

治理后兰州市主城区大气污染物对居民非意外死亡及死亡负担的影响

张晨阳¹, 王梅¹, 阮焯¹, 罗斌¹, 吴琪¹, 李盛², 王宇红³, 牛静萍¹

1. 兰州大学公共卫生学院, 甘肃 兰州 730000

2. 兰州市第一人民医院公共卫生科, 甘肃 兰州 730050

3. 兰州市疾病预防控制中心公共卫生科, 甘肃 兰州 730030

摘要:

[背景] 大气污染是影响人群健康的主要环境危险因素。

[目的] 了解大气污染治理后兰州市主要城区大气污染对居民非意外死亡和死亡负担的影响。

[方法] 收集兰州市四个主要城区(城关区、七里河区、西固区、安宁区)大气污染治理前(2004—2011年)大气污染物SO₂、NO₂和PM₁₀的监测数据和大气污染治理后(2014—2018年)大气污染物SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、CO和O₃的监测数据、气象数据和居民死因监测数据,统计非意外总死亡人数和大气污染物浓度;采用广义相加模型,控制时间趋势、季节效应、气象因素、星期几效应等因素,分析兰州市四个主要城区大气污染对居民非意外死亡的影响;利用泊松回归比例风险模型定量评价兰州市大气污染对居民的死亡负担。

[结果] 兰州市四个城区2004—2011年SO₂、NO₂和PM₁₀的年均质量浓度(简称为浓度)分别为61.58、45.47、154.97 μg·m⁻³。2014—2018年非意外总死亡人数为79 284人,平均每日非意外死亡人数为43人;SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、CO和O₃的年均浓度分别为21.58 μg·m⁻³、54.42 μg·m⁻³、52.67 μg·m⁻³、124.84 μg·m⁻³、1.41 mg·m⁻³和87.40 μg·m⁻³。兰州市大气污染治理后(2014—2018年)大气SO₂、PM₁₀日均浓度分别降低,NO₂浓度有所升高。居民非意外死亡人数与SO₂、NO₂、PM₁₀、O₃、PM_{2.5}和CO呈正相关,其中与SO₂相关性最强($r=0.906$),与NO₂相关性最弱($r=0.048$)。SO₂、NO₂对居民非意外死亡的影响在滞后2 d最大,其相对危险度分别为1.002 13(95% CI: 1.001 35~1.002 90)和1.000 59(95% CI: 1.000 17~1.001 02);PM₁₀和PM_{2.5}在当日达到最大,其相对危险度分别为1.000 12(95% CI: 1.000 04~1.000 20)和1.000 48(95% CI: 1.000 17~1.000 79)。SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}浓度每增加10 μg·m⁻³,居民非意外死亡风险分别增加2.15%、0.59%、0.12%和0.49%。参照世界卫生组织提出的空气质量指导值,SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}污染所致的归因死亡人数(AM)分别为263、683、827、1674人,其归因分值(AF)分别为2.56%、6.65%、8.06%和16.30%;参照GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的年均浓度二级限值,NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}污染所致的AM分别为683、434、698人,其AF分别为6.65%、4.22%和6.79%。

[结论] 兰州市大气污染治理后大气污染物SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}仍可对居民非意外死亡造成影响,且SO₂影响较大;在大气污染对居民的死亡负担影响中,PM_{2.5}影响较大。

关键词: 大气污染;非意外死亡;广义相加模型;死亡负担

Impact of air pollutants on non-accidental mortality and burden of death of residents after air pollution control in main urban districts of Lanzhou ZHANG Chenyang¹, WANG Mei¹, RUAN Ye¹, LUO Bin¹, WU Qi¹, LI Sheng², WANG Yuhong³, NIU Jingping¹ (1.School of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2.Public Health Department, The First People's Hospital of Lanzhou City, Lanzhou, Gansu 730050, China; 3.Public Health Department, Lanzhou Center for Disease Control and Prevention, Lanzhou, Gansu 730030, China)

Abstract:

[Background] Air pollution is a major environmental risk factor that affects human health.

[Objective] This study evaluates the impact of air pollution on non-accidental mortality and burden of death of residents in the main urban districts of Lanzhou after implementing air pollution control measures.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20564

基金项目

甘肃省科技计划项目(重点研发计划)(20YF3FA027);兰州市城关区科技计划项目(2017SHFZ0043)

作者简介

张晨阳(1996—),女,硕士生;
E-mail: chy Zhang2019@lzu.edu.cn

通信作者

牛静萍, E-mail: niujingp@lzu.edu.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-11-30

录用日期 2021-05-24

文章编号 2095-9982(2021)07-0733-07

中图分类号 R122.7

文献标志码 A

引用

张晨阳,王梅,阮焯,等.治理后兰州市主城区大气污染物对居民非意外死亡及死亡负担的影响[J].环境与职业医学,2021,38(7):733-739.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20564

Funding

This study was funded.

Correspondence to

NIU Jingping, E-mail: niujingp@lzu.edu.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-11-30

Accepted 2021-05-24

To cite

ZHANG Chenyang, WANG Mei, RUAN Ye, et al. Impact of air pollutants on non-accidental mortality and burden of death of residents after air pollution control in main urban districts of Lanzhou[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(7): 733-739.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20564

[Methods] The monitoring data of air pollutants SO₂, NO₂, and PM₁₀ from 2004 to 2011 (before air pollution control), and the monitoring data of air pollutants SO₂, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, CO, and O₃, meteorological variables, and death cause of residents from 2014 to 2018 (after air pollution control) in four main urban districts (Chengguan District, Qilihe District, Xigu District, and Anning District) of Lanzhou City were collected and used to calculate total non-accidental mortality and concentrations of air pollutants. The impact of air pollutants on non-accidental mortality of residents was analyzed by generalized additive models, after controlling time trends, seasonal effects, meteorological factors, day-of-the-week effect, and other factors. The burden of death attributed to air pollution was quantitatively evaluated by Poisson regression proportional risk models.

[Results] From 2004 to 2011, the annual average concentrations of SO₂, NO₂, and PM₁₀ in the four urban districts of Lanzhou were 61.58, 45.47, and 154.97 μg·m⁻³, respectively. From 2014 to 2018, the total number of non-accidental mortality was 79 284, with an average of 43 non-accidental deaths per day, and the average annual concentrations of SO₂, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, CO, and O₃ were 21.58 μg·m⁻³, 54.42 μg·m⁻³, 52.67 μg·m⁻³, 124.84 μg·m⁻³, 1.41 mg·m⁻³, and 87.40 μg·m⁻³, respectively. After the air pollution control (2014—2018), the daily average concentrations of SO₂ and PM₁₀ decreased, while the concentration of NO₂ increased. There was a positive correlation between non-accidental mortality and each of the selected six air pollutants, among which the correlation with SO₂ was the strongest ($r=0.906$) and the correlation with NO₂ was the weakest ($r=0.048$). The risk of non-accidental mortality attributed to SO₂ and NO₂ reached the highest value with a 2-day lag, and their relative risks were 1.002 13 (95% CI: 1.001 35-1.002 90) and 1.000 59 (95% CI: 1.000 17-1.001 02), respectively. The risk attributed to PM₁₀ and PM_{2.5} reached the highest value on the current day, and their relative risks were 1.000 12 (95% CI: 1.000 04-1.000 20) and 1.000 48 (95% CI: 1.000 17-1.000 79), respectively. Each 10 μg·m⁻³ increase of SO₂, NO₂, PM₁₀, and PM_{2.5} concentrations was associated with an increase in the risk of non-accidental mortality of residents by 2.15%, 0.59%, 0.12%, and 0.49%, respectively. According to the air quality guidelines proposed by the World Health Organization (WHO), the numbers of deaths attributable to SO₂, NO₂, PM₁₀, and PM_{2.5} were 263, 683, 827, and 1 674, respectively, and their attributable fractions were 2.56%, 6.65%, 8.06%, and 16.30%, respectively. According to the second-level annual average concentration limits stipulated in the *Ambient air quality standard* (GB 3095—2012), the numbers of deaths attributable to NO₂, PM₁₀, and PM_{2.5} were 683, 434, and 698, respectively, and their attributable fractions were 6.65%, 4.22%, and 6.79%, respectively.

[Conclusion] After implementing the air pollution control measures in Lanzhou, air pollutants SO₂, NO₂, PM₁₀ and PM_{2.5} still have an impact on non-accidental mortality of residents, especially SO₂, and on residents' burden of death, especially PM_{2.5}.

Keywords: air pollution; non-accidental mortality; generalized additive model; burden of death

大气污染是世界上许多国家都面临的重大环境污染问题,据世界卫生组织统计,2016年全球91%的人口不能呼吸到清洁安全的空气,2016年全球约420万人口的过早死亡与环境大气污染有关,中国因室外大气污染造成约110万人死亡,在全死因死亡率中由大气污染物引起的呼吸系统疾病的死亡率位于前三^[1-3]。兰州是一个典型的以重化工工业为主的河谷盆地城市,也是西北地区重要的交通枢纽。兰州曾经是全世界污染最严重的城市之一,也因此成为5个全国重污染监测城市之一^[4]。大气污染是影响人群健康的主要环境危险因素,已经成为备受关注的公共卫生问题^[5-6],根据2004年世界银行公布的世界各大城市大气PM₁₀水平,兰州市是全国省会城市和直辖市中污染最严重的两个城市之一。

自2011年起,在政府加大了法律制度保障力度的干预下,兰州市采取了调整产业及能源结构、煤炉改造、控制物排放、加强绿化、减少扬尘、机动车限行、严格管理、全民参与等一系列防治措施,打响了大气污染治理攻坚战^[7-8]。经过多年的努力,兰州市空气质量显著改善^[9],并于2017年圆满完成《大气污染防治行动计划》(2013—2017年)终期考核指标

和省政府年度考核要求,稳步退出全国十大重污染城市^[10]。

本研究通过收集兰州市四个主要城区(城关区、七里河区、西固区、安宁区)大气污染资料和居民死因资料,探讨在兰州大气污染治理取得显著成效后大气污染对居民非意外死亡之间的影响,并分析大气污染对人群的死亡负担,为进一步降低大气污染物引起的健康风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 环境和气象监测资料 兰州市2004—2011年(治理前)和2014—2018年(治理后)大气污染物监测数据来源于兰州市环境监测中心,采用铁路设计院、兰炼宾馆、职工医院环境监测点的平均水平代表兰州市四个主要城区的大气污染状况。收集的大气污染资料包括SO₂、NO₂、CO、PM_{2.5}、PM₁₀和O₃浓度。气象资料来源于兰州市气象局,主要包括2014—2018年兰州市日均气温、日均相对湿度、气压等。

1.1.2 死因资料 死亡资料来自兰州市疾病预防控制中心死因监测系统,收集死者的性别、民族、出生日

期、死亡日期、死亡地点、直接导致死亡的疾病及根据国际疾病分类第十版 (International Classification of Disease 10th Revision, ICD-10) [11] 进行编码的根本死亡原因、户籍地址及编号等详细信息, 筛选填报完整、符合条件的死亡病例。本研究已获兰州大学公共卫生学院伦理委员会批准 (无编号)。

1.2 广义相加模型 (generalized additive models, GAM)

本研究采用 GAM 分析各个污染物对居民非意外死亡的影响。居民每日非意外总死亡人数这一变量分布经检验服从泊松分布, 将时间趋势、季节效应、星期几效应和日均气温等混杂因素采用非参数自然平滑样条函数进行拟合, 将各大气污染物浓度作为自变量, 构建分析模型 [12] 如下:

$$\log(u_i) = \alpha + \beta \rho_t + V_{\text{dow}} + V_{\text{Holidays}} + S(t, V_{df}) + S(T, V_{df}) + S(V_{\text{rhum}}, V_{df})$$

式中: u_i 为 t 日非意外总死亡人数的期望值; α 为截距; β 为模型的估计值, 为大气污染物与非意外死亡人数的暴露-反应关系系数; ρ_t 为 t 日大气污染物日均质量浓度 (简称为浓度), $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; V_{dow} 为控制星期几效应的哑变量; V_{Holidays} 为控制法定假日的哑变量; $S()$ 为平滑函数; t 为时间变量, 控制时间序列分析中时间趋势可能产生的影响; T 为温度, 取日均气温的滑动 3d (当天和前两天) 均值, $^{\circ}\text{C}$; V_{rhum} 为相对湿度, 取日均相对湿度的滑动 3d (当天和前两天) 均值, %; V_{df} 为自由度, 时间为 7·年⁻¹, 温度为 6·年⁻¹, 相对湿度为 3·年⁻¹ [13]。

1.3 泊松回归比例风险模型

采用泊松回归的比例风险模型定量评价大气污染对人群的死亡负担。公式如下:

$$E = \exp[\beta \times (\rho - \rho')] \times E'$$

$$V_{\text{AM}} = E - E'$$

$$V_{\text{AF}} = V_{\text{AM}} / N \times 100\%$$

式中: E 为暴露人口在实际浓度下的非意外总死亡人数; β 为暴露-反应关系系数; ρ 为大气污染物的实际浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; ρ' 为大气污染物的参考浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 以世界卫生组织提出的空气质量指导值为准 [14]; E' 为暴露人口在参考浓度下的非意外总死亡人数; V_{AM} 为归因死亡人数, 即死亡人群中可归因于某污染物的人数; N 为总死亡人数; V_{AF} 为归因分值, %。

1.4 统计学分析

运用 WPS Office 2019 进行数据的录入和整理。运

用 SPSS 20.0 对大气污染资料和气象资料采用均数 ± 标准差、百分位数 (P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75})、最大值 (Max) 和最小值 (Min) 进行描述性分析, 运用 R3.6.0 对兰州市居民每日非意外总死亡人数、大气污染物浓度和气象因素之间进行 Spearman 秩相关分析以及广义相加模型分析预测, 归因死亡人数及归因分值采用 WPS Office 2019 软件直接计算。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

兰州市四个主要城区 2014—2018 年非意外总死亡人数为 79 284 人, 平均每日死亡 43 人。大气污染物浓度、气温和湿度的数据见表 1。2014—2018 年 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 和 O_3 浓度的年均值分别为 $21.58 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $54.42 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $52.67 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $124.84 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $1.41 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $87.40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 参照 GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的限值, SO_2 和 CO 年均浓度低于二级限值, O_3 日最大 8h 平均浓度低于一级限值, 且 PM_{10} 和 NO_2 年均浓度高于二级限值。将 2004—2011 年和 2014—2018 年大气污染物浓度对比发现, 兰州市大气污染治理后大气 SO_2 、 PM_{10} 日均浓度降低, NO_2 浓度有所升高。

2.2 指标相关性分析

2014—2018 年兰州市四个主要城区居民每日非意外死亡人数、大气污染物浓度与气象因素的相关性分析见表 2, 居民非意外死亡人数与大气污染物浓度 (SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 O_3 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO) 呈正相关 ($P < 0.05$), 其中, 居民非意外死亡人数与 SO_2 相关性最强, 为 0.906, 与 NO_2 相关性最弱, 为 0.048。居民非意外死亡人数与气温和湿度均呈负相关 ($P < 0.05$)。在大气污染物中, SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO 之间存在正相关, 其中 PM_{10} 与 $\text{PM}_{2.5}$ 相关性最强, 为 0.839。 O_3 与其他污染物存在负相关 ($P < 0.05$)。大气污染物与气象因素之间存在负相关 (除 O_3 外)。

2.3 大气污染物对居民非意外死亡人数的影响

兰州市主要城区单一污染物对居民非意外死亡的影响见表 3。在单污染模型中, 大气污染物浓度对当日以及不同滞后天数的非意外死亡人数的 GAM 分析显示: SO_2 、 NO_2 对非意外死亡人数的影响在第 2 日时达到最高值, 其相对危险度分别为 1.002 13 (95% CI : 1.00135~1.00290)、1.000 59 (95% CI : 1.00017~1.00102); PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 对非意外死亡人数的影响风险在当日

达到最高值,其相对危险度分别为 1.000 12 (95% CI : 1.00004~1.00020) 和 1.00048 (95% CI : 1.00017~1.00079)。

根据单因素分析的结果选择相对危险度最大的滞后天数,对 SO₂ (lag2)、NO₂ (lag2)、PM₁₀ (lag0) 和

PM_{2.5} (lag0) 与居民非意外死亡人数进行 GAM 分析得出结果见表 4。SO₂、NO₂、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日均浓度每增加 10 μg·m⁻³,居民非意外死亡风险分别增加 2.15%、0.59%、0.12% 和 0.49%。

表 1 兰州市四个主要城区 2004—2011 年和 2014—2018 年大气污染物浓度和气象因素监测结果

Table 1 Monitoring results of air pollutant concentrations and meteorological factors in selected four main urban districts of Lanzhou from 2004 to 2011 and from 2014 to 2018

检测指标	时间	$\bar{x}\pm s$	Min	Max	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅
大气污染物							
ρ _{SO₂} / (μg·m ⁻³)	2004—2011 年	61.58±42.89	2.00	286.00	31.00	49.00	82.00
	2014—2018 年	21.58±15.14	3.11	135.55	10.15	17.00	29.36
ρ _{NO₂} / (μg·m ⁻³)	2004—2011 年	45.47±24.33	4.00	192.00	28.00	40.00	56.00
	2014—2018 年	54.42±21.53	12.52	144.50	39.00	51.26	66.00
ρ _{PM₁₀} / (μg·m ⁻³)	2004—2011 年	154.97±110.84	12.00	1860.00	88.00	126.00	186.00
	2014—2018 年	124.84±90.46	20.48	1444.41	79.00	106.30	145.34
ρ _{PM_{2.5}} / (μg·m ⁻³)	2014—2018 年	52.67±27.43	7.15	299.06	34.46	45.03	63.65
ρ _{CO} / (mg·m ⁻³)	2014—2018 年	1.41±4.55	0.30	39.25	0.76	0.98	1.58
ρ _{O₃} / (μg·m ⁻³)	2014—2018 年	87.40±39.24	8.00	221.00	57.00	81.00	112.00
气象因素							
气温 / °C	2014—2018 年	8.08±10.62	-17.50	28.80	-1.43	9.60	17.20
湿度 / %	2014—2018 年	57.76±17.29	15.00	99.00	45.00	58.00	72.00

[注] 2011 年之前的大气污染物检测指标以 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 为主,故仅该 3 项指标有治理前后的对比。

表 2 兰州市四个主要城区 2014—2018 年居民非意外死亡数、大气污染物浓度与气象因素的相关性分析

Table 2 Correlation between non-accidental mortality, concentrations of air pollutants, and meteorological factors in selected four main urban districts of Lanzhou from 2014 to 2018

指标	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	PM _{2.5}	CO	气温	湿度
日死亡人数	0.906**	0.048*	0.131**	0.092**	0.105**	0.079**	-0.171**	-0.257**
SO ₂	1	0.625**	0.573**	-0.446**	0.653**	0.828**	-0.672**	-0.294**
NO ₂	—	1	0.570**	-0.102**	0.592**	0.728**	-0.352**	-0.173**
PM ₁₀	—	—	1	-0.170**	0.839**	0.543**	-0.389**	-0.427**
O ₃	—	—	—	1	-0.352**	-0.445**	0.593**	-0.209**
PM _{2.5}	—	—	—	—	1	0.697**	-0.504**	-0.222**
CO	—	—	—	—	—	1	-0.610**	-0.116**
气温	—	—	—	—	—	—	1	0.112**
湿度	—	—	—	—	—	—	—	1

[注] * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01。

表 3 2014—2018 年兰州市四个主要城区大气污染物对非意外死亡人数影响的滞后效应分布 [RR (95% CI)]

Table 3 Lag effect of air pollutants on non-accidental mortality of residents in selected four main urban districts of Lanzhou from 2014 to 2018 [RR (95% CI)]

滞后天数	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	CO
lag0	1.00155* (1.00079~1.00231)	1.00057* (1.00016~1.00097)	1.00012* (1.00004~1.00020)	1.00048* (1.00017~1.00079)	1.00025 (0.99996~1.00055)	1.00556 (0.99979~1.01136)
lag1	1.00141* (1.00065~1.00217)	1.00039 (0.99999~1.00080)	1.00006 (0.99998~1.00015)	1.00022 (0.99991~1.00053)	1.00001 (0.99969~1.00029)	1.00594 (1.00013~1.01178)
lag2	1.00213* (1.00135~1.00290)	1.00059* (1.00017~1.00102)	1.00001 (0.99992~1.00009)	1.00035 (1.00003~1.00067)	1.00039 (1.00006~1.00068)	1.00479 (0.99890~1.01072)
lag3	1.00118* (1.00040~1.00196)	1.00013 (0.99970~1.00056)	1.00006 (0.99998~1.00015)	1.00019 (0.99987~1.00051)	1.00020 (0.99989~1.00049)	0.99833 (0.99174~1.00496)
lag4	1.00052 (0.99975~1.00113)	1.00028 (0.99986~1.00069)	1.00002 (0.99993~1.00010)	1.00010 (0.99978~1.00042)	1.00033 (1.00002~1.00060)	0.99941 (0.99295~1.00591)
lag5	1.00044 (0.99968~1.00121)	0.99996 (0.99956~1.00037)	0.99988* (0.99979~0.99997)	0.99963 (0.99931~0.99995)	0.99992 (0.99963~1.00021)	0.99977 (0.99356~1.00600)

[注] O₃ 计算的是 8h 滑动平均浓度,即一天中最大的连续 8h 臭氧浓度均值, * : P < 0.05。

表4 兰州市四个主要城区2014—2018年大气污染物对非意外死亡人数影响

Table 4 Impact of air pollutants on non-accidental mortality in selected four main urban districts of Lanzhou from 2014 to 2018

指标	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>ER</i> /%	<i>P</i>
SO ₂	0.0021	0.0004	1.0215	1.0136~1.0294	2.15	<0.05
NO ₂	0.0006	0.0002	1.0059	1.0017~1.0102	0.59	<0.05
PM ₁₀	0.0001	4.19E-05	1.0012	1.0004~1.0020	0.12	<0.05
PM _{2.5}	0.0005	0.0002	1.0049	1.0017~1.0080	0.49	<0.05

[注] SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}的增量为10 μg·m⁻³。

2.4 大气污染对居民非意外死亡疾病负担的影响

根据世界卫生组织指导值和国家标准二级限值,分别计算以上大气污染物对居民的死亡负担,结果见表5。参照世界卫生组织提出的空气质量指导值,SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}污染所致的归因死亡人数分别为263、683、827、1674人,其归因分值分别为2.56%、6.65%、8.06%和16.30%。参照GB 3095—2012规定的年均浓度二级限值,NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}污染所致的归因死亡人数分别为683、434、698人,其归因分值分别为6.65%、4.22%和6.79%。可见根据世界卫生组织提出的空气质量指导值所得的居民死亡负担相对较高,但无论参照两者其中任一标准,归因于PM_{2.5}污染所造成的死亡人数最多,相应的归因分值最高。

表5 兰州市四个主要城区2014—2018年大气污染物对居民死亡负担的影响

Table 5 Impact of air pollutants on the burden of death of residents in selected four main urban districts of Lanzhou from 2014 to 2018

大气污染物	世界卫生组织指导值		国标二级限值	
	归因死亡人数	归因分值/%	归因死亡人数	归因分值/%
SO ₂	263	2.56	—	—
NO ₂	683	6.65	683	6.65
PM ₁₀	827	8.06	434	4.22
PM _{2.5}	1674	16.30	698	6.79

3 讨论

本研究利用GAM以及泊松回归比例风险模型,探讨经过大气污染治理后,兰州市四个主要城区2014—2018年大气污染物(SO₂、NO₂、CO、PM_{2.5}、PM₁₀和O₃)对居民非意外死亡及死亡负担的影响。结果显示,经过大气污染治理后,SO₂、PM₁₀日均浓度降低,且SO₂和CO年均浓度低于GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的二级限值,O₃日最大8h平均浓度低于一级限值,与治理前相比空气质量有所改善;

大气污染物SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}与居民非意外死亡相关。

研究表明,兰州市四个主城区居民非意外死亡人数与气温和湿度均呈负相关,与大气污染物(SO₂、NO₂、PM₁₀、O₃、PM_{2.5}和CO)浓度呈正相关,其中,居民非意外死亡人数与SO₂相关性最强。单污染物模型结果显示,SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}这四种污染物与居民非意外死亡存在关联,且SO₂和NO₂在滞后2d时效应最强,PM₁₀和PM_{2.5}在当天效应最强,SO₂、NO₂、PM₁₀和PM_{2.5}日均浓度每上升10 μg·m⁻³,非意外死亡风险分别增加2.15%、0.59%、0.12%和0.49%,提示SO₂所致的居民非意外死亡风险最高。

关于大气污染物对非意外死亡人数影响的研究较多。在深圳市大气污染物与每日非意外死亡的关系研究中,随着PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂和NO₂浓度的升高,居民非意外死亡风险增加^[15]。郝海燕等^[16]的研究表明,石家庄市的气态污染物SO₂、NO₂对居民非意外死亡存在影响,污染物浓度每升高10 μg·m⁻³,非意外死亡人数分别增加1.184%和0.979%,与本研究的结果相似。在珠海市空气污染物对人群死亡的影响研究中,随着NO₂每升高10 μg·m⁻³,人群非意外总死亡人数在滞后0~3d均上升1.73%,PM_{2.5}每升高10 μg·m⁻³,人群非意外总死亡人数在滞后0~3d均上升3.89%^[17]。吴芸芸等^[18]对重庆市主要城区大气PM_{2.5}研究表明,PM_{2.5}每升高10 μg·m⁻³时女性非意外死亡率上升0.77%,这两项研究结果明显高于本研究的数值。此外,苏健婷等^[19]对北京大气污染的研究结果显示,PM_{2.5}、SO₂日均浓度每上升10 μg·m⁻³,非意外死亡风险分别增加0.18%和1.48%,其结果低于本研究。在对PM₁₀的研究上,张家口市研究结果表明PM₁₀浓度每升高10 μg·m⁻³,非意外死亡人数分别增加3.083%^[16]。这些结果的差别可能与研究地点、时间、大气污染物特征等因素之间有一定关联。

本研究结果显示CO和O₃污染与居民非意外死亡之间无统计学相关性,与济南^[20]、临沂^[21]的研究结果不符,可能与不同地区的环境与气候特征、大气污染物特征、社会经济状况及研究人群疾病构成不同和其他混杂因素有关。

归因死亡人数和归因分值作为评估健康效应的适宜指标,已广泛应用于大气污染对居民疾病负担的定量评估^[22-23]。国内外研究表明,大气污染可能导致人民群众的健康损失^[24-25],谢志祥等^[26]研究表明,

PM_{2.5} 污染是导致人口死亡的重要因素。本研究结果归因于 PM_{2.5} 污染所造成的死亡人数最多, 相应的归因分值最高, 可见兰州市 PM_{2.5} 污染问题仍旧不容小觑。

综上所述, 经过大气污染治理后, 兰州市大气污染物 SO₂、NO₂、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 仍可能对居民非意外死亡有一定的影响, 其中 SO₂ 与居民非意外死亡相关性最强, 归因于 PM_{2.5} 污染所造成的死亡人数最多, 对居民健康威胁最大。兰州市相关部门仍需继续加强大气污染治理工作, 高度重视对大气污染物尤其是 SO₂ 和 PM_{2.5} 的监测与控制, 降低居民死亡风险。

参考文献

- [1] World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution [EB/OL]. [2020-10-19]. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [2] World Health Organization. Ambient air pollution attributable deaths [EB/OL]. [2020-10-19]. <http://apps.who.int/gho/data/node.main.BODAMBIENTAIRDTHS?lang=en>.
- [3] 刘卫艳, 程庆林, 张磊, 等. 杭州市大气污染物对儿童呼吸系统疾病影响研究 [J]. 中国预防医学杂志, 2017, 18 (1): 6-10.
LIU WY, CHENG QL, ZHANG L, et al. The influence of air pollutants on respiratory diseases of children in Hangzhou [J]. Chin Prev Med, 2017, 18 (1): 6-10.
- [4] 祝合勇, 杨太保, 金庆森. 兰州市城区大气污染现状及防治对策分析 [J]. 环境科学导刊, 2011, 30 (2): 48-52.
ZHU HY, YANG TB, JIN QS. Analysis of current air pollution and corresponding prevention measures in Lanzhou urban area [J]. environ Sci Surv, 2011, 30 (2): 48-52.
- [5] DAVALOS AD, LUBEN TJ, HERRING AH, et al. Current approaches used in epidemiologic studies to examine short-term multipollutant air pollution exposures [J]. Ann Epidemiol, 2017, 27 (2): 145-153.e1.
- [6] CHANG J, LIU W, HUANG C. Residential ambient traffic in relation to childhood pneumonia among urban children in Shandong, China: a cross-sectional study [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15 (6): 1076.
- [7] 王莉娟. 兰州市成功治理大气污染经验的研究 [J]. 太原城市职业技术学院学报, 2017 (11): 14-17.
WANG LJ. Study on successful experience of controlling air pollution in Lanzhou [J]. J Taiyuan Urban Vocat Coll, 2017 (11): 14-17.
- [8] 王伟. 大气污染治理的“兰州经验”——基于环境保护与国家治理现代化的考察 [J]. 中国环境管理, 2016, 8 (4): 82-86, 100.
WANG W. Lanzhou's experience for air quality improvement: from the perspective of the modernization of national governance and environmental protection [J]. Chin J Environ Manage, 2016, 8 (4): 82-86, 100.
- [9] 孙文杰, 刘明, 尹勤, 等. 近十几年兰州空气污染变化及治理建议 [J]. 甘肃科技纵横, 2016, 45 (10): 8-13.
SUN WJ, LIU M, YIN Q, et al. Changes of air pollution in Lanzhou in recent ten years and suggestions on its treatment [J]. Sci Tech Inf Gansu, 2016, 45 (10): 8-13.
- [10] 兰州市环境保护局, 兰州市统计局. 兰州市 2017 年环境状况公报 [R]. 2018.
Lanzhou Environmental Protection Bureau, Lanzhou Statistical Bureau. Lanzhou Environmental Status Bulletin in 2017 [R]. 2018.
- [11] 世界卫生组织. 疾病和有关健康问题的国际统计分类 [M]. 北京协和医院世界卫生组织疾病分类合作中心, 译. 北京: 人民卫生出版社, 1996: 12.
World Health Organization. The 10th revision of the international statistical classification of diseases and related health issues (ICD-10) [M]. World Health Organization Collaborating Center for Disease Classification, Peking Union Hospital, trans. Beijing: People's Medical Publishing House, 1996: 12.
- [12] 樊琳, 顾清, 曾强. 广义相加模型在大气污染流行病学研究中的应用进展 [J]. 环境与职业医学, 2019, 36 (7): 676-681.
FAN L, GU Q, ZENG Q. Progress in the application of generalized additive model in epidemiologic studies on air pollution [J]. J Environ Occup Med, 2019, 36 (7): 676-681.
- [13] 路凤, 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.
LU F, LI YW, LI CC, et al. Application of time series analysis in the field of air pollution and health and its R software implementation [J]. Chin J Health Stat, 2018, 35 (4): 622-625.
- [14] World Health Organization. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen

- dioxide and sulfur dioxide [R]. Geneva: World Health Organization, 2006.
- [15] 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.
- [16] 郝海燕, 安玉琴, 王苏玮, 等. 河北省轻、重污染城市大气污染对居民非意外死亡的影响研究 [J]. 现代预防医学, 2020, 47 (16): 2907-2912, 2916.
HAO H Y, AN Y Q, WANG S W, et al. Impact of air pollution on non-accidental deaths of residents in lightly and heavily polluted cities, Hebei [J]. Mod Prev Med, 2020, 47 (16): 2907-2912, 2916.
- [17] 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.
ZHANG L, ZHANG Q P, TAN A J. Impact of air pollution on deaths of population in Zhuhai City [J]. Pract Prev Med, 2019, 26 (4): 446-449.
- [18] 吴芸芸, 王子豪, 李群英, 等. 2014—2018年重庆市主城区大气PM_{2.5}水平与居民非意外死亡的关系 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (8): 735-740.
WU Y Y, WANG Z H, LI Q Y, et al. Relationship between PM_{2.5} and non-accidental deaths in main urban districts of Chongqing from 2014 to 2018 [J]. J Environ Occup Med, 2020, 37 (8): 735-740.
- [19] 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.
SUJ T, DU J, WANG C M, et al. Relationship between air pollutants and mortality of resident population in Beijing: a time-series analysis [J]. J Environ Health, 2018, 35 (5): 421-424.
- [20] 曹若明, 崔亮亮, 姜超, 等. 济南市大气污染物O₃与居民呼吸系统疾病死亡风险的时间序列分析 [J]. 山东大学学报(医学版), 2018, 56 (11): 91-97.
CAO R M, CUI L L, JIANG C, et al. Atmospheric pollutant O₃ and the risk of death from respiratory diseases in urban area of Ji'nan [J]. J Shandong Univ (Health Sci), 2018, 56 (11): 91-97.
- [21] 李洪枚, 伍鹏程, 伯鑫, 等. 临沂市区主要大气污染物的污染特征及其对居民健康的影响 [J]. 环境科学学报, 2020, 40 (8): 2919-2934.
LI H M, WU P C, BO X, et al. Pollution characterization of major air pollutants and their impacts on resident health in Linyi City [J]. Acta Sci Circumst, 2020, 40 (8): 2919-2934.
- [22] WU R, SONG X, CHEN D, et al. Health benefit of air quality improvement in Guangzhou, China: Results from a long time-series analysis (2006—2016) [J]. Environ Int, 2019, 126: 552-559.
- [23] WANG X, ZHANG L, YAO Z, et al. Ambient coarse particulate pollution and mortality in three Chinese cities: association and attributable mortality burden [J]. Sci Total Environ, 2018, 628-629: 1037-1042.
- [24] MIRI M, ALAHABADI A, EHRAMPUSH M H, et al. Mortality and morbidity due to exposure to ambient particulate matter [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2018, 165: 307-313.
- [25] CHEN R, YIN P, MENG X, et al. Fine particulate air pollution and daily mortality. A nationwide analysis in 272 Chinese cities [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2017, 196 (1): 73-81.
- [26] 谢志祥, 秦耀辰, 郑智成, 等. 京津冀大气污染传输通道城市PM_{2.5}污染的死亡效应评估 [J]. 环境科学学报, 2019, 39 (3): 843-852.
XIE Z X, QIN Y C, ZHENG Z C, et al. Assessing the death effect of PM_{2.5} pollution in cities of atmospheric pollution transmission channel in the Beijing-Tianjin-Hebei district [J]. Acta Sci Circumst, 2019, 39 (3): 843-852.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)