张星光, 高成花, 方鑫

内蒙古医科大学公共卫生学院, 内蒙古 呼和浩特 010110

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20384

摘要:

[背景] 细颗粒物 (PM_{2.5}) 作为大气颗粒物中的主要污染成分, 与心血管疾病的发生发展密切相关。

[目的] 探讨中国大气PM_{2.5}浓度对心血管疾病死亡率影响的短期效应。

[方法] 以“PM_{2.5} (fine particulate matter)”“大气颗粒物 (ambient particulate matters)”“心血管疾病 (cardiovascular disease)”及“死亡 (mortality)”为关键词, 检索万方、维普、中国知网、PubMed数据库, 纳入2000年1月1日—2020年4月22日期间研究中国大气PM_{2.5}浓度与心血管疾病死亡率关系的文献。以PM_{2.5}质量浓度每增加10 μg·m⁻³人群心血管疾病死亡率增加的百分比 (ER值) 为效应指标, 短期效应定义为<7 d的效应。采用Stata 15.0软件进行meta分析。

[结果] 共检索到581篇文献, 最终符合纳入条件的文献18篇。采用随机效应模型对纳入的文献进行合并, 发现PM_{2.5}质量浓度每增加10 μg·m⁻³, 心血管疾病死亡率增加0.51% (95% CI: 0.37%~0.65%), I²=80.2%。亚组分析依据PM_{2.5}年平均浓度分组后, PM_{2.5}质量浓度≥75 μg·m⁻³组异质性明显降低, 不同研究方法、效应类型分组的异质性结果及敏感性检验结果均无明显改变。Egger's检验P<0.05, 存在发表偏倚。

[结论] PM_{2.5}质量浓度升高可能会增加人群心血管疾病死亡率。

关键词: PM_{2.5}; 心血管疾病; 死亡率; 短期暴露; meta分析

Effect of short-term atmospheric PM_{2.5} exposure on cardiovascular mortality in China: A meta-analysis WANG Xin, ZHANG Xingguang, GAO Chenghua, FANG Xin (School of Public Health, Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia 010110, China)

Abstract:

[Background] Fine particulate matter (PM_{2.5}), the main pollution component of atmospheric particulate matters, is closely related to the occurrence and development of cardiovascular disease.

[Objective] This study is designed to investigate the short-term effect of atmospheric PM_{2.5} concentration on cardiovascular mortality in China.

[Methods] The databases of Wanfang, VIP, China National Knowledge Infrastructure, and PubMed were searched for the literature reporting a relationship between PM_{2.5} concentration and cardiovascular disease mortality in China since January 1, 2000–April 22, 2020 using fine particulate matter, ambient particulate matters, cardiovascular disease, and mortality as key words in either Chinese or English. The percentage of cardiovascular disease mortality (ER) with each increase of 10 μg·m⁻³ PM_{2.5} was used as the effect index. A short-term effect was defined as <7 d continuous exposure to any index pollutant. Stata 15.0 software was used for meta-analysis.

[Results] A total of 581 articles were retrieved, and 18 articles were finally included according to inclusion and exclusion criteria. The random effect model showed that for every 10 μg·m⁻³ increase in PM_{2.5}, the mortality rate of cardiovascular disease increased by 0.51% (95% CI: 0.37%–0.65%), I²=80.2%. After subgrouping PM_{2.5} annual average concentrations, the heterogeneity of the concentration ≥75 μg·m⁻³ group decreased significantly, and the heterogeneity results of the subgroups of different methods and lag effects and the sensitivity test results were found no significantly change. Egger's test results indicated publication bias (P<0.05).

[Conclusion] Higher PM_{2.5} concentrations may increase the mortality of cardiovascular disease.

Keywords: PM_{2.5}; cardiovascular disease; mortality; short-term exposure; meta-analysis

作者简介

王欣 (1995—), 女, 硕士生;
E-mail: 18047823906@163.com

通信作者

方鑫, E-mail: 18686066179@163.com

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-08-09

录用日期 2020-12-03

文章编号 2095-9982(2021)01-0017-06

中图分类号 R12

文献标志码 A

引用

王欣, 张星光, 高成花, 等. 中国大气PM_{2.5}短期暴露对心血管疾病死亡率影响的meta分析[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(1): 17-22.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20384

Correspondence to

FANG Xin, E-mail: 18686066179@163.com

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2020-08-09

Accepted 2020-12-03

To cite

WANG Xin, ZHANG Xingguang, GAO Chenghua, et al. Effect of short-term atmospheric PM_{2.5} exposure on cardiovascular mortality in China: A meta-analysis[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(1): 17-22.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20384

PM_{2.5}是指空气动力学直径≤2.5 μm的颗粒物,又称为细颗粒物,主要来自燃料燃烧、机动车尾气排放、工业生产活动和扬尘等。PM_{2.5}中的可溶性成分及超细颗粒物可穿过肺间质进入血液循环,从而对全身健康产生影响^[1]。大量研究显示,长期或短期暴露于不同浓度的PM_{2.5},可增加心血管事件的发生和死亡风险,且没有安全阈值^[2]。2013—2017年我国PM_{2.5}年平均浓度总体呈下降趋势,但2017年全国范围内PM_{2.5}年平均浓度仍超过环境空气质量标准(35 μg·m⁻³)^[3]。据估计,2016年有1 790万人死于心血管疾病,占全球死亡人数的31%^[4]。近年来,我国心血管疾病患病率持续上升,心血管疾病患者超过2.9亿^[5]。2017年我国因大气污染导致心血管疾病过早死亡人数为77万(95% CI: 52万~101万),占全国心血管疾病死亡人数的19.4%,其中PM_{2.5}对全国心血管过早死亡人数的平均贡献率为11.7% [9万(95% CI: 6万~11万)]^[6]。本研究收集国内大气PM_{2.5}暴露与心血管疾病死亡关系的文献进行meta分析,为大气PM_{2.5}对居民健康影响的危险度评估提供循证依据。

1 材料与方法

1.1 检索策略

中文文献检索:以“(SU=PM_{2.5} OR SU=大气颗粒物) AND SU=心血管系统疾病 AND SU=死亡”为检索式,检索中国知网、万方、维普数据库。英文文献检索:以“fine particulate matter [Mesh] or ambient particulate matters [Mesh] and cardiovascular disease [Mesh] and mortality [Mesh]”为检索词,检索时间为2000年1月1日—2020年4月22日,检索PubMed数据库。此外通过追溯相关文献的参考文献,收集近年来关于大气PM_{2.5}暴露对心血管疾病影响的流行病学研究文献。

1.2 文献及数据筛选

1.2.1 纳入标准 (1) 研究内容为我国大气PM_{2.5}对心血管疾病死亡的影响;(2) 研究PM_{2.5}的短期效应,即持续时间不超过7d所产生的效应^[7];(3) 研究PM_{2.5}浓度,而非PM_{2.5}中的某种成分;(4) 心血管疾病死因归类参照《国际疾病分类》第十版中的I00~I99;(5) 研究对象为全人群;(6) 研究方法为时间序列研究或病例交叉研究;(7) 文献中包含PM_{2.5}对人群心血管疾病死亡风险的RR、OR、ER及95% CI;(8) 同一研究期间、地点和人口中有两篇及以上的文章具有相同的污染物、健康结果和数据来源,选择最近发表的文章。

1.2.2 排除标准 (1) 动物研究、体外毒理学研究、综述及评论文章;(2) 研究持续时间不到一年;(3) 原文无原始数据;(4) 研究结局为心血管系统单一疾病死亡;(5) PM_{2.5}长期暴露对人群心血管疾病产生的慢性死亡效应的文献;(6) 缺乏研究年份的文章。

1.2.3 滞后天数选择 空气污染对健康影响的短期效应是暴露后不同滞后时间(以d为单位)的健康影响,不同文献报告的滞后天数不同,本研究采取以下方法来选择滞后天数纳入分析。若文章只报告一个滞后结果,将该结果纳入数据分析中。若文章包含两个及以上滞后结果,选择有统计学意义、效应估计值最大的滞后结果^[8]。当单一城市研究与多城市研究的时间和地点重复时,剔除单一城市研究。

1.3 效应指标

以大气PM_{2.5}质量浓度每增加10 μg·m⁻³时人群心血管疾病死亡率增加的百分比(ER值)为效应指标。若文献中得到的是β或RR,可通过公式 $RR=\exp(\beta)$ 和 $ER=(RR-1)\times 100\%$ 转换为ER^[9]。

1.4 统计学分析

文献收集及管理使用EndNote X7,文献数据提取后采用Excel 2016建立数据库。使用Stata 15.0软件进行meta分析,若异质性结果 $I^2\geq 50\%$,则认为多个独立研究异质性较大,采用随机效应模型,否则采用固定效应模型计算合并统计量。若存在异质性,则进行亚组分析及敏感性分析。采用漏斗图及Egger's检测发表偏倚。异质性分析以α=0.1为检验水准,其余检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 纳入文献基本情况

根据上述文献检索方式共检索到581篇文献,依据纳入排除及数据筛选标准共纳入18篇文献(见图1),中文9篇,英文9篇,包含20个研究城市。纳入文献显示PM_{2.5}对心血管疾病过早死亡有一定影响(ER>0),但有1篇文献过早死亡风险无统计学意义,其ER的95% CI包含0(见表1)。

2.2 异质性检验

异质性检验显示本研究纳入的文献间存在较高的异质性(Q=95.96, P<0.1, I²=80.2%),故采用随机效应模型合并,合并后RR(95% CI)=1.005 1(1.003 7~1.006 5),即大气PM_{2.5}质量浓度每增加10 μg·m⁻³,人群心血管疾病死亡率增加0.51%(见图2)。

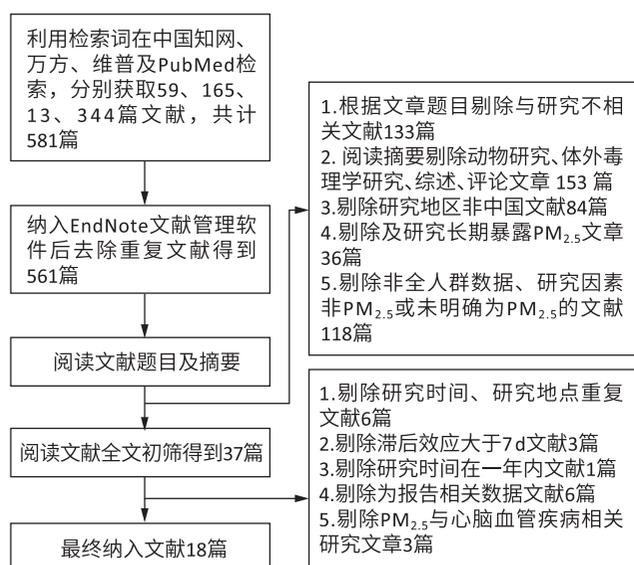


图1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow chart of literature screening

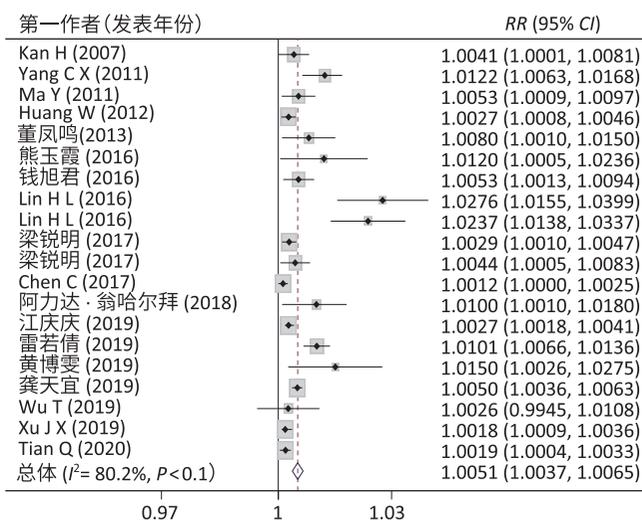


图2 我国PM_{2.5}对心血管系统疾病死亡影响的meta分析森林图(随机效应模型)

Figure 2 Meta-analysis forest map of PM_{2.5} associated with cardiovascular disease mortality in China (random effects model)

表1 纳入文献基本特征

Table 1 Basic characteristics of included literature

第一作者 First Author	发表年份 Year of publication	研究年份 Year of study	研究地点 Area	研究方法 Method	效应类型 Lag effect	ER (95%CI)	滞后天数 Lag days	PM _{2.5} 质量浓度 / (μg·m ⁻³) (x̄±s) PM _{2.5} concentration / (μg·m ⁻³) (x̄±s)
Kan H ^[10]	2007	2004—2005	上海	时间序列	累积效应	0.41 (0.01~0.81)	lag01	56.4±1.34
Yang C X ^[11]	2011	2007—2008	广州	病例交叉	累积效应	1.22 (0.63~1.68)	lag02	70.1±34.6
Ma Y ^[12]	2011	2006—2008	沈阳	病例交叉	累积效应	0.53 (0.09~0.97)	lag02	75.0±43.0
Huang W ^[13]	2012	2004—2008	西安	病例交叉	累积效应	0.27 (0.08~0.46)	lag02	176.7±103.8
董凤鸣 ^[14]	2013	2007—2008	北京	病例交叉	单天效应	0.80 (0.10~1.50)	lag0	78.0±54.3
熊玉霞 ^[15]	2016	2013—2015	广州	时间序列	累积效应	1.20 (0.05~2.36)	lag07	46.8±26.6
钱旭君 ^[16]	2016	2011—2014	宁波	时间序列	累积效应	0.53 (0.13~0.94)	lag03	58.3*
Lin H L ^[17]	2016	2013—2015	东莞	时间序列	累积效应	2.76 (1.55~3.99)	lag03	43.8*
Lin H L ^[17]	2016	2013—2015	佛山	时间序列	累积效应	2.37 (1.38~3.37)	lag03	45.9*
梁锐明 ^[18]	2017	2013—2015	石家庄	时间序列	累积效应	0.29 (0.10~0.47)	lag01	117.0±99.0
梁锐明 ^[18]	2017	2013—2015	武汉	时间序列	累积效应	0.44 (0.05~0.83)	lag01	79.0±55.0
Chen C ^[19]	2017	2013—2015	中国30县	时间序列	单天效应	0.12 (0.001~0.25)	lag0	71.7±60.9
阿力达·翁哈尔拜 ^[20]	2018	2014—2016	乌鲁木齐	病例交叉	单天效应	1.00 (0.10~1.80)	lag4	70.6±61.1
江庆庆 ^[21]	2019	2015—2017	江苏13市	时间序列	单天效应	0.27 (0.17~0.41)	lag0	52.2±32.6
雷若倩 ^[22]	2019	2013—2017	合肥	时间序列	单天效应	1.01 (0.66~1.36)	lag0	69.2±44.3
黄博雯 ^[23]	2019	2013—2017	深圳	时间序列	累积效应	1.50 (0.26~2.75)	lag02	32.0±19.7
龚天宜 ^[24]	2019	2005—2011	北京	时间序列	单天效应	0.50 (0.36~0.63)	lag1	75.9±53.8
Wu T ^[25]	2019	2014—2017	兰州	时间序列	单天效应	0.26 (-0.55~1.08)	lag2	53.3±27.2
Xu J X ^[26]	2019	2007—2016	合肥	时间序列	单天效应	0.18 (0.09~0.36)	lag2	72.6±45.2
Tian Q ^[27]	2020	2012—2014	上海	时间序列	单天效应	0.19 (0.04~0.33)	lag2	55.0*

[注] * : 文献中无标准差数据。

[Note] * : No standard deviation data in the literature.

2.3 亚组分析

将纳入研究文献依据《环境空气质量标准》以PM_{2.5}年平均质量浓度以75 μg·m⁻³为分割点进行亚组分析,结果显示PM_{2.5}质量浓度≥75 μg·m⁻³组的异质性降低,而PM_{2.5}质量浓度<75 μg·m⁻³组的异质性依旧较高;将纳入文献按照效应类型、研究方法进行亚组分析,异质性I²未见明显降低(见表2)。

2.4 敏感性分析

对meta分析中可能导致结果不稳定的因素采用留一交叉法进行验证,剔除初始研究中的其中任意一个研究,根据再次合并后的效应值与原效应值的差距考察其对整体结果的影响。使用敏感性检验发现,剔除任何一篇文献后所有剩余文献数据变化幅度均在可信区间内,未发现对一致性影响明显的文献。

表2 亚组分析结果
Table 2 Subgroup analysis results

变量 Variable	文献数 No. of literature	ER (95%CI)	P	I ²
PM _{2.5} 年平均质量浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) PM _{2.5} annua average concentration/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	<75	0.61 (0.40~0.81)	<0.001	84.4%
	≥ 75	0.40 (0.28~0.52)	0.216	29.2%
效应类型 Lag effect	累积效应 Cumulative effect	0.65 (0.41~0.89)	0.019	80.4%
	单天效应 Single-day effect	0.41 (0.23~0.60)	<0.001	82.2%
研究方法 Method	时间序列 Time-series	0.47 (0.31~0.62)	<0.001	82.2%
	病例交叉 Case-crossover	0.70 (0.30~1.10)	0.006	72.3%

2.5 发表偏倚检验

以lgRR为横坐标,以其标准误为纵坐标绘制漏斗图(图3),发现分布明显不对称,故纳入文献存在发表偏倚,与Egger's检验结果一致($P=0.002<0.05$)。

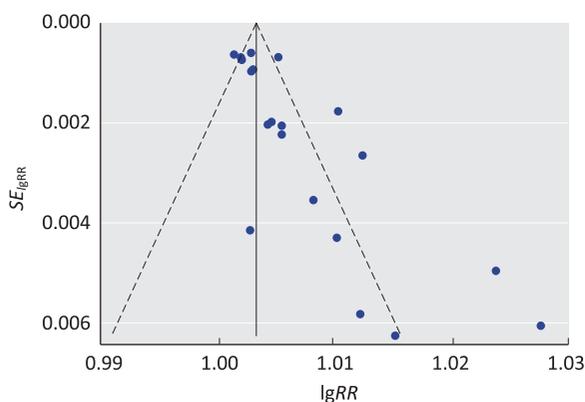


图3 我国PM_{2.5}对心血管系统疾病死亡率影响meta分析漏斗图
Figure 3 Meta-analysis funnel chart of PM_{2.5} associated with cardiovascular disease mortality in China

3 讨论

大气颗粒物污染严重危害人群健康,PM_{2.5}对居民心血管疾病的影响已成为人们关注焦点^[28]。2019年Liu等^[29]对全球24个国家672个城市PM_{2.5}暴露对心血管疾病影响进行评估,发现大气PM_{2.5}质量浓度每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,人群心血管疾病死亡率增加0.55%(95%CI:0.45%~0.66%),本研究结果与其暴露反应评估结果较为相近,但文献的异质性较大,可能是由于浓度水平、地域范围、人群结构不同,导致关于大气PM_{2.5}暴露与心血管疾病死亡率的影响存在较大差异。

3.1 PM_{2.5}浓度差异

从亚组分析的结果可以看出PM_{2.5}浓度是造成暴露反应关系的异质性来源之一,PM_{2.5}的浓度不同,健

康反应有所不同。

3.2 地域范围差异

陈晨等^[30]利用meta分析将中国40个县的数据合并得到PM_{2.5}质量浓度每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,人群心血管疾病死亡率增加0.53%(95%CI:0.15%~0.90%),本研究得到PM_{2.5}每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,人群心血管疾病死亡率增加0.51%(95%CI:0.37%~0.65%),两者结果相近。Lin等^[31]的meta分析研究地区多为珠江三角洲及经济发达地区,其结果为PM_{2.5}质量浓度每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 人群心血管疾病死亡率增加1.79%(95%CI:1.22%~2.36%),与本文结果相差较大,可能是由于纳入分析的研究地区差异较大。夏钟等^[32]研究发现在评估地区性的PM_{2.5}污染对人体健康的损害时,全国范围研究的异质性明显大于区域性研究,同时其发现珠江三角洲的暴露反应响应值最高。Lin等^[31]的meta分析纳入珠江三角洲区域内的研究较多,而本项研究所包含的研究地点在全国范围内分布较为广泛。

3.3 人群结构差异

PM_{2.5}质量浓度每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,意大利人群心血管疾病死亡率增加1.25%(95%CI:0.17%~2.34%)^[33],美国人群心血管疾病死亡率增加1.12%(95%CI:1.10%~1.15%)^[34],加拿大人群心血管疾病死亡率增加1.25%(95%CI:1.19%~1.31%)^[35],其结果均高于本研究结果。西班牙^[36]、泰国^[37]、韩国^[38]等PM_{2.5}暴露与心血管疾病死亡率的暴露反应关系也与本研究存在差异,主要与人种、生活习惯等方面的差异造成人体暴露大气污染物剂量不同有关。Ostro等^[39]研究显示65岁以上人群属于潜在易感人群。现阶段欧美国家人口老龄化更为严重,因此易感人群所占比例较大。随着我国人口老龄化加剧,潜在易感人群增多,暴露反应关系系数有可能升高。

本研究存在一定的局限性,在进行meta分析时发现文献间异质性较大,可能是由于不同研究地点的地理和季节不同导致温度和湿度差异较大,研究表明环境的温度、湿度等会对PM_{2.5}与心血管疾病的暴露反应关系产生影响^[32],这可能是文章异质性的主要来源,本研究亚组分析及敏感性分析并未发现影响异质性的原因,后续可从气象因素进行深入研究。同时大气中其他污染物如总悬浮颗粒物、NO₂、SO₂等也会对PM_{2.5}与心血管疾病的暴露反应关系产生交互作用^[40],各研究地点的大气污染状况不同导致文献间的异质性较大。

本研究利用meta分析方法综合分析PM_{2.5}浓度与心血管疾病死亡率的暴露反应关系,发现我国大气

PM_{2.5} 浓度升高可能增加心血管疾病的死亡率。

参考文献

- [1] 朱文涛, 胡雨晨, 蔡佳洁, 等. 大气PM_{2.5}对心血管系统损伤机制的研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (9) : 929-935.
ZHU WT, HU YC, CAI JJ, et al. Review on mechanisms of PM_{2.5} in cardiovascular system injuries [J]. J Environ Occup Med, 2020, 37 (9) : 929-935.
- [2] BROOK RD, RAJAGOPALAN S, POPE III CA, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease : an update to the scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation, 2010, 121 (21) : 2331-2378.
- [3] XUE T, LIU J, ZHANG Q, et al. Rapid improvement of PM_{2.5} pollution and associated health benefits in China during 2013–2017 [J]. Sci China Earth Sci, 2019, 62 (12) : 1847-1856.
- [4] World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) [EB/OL]. [2020-10-18]. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)).
- [5] 胡盛寿, 高润霖, 刘力生, 等. 《中国心血管病报告2018》概要 [J]. 中国循环杂志, 2019, 34 (3) : 209-220.
HU SS, GAO RL, LIU LS, et al. Summary of the 2018 report on cardiovascular diseases in China [J]. Chin Circ J, 2019, 34 (3) : 209-220.
- [6] YAO M, WU G, ZHAO X, et al. Estimating health burden and economic loss attributable to short-term exposure to multiple air pollutants in China [J]. Environ Res, 2020, 183 : 109184.
- [7] ZHENG X Y, DING H, JIANG L N, et al. Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies : a systematic review and meta-analysis [J]. PLoS One, 2015, 10 (9) : e0138146.
- [8] ATKINSON RW, KANG S, ANDERSON HR, et al. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions : a systematic review and meta-analysis [J]. Thorax, 2014, 69 (7) : 660-665.
- [9] ZHANG F, LIU X, ZHOU L, et al. Spatiotemporal patterns of particulate matter (PM) and associations between PM and mortality in Shenzhen, China [J]. BMC Public Health, 2016, 16 (1) : 215.
- [10] KAN H, LONDON SJ, CHEN G, et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China [J]. Environ Int, 2007, 33 (3) : 376-384.
- [11] YANG CX, PENG X, HUANG W, et al. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China [J]. Int Arch Occup Environ Health, 2012, 85 (5) : 579-585.
- [12] MA Y, CHEN R, PAN G, et al. Fine particulate air pollution and daily mortality in Shenyang, China [J]. Sci Total Environ, 2011, 409 (13) : 2473-2477.
- [13] HUANG W, CAO J, TAO Y, et al. Seasonal variation of chemical species associated with short-term mortality effects of PM_{2.5} in Xi'an, a Central City in China [J]. Am J Epidemiol, 2012, 175 (6) : 556-566.
- [14] 董凤鸣, 莫运政, 李国星, 等. 大气颗粒物 (PM₁₀/PM_{2.5}) 与人群循环系统疾病死亡关系的病例交叉研究 [J]. 北京大学学报 (医学版), 2013, 45 (3) : 398-404.
DONG FM, MO YZ, LI GX, et al. Association between ambient PM₁₀/PM_{2.5} levels and population mortality of circulatory diseases : a case-crossover study in Beijing [J]. J Peking Univ (Health Sci), 2013, 45 (3) : 398-404.
- [15] 熊玉霞. 广州市大气污染特征及其对人群健康的影响 [D]. 南宁 : 广西医科大学, 2016.
XIONG YX. The characteristics of air pollution and impacts on human health in Guangzhou [D]. Nanning : Guangxi Medical University, 2016.
- [16] 钱旭君. 室外空气污染与人群心脑血管疾病死亡的短期效应研究 : 时间序列分析 [D]. 苏州 : 苏州大学, 2016.
QIAN XJ. Ambient air pollution associated with cardiovascular mortality in Ningbo city, 2011-2014 : a time-series analysis [D]. Suzhou : Suzhou University, 2016.
- [17] LIN H L, LIU T, XIAO J. Mortality burden of ambient fine particulate air pollution in six Chinese cities : results from the Pearl River Delta study [J]. Environ Int, 2016, 96 : 91-97.
- [18] 梁锐明, 殷鹏, 王黎君, 等. 中国7个城市大气PM_{2.5}对人群心血管疾病死亡的急性效应研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2017, 38 (3) : 283-289.
LIANG RM, YIN P, WANG LJ, et al. Acute effect of fine particulate matters on daily cardiovascular disease mortality in seven cities of China [J]. Chin J Epidemiol, 2017, 38 (3) : 283-289.
- [19] CHEN C, ZHU P, LAN L, et al. Short-term exposures to PM_{2.5} and cause-specific mortality of cardiovascular health in China [J]. Environ Res, 2018, 161 : 188-194.
- [20] 阿力达·翁哈尔拜. 乌鲁木齐市大气污染对居民呼吸系统及心血管系统疾病死亡影响的病例交叉研究 [D]. 乌鲁木齐 : 新疆医科大学, 2018.
ALIDA·WENG HA ER BAI. Case-crossover study of atmospheric pollutants impact on respiratory and cardiovascular mortality of Urumqi [D]. Urumqi : Xinjiang Medical University, 2018.
- [21] 汪庆庆, 叶云杰, 张嘉尧, 等. 江苏省大气污染物联合暴

- 露对人群死亡风险急性效应的多中心研究 [J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53 (1) : 86-92.
- WANG Q Q, YE Y J, ZHANG J Y, et al. Multi-site analysis of acute effects of air pollutants combination exposure on mortality in Jiangsu Province, China [J]. *Chin J Prev Med*, 2019, 53 (1) : 86-92.
- [22] 雷若倩. 2013年到2017年合肥市大气污染物PM_{2.5}和O₃与居民每日死亡关系的研究 [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2019.
- LEI R Q. Study on the association between ambient PM_{2.5}/O₃ and daily mortality in Hefei from 2013 to 2017 [D]. Hefei : Anhui Medical University, 2019.
- [23] 黄博雯. 深圳市大气污染物对居民死亡风险的影响 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- HUANG B W. The effect of ambient air pollution on the risk of death in Shenzhen [D]. Wuhan : Huazhong University of Science and Technology, 2019.
- [24] 龚天宜, 孙兆彬, 张小玲, 等. 人群的自然和社会属性分类下PM_{2.5}对心血管疾病的影响 [J]. 中国环境科学, 2019, 39 (3) : 1289-1298.
- GONG T Y, SUN Z B, ZHANG X L, et al. Natural and social factor as modifiers of the effects of PM_{2.5} on daily cardiovascular mortality in Beijing, China [J]. *China Environ Sci*, 2019, 39 (3) : 1289-1298.
- [25] WU T, MA Y, WU X, et al. Association between particulate matter air pollution and cardiovascular disease mortality in Lanzhou, China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2019, 26 (15) : 15262-15272.
- [26] XU J X, GENG W, GENG X, et al. Study on the association between ambient air pollution and daily cardiovascular death in Hefei, China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, 27 (21) : 547-561.
- [27] TIAN Q, LI M, MONTGOMERY S, et al. Short-term associations of fine particulate matter and synoptic weather types with cardiovascular mortality : an ecological time-series study in Shanghai, China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17 (3) : 1111.
- [28] 张泽, 吴柳, 李浩芃, 等. 大气颗粒物暴露与缺血性心脏病关联的流行病学研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (9) : 936-942.
- ZHANG Z, WU L, LI H P, et al. Associations between atmospheric particulate matter exposure and ischemic heart disease : A review of epidemiological studies [J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37 (9) : 936-942.
- [29] LIU C, CHEN R, SERA F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 Cities [J]. *N Engl J Med*, 2019, 381 (8) : 705-715.
- [30] 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.
- CHEN C, SUN Z Y, SUN Q H, et al. The impact of persistent high ambient fine particulate matters exposures on mortality in the 40 districts/counties of China, 2013-2015 [J]. *Chin J Prev Med*, 2019, 53 (1) : 76-80.
- [31] LIN H, WANG X, LIU T, et al. Air pollution and mortality in China [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2017, 1017 : 103-121.
- [32] 夏钟, 王欣童, 郁莎燕, 等. 应用Meta分析研究中国不同区域PM_{2.5}污染与人群非意外总死亡率的关系 [J]. 环境污染与防治, 2019, 41 (8) : 891-895.
- XIA Z, WANG X T, YU S Y, et al. Meta-analysis of the association between PM_{2.5} pollution and total non-accidental mortality of residents in different regions in China [J]. *Environ Pollut Prev*, 2019, 41 (8) : 891-895.
- [33] ALESSANDRINI E R, FAUSTINI A, CHIUSOLO M, et al. Air pollution and mortality in twenty-five Italian cities : results of the EpiAir2 Project [J]. *Epidemiol Prev*, 2013, 37 (4-5) : 220-229.
- [34] POPE III C A, LEFLER J S, EZZATI M, et al. Mortality risk and fine particulate air pollution in a large, representative cohort of U.S. adults [J]. *Environ Health Perspect*, 2019, 127 (7) : 77007.
- [35] PINAULT L L, WEICHTHAL S, CROUSE D L, et al. Associations between fine particulate matter and mortality in the 2001 Canadian Census Health and Environment Cohort [J]. *Environ Res*, 2017, 159 : 406-415.
- [36] PEREZ L, TOBIAS A, QUEROL X, et al. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality : a case-crossover study in Barcelona (Spain) [J]. *Environ Int*, 2012, 48 : 150-155.
- [37] GUO Y, LI S, TAWATSUPA B, et al. The association between air pollution and mortality in Thailand [J]. *Sci Rep*, 2014, 4 : 5509.
- [38] PARK S K. Assessing the impact of air pollution on mortality rate from cardiovascular disease in Seoul, Korea [J]. *Environ Eng Res*, 2018, 23 (4) : 430-441.
- [39] OSTRO B, BROADWIN R, GREEN S, et al. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties : results from CALFINE [J]. *Environ Health Perspect*, 2006, 114 (1) : 29-33.
- [40] 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.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)