

· 论 著 ·

# 居民每日死亡例数与空气污染物日均浓度的关系

曹洋<sup>1</sup>, 杨丽梅<sup>1</sup>, 坑斌<sup>2</sup>, 刘羽<sup>1</sup>

1.北京市怀柔区疾病预防控制中心信息统计科, 北京 101400; 2.北京市怀柔区疾病预防控制中心环境卫生科

**摘要:** **目的** 评价北京市怀柔区居民每日死亡例数与空气污染物日均浓度的关系, 为制订空气污染治理措施提供依据。**方法** 通过北京市环境保护监测中心怀柔镇环境监测站点、怀柔区气象局和北京市卫生防病监测信息资源整合分析平台收集2014—2018年怀柔区空气污染物监测、气象监测及死因监测资料, 采用广义相加模型分析居民每日死亡例数与空气污染物日均浓度的关系。**结果** 2014—2018年怀柔区SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>日均浓度的中位数分别为5.00 μg/m<sup>3</sup>、24.00 μg/m<sup>3</sup>、0.71 mg/m<sup>3</sup>、77.27 μg/m<sup>3</sup>、64.25 μg/m<sup>3</sup>和44.13 μg/m<sup>3</sup>, 除O<sub>3</sub>外均呈下降趋势 ( $P < 0.05$ )。单污染物模型结果显示, NO<sub>2</sub>日均浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>, 全人群、女性和<65岁人群每日非意外死亡风险在滞后2 d时分别增加1.69% (95%CI: 0.31%~3.08%)、3.31% (95%CI: 1.24%~5.42%) 和3.31% (95%CI: 0.51%~6.19%); CO和PM<sub>2.5</sub>日均浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>, <65岁人群每日非意外死亡风险在滞后2 d时分别增加0.08% (95%CI: 0.01%~0.14%) 和0.88% (95%CI: 0.12%~1.64%); O<sub>3</sub>日均浓度每升高10 μg/m<sup>3</sup>, 男性每日非意外死亡风险在滞后4 d时增加0.69% (95%CI: 0.02%~1.36%)。多污染物模型结果显示, NO<sub>2</sub>、CO和PM<sub>2.5</sub>在分别调整其他2种空气污染物的影响后, 对<65岁人群每日非意外死亡的影响在滞后2 d时均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。**结论** 怀柔区NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>和PM<sub>2.5</sub>日均浓度升高可能增加居民每日非意外死亡的风险, 且存在一定的滞后性。

**关键词:** 空气污染物; 非意外死亡; 广义相加模型**中图分类号:** R122; R195 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2021) 03-0231-05

## The relationship between air pollutants and mortality in Huairou District

CAO Yang\*, YANG Limei, KENG Bin, LIU Yu

*\*Institute of Information and Statistics, Huairou Center for Disease Control and Prevention, Beijing 101400, China*

**Abstract: Objective** To evaluate the relationship between air pollutants and mortality of residents in Huairou District, Beijing, providing a basis for the formulation of air pollution control measures. **Methods** The data of daily deaths, meteorological factors and air pollutants in Huairou District from 2014 to 2018 were collected from Beijing Disease Prevention Monitoring Information Integration and Analysis System, Huairou Meteorological Bureau and Environmental Monitoring Station. The generalized additive models were used to analyze the relationship between the average daily concentration of air pollutants and the daily deaths. **Results** The medians of daily average concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were 5.00 μg/m<sup>3</sup>, 24.00 μg/m<sup>3</sup>, 0.71 mg/m<sup>3</sup>, 77.27 μg/m<sup>3</sup>, 64.25 μg/m<sup>3</sup> and 44.13 μg/m<sup>3</sup>, respectively. Except for O<sub>3</sub>, the daily average concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> showed decreasing trends from 2014 to 2018. An increase of 10 μg/m<sup>3</sup> of NO<sub>2</sub> resulted in an elevation of 1.69% (95%CI: 0.31%–3.08%), 3.31% (95%CI: 1.24%–5.42%) and 3.31% (95%CI: 0.51%–6.19%) for non-accidental death in the whole population, females and people under 65 years old, respectively, with a delay of 2 days (lag2). For every 10 μg/m<sup>3</sup> increase in the daily average concentrations of CO and PM<sub>2.5</sub>, the risk of non-accidental death among people under 65 years old at lag2 increased by 0.08% (95%CI: 0.01%–0.14%) and 0.88% (95%CI: 0.12%–1.64%), respectively. For every 10 μg/m<sup>3</sup> increase in daily average concentration of O<sub>3</sub>, there was 0.69% (95%CI: 0.02%–1.36%) increase in daily male non-accidental death risk at lag4. The results of the multi-pollutant model showed that after adjusting the effects of the other two air pollutants,

**DOI:** 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.03.004**基金项目:** 国家科技基础资源调查专项 (2017FY101200-03)**作者简介:** 曹洋, 硕士, 医师, 主要从事死因信息报告工作**通信作者:** 曹洋, E-mail: caoyangcq@sina.cn

NO<sub>2</sub>, CO and PM<sub>2.5</sub> had no statistically significant effects on the daily non-accidental deaths of people under 65 years old at lag2 ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** The ambient NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> and PM<sub>2.5</sub> pollution increase daily non-accidental deaths, which shows a lag effect.

**Keywords:** air pollutants; non-accidental death; generalized additive model

近年来,空气污染已成为威胁居民健康的公共卫生问题。研究表明,空气污染可能增加心脑血管疾病、呼吸系统疾病的发病及死亡风险<sup>[1-4]</sup>。不同地区空气污染水平、污染物组分不同,对健康效应的影响存在差异。探究空气污染物对居民死亡的影响有助于预测空气污染物的危害效应,完善空气污染治理措施,保护易感人群。时间序列的广义相加模型可运用多种非参数平滑函数有效控制混杂因素,处理解释变量与效应变量间复杂的非线性关系,目前被广泛应用于空气污染或气象因素对人群健康的损害效应研究<sup>[5]</sup>。本研究采用时间序列的广义相加模型评价2014—2018年北京市怀柔区居民每日死亡例数与空气污染物日均浓度的关系,分析空气污染物浓度对居民死亡的影响,为制订空气污染治理措施提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

1.1.1 空气污染物监测资料 2014—2018年怀柔区空气污染物监测资料来源于北京市环境保护监测中心怀柔镇环境监测站点,包括SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>日均浓度。

1.1.2 气象监测资料 2014—2018年每日气象监测资料来源于怀柔区气象局,包括日均气温和相对湿度。

1.1.3 居民死亡资料 怀柔区居民死因监测资料来源于北京市卫生防病监测信息资源整合分析平台。怀柔区死亡监测资料由各级医疗卫生机构专业人员通过《居民死亡医学证明(推断)书》填报,由死亡报告单位所在县(区)疾病预防控制中心死因监测人员审核。怀柔区各乡镇(街道)社区卫生服务中心定期与辖区派出所、民政所及妇幼保健医生核对死亡名单,及时补充填报漏报个案,确保死亡资料完整。

1.2 方法 收集死亡日期为2014年1月1日—2018年12月31日,常住地址为怀柔区的死亡病例资料,按照性别和年龄对死亡个案进行分层。根本死因按照《疾病和有关健康问题的国际统计分类(第十次修订本)》(ICD-10)统计、上报和分类,非意外死亡、心脑血管疾病和呼吸系统疾病的编码分别为A00~R99、I00~I99和J00~J99。

采用时间序列的广义相加模型分析空气污染物日均浓度与每日死因别死亡例数的关系,采用平滑样条函数控制每日死亡例数时间序列的长期趋势、季节趋势、日均气温和日均相对湿度的混杂作用,采用哑变量(DOW=1~7)控制星期几效应的影响。分别纳入各空气污染物当日(lag0)及滞后1~6d(lag1~lag6)的单一滞后效应,lag0及前1~6d(lag01~lag06)平均浓度的累积滞后效应。如下:

$$\text{Log} [E(y_t)] = \alpha + \beta X_{ti} + s(\text{time}, \text{df}) + s(\text{tmean}, \text{df}) + s(\text{rhu}, \text{df}) + \text{as.factor}(\text{DOW})$$

式中: $y_t$ 为观察日 $t$ 当天的非意外死亡例数; $E(y_t)$ 为 $t$ 日死亡例数的期望值; $\alpha$ 为截距; $\beta$ 为空气污染物浓度的回归系数; $X_{ti}$ 为 $t$ 日 $i$ 污染物浓度; $s$ 为平滑样条函数; $\text{time}$ 为时间; $\text{tmean}$ 为温度; $\text{rhu}$ 为湿度; $\text{df}$ 为平滑函数的自由度; $\text{as.factor}(\text{DOW})$ 为星期几哑变量。时间因素的自由度根据赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC),依据AIC最小的原则;日均气温和日均相对湿度自由度据既往专家经验为3/年<sup>[5]</sup>。

采用超额危险度(ER)及其95%置信区间(95%CI)表示空气污染物对不同人群死亡的影响,即空气污染物浓度每升高10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,居民每日死亡例数增加的百分比。 $ER = [\text{EXP}(\beta \times 10) - 1] \times 100\%$ 。

1.3 判定标准 根据GB 3095—2012《环境空气质量标准》<sup>[6]</sup>,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>的日均二级浓度限值分别为150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、4  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

1.4 统计分析 采用R 3.5.1软件统计分析。每日空气污染物浓度、气象指标和居民死亡例数均不服从正态分布,采用中位数和四分位数间距 $[M(Q_R)]$ 描述,空气污染物浓度变化趋势采用Mann-Kendall趋势分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 空气污染物浓度和主要气象因素 2014—2018年怀柔区主要空气污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>日均浓度的 $M(Q_R)$ 分别为5.00(7.29)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24.00(22.24)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.71(0.60)  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、77.27(67.93)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、64.25(71.00)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和44.13(59.00)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超出日均二级标准浓度限值天数分

别为 12 d、31 d、9 d、227 d、198 d 和 525 d，占 0.66%、1.70%、0.49%、12.43%、10.84% 和 28.75%。2014—2018 年 SO<sub>2</sub> ( $Z=-24.565, P<0.001$ )、NO<sub>2</sub> ( $Z=-9.467, P<0.001$ )、CO ( $Z=-8.521, P<0.001$ )、PM<sub>10</sub> ( $Z=-9.980, P<0.001$ ) 和 PM<sub>2.5</sub> ( $Z=-9.642, P<0.001$ ) 日均浓度均呈下降趋势；O<sub>3</sub> 日均浓度未见明显变化趋势 ( $Z=-1.927, P=0.054$ )。见图 1。2014—2018 年怀柔区日均气温的  $M(Q_R)$  为 14.05 (21.95) °C，日均相对湿度为 55.00 (32.00) %。

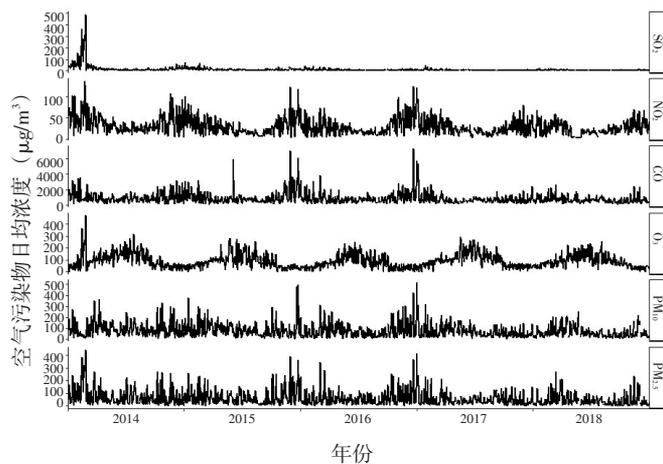


图 1 2014—2018 年怀柔区主要空气污染物日均浓度

### 2.2 2014—2018 年怀柔区居民非意外死亡情况

2014—2018 年怀柔区居民非意外死亡 9 982 例，占

全部死亡人数 (10 566 例) 的 94.47%。男性 5 684 例，占 56.94%；女性 4 298 例，占 43.06%。<65 岁 2 347 例，占 23.51%；≥65 岁 7 635 例，占 76.49%。因心脑血管疾病和呼吸系统疾病死亡分别为 5 894 例和 615 例，占 55.78% 和 5.82%。

### 2.3 单污染物广义相加模型拟合结果

#### 2.3.1 空气污染物日均浓度与居民每日非意外死亡风险

单日滞后模型拟合结果显示，lag2 时 NO<sub>2</sub> 导致全人群每日非意外死亡的 ER 值为 1.69% (95%CI: 0.31%~3.08%,  $P=0.016$ )，其他空气污染物对全人群每日非意外死亡的影响均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

按性别分层，lag4 时 O<sub>3</sub> 导致男性每日非意外死亡的 ER 值为 0.69% (95%CI: 0.02%~1.36%,  $P=0.043$ )；lag2 时 NO<sub>2</sub> 导致女性每日非意外死亡的 ER 值为 3.31% (95%CI: 1.24%~5.42%,  $P=0.002$ )。按年龄分层，lag2 时 NO<sub>2</sub>、CO 和 PM<sub>2.5</sub> 导致 <65 岁人群每日非意外死亡的 ER 值分别为 3.31% (95%CI: 0.51%~6.19%,  $P=0.020$ )、0.08% (95%CI: 0.01%~0.14%,  $P=0.019$ ) 和 0.88% (95%CI: 0.12%~1.64%,  $P=0.024$ )；各空气污染物对 ≥65 岁人群每日非意外死亡的影响均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见图 2。

累积滞后模型结果显示，各空气污染物对居民每日非意外死亡的累积效应均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

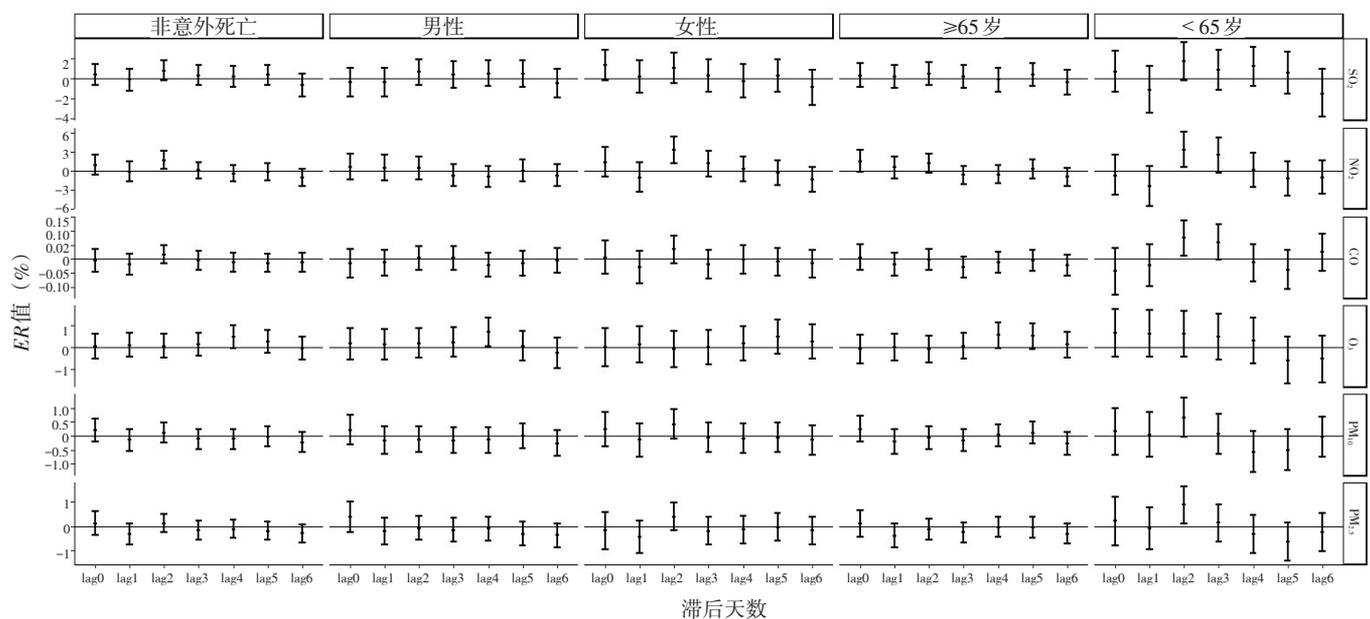


图 2 2014—2018 年怀柔区空气污染物对居民每日非意外死亡的滞后效应

### 2.3.2 空气污染物日均浓度与居民每日心脑血管疾病和呼吸系统疾病死亡风险

lag0~lag6 及 lag01~lag06

时各空气污染物对居民每日心脑血管疾病和呼吸系统疾病死亡的影响均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见图 3。

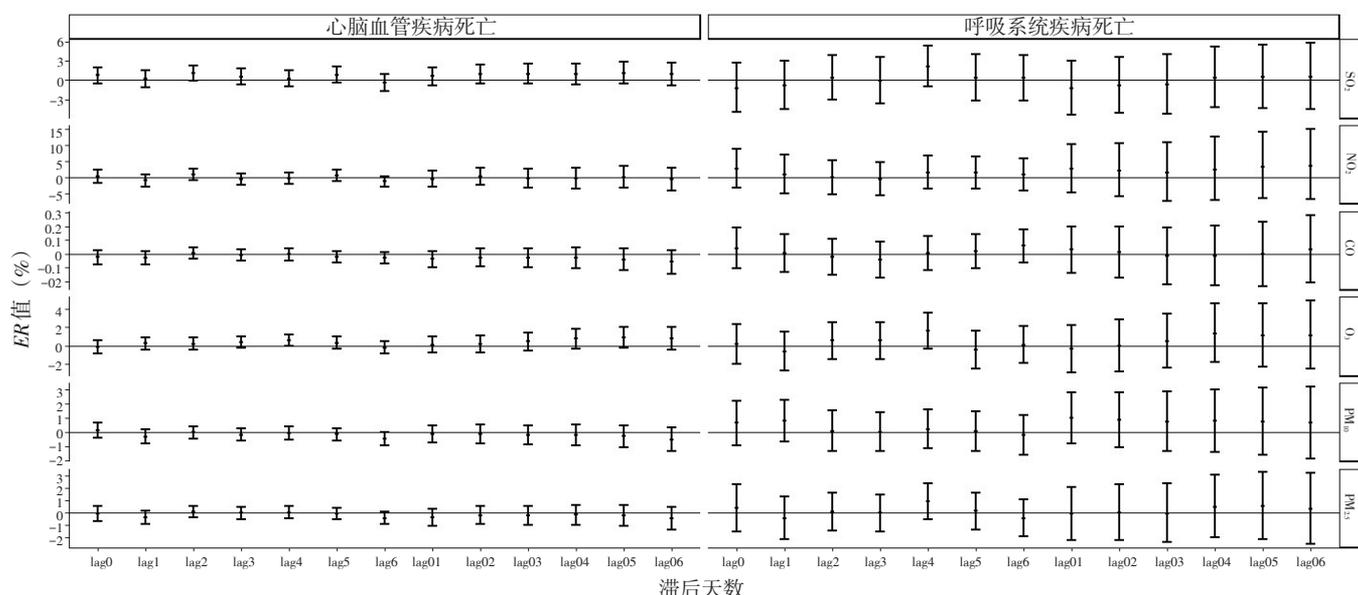


图 3 2014—2018 年怀柔区空气污染物对居民每日心脑血管和呼吸系统疾病死亡的滞后效应

**2.4 多污染物广义相加模型拟合结果** lag2 时, 单污染物模型拟合中 NO<sub>2</sub>、CO 和 PM<sub>2.5</sub> 均导致 <65 岁人群每日非意外死亡风险增加。建立多污染物模型分析发现, 在分别调整其他 2 种空气污染物的影响后, lag2 时 NO<sub>2</sub>、CO 和 PM<sub>2.5</sub> 对 <65 岁人群每日非意外死亡的影响均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 1。

表 1 lag2 时空气污染物对 <65 岁人群每日非意外死亡影响的多污染物模型分析结果 (%)

污染物	ER值	95%CI	P值
NO <sub>2</sub>	3.31	0.51 ~ 6.19	0.020
调整 CO	1.94	-1.91 ~ 5.94	0.328
调整 PM <sub>2.5</sub>	2.05	-1.83 ~ 6.09	0.305
调整 CO+PM <sub>2.5</sub>	1.54	-2.63 ~ 5.89	0.476
CO	0.08	0.01 ~ 0.14	0.019
调整 NO <sub>2</sub>	0.04	-0.04 ~ 0.13	0.330
调整 PM <sub>2.5</sub>	0.05	-0.05 ~ 0.14	0.333
调整 NO <sub>2</sub> +PM <sub>2.5</sub>	0.03	-0.07 ~ 0.14	0.530
PM <sub>2.5</sub>	0.88	0.12 ~ 1.64	0.024
调整 NO <sub>2</sub>	0.48	-0.59 ~ 1.56	0.382
调整 CO	0.47	-0.66 ~ 1.60	0.416
调整 NO <sub>2</sub> +CO	0.29	-0.94 ~ 1.53	0.645

### 3 讨论

结果显示, 除 O<sub>3</sub> 外, 2014—2018 年怀柔区各空

气污染物日均浓度均呈下降趋势, 但 O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度超出二级标准限值的天数较多。SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 日均浓度中位数均低于同期的浙江省金华市<sup>[7]</sup>; SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 日均浓度高于 2013—2018 年上海市闵行区, CO、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 低于上海市闵行区<sup>[8]</sup>。提示 O<sub>3</sub> 和大气颗粒物 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 是影响怀柔区空气质量的主要污染物, 应重点监测其主要来源; 持续推进燃煤型取暖向清洁能源取暖方式转变, 提倡新能源汽车的使用, 减少机动车尾气排放, 促进工业企业升级改造, 制定更高的工业废气排放标准以提高空气质量。

单污染物广义相加模型拟合结果显示, NO<sub>2</sub> 日均浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>, 全人群每日非意外死亡风险在 lag2 时增加 1.69%, 高于北京市 (1.10%)<sup>[9]</sup>, 低于珠海市 (1.73%)<sup>[10]</sup> 和合肥市 (2.11%)<sup>[11]</sup>。且不同性别、年龄人群分析结果表明, NO<sub>2</sub> 日均浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>, 65 岁以下人群和女性每日非意外死亡风险在 lag2 时均增加, 与合肥市<sup>[11]</sup> 研究结果相同。

O<sub>3</sub> 日均浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>, 男性每日非意外死亡风险在 lag4 时增加 0.69%, 但对女性每日非意外死亡影响无统计学意义, 与既往研究结果不同<sup>[12]</sup>。CO 和 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度每升高 10 μg/m<sup>3</sup>, 65 岁以下居民的每日非意外死亡风险在 lag2 时均增加, 与其他研究结果不同<sup>[13]</sup>。可能是由于不同地区居民年龄分布、职业、文化程度和不良生活习惯等存在差异。建

立多污染物模型，在分别调整其他 2 种空气污染物的影响后，NO<sub>2</sub>、CO 和 PM<sub>2.5</sub> 对 65 岁以下人群每日非意外死亡的影响在 lag2 时均无统计学意义，与其他研究结果类似<sup>[14]</sup>。提示空气污染物之间互相影响，且可能存在一定的共线性<sup>[15]</sup>。

各空气污染物对心脑血管疾病和呼吸系统疾病死亡的影响无统计学意义，与既往研究结果<sup>[16]</sup>不一致，可能由于经济发展水平、能源结构等方面影响，不同地区空气污染物来源、成分和产生量不同，气象、年龄分布、人群易感性及暴露水平、疾病谱构成状况等也会影响研究结果<sup>[17-18]</sup>。

本研究采用广义相加模型分析空气污染物日均浓度与居民每日死亡例数的关系，考虑了空气污染物的滞后和累积效应，但仍具有一定的局限性：第一，采用一个监测点数据代表怀柔区全区空气污染物水平，且以室外空气污染物的浓度作为人群暴露水平存在一定偏倚；第二，仅对时间序列中的长期趋势、季节趋势、星期几效应、气温和相对湿度等进行控制，未控制可能影响空气污染物浓度的相关混杂因素，如气压、风速及采暖等；第三，各空气污染物之间可能存在交互作用和（或）联合作用，在多污染物模型拟合时，未解决多种污染物的共线性问题。因此，今后需进一步探讨，从而更加准确地反映空气污染物对居民死亡的影响。

综上所述，NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度升高可能增加居民每日非意外死亡风险，特别是 NO<sub>2</sub> 对居民每日非意外死亡的影响较大。

#### 参考文献

[1] CAREY I M, ATKINSON R W, KENT A J, et al. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187 (11): 1226-1233.

[2] 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]. *Lancet*, 2014, 383 (9919): 785-795.

[3] 薛江丽, 王旗, 蔡玥, 等. 北京市大气可吸入性颗粒物污染对居民死亡影响的时间序列分析 [J]. *中华预防医学杂志*, 2012, 46 (5): 447-451.

[4] 李静, 王焕新, 屈龙, 等. 昌平区 PM<sub>2.5</sub> 和气温对日门诊量的交互影响 [J]. *预防医学*, 2019, 31 (6): 593-596, 599.

[5] 张云权, 朱耀辉, 李存禄, 等. 广义相加模型在 R 软件中的实现 [J]. *中国卫生统计*, 2015, 32 (6): 1073-1075.

[6] 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: 中国标准出版社, 2012.

[7] 何晓庆, 王小红, 罗进斌. 大气 PM<sub>10</sub> 与呼吸系统疾病死亡的关系研究 [J]. *预防医学*, 2019, 31 (10): 987-991.

[8] 陈丽, 汪曦, 顾怡勤, 等. 大气污染对上海市闵行区居民糖尿病死亡的急性影响 [J]. *职业与健康*, 2019, 35 (5): 656-659, 665.

[9] 苏健婷, 杜婧, 王春梅, 等. 大气污染物对北京市常住居民死亡影响的时间序列研究 [J]. *环境与健康杂志*, 2018, 35 (5): 421-424.

[10] 张亮, 张秋平, 谭爱军. 珠海市空气污染对人群死亡的影响 [J]. *实用预防医学*, 2019, 26 (4): 446-449.

[11] 胡星星. SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 污染及温度变化对合肥市非意外死亡的影响及模型预测 [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2019.

[12] 谷亚亚, 甄国新, 谈敦芳, 等. 北京市顺义区大气臭氧对居民每日死亡的影响 [J]. *环境与健康杂志*, 2019, 36 (4): 329-334.

[13] 张开月, 金武, 姚庆兵, 等. 扬州市空气细颗粒物与居民死亡关系的时间序列分析 [J]. *南通大学学报 (医学版)*, 2019, 39 (4): 299-301.

[14] 陈浪, 赵川, 关茗洋, 等. 石家庄市大气颗粒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.

[15] 钱旭君, 沈月平, 贺天锋, 等. 宁波市大气颗粒物与人群因心脑血管疾病死亡的时间序列研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2016, 37 (6): 841-845.

[16] DASTOORPOOR M, GOUDARZI G, KHANJANI N, et al. Lag time structure of cardiovascular deaths attributed to ambient air pollutants in Ahvaz, Iran, 2008-2015 [J]. *Int J Occup Med Environ Health*, 2018, 31 (4): 459-473.

[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 [D]. 武汉: 武汉大学, 2017.

[18] 周海泓, 张杨, 雍宗锋, 等. 基于广义相加模型分析可吸入颗粒物对人群呼吸系统的短期健康效应 [J]. *江苏预防医学*, 2018, 29 (4): 389-392.

收稿日期: 2020-09-15 修回日期: 2020-12-01 本文编辑: 姜申