

· 论 著 ·

# 金华市大气污染物短期暴露对居民死亡和寿命损失年的影响

何晓庆<sup>1</sup>, 罗进斌<sup>1</sup>, 王小红<sup>2</sup>, 许丹丹<sup>3</sup>

1. 金华市疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 浙江 金华 321002; 2. 金华市疾病预防控制中心, 浙江 金华 321002;  
3. 浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051

**摘要:** **目的** 探讨细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>)、二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)、二氧化硫 (SO<sub>2</sub>) 和臭氧 (O<sub>3</sub>) 短期暴露对居民死亡和寿命损失年 (YLL) 的影响。**方法** 通过浙江省金华市环境监测中心和金华市气象局收集 2014—2021 年金华市金东区、婺城区的大气污染物和气象资料, 通过浙江省慢性病监测信息管理系统收集同期居民死亡资料, 采用广义相加模型分析大气污染物短期暴露对居民死亡和 YLL 的影响。**结果** 单污染物模型结果显示, PM<sub>2.5</sub> 短期暴露对居民死亡和 YLL 的影响均在累积滞后 2 d 时最大, 效应值分别为 1.064% (95%CI: 0.450%~1.682%) 和 2.084 (95%CI: 1.003~3.165) 人年; SO<sub>2</sub> 短期暴露对居民 YLL 的影响在当日最大, 效应值为 2.432 (95%CI: 0.610~4.254) 人年; NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 短期暴露对居民死亡和 YLL 的影响无统计学意义 (均  $P>0.05$ )。性别和年龄分层结果显示, PM<sub>2.5</sub> 累积滞后 2 d 时对女性、≥65 岁居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义; SO<sub>2</sub> 在当日对女性、≥65 岁居民 YLL 的影响有统计学意义 (均  $P<0.05$ )。双污染物模型结果显示, 在 PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub> 中分别纳入 NO<sub>2</sub> 后, 对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义, 效应值较单污染物模型升高; 在 PM<sub>2.5</sub> 中纳入 SO<sub>2</sub> 或 O<sub>3</sub> 后, 对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义, 效应值较单污染物模型降低 (均  $P<0.05$ )。**结论** PM<sub>2.5</sub> 短期暴露可增加居民死亡和 YLL 风险, SO<sub>2</sub> 短期暴露可增加居民 YLL 风险, 对女性和 ≥65 岁居民的影响更为明显。

**关键词:** 大气污染物; 死亡; 寿命损失年; 广义相加模型

中图分类号: R181.3 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087 (2024) 05-0383-05

## Effects of short-term exposure to air pollutants on death and years of life lost in Jinhua City

HE Xiaqing<sup>1</sup>, LUO Jinbin<sup>1</sup>, WANG Xiaohong<sup>2</sup>, XU Dandan<sup>3</sup>

1. Department of Environmental and Occupational Health, Jinhua Center for Disease Control and Prevention, Jinhua, Zhejiang 321002, China; 2. Jinhua Center for Disease Control and Prevention, Jinhua, Zhejiang 321002, China;  
3. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

**Abstract: Objective** To explore the effects of short-term exposure to four air pollutants, namely fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>), on death and years of life lost (YLL). **Methods** Air pollutants and meteorological data in Jindong District and Wucheng District of Jinhua City, Zhejiang Province from 2014 to 2021 were collected through Jinhua Environmental Monitoring Center and Jinhua Meteorological Bureau. Death data of residents during the same period was collected through Zhejiang Province Chronic Disease Monitoring Information Management System. The effects of short-term exposure to four air pollutants on death and YLL were analyzed using a generalized additive model. **Results** The results of single-pollutant model analysis showed that the lagged effect of short-term exposure to PM<sub>2.5</sub> on death and YLL was the largest at cumulative lags of 2 days, with effect size of 1.064% (95%CI: 0.450%~1.682%) and 2.084 (95%CI: 1.003~3.165) person-years, respectively; the effect of short-term exposure to SO<sub>2</sub> on YLL was the largest on the same day, with an effect size of 2.432 (95%CI: 0.610~4.254) person-

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2024.05.004

基金项目: 金华市科学技术研究项目 (2021-4-239)

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,

E-mail: jhcdchxq@163.com

years; short-term exposure to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> had no statistically significant effects on death and YLL (both  $P>0.05$ ). The results of gender- and age-stratified analysis showed that short-term exposure to PM<sub>2.5</sub> had significant lagged effects on death and YLL among females and residents aged 65 years and above at cumulative lags of 2 days; short-term exposure to SO<sub>2</sub> had significant effects on YLL among females and residents aged 65 years and above on the same day (both  $P<0.05$ ). The results of dual-pollutant model analysis showed that after the inclusion of NO<sub>2</sub> in PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub>, the effects on death and YLL were statistically significant, with the effect size being higher compared to the single-pollutant model; after the inclusion of SO<sub>2</sub> or O<sub>3</sub> in PM<sub>2.5</sub>, the effects on death and YLL were statistically significant, with the effect size being lower compared to the single-pollutant model (all  $P<0.05$ ). **Conclusion** Short-term exposure to PM<sub>2.5</sub> may increase the risk of death and YLL, and short-term exposure to SO<sub>2</sub> may increase the risk of YLL among residents, with more significant impacts on female and residents aged 65 years and above.

**Keywords:** air pollutant; mortality; years of life lost; generalized additive model

全球疾病负担评估研究显示, 2010—2019年大气污染是暴露风险增加最多的因素之一, 对人群死亡风险影响较大<sup>[1-3]</sup>。我国归因于大气污染的死亡人数约为85万, 健康寿命损失年约为200万人年<sup>[4]</sup>。细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和臭氧(O<sub>3</sub>)是常见的大气污染物, 可在人体内沉积, 影响多个系统<sup>[4]</sup>。研究发现, PM<sub>2.5</sub>长期和短期暴露会增加心血管事件风险, 也影响生殖系统; NO<sub>2</sub>暴露可增加成人肺炎发病和死亡风险; SO<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>暴露可增加儿童相关门诊量<sup>[5-7]</sup>。大气污染对人群的影响与每日接触不同污染物的质量浓度变化有关, 不同城市的大气污染对健康存在不同的暴露-反应特征<sup>[8]</sup>。本研究收集2014—2021年浙江省金华市主城区的大气污染物和居民死亡监测资料, 分析PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>短期暴露对居民死亡和YLL的影响, 为制定大气污染相关健康策略提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

收集2014—2021年金华市主城区(金东区和婺城区)的大气污染物、气象监测和居民死亡资料。大气污染物资料来源于金华市环境监测中心, 包括PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>的日均质量浓度资料。气象监测资料来源于金华市气象局, 包括日均温度和日均相对湿度资料。居民死亡资料来源于浙江省慢性病监测信息管理系统, 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), 筛选编码为A00~R99的非意外死亡资料纳入研究。

### 1.2 方法

建立2014—2021年大气污染物、气象因素、健康结局(死亡和YLL)的时间序列数据库, 描述性分析大气污染物、日均温度、日均相对湿度、死亡人

数和YLL的基本情况。YLL参照公式 $YLL=N_i \times L_i$ 计算, 其中 $N_i$ 为各年龄组的死亡人数,  $L_i$ 为各死亡年龄组的标准期望寿命<sup>[9]</sup>。

采用基于泊松分布的广义相加模型(generalized additive model, GAM)分析大气污染物对居民死亡的影响, 模型函数为 $\log[E(Y_t)] = \beta_i z_{it} + ns(\text{time}, \nu) + ns(\text{temp}, \nu) + ns(\text{rhum}, \nu) + \text{DOW} + \text{intercept}$ 。采用基于高斯分布的GAM分析大气污染物对居民YLL的影响, 模型函数为 $E(YLL_t) = \beta_i z_{it} + ns(\text{time}, \nu) + ns(\text{temp}, \nu) + ns(\text{rhum}, \nu) + \text{DOW} + \text{intercept}$ 。以上式中: $E(Y_t)$ 、 $E(YLL_t)$ 分别为第 $t$ 天死亡人数、YLL的期望值。 $z_{it}$ 为第 $i$ 个污染物在第 $t$ 天的平均质量浓度; $\beta_i$ 为第 $i$ 个污染物的回归模型系数; $ns$ 为自然平滑样条函数; $\text{time}$ 为时间变量; $\nu$ 为自由度; $\text{temp}$ 为日均温度变量; $\text{rhum}$ 为日均相对湿度变量; $\text{DOW}$ 为星期几效应; $\text{intercept}$ 为截距。

根据赤池信息准则最小法则, 最终模型选择的时间、温度和相对湿度的 $\nu$ 分别为8、3和3。控制时间变化趋势、温度、相对湿度和星期几效应等混杂因素的影响。将PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>单独纳入GAM, 分别选择滞后0~3d分析滞后效应; 采用当日至死亡前1~3d污染物的平均质量浓度分析累积滞后效应。选择每个大气污染物滞后效应的最佳滞后天数, 按性别、年龄进行分层分析。在单污染物模型的基础上, 选择每个大气污染物的最佳滞后天数, 建立双污染物模型进一步分析。大气污染物对每日死亡人数的影响以超额危险度(excess risk, ER)表示; 对每日YLL的影响以高斯分布模型计算出的 $\beta$ 值(即YLL的增加量)表示。

### 1.3 统计分析

采用R 4.3.1和SPSS 21.0软件统计分析。定量资料服从正态分布的采用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )描述, 定量资料不服从正态分布的采用中位数和四分位数

间距  $[M(Q_R)]$  描述。采用 Spearman 秩相关分析大气污染物与气象因素的相关性。采用 GAM 分析大气污染物对居民死亡和 YLL 的影响。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 金华市主城区大气污染物、居民死亡和 YLL 基本情况

2014—2021 年金华市主城区  $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  和  $O_3$  日均质量浓度  $M(Q_R)$  分别为 35.00 (30.00)、10.00 (11.00)、32.00 (23.00) 和 88.00 (69.00)  $\mu g/m^3$ ，参照 GB 3095—2012 《环境空气质量标准》<sup>[10]</sup>， $PM_{2.5}$  有 1 472 d 超标，超标率为 50.37%； $O_3$  有 1 236 d

超标，超标率为 42.30%； $SO_2$ 、 $NO_2$  均未超标。日均温度为  $(19.08 \pm 8.52)$   $^{\circ}C$ ，日均相对湿度为  $(73.02 \pm 14.16)$  %。死亡 43 056 例，日均死亡人数  $M(Q_R)$  为 14 (7) 例，其中男性 8 (5) 例，女性 6 (4) 例；总 YLL 为 833 547.94 人年，日均 YLL  $M(Q_R)$  为 257.91 (153.84) 人年，其中男性为 156.98 (115.25) 人年，女性为 94.11 (76.32) 人年。

### 2.2 大气污染物与气象因素的相关性分析

Spearman 秩相关分析结果显示， $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$  和  $NO_2$  两两间呈正相关关系； $O_3$  与  $PM_{2.5}$  呈正相关，与  $NO_2$  呈负相关； $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  分别与日均温度和日均相对湿度呈负相关， $O_3$  与日均温度呈正相关，与日均相对湿度呈负相关 (均  $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 大气污染物与气象因素的 Spearman 秩相关分析 ( $r_s$  值/ $P$  值)  
Table 1 Spearman rank correlation analysis of air pollutants and meteorological factors ( $r_s/P$ )

指标	$NO_2$	$O_3$	$PM_{2.5}$	日均温度	日均相对湿度
$SO_2$	0.526/ $<0.001$	0.033/0.077	0.731/ $<0.001$	-0.212/ $<0.001$	-0.202/ $<0.001$
$NO_2$	—	-0.314/ $<0.001$	0.621/ $<0.001$	-0.596/ $<0.001$	-0.043/0.019
$O_3$	—	—	0.073/ $<0.001$	0.592/ $<0.001$	-0.545/ $<0.001$
$PM_{2.5}$	—	—	—	-0.320/ $<0.001$	-0.238/ $<0.001$
日均温度	—	—	—	—	-0.110/ $<0.001$
日均相对湿度	—	—	—	—	—

### 2.3 大气污染物与居民死亡、YLL 的单污染物模型分析

$PM_{2.5}$  对居民死亡和 YLL 的影响在累积滞后 2 d 时最大。 $SO_2$  对居民 YLL 的影响在当日最大，对居民死亡的影响无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。 $NO_2$  和  $O_3$  对居民死亡和 YLL 的影响无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 2。分层分析结果显示， $PM_{2.5}$  累积滞后 2 d 时对女性和  $\geq 65$  岁居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义；对男性 YLL 的影响有统计学意义 (均  $P < 0.05$ )。 $SO_2$  在当日对  $\geq 65$  岁居民死亡的影响有统计学意义，对女性和  $\geq 65$  岁居民 YLL 的影响有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 3。

### 2.4 大气污染物与居民死亡、YLL 的双污染物模型分析

$PM_{2.5}$  在累积滞后 2 d 纳入  $SO_2$  或  $O_3$  后，对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义，效应值较单污染物模型降低；纳入  $NO_2$  后，对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义，效应值较单污染物模型升高。 $SO_2$  在当日纳入  $NO_2$  后，对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义，效应值较单污染物模型升高。见表 4。

## 3 讨论

研究结果显示，2014—2021 年金华市主城区  $PM_{2.5}$  短期暴露可增加居民死亡和 YLL 风险， $SO_2$  短期暴露可增加居民 YLL 风险，且对女性和  $\geq 65$  岁居民的影响较大。而  $NO_2$  和  $O_3$  对居民死亡和 YLL 的影响无统计学意义。

金华市主城区  $PM_{2.5}$  短期暴露可导致居民死亡风险升高，效应值在累积滞后 2 d 达到最大。石家庄市<sup>[7]</sup>、昆明市<sup>[11]</sup>和北京市通州区<sup>[12]</sup>的研究发现， $PM_{2.5}$  短期暴露对死亡的最佳滞后效应时间分别为滞后 1 d、滞后 7 d 和累积滞后 3 d，效应值分别为 0.19% (95%CI: 0.01%~0.38%)、0.31% (95%CI: 0.14%~0.77%) 和 1.93% (95%CI: 0.46%~3.42%)。不同地区  $PM_{2.5}$  对死亡的效应时间和强度不一致，可能与人口结构、大气污染物质量浓度、颗粒物组成成分和气象条件等因素不同有关<sup>[13-15]</sup>。 $PM_{2.5}$  对 YLL 的影响在累积滞后 2 d 达到最大，累积效应大于单日滞后效应，与南京市研究结果<sup>[16]</sup>相同。 $SO_2$  短期暴露可导致居民 YLL 的风险增加，效应值在当日达到最大，与天津市南开区研究结果<sup>[17]</sup>一致。

表 2 大气污染物对居民死亡和 YLL 的滞后效应分析

Table 2 Lag effects of air pollutants on death and years of life lost among residents

指标	滞后 天数/d	死亡		YLL		指标	滞后 天数/d	死亡		YLL	
		[ER (95%CI) %]	[β (95%CI) /人年]	[ER (95%CI) %]	[β (95%CI) /人年]			[ER (95%CI) %]	[β (95%CI) /人年]		
PM <sub>2.5</sub>	0	0.771	(0.283~1.261) ①	1.434	(0.568~2.299) ①	NO <sub>2</sub>	0	0.287	(-0.549~1.131)	0.101	(-0.813~1.015)
	1	0.731	(0.251~1.213) ①	1.561	(0.652~2.470) ①		1	0.474	(-0.373~1.328)	0.314	(-0.619~1.247)
	2	0.492	(0.012~0.975) ①	0.942	(0.389~1.495) ①		2	-0.117	(-0.951~0.725)	-0.409	(-1.471~0.653)
	3	-0.060	(-0.539~0.421)	0.193	(-0.463~0.849)		3	-0.474	(-1.297~0.355)	-1.110	(-1.963~-0.257)
	0~1	0.974	(0.422~1.530) ①	1.623	(0.523~2.723) ①		0~1	0.464	(-0.460~1.397)	0.205	(-0.801~1.211)
	0~2	1.064	(0.450~1.682) ①	2.084	(1.003~3.165) ①		0~2	0.277	(-0.713~1.276)	-0.208	(-1.301~0.885)
	0~3	0.916	(0.245~1.593) ①	1.846	(0.914~2.778) ①		0~3	0.017	(-1.019~1.063)	-0.633	(-1.892~0.626)
SO <sub>2</sub>	0	1.532	(-0.035~3.123)	2.432	(0.610~4.254) ①	O <sub>3</sub>	0	0.150	(-0.150~0.450)	0.105	(-0.201~0.411)
	1	1.134	(-0.407~2.699)	1.401	(-0.218~3.020)		1	0.278	(-0.008~0.565)	0.179	(-0.184~0.542)
	2	1.068	(-0.453~2.613)	0.714	(-1.012~2.440)		2	0.197	(-0.076~0.471)	0.306	(-0.101~0.713)
	3	0.817	(-0.694~2.351)	-0.101	(-1.718~1.516)		3	0.020	(-0.250~0.291)	0.037	(-0.243~0.317)
	0~1	1.694	(-0.050~3.467)	2.302	(0.245~4.359) ①		0~1	0.296	(-0.045~0.638)	0.241	(-0.198~0.680)
	0~2	1.751	(-0.121~3.658)	1.310	(-0.715~3.335)		0~2	0.345	(-0.021~0.712)	0.356	(-0.145~0.857)
	0~3	1.704	(-0.276~3.723)	0.294	(-1.841~2.429)		0~3	0.300	(-0.086~0.688)	0.316	(-0.180~0.812)

注：①表示P<0.05。

表 3 不同性别、年龄居民死亡和 YLL 的的滞后效应分析

Table 3 Lag effects on death and years of life lost among different gender and age groups

项目	PM <sub>2.5</sub>		SO <sub>2</sub>	
	死亡 [ER (95%CI) %]	YLL [β (95%CI) /人年]	死亡 [ER (95%CI) %]	YLL [β (95%CI) /人年]
性别				
男	0.712 (-0.091~1.523)	1.708 (0.612~2.804) ①	1.140 (-0.902~3.224)	1.916 (-0.205~4.037)
女	1.390 (0.460~2.328) ①	2.410 (1.140~3.680) ①	1.822 (-0.541~4.242)	3.019 (0.258~5.780) ①
年龄/岁				
<65	0.211 (-1.435~1.885)	1.410 (-0.131~2.951)	-0.784 (-4.946~3.560)	-2.735 (-4.618~-0.852)
≥65	1.815 (1.012~2.624) ①	2.563 (1.601~3.525) ①	4.441 (2.366~6.558) ①	7.801 (5.421~10.181) ①

注：①表示P<0.05。

表 4 大气污染物对居民死亡和 YLL 影响的双污染物模型分析

Table 4 Dual-pollutant model analysis of the effects of air pollutants on death and years of life lost among residents

污染物	死亡		YLL	
	[ER (95%CI) %]	[β (95%CI) /人年]	[ER (95%CI) %]	[β (95%CI) /人年]
PM <sub>2.5</sub>	1.064	(0.450~1.682) ①	2.084	(1.003~3.165) ①
PM <sub>2.5</sub> +SO <sub>2</sub>	0.917	(0.210~1.547) ①	1.615	(0.847~2.383) ①
PM <sub>2.5</sub> +NO <sub>2</sub>	1.324	(0.683~1.835) ①	2.325	(1.324~3.326) ①
PM <sub>2.5</sub> +O <sub>3</sub>	0.814	(0.267~1.502) ①	1.782	(0.794~2.770) ①
SO <sub>2</sub>	1.532	(-0.035~3.123)	2.432	(0.610~4.254) ①
SO <sub>2</sub> +PM <sub>2.5</sub>	0.479	(-1.315~1.223)	0.617	(-1.461~2.695)
SO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub>	2.301	(1.014~4.769) ①	3.774	(1.409~6.139) ①
SO <sub>2</sub> +O <sub>3</sub>	1.310	(-0.104~2.554)	1.896	(-0.152~4.304)

注：①表示P<0.05。

性别和年龄分层分析结果显示，PM<sub>2.5</sub>短期暴露对女性、≥65岁居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义；SO<sub>2</sub>短期暴露对女性、≥65岁居民 YLL 影响有

统计学意义。提示女性和≥65岁人群更易受到大气污染物短期暴露的影响，与既往研究报道<sup>[18-20]</sup>一致。女性易感的原因可能与抵抗力相对较弱，气道反应性较高，肺部颗粒物沉降较多有关。老年人易感的原因可能是老年人罹患慢性基础性心肺疾病比例较高，体质相对较差，对吸入呼吸道内的污染物的清除能力和免疫力较低，对大气污染物的易感性较高。

与单污染物模型相比，PM<sub>2.5</sub>分别纳入 SO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 后，对居民死亡和 YLL 的影响有统计学意义，效应值降低；纳入 NO<sub>2</sub> 后，效应值增加。SO<sub>2</sub> 纳入 NO<sub>2</sub> 后，对居民死亡的影响有统计学意义，对 YLL 影响的效应值较单污染物模型增加，与其他研究结果<sup>[3]</sup>相似。提示大气污染物对健康的影响可能不是简单的效应叠加，污染物之间可能存在复杂的拮抗作用或协同作用。

另外, 2014—2021年金华市主城区大气PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>日均质量浓度分别为35.00(30.00)和88.00(69.00) μg/m<sup>3</sup>, 且分别有1 472和1 236 d的日均质量浓度超过国家标准<sup>[10]</sup>, 提示相关部门仍需重视PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>, 采取有针对性的措施改善空气质量, 减少对人群健康的危害。

本研究存在局限性。首先, 本研究是一项生态时间序列研究, 使用城市大气污染物平均暴露水平作为人群暴露水平会产生误差, 且误差的大小、方向难以估计。其次, 在分析大气污染对健康事件的影响时, 采用不同模型处理数据, 会出现不同结果, 今后需构建不同模型进行比较, 寻求更稳定的模型以获得更准确的研究结果。

#### 参考文献

- [1] GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396 (10258): 1223–1249.
- [2] GBD 2019 Demographics Collaborators. Global age–sex–specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950–2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396 (10258): 1160–1203.
- [3] 李朝康, 龚科米, 吕焯, 等. 杭州市大气污染对居民死亡的影响研究 [J]. *预防医学*, 2023, 35 (1): 11–16.
- [4] Institute of Health and Metrics (IHME). GBD 2017, ambient particulate matter pollution, both sexes, all ages, 2017, deaths / DALYs [EB/OL]. [2024-04-10]. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>.
- [5] 徐琪, 叶辉, 朱冰, 等. 大气PM<sub>2.5</sub>与呼吸系统、心脑血管疾病急救病例数的相关性研究 [J]. *预防医学*, 2022, 34 (7): 710–714.
- [6] 袁震, 沈先标, 季鹏, 等. 宝山区大气污染物与儿科门诊量的关联研究 [J]. *预防医学*, 2024, 36 (2): 143–146.
- [7] 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, 22 (3): 272–277.
- [8] LIU C, CHEN R J, SERA F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities [J]. *N Engl J Med*, 2019, 381 (8): 705–715.
- [9] World Health Organization. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates, 2000–2016 [EB/OL]. [2024-04-10]. <https://www.who.int/healthinfo/global-burden-disease/GlobalDALY-method-2000-2016.pdf?ua=1>.
- [10] 中华人民共和国环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [11] 陈皓, 李旭, 苏晓梅. 2017—2019年昆明市主城区大气PM<sub>2.5</sub>对人群非意外死亡的影响 [J]. *职业与健康*, 2022, 38 (17): 2382–2387.
- [12] 苏彦萍, 张国峰, 吴芹, 等. 2014—2021年北京市通州区大气污染物PM<sub>2.5</sub>对人群每日死亡人数的影响 [J]. *预防医学论坛*, 2023, 29 (4): 286–292.
- [13] 王子豪, 沈卓之, 吴芸芸, 等. 重庆市主城区区域2014—2018年大气污染物PM<sub>2.5</sub>对居民呼吸系统疾病死亡影响的时间序列研究 [J]. *重庆医学*, 2020, 49 (22): 3688–3692.
- [14] GUAN M Y, SUN C Y, TANG D J, et al. A time-series analysis on the association between fine particulate matter and daily mortality—Shijiazhuang city, Hebei Province, China, 2015–2020 [J]. *China CDC Wkly*, 2022, 4 (11): 226–231.
- [15] ZENG Q, NI Y, JIANG G H, et al. The short term burden of ambient particulate matters on non-accidental mortality and years of life lost: a ten-year multi-district study in Tianjin, China [J]. *Environ Pollut*, 2017, 220: 713–719.
- [16] 陈玉琪. 南京市某区PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>对居民呼吸系统健康影响的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2022.
- [17] 倪洋, 曾强, 李国星. 天津市南开区大气SO<sub>2</sub>对人群早死寿命损失年影响的时间序列研究 [J]. *公共卫生与预防医学*, 2017, 28 (1): 8–12.
- [18] 熊飞, 肖梦曦, 宋杰, 等. 重庆市某城区2013—2020年大气细颗粒物与居民死亡风险的时间序列分析 [J]. *卫生研究*, 2023, 52 (6): 965–971.
- [19] SONG W M, LIU L, LIU J Y, et al. The burden of air pollution and weather condition on daily respiratory deaths among older adults in China, Jinan from 2011 to 2017 [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98 (10): 1–9.
- [20] CHAN K Y, WANG W, WU J J, et al. Epidemiology of Alzheimer's disease and other forms of dementia in China, 1990–2010: a systematic review and analysis [J]. *Lancet*, 2013, 381 (9882): 2016–2023.

收稿日期: 2024-01-26 修回日期: 2024-04-10 本文编辑: 徐亚慧