

· 论 著 ·

大气 PM₁₀ 与呼吸系统疾病死亡的关系研究

何晓庆, 王小红, 罗进斌

金华市疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 浙江 金华 321002

摘要: **目的** 了解大气 PM₁₀ 污染对居民每日呼吸系统疾病死亡例数的影响, 为保护易感人群, 评价人群健康效应提供依据。**方法** 收集金华市 2014—2018 年空气污染物和气象因素资料, 将空气污染物浓度与 GB 3095—2012《环境空气质量标准》二级标准进行比较, 分析 PM₁₀ 的季节分布特征。采用时间序列的广义线性模型 (GLM) 建立单污染物和多污染物模型, 分析大气 PM₁₀ 对居民每日呼吸系统疾病死亡例数的影响。**结果** 2014—2018 年金华市大气 PM₁₀ 的浓度中位数为 58 μg/m³, 呼吸系统疾病死亡 4 891 例。大气 PM₁₀ 浓度呈现冬春季高, 夏秋季低的季节特征。单污染物模型分析结果显示, 大气 PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³, 滞后 2 d 的总人群和 ≥ 65 岁人群呼吸系统疾病死亡风险分别增加 1.23% (95%CI: 0.27% ~ 2.20%) 和 1.24% (95%CI: 0.26% ~ 2.23%); 多污染物模型分析结果显示, PM₁₀ 单独引入 SO₂、单独引入 NO₂ 或同时引入 SO₂ 和 NO₂ 时, 总人群和 ≥ 65 岁人群呼吸系统疾病死亡风险比单污染物模型均增加 ($P < 0.05$); PM₁₀ 单独引入 SO₂ 或同时引入 SO₂ 和 NO₂ 时, 男性居民呼吸系统疾病死亡风险比单污染物模型增加 ($P < 0.05$)。 **结论** 大气 PM₁₀ 增加居民每日呼吸系统疾病死亡风险, 对 65 岁及以上老年人群的影响较为明显。

关键词: 空气污染; PM₁₀; 广义线性模型; 呼吸系统疾病; 死亡

中图分类号: R122.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2019) 10-0987-05

Impact of ambient PM₁₀ on respiratory disease mortality

HE Xiao-qing, WANG Xiao-hong, LUO Jin-bin

Environment and Occupational Health Department, Jinhua Center for Disease Control and Prevention, Jinhua, Zhejiang 321002, China

Abstract: Objective To study the impact of inhalable particles (PM₁₀) on the daily respiratory disease mortality in Jinhua, and to provide basis for health evaluation and protection for susceptible population. **Methods** The data of air pollutants and meteorological factors in Jinhua from 2014 to 2018 were collected. The concentrations of the air pollutants were compared with the secondary standard of GB 3095-2012 *Environmental Air Quality Standard*, and the seasonal distribution characteristics of PM₁₀ were analyzed. The generalized linear models (GLM) of single pollutant and multi-pollutants were built to analyze the impact of atmospheric PM₁₀ on the number of death from respiratory diseases. **Results** A total of 4 891 cases died of respiratory diseases from 2014 to 2018 in Jinhua. The median of PM₁₀ concentration was 58 μg/m³, showing high in winter and spring but low in summer and autumn. In single pollutant models, the mortality risks of respiratory diseases of two-day lag among whole population and people aged 65 years or over increased by 1.23% (95%CI: 0.27%-2.20%) and 1.24% (95%CI: 0.26%-2.23%) with every increase of 10 μg/m³ in PM₁₀. In multi-pollutants models, when introduced SO₂, NO₂, or SO₂+NO₂ with PM₁₀, the mortality risks of respiratory diseases of two-day lag among whole population and people aged 65 years or over were higher than that in single pollutant models ($P < 0.05$). When introduced SO₂ or SO₂+NO₂ with PM₁₀, the mortality risks of respiratory diseases in males were higher than that in single pollutant models ($P < 0.05$). **Conclusion** Ambient PM₁₀ can increase the mortality risk of respiratory diseases, especially for the elderly people aged 65 years or over.

Key words: Air pollution; PM₁₀; Generalized linear model; Respiratory disease; Mortality

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2019.10.004

作者简介: 何晓庆, 硕士, 副主任医师, 主要从事环境与职业卫生工作

通信作者: 何晓庆, E-mail: jhedchxq@163.com

PM₁₀为空气动力学直径小于10 μm的大气颗粒物,是影响我国空气质量的首要污染物^[1]。PM₁₀通过多种途径进入人体,导致生理功能、免疫功能逐渐下降直至死亡。国内外研究表明大气PM₁₀短期暴露与人群呼吸系统疾病死亡率升高相关^[2-4]。时间序列的广义线性模型(generalized linear model, GLM)不受短时间内个体已知或未知的危险因素影响,广泛应用于大气污染与人群健康效应的研究,已成为国际环境流行病学研究热点^[5]。近年来,呼吸系统疾病成为金华市居民的第三位死亡原因^[6],本研究收集金华市2014—2018年大气污染物与居民每日呼吸系统疾病死亡资料,采用时间序列的GLM定量评价大气PM₁₀对居民每日呼吸系统疾病死亡的影响,为治理大气污染,保护易感人群以及进一步评价人群健康效应提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源 2014—2018年居民死亡资料来自金华市疾病预防控制中心信息系统,选择户籍所在地为金华市的常住人口(在本地居住6个月以上的人群),基本信息包括性别、年龄、死亡日期、根本死因等。根据《疾病和有关健康问题的国际统计分类(第十次修订本)》(ICD-10)编码对资料进行整理,呼吸系统疾病死亡编码为J00~J99。空气污染资料由金华市环境监测站提供,包括PM₁₀、SO₂和NO₂的日均浓度;气象因素资料来源于金华市气象站每日监测数据,包括日均气温和日均相对湿度。

1.2 方法

1.2.1 检测空气污染物的超标率 利用金华市3个监测站点的数据计算全市空气污染物浓度的算术平均值,作为人群空气污染物平均暴露量;计算空气污染物的日均浓度,根据GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[7]的二级标准计算超标率,超标率(%)=(超标天数/监测天数)×100%。PM₁₀、NO₂、SO₂的二级浓度限值分别为150、80、150 μg/m³。

1.2.2 绘制PM₁₀和呼吸系统疾病死亡时序图 绘制大气PM₁₀日均浓度和每日呼吸系统疾病死亡例数的时间序列图,描述季节分布特征。其中3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月至次年2月为冬季。

1.2.3 建立时间序列的GLM 对总人群而言,呼吸系统疾病每日死亡属于小概率事件,近似服从Poisson分布^[8],首先控制气象因素、长期趋势和星期几效应等混杂因素的影响。将Poisson回归引入时

间序列的GLM,对日均气温和日均相对湿度进行非参数平滑化处理,将“星期几效应”设为哑变量,将PM₁₀作为线性变量,建立回归模型如下:

$$\log E(Y_t) = \beta Z_t + ns(time, df) + ns(temperature/RH, df) + DOW + Intercept$$

式中: $E(Y_t)$ 为第 t 日当天的死亡例数; Z_t 为第 t 日的PM₁₀浓度; β 为二者的回归系数; ns 为自然平滑样条函数; $time$ 为时间变量; df 为自由度; $temperature$ 为日均气温; RH 为日均相对湿度; DOW 为星期几变量; $Intercept$ 为截距。根据赤池信息准则和既往研究^[9], $time$ 的自由度设定为7/年,温度和相对湿度的自由度设定为3。

建立单污染物模型,控制气温、相对湿度、SO₂和NO₂后,采用单日滞后模式分析PM₁₀对总人群、不同年龄和不同性别人群每日呼吸系统疾病死亡的影响。根据单污染物模型确定效应的最强滞后时间,引入同时段 $r_s \geq 0.7$ 的其他空气污染物拟合多污染物模型。考虑SO₂、NO₂与PM₁₀的健康效应相互影响,利用多污染物模型分别控制SO₂、NO₂以及同时控制SO₂和NO₂后,分析PM₁₀对总人群、不同年龄和不同性别人群每日呼吸系统疾病死亡的影响。

采用超额危险度(ER)描述PM₁₀浓度每增加10 μg/m³,每日呼吸系统疾病死亡风险增加的百分比(%)。ER=[exp(β×10)-1]×100%。

1.3 统计分析 采用SPSS 21.0软件统计分析。每日呼吸系统疾病死亡例数、气象因素和空气污染物资料均不符合正态分布,采用中位数和四分位数间距 $[M(Q_R)]$ 描述。气象因素和空气污染物的相关性采用Spearman秩相关分析。采用Rstudio 3.5.1软件的“dlnm”工具包进行GLM分析。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 金华市2014—2018年呼吸系统疾病死亡情况 金华市2014—2018年呼吸系统疾病死亡4 891例,其中慢性阻塞性肺疾病2 114例,占43.22%;肺炎1 305例,占26.68%;慢性支气管炎736例,占15.05%;急性上呼吸道感染100例,占2.04%;其他636例,占13.00%。男性死亡2 842例,占58.11%;女性死亡2 049例,占41.89%。年龄最大106岁,年龄最小2个月,平均(81.85±9.69)岁,其中≥65岁4 636例,占94.79%。

2.2 金华市2014—2018年大气污染物浓度和气象因素 2014—2018年金华市日均气温为18.91℃,日均

相对湿度为 73.51%。每日 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 的 [M(Q_R)] 分别为 15 (12) μg/m³、34 (24) μg/m³ 和 58 (45) μg/m³。与 GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[8] 的二级标准比较, 2014—2018 年共监测 1 826 d, 其中 PM₁₀ 超标 54 d, 超效率为 2.96%; NO₂

超标 34 d, 超效率为 1.86%; SO₂ 无超标。

2.3 PM₁₀ 污染与呼吸系统疾病死亡例数时间分布
金华市大气 PM₁₀ 季节性变化明显, 呈现冬春季高, 夏秋季低的分布趋势。见图 1。呼吸系统疾病死亡例数随季节变化趋势不明显。见图 2。

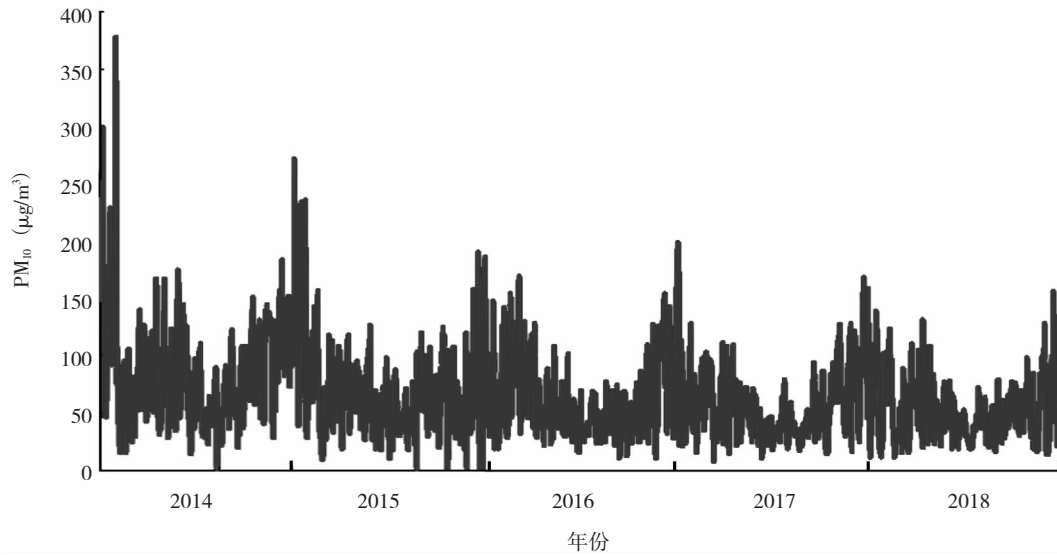


图 1 2014—2018 年金华市大气 PM₁₀ 浓度时间变化趋势

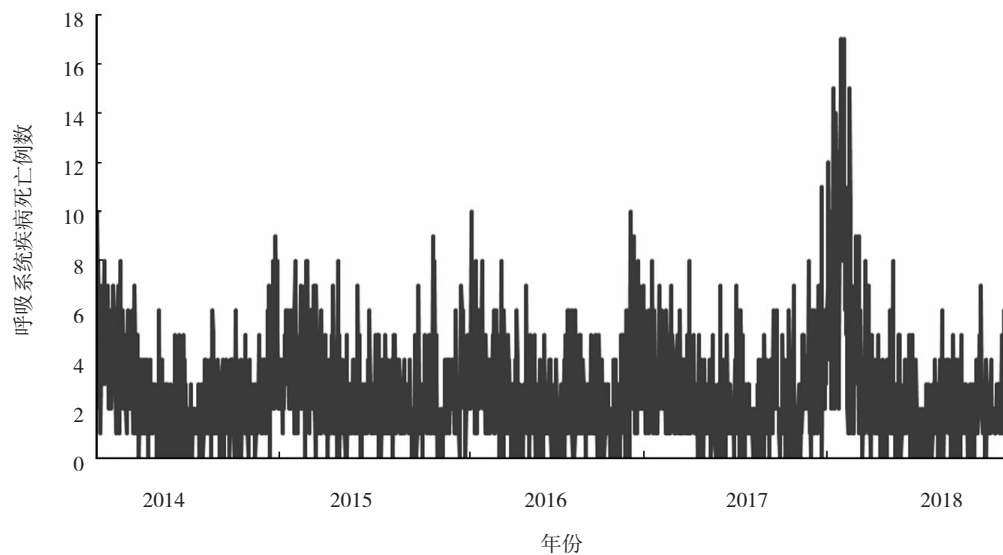


图 2 2014—2018 年金华市呼吸系统疾病死亡例数变化趋势

2.4 大气污染物和气象因素的相关性分析 NO₂ 和日均相对湿度之间无相关关系 ($r_s = -0.028$, $P = 0.235$)。其中 PM₁₀ 与 SO₂ 呈正相关 ($r_s = 0.630$, $P < 0.001$), 与 NO₂ 呈正相关 ($r_s = 0.616$, $P < 0.001$), 与日均气温呈负相关 ($r_s = -0.277$, $P < 0.001$), 与日均相对湿度指标呈负相关 ($r_s = -0.429$, $P < 0.001$); SO₂ 与 NO₂ 呈正相关 ($r_s = 0.549$, $P < 0.001$), 与日均气温

呈负相关 ($r_s = -0.233$, $P < 0.001$), 与日均相对湿度指标呈负相关 ($r_s = -0.271$, $P < 0.001$); NO₂ 与日均气温呈负相关 ($r_s = -0.634$, $P < 0.001$); 日均气温与日均相对湿度呈负相关 ($r_s = -0.078$, $P < 0.001$)。

2.5 时间序列的 GLM 分析结果 单污染物模型结果显示, 滞后 2 d 的 PM₁₀ 对总人群和 ≥65 岁人群的呼吸系统疾病死亡的影响具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

PM₁₀浓度每升高 10 μg/m³, 滞后 2 d 的总人群和 ≥ 65 岁人群呼吸系统疾病死亡风险分别增加 1.23% (95%CI: 0.27% ~ 2.20%) 和 1.24% (95%CI: 0.26% ~

2.23%)。PM₁₀对 < 65 岁人群、男性和女性呼吸系统疾病的死亡风险在滞后 0 ~ 5 d 中均无明显急性健康效应。见表 1。

表 1 2014—2018 年 PM₁₀ 对金华市居民呼吸系统疾病死亡影响的单污染物模型分析 (%)

滞后天数 (d)	总人群		≥65 岁		< 65 岁		男		女	
	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI
0	0.19	-0.87~1.28	0.31	-0.79~1.41	-1.81	-6.23~2.82	0.20	-1.18~1.59	0.21	-1.40~1.84
1	0.47	-0.53~1.47	0.54	-0.47~1.57	-0.92	-5.12~3.48	0.86	-0.41~2.15	-0.06	-1.55~1.46
2	1.23	0.27~2.20	1.24	0.26~2.23	1.08	-2.93~5.26	1.48	-0.08~2.39	1.33	-0.12~2.80
3	0.55	-0.40~1.50	0.50	-0.46~1.47	1.43	-2.47~5.50	0.32	-0.89~1.55	0.82	-0.59~2.25
4	0.18	-1.01~1.39	0.38	-0.57~1.33	-0.17	-4.04~3.85	0.43	-0.76~1.63	0.23	-1.17~1.66
5	-0.94	-2.14~0.27	0.04	-0.99~0.91	-1.13	-4.98~2.88	-0.16	-1.34~1.04	-0.01	-1.42~1.42

选择滞后 2 d 的 PM₁₀、SO₂、NO₂ 浓度拟合多污染物模型, 结果显示, 当 PM₁₀ 单独引入 SO₂、单独引入 NO₂ 或同时引入 SO₂ 和 NO₂ 时, 总人群和 ≥ 65 岁人群呼吸系统疾病死亡风险均较单污染物模型增加

($P < 0.05$); PM₁₀ 单独引入 SO₂ 或同时引入 SO₂ 和 NO₂ 时, 男性呼吸系统疾病死亡风险较单污染物模型增加 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 滞后 2 d 的 PM₁₀ 对金华市居民呼吸系统疾病死亡影响的多污染物模型分析 (%)

污染物	总人群		≥65 岁		< 65 岁		男		女	
	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI	ER 值	95%CI
PM ₁₀	1.23	0.27~2.20	1.24	0.26~2.23	1.08	-2.93~5.26	1.48	-0.08~2.39	1.33	-0.12~2.80
PM ₁₀ +NO ₂	1.36	0.23~2.51	1.32	0.16~2.49	2.05	-2.45~6.76	1.38	-0.07~2.85	1.32	-0.39~3.05
PM ₁₀ +SO ₂	1.63	0.37~2.91	1.62	0.33~2.93	1.77	-3.35~7.16	1.67	0.05~3.31	1.59	-0.31~3.52
PM ₁₀ +SO ₂ +NO ₂	1.63	0.34~2.94	1.60	0.28~2.93	2.09	-2.98~7.43	1.69	0.05~3.37	1.54	-0.40~3.51

3 讨论

时间序列的 GLM 分析结果显示金华市大气 PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³ 时, 对滞后 2 d 的总人群的呼吸系统疾病死亡风险增加 1.23% (95%CI: 0.27%~2.20%)。上海市^[10] 2013—2016 年 PM₁₀ 浓度为 63.97 μg/m³, PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³, 对滞后 3 d 的呼吸系统疾病死亡率增加 1.29%, 与本文研究结果相似; 乌鲁木齐市^[11] PM₁₀ 浓度较高, 为 139.66 μg/m³, PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³, 对滞后 2 d 的呼吸系统疾病死亡率增加 1.90%; 黄雯等^[12] 对颗粒物与人群健康的 Meta 分析发现, PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³, 呼吸系统疾病死亡率增加 0.23% (95%CI: 0.01% ~ 0.45%); 南京市^[13] 和石家庄市^[14] 的研究中发现大气 PM₁₀ 对人群呼吸系统影响的滞后效应均无统计学意义。各个城市 PM₁₀ 与呼吸系统疾病死亡关系研究结果不同可能有以下原因: 呼吸系统疾病对人群的生命威胁主要是婴幼儿和 50 岁以上的中老年人群, 而各地区人口年

龄构成比不同可能导致研究结果不一致^[13]; 不同地区颗粒物的来源与组分不同导致人群健康效应也不相同^[15]; 不同地区气象条件不同和居民生活习惯差异导致 PM₁₀ 与呼吸系统疾病死亡关系改变^[14]。

本研究中大气 PM₁₀ 浓度对不同年龄、性别居民呼吸系统疾病死亡率的影响结果显示, PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³, 对滞后 2 d 的 65 岁及以上人群的呼吸系统疾病死亡风险增加 1.24%, 65 岁以下人群的呼吸系统疾病死亡风险差异无统计学意义, 这与以往研究结果^[16-18] 一致, 提示 65 岁及以上的老年人群对大气污染物更为敏感。老年人免疫力较低, 罹患慢性病的比例较高, 对吸入呼吸道内污染物的清除能力差, 从而增强了对大气污染的易感性。在性别方面, 多污染模型发现 PM₁₀ 单独引入 SO₂ 或同时引入 SO₂ 和 NO₂ 时, 对男性人群呼吸系统日死亡的风险比单污染模型高, 提示男性对空气污染的暴露更为敏感, 这与石家庄市^[14] 和宁波市^[19] 对大气污染的研究结论一致。通常男性户外活动的可能性大于女性, 暴露大

气颗粒物的机会多, 男性有更大的患病概率; 男女生活习惯(如: 吸烟和饮酒)存在差异, 男性戴雾霾口罩的比例小于女性, 吸入颗粒物较多导致男性患病风险增大。

多污染物模型中, 对于总人群和65岁及以上人群, PM_{10} 与 NO_2 、 SO_2 联合作用对居民呼吸系统疾病死亡影响 ER 值均比 PM_{10} 单独作用时高, 证实了大气污染物间联合作用对居民呼吸系统疾病死亡影响更高。在引入 SO_2 或同时引入 SO_2 和 NO_2 时 PM_{10} 致男性人群呼吸系统死亡风险明显增加。提示 SO_2 对居民呼吸系统疾病的健康影响大于 NO_2 , 可能与 SO_2 和 PM_{10} 之间存在着较强的联合效应有关。 SO_2 可以和 PM_{10} 一起进入呼吸道, 在呼吸系统蓄积, 造成机体的损伤, 引发多种疾病。这与乌鲁木齐市大气污染对呼吸系统疾病死亡的研究结果^[14]一致。南京市2007—2012年大气污染物浓度与居民死亡水平的模型分析结果显示 PM_{10} 与 SO_2 、 NO_2 也存在相互影响^[12]。舟山市的研究结果显示 $PM_{2.5}$ 与 SO_2 、 NO_2 对循环系统疾病的影响也存在着联合作用^[20]。多污染物模型分析结果说明不同污染物之间可能存在交互作用和联合作用, 提示在研究某种污染物的健康效应时应考虑其他污染物的影响。需进一步开展相关研究, 识别不同污染物的独立效应及交互作用。

本研究存在一定的局限性: 时间序列研究属于生态学研究, 基于人群而不是个体, 存在生态学谬误。以全市 PM_{10} 平均浓度来估计人群平均暴露水平会产生误差, 应考虑污染物的内暴露水平。总之, 本研究提示金华市大气 PM_{10} 能导致居民每日呼吸系统疾病死亡风险增加, 且对65岁及以上老年人的影响更为显著。建议政府继续开展大气污染物治理, 合理分配卫生资源, 重点保护高危人群, 降低其对居民健康的危害。

参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境质量报告2011 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [2] CHEN R, KAN H, CHEN B, et al. Association of particulate air pollution with daily mortality: the China air pollution and health effects study [J]. *Am J Epidemiol*, 2012, 175 (11): 1173-1181.
- [3] 金曼, 田璐, 佟俊旺. 我国大气 PM_{10} 污染对人群死亡率影响的 meta 分析 [J]. *环境与健康杂志*, 2016, 33 (8): 725-729.
- [4] CHEN C, WANG X F, LYU C G, et al. The effect of air pollution on hospitalization of individuals with respiratory and cardiovascular diseases in Jinan, China [J]. *Medicine*, 2019, 98 (22): e15634.
- [5] 路风, 李亚伟, 李成橙, 等. 时间序列分析在空气污染与健康领域的应用及其 R 软件实现 [J]. *中国卫生统计*, 2018, 35 (4): 622-625.
- [6] 陈左霞, 王小红, 王凤英, 等. 2006—2012 年金华市居民主要死亡原因分析 [J]. *中国农村卫生事业管理*, 2015, 35 (5): 614-617.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2012.
- [8] 方积乾. 卫生统计学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- [9] PENG R D, DOMINICI F, LOUIS T A. Model choice in time series studies of air pollution and mortality [J]. *J R Statist Soc A*, 2006, 169 (2): 179-203.
- [10] 秦萌, 高阳, 顾品强, 等. 上海市奉贤区大气污染物对人群呼吸系统疾病的急性效应 [J]. *环境与职业医学*, 2018, 35 (6): 521-525.
- [11] 阿力达·翁哈尔拜, 孙高峰, 晓开提·依不拉音. 乌鲁木齐市大气污染对呼吸系统疾病死亡影响的病例交叉研究 [J]. *职业与健康*, 2018, 34 (9): 1243-1246.
- [12] 黄雯, 王洪源, 王旗, 等. 我国大气可吸入颗粒物污染对人群死亡率的影响 [J]. *中华预防医学杂志*, 2011, 45 (11): 1031-1035.
- [13] 张开月, 陈晓东, 周连, 等. 南京市大气 PM_{10} 与居民死亡关系的时间序列分析 [J]. *环境与健康杂志*, 2015, 32 (6): 485-488.
- [14] 陈浪, 赵川, 关茗洋, 等. 石家庄市大气颗粒污染物浓度与居民死亡率的时间序列分析 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2018, 33 (2): 272-276.
- [15] 赵岩, 冯利红, 刘洪亮, 等. 天津市冬季大气 $PM_{2.5}$ 中金属元素污染特征及健康风险评估 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2016, 20 (3): 294-298.
- [16] ZUNIGA J, TARAJIA M, HERRERA V, et al. Assessment of the possible association of air pollutants PM_{10} , O_3 , NO_2 with an increase in cardiovascular, respiratory, and diabetes mortality in Panama city: a 2003 to 2013 data analysis [J]. *Medicine*, 2016, 95 (2): 24-64.
- [17] 褚圆圆. 武汉市大气污染与呼吸系统疾病死亡的关联研究 [M]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [18] BELL M L, ZANOBETTI A, DOMINICI F. Evidence on vulnerability and susceptibility to health risks associated with short-term exposure to particulate matter: a systematic review and meta-analysis [J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 178 (6): 865-876.
- [19] 葛挺, 张良, 王辉, 等. 宁波市城区大气 $PM_{2.5}$ 污染和哮喘门诊量的关联性研究 [J]. *预防医学*, 2019, 31 (6): 568-572.
- [20] 张永利, 莫哲, 易井萍, 等. 舟山市大气 $PM_{2.5}$ 对居民循环系统疾病日死亡人数的影响 [J]. *环境与职业医学*, 2017, 34 (3): 224-229.

收稿日期: 2019-05-06 修回日期: 2019-06-17 本文编辑: 姜申