

2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒 时空聚集性及气象驱动因素分析

温子莹¹, 段青², 张艺馨³, 马睿卿¹, 张玉薇², 郑文贵¹, 孙成玺³, 姜晓林^{1,4}

1. 山东第二医科大学公共卫生学院, 山东 潍坊 261053; 2. 山东省疾病预防控制中心传染病防制所;

3. 山东省疾病预防控制中心业务管理部, 山东 济南 250014;

4. 山东省疾病预防控制中心传染病预防控制重点实验室, 山东 济南 250014

摘要:目的 明确山东省非职业性一氧化碳中毒发病率的时空分布格局, 揭示其背后的气象驱动因子, 为其科学防控提供参考。方法 通过中国疾病预防控制中心突发公共卫生事件报告管理信息系统收集非职业性一氧化碳中毒事件报告。采用描述性分析研究非职业性一氧化碳中毒的流行特征。采用 ArcGIS 10.7 和 SaTScan 10.1.2 软件分别进行空间自相关分析和时空扫描分析以探讨时空聚集性。采用参数最优地理探测器揭示气象因子对非职业性一氧化碳中毒发病率的影响程度。结果 2019—2023 年山东省累积报告非职业性一氧化碳中毒病例 12 088 例, 每年 11 月—次年 3 月为发病高峰, 中老年人为主要高危人群。全局空间自相关分析显示, 2020—2022 年非职业性一氧化碳中毒发病率均存在空间聚集性($P<0.05$)。鲁南地区逐渐发展为新的热点区域。时空扫描分析探测出五个聚集区, 其中一级聚集区主要集中在鲁北地区(2019 年 11 月—2021 年 03 月, LLR=2 003.71, $P<0.001$)。参数最优地理探测器结果显示, 相对湿度和气压是影响发病率的重要气象因子, 相对湿度和风速的交互作用最大。结论 山东省非职业性一氧化碳中毒存在季节性时空聚集性。建议加强中老年群体等高危人群冬春季健康教育工作, 同时各级疾病预防控制中心应与气象、宣传等部门建立良好的信息沟通, 加强对鲁北及鲁南等重点流行区非职业性一氧化碳中毒事故的预警。

关键词: 非职业性一氧化碳中毒; 时空聚集性; 参数最优地理探测器; 气象因素

中图分类号: R595.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)17-3142-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202411497

Spatiotemporal clustering and meteorological drivers of non-occupational carbon monoxide poisoning in Shandong Province from 2019 to 2023

WEN Zi-xuan*, DUAN Qing, ZHANG Yi-xin, MA Rui-qing, ZHANG Yu-wei, ZHENG Wen-gui, SUN Cheng-xi, JIANG Xiao-lin

*School of Public Health, Shandong Second Medical University, Weifang, Shandong 261053, China

Abstract: **Objective** To clarify the spatial and temporal distribution pattern of the incidence of non-occupational carbon monoxide poisoning in Shandong Province, to reveal the meteorological driving factors behind it, and to provide reference for its scientific prevention and control. **Methods** Non-occupational carbon monoxide poisoning incident reports were collected through the China Disease Control and Prevention Information System Public Health Emergency Reporting Management Information System. Descriptive analysis was used to study the prevalence characteristics of non-occupational carbon monoxide poisoning. Spatial autocorrelation analysis and spatio-temporal scanning analysis were performed to explore spatio-temporal aggregation using ArcGIS 10.7 and SaTScan 10.1.2 software, respectively. The influence of meteorological factors on the incidence of non-occupational carbon monoxide poisoning was assessed using an optimal parameter geographical detector. **Results** A total of 12 088 cases of non-occupational carbon monoxide poisoning were reported in Shandong Province from 2019 to 2023, with peak incidence from November to March of the next year each year, and middle-aged and older populations people as the main high-risk groups. Global spatial autocorrelation analysis showed spatial clustering of non-occupational carbon monoxide poisoning incidence rates in both 2020—2022 ($P<0.05$). The southern part of Shandong Province was gradually developing into a new hot spot. Spatio-temporal scanning analysis detected five aggregation zones, of which the primary aggregation zone was mainly concentrated in the northern part of Shandong Province (Nov 2019—Mar 2021, LLR=2 003.71, $P<0.001$). The results of the optimal parameter geographical detector showed that relative humidity and

作者简介: 温子莹(1998—), 女, 硕士, 研究方向: 非职业性一氧化碳中毒

通信作者: 孙成玺, E-mail: sunchengxi-1@163.com; 姜晓林, E-mail: jxl198607@126.com; 孙成玺与姜晓林为共同通信作者

barometric pressure were important meteorological factors affecting morbidity, with the largest interaction between relative humidity and wind speed. **Conclusion** Non-occupational carbon monoxide poisoning in Shandong Province showed seasonal spatiotemporal clustering. It is recommended to strengthen the winter and spring health education work for middle-aged and older populations and other high-risk groups. At the same time, disease prevention and control organizations at all levels should establish good information communication with meteorological and propaganda departments. Early warning of non-occupational carbon monoxide poisoning accidents in key endemic areas such as northern Shandong Province and southern Shandong Province should be strengthened through these initiatives.

Keywords: Non-occupational carbon monoxide poisoning; Spatiotemporal clustering; Optimal parameter geographical detector; Meteorological factors

非职业性一氧化碳中毒事件特指在日常生活环境中发生的一氧化碳中毒情况^[1]。据统计,全世界每年仍有大约 3 万人死于各类一氧化碳中毒^[2],2023 年,中国 23 个省(自治区、直辖市)报告非职业性一氧化碳中毒 7 264 例,病死率为 1.20%。病例主要集中在中国的东北、华北和中西部地区,其中山东省作为北方采暖大省(39 15 例)居于全国首位^[3]。最常见的一氧化碳来源是供暖设备、烤架、炉灶等通风不足的燃气、煤气加热器具。本研究通过对山东省 2019—2023 年非职业性一氧化碳中毒的流行特点和时空聚集性进行分析,并运用最优参数地理探测器揭示其背后的气象驱动因子,为非职业性一氧化碳中毒事件的精准防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源 非职业性一氧化碳中毒事件报告来自中国疾病预防控制中心突发公共卫生事件报告管理信息系统,包括:事件发生时间、地点、原因、中毒人数和死亡人数等,报告事件均经疾病预防控制中心调查核实,并确认结案。人口数据基于中国疾病预防控制中心死因登记报告系统提供的常住人口。气象数据来源于国家气象科学数据中心(<https://data.cma.cn/>, HFMD),包括气温、降水、气压、风速和相对湿度指标,由 X1~X5 表示。见表 1。

表 1 气象因子指标

Table 1 Meteorological factor index

指标	解释	单位
X1	温度,2019—2023 年各县/区逐年平均气温之和/5	℃
X2	降水,2019—2023 年各县/区逐年累积降水之和/5	mm
X3	相对湿度,2019—2023 年各县/区逐年平均相对湿度之和/5	%
X4	风速,2019—2023 年各县/区逐年平均风速之和/5	m/s
X5	气压,2019—2023 年各县/区逐年平均气压之和/5	hPa

1.2 统计学分析

1.2.1 描述性分析 利用 SPSS 26.0 和 R 4.3.3 软件处理数据,采用描述性流行病学方法分析不同时间、人群及地区的非职业性一氧化碳中毒病例的分布情

况。计算 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒全人群及分性别、年龄、人群、县/区、月份的发病例数及发病率,并以月为时间单位绘制趋势图,描述总体发病水平。

1.2.2 全局空间自相关分析 采用 ArcGIS 10.7 软件的空间自相关性分析工具,探索非职业性一氧化碳中毒病例的空间分布特征,并以地图形式展现。莫兰指数(Moran I)作为衡量指标,能够有效揭示相邻地域间疾病聚集现象的存在与否及其强度。计算公式为:

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

N 为观察值的数量;位置 i 和位置 j 的观察值分别为 x_i 和 x_j ;全部研究对象观察值的均值为 \bar{x} ; i 和 j 之间的空间权重为 ω_{ij} (当 i 和 j 相邻时, ω_{ij} 为 1,否则为 0)^[4]。Moran I 值域界定于 $-1 \sim 1$ 。Moran $I=0$ 表示空间分布是随机的。Moran $I < 0$ 表示空间分布为离散型, Moran $I > 0$ 表示空间分布为聚类型^[5-6]。

1.2.3 热点分析 使用 ArcGis 10.7 软件进行 Getis-Ord G_i^* 指数分析。该指数用于衡量不同地理区域之间观测值的高值簇和低值簇,即热点区和冷点区空间分布情况。计算公式为:

$$G_i^n(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

x_i 为地区的观测值, w_{ij} 为其空间权重,空间毗邻为 1,不毗邻为 0。通过 Z 得分、 P 值和置信区间(Gi Bin)可识别高值或低值要素的空间聚集位置。置信区间 Gi Bin 可反映置信度为 99%、95%、90%统计显著性的要素;Gi Bin 为 0 的要素不显示出空间聚集,即其在空间分布上未形成显著的聚集模式^[7]。

1.2.4 时空扫描分析 SaTScan 10.1.2 软件用于时空扫描分析,可以用于描述非随机空间事件集群的统计特征,包括对其时间、持续时间和精确位置^[8]。本研究选择回顾性时空分析,概率模型选择 Poisson 分布^[9-10],计算公式为:

$$\mu(p) = n_p \times \frac{m_q}{n_q}$$

$\mu(p)$ 为在原假设下的扫描窗口 p 的理论病例数, n_p 为扫描窗口 p 中的人口数, m_q 为研究区域内的总病例数, n_q 为研究区域内的总人口数。时间扫描窗口设定为默认值 30%, 空间扫描窗口比例设置在 30%。根据预期与理论发病数计算得出的对数似然比(log likelihood ratio, LLR)进行聚集区排列。

1.2.5 驱动因素分析 地理探测器是由王劲峰等人提出的一种用于探索和分析空间异质性以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法。传统地理探测器在参数选择上需要依赖研究者的经验和判断, 可能导致结果主观性及计算精度差的问题^[11]。参数最优地理探测器^[12] (optimal parameters geographical detector, OPGD) 通过算法以多种统计方式(等间距、自然间距、分位数间距、几何间距和标准偏差间距)自动选择最佳的参数组合, 减少了人为干预的误差, 获得最佳 q 值。因此, 本研究采用参数最优地理探测器, 借助 R 语言完成因子探测及交互作用探测。因子探测主要通过因子解释力的大小来衡量单个自变量对因变量空间分异的影响程度, 交互作用探测用于分析两个自变量作用力叠加后对因变量的作用力是否增强^[13]。 q 值计算公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}$$

式中, q 为因子解释力, 范围为[0,1], h 值越大解释力越强; 表示对自变量和因变量的分区数目, N 和 N_h 表示整个研究区和分区后区内的样本数和; σ^2 、 σ_h^2 表示整个研究区和分区后 h 区内的 Y 值方差^[14]。

2 结果

2.1 非职业性一氧化碳中毒流行概述 2019—2023 年中国山东省累积报告非职业性一氧化碳中毒事件 8 619 起, 各年分别报告 2 358、2 008、2 269、1 561 和 423 起。累积报告发病人数 12 088 例, 各年分别为报告 3 172、2 783、3 193、2 189 和 751 例。年均发病率为 2.4/10 万。累积报告死亡 234 例, 病死率为 1.94%。见图 1。

非职业性一氧化碳中毒发病率从 2019 年的 3.17/10 万下降到 2023 年的 0.74/10 万。发病呈现明显的冬季发病高峰, 11 月—次年 3 月的发病数占全年发病数的 90.80%(10 976/12 088)。见图 2。

2019—2023 年 115 个县(区)报告非职业性一氧化碳中毒病例, 报告县区数由 2019 年 92 个减少至 2023 年 51 个。报告发病数居前五位的地市为德州市(2 467 例)、济南市(1 754 例)、潍坊市(1 098 例)、淄

博市(1 055 例)、威海市(1 051 例); 前五位的县(区)为乐陵市(551 例)、李沧区(533 例)、临淄区(527 例)、郓城县(460 例)、高密市(448 例)。见图 3。

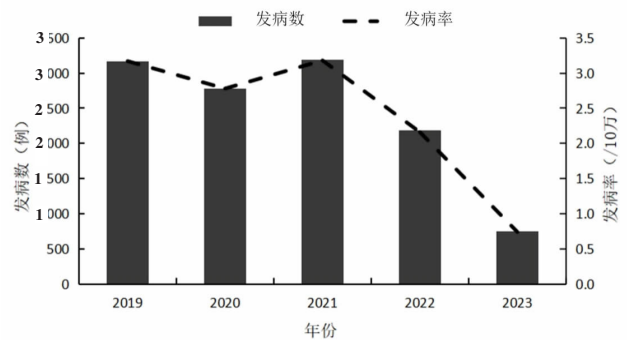


图 1 2019—2023 年山东省报告非职业性一氧化碳中毒事件发病数及发病率情况

Figure 1 Incidence and incidence of non-occupational CO poisoning incidents reported in Shandong Province from 2019 to 2023

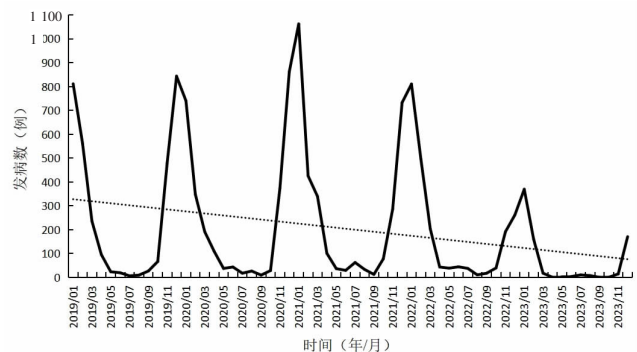
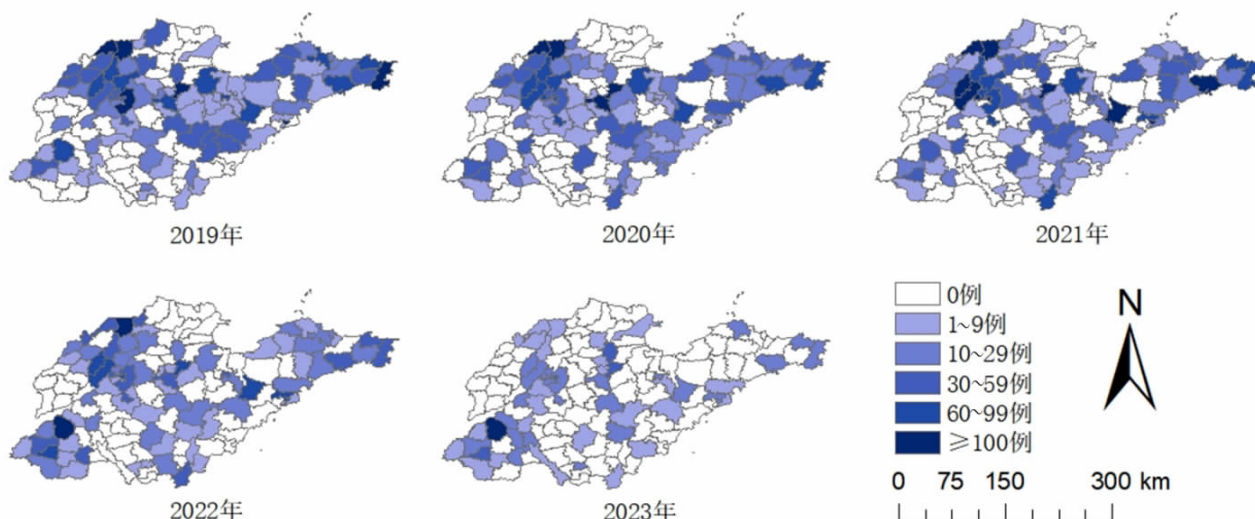


图 2 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒病例时间分布

Figure 2 Time distribution of non-occupational CO poisoning cases in Shandong Province from 2019 to 2023

非职业性一氧化碳中毒报告病例中, 男性病例为 4 543 例, 女性病例为 5 741 例, 男女性别比为 0.79:1.00。男女病死率分别为 33.89%、33.33% ($\chi^2=6.516$, $P=0.011$)。病例年龄以老年为主, ≥ 60 岁年龄组占 47.96%(4 803/10 015)。人群职业以农民为主, 占 56.53%(1 952/3 453), 工人占 6.37%(220/3 453); 幼小儿童占 7.30%(252/3 453), 学生占 21.11%(729/3 453); 餐饮食品工作占 1.04%(36/3 453), 家务及待业占 4%(138/3 453), 离退人员占 1.13%(39/3 453), 其他占 2.52%(87/3 453)。见表 2。

2.2 全局空间自相关分析 2019—2023 年各年度非职业性一氧化碳中毒发病率率 Moran I 指数分别为 0.05、0.20、0.32、0.17、0.09。除 2019 和 2023 年外, 各年度均存在空间聚集性($P < 0.05$)。见表 3。



注:标准地图审图号 GS(2024)0650 号。

图 3 2019—2023 年非职业性一氧化碳中毒病例空间分布

Figure 3 Spatial distribution of non-occupational CO poisoning cases from 2019 to 2023

表 2 2019—2023 年非职业性一氧化碳中毒病例的人群分布特征

Table 2 Population distribution of non-occupational CO poisoning cases from 2019 to 2023

人口学特征	报告发病数	构成比(%)
性别*		
男	4 543	44.18
女	5 741	55.82
年龄(岁)*		
0~3	92	0.92
4~6	162	1.62
7~18	772	7.71
19~45	1 849	18.46
46~59	2 337	23.33
≥60	4 803	47.96
人群分类*		
农民	1 952	56.53
工人	220	6.37
幼小儿童	252	7.30
学生	729	21.11
餐饮食品工作	36	1.04
家务及待业	138	4.00
离退人员	39	1.13
其他	87	2.52

注: * 存在缺失值。

2.3 热点分析 对 2019—2023 年山东省县 / 区非职业性一氧化碳中毒发病率进行热点分析, 结果显示, 2019—2023 年热点覆盖县 (区) 数量均 ≥ 15 个, 2023 年最少。发病热点主要集中鲁西北地区, 主要包括德州市北部、济南市西部、滨州市西部, 鲁西南地区的菏泽市东北部和济宁市西北部逐渐发展新热点区域。见图 4。

2.4 时空聚集性分析 时空扫描探测到五个聚集

表 3 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒全局空间自相关分析结果

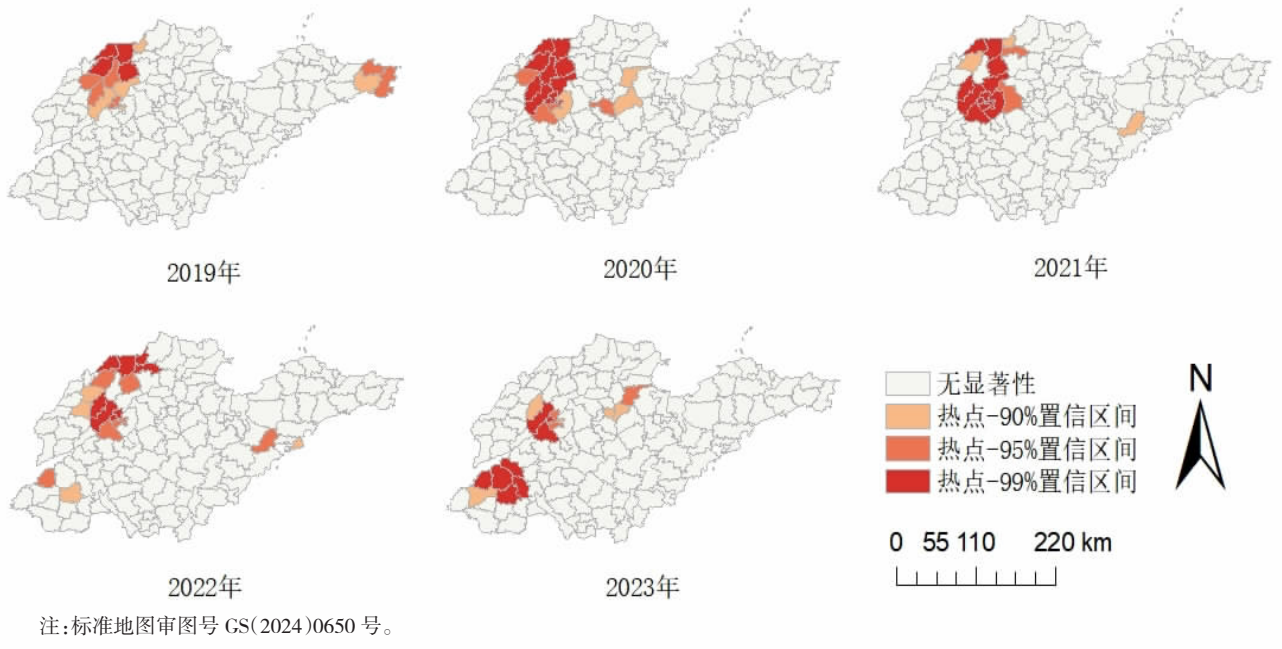
Table 3 Global spatial autocorrelation analysis of non-occupational carbon monoxide poisoning in Shandong Province from 2019 to 2023

年份(年)	Moran I	Z 值	P 值	是否聚集
2019	0.05	0.96	0.339	否
2020	0.20	3.18	0.002	是
2021	0.32	5.04	<0.001	是
2022	0.17	2.76	0.006	是
2023	0.09	1.59	0.112	否

区。一级聚集区主要集中于鲁北地区, 涉及宁津县、乐陵市、天桥区等县 (区) (2019 年 11 月—2021 年 03 月, LLR=2003.71, $P<0.001$); 二级聚集区主要集中于鲁东地区, 涉及荣成市、环翠区、龙口市等县 (区) (2020 年 11 月—2021 年 3 月, LLR=821.31, $P<0.001$); 三级聚集区集中于郓城县 (2021 年 12 月—2022 年 2 月, LLR=351.14, $P<0.001$), 四级聚集区集中于郯城县 (2020 年 12 月—2021 年 01 月, LLR=821.31, $P<0.001$); 五级聚集区主要集中于鲁南和鲁中地区, 涉及平邑县、费县、兰山区等县 (区) (2019 年 12 月—2020 年 1 月, LLR=108.35, $P<0.001$)。见图 5。

2.5 气象驱动因素分析 因子探测呈现的 q 值大小如下: 相对湿度 ($X_3=0.30$) > 风速 ($X_5=0.15$) > 降水 ($X_2=0.12$) > 气压 ($X_4=0.10$) = 温度 ($X_1=0.10$)。相对湿度 (X_3) 和气压 (X_5) 对非职业性一氧化碳的中毒发病率的影响具有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 4。

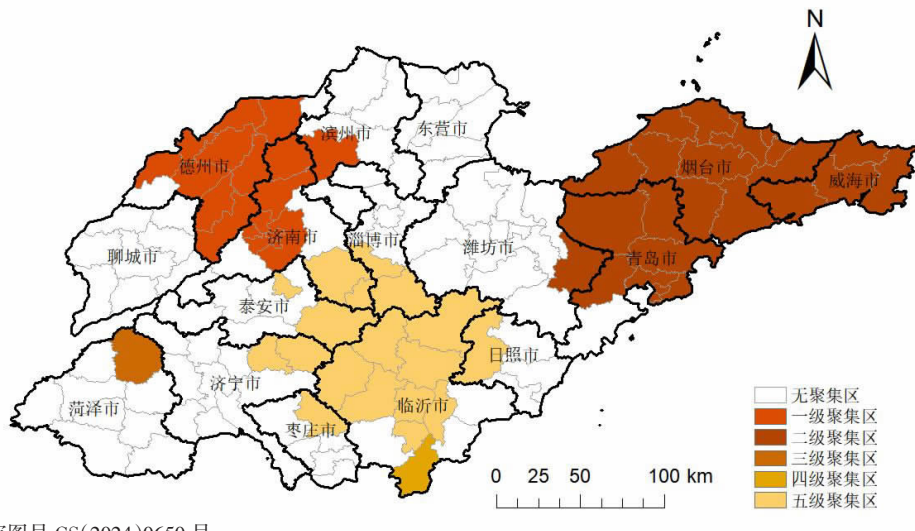
交互探测结果表明, 当相对 X_3 (相对湿度因子) 叠加了 X_2 (降水因子) 后, 对山东省非职业性一氧化碳中毒发病率的解释力呈单因子非线性减弱。其余



注:标准地图审图号 GS(2024)0650 号。

图 4 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒病例热点分布

Figure 4 Hot spot distribution of non-occupational CO poisoning cases in Shandong Province from 2019 to 2023



注:标准地图审图号 GS(2024)0650 号。

图 5 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒病例时空聚集性情况

Figure 5 Spatiotemporal clustering of non-occupational CO poisoning cases in Shandong Province from 2019 to 2023

各因子两两叠加后,解释力均呈双因子增强,即任意两个驱动因子交互作用的效应都要超过他们各自独立作用。当 X4(风速因子)叠加了 X3(相对湿度因子)时,解释力最高为 0.52。见表 5。

表 4 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒发病率气象因子探测结果

Table 4 Detection results of meteorological factors for incidence of non-occupational CO poisoning in Shandong Province from 2019 to 2023

气象因子*	q 值	P 值
X1	0.10	0.204
X2	0.12	0.258
X3	0.30	0.018
X4	0.10	0.226
X5	0.15	0.016

注:*气象因子解释见表 1。

表 5 2019—2023 年山东省非职业性一氧化碳中毒发病率气象因子交互探测结果

Table 5 Interaction detection results of meteorological factors for non-occupational carbon monoxide poisoning incidence in Shandong Province from 2019 to 2023

气象因子*	X1	X2	X3	X4	X5
X1	0.10				
X2	0.34	0.12			
X3	0.49	0.16	0.30		
X4	0.36	0.32	0.52	0.10	
X5	0.45	0.34	0.48	0.48	0.15

注:*气象因子解释见表 1。

3 讨论

研究结果表明,2021—2023 年山东省非职业性

一氧化碳中毒事件起数、发病人数逐年下降。近年来,山东省人民政府出台了《山东省人民代表大会常务委关于修改〈山东省燃气管理条例〉的决定》《山东省城镇燃气安全专项整治实施方案》等文件以及开展对非集中供暖户开展登门入户的全覆盖式摸排行动,多方面防范了该类中毒事件的发生。2023 年非职业性一氧化碳中毒发病例数显著下降可能与新型冠状病毒(COVID-19)感染疫情的长期影响有关。疫情在潜移默化中促使居民居家环境通风习惯改善;且 2022 年底解除对 COVID-19 疫情的管控直接促进了居民外出活动的增加,降低了家庭环境中非职业性一氧化碳中毒事件的发生率。

本研究发现,女性非职业性一氧化碳中毒的发病率高于男性,这可能与男性和女性在生活习惯、工作环境以及生理差异等方面的不同有关。女性多在家烹饪^[15]且使用燃气热水器洗浴时时间较长,这增加了女性非职业性一氧化碳中毒风险。女性死亡风险低于男性,可能由于男性和女性在激活适应性免疫系统和先天免疫系统方面存在差异^[16],女性身体更够更快地消除一氧化碳,预后更好^[17-18]。老年人群由于身体机能下降,对一氧化碳的敏感性和耐受力降低,即便在低浓度一氧化碳环境下,也更容易出现较严重的健康问题,因而成为发病的主要人群。

冬春季节是山东省非职业性一氧化碳中毒的高发期,这可能与紧闭门窗以保持室内温度,室内一氧化碳的积聚以及该时段内相对湿度和气压的变化密切相关。当相对湿度较高时,空气中的水蒸气含量增加,含碳物质如煤炭、木炭等的在不完全燃烧时产生的一氧化碳更难于扩散。同时,处于低压环境下的人类,身体血液循环更慢,新陈代谢速度减慢^[19],导致人体对一氧化碳的清除能力降低。山东省北部城市和沿海地区作为非职业性一氧化碳中毒发病的热点区,沿海地区由于海洋的影响,湿度和风速的变化可能更为复杂,二者的交互作用可能也是该地区非职业性一氧化碳中毒发生率较高的原因之一。

尽管人类难以直接干预气象条件,但仍有能力采取一系列措施来预防和减少此类事件的发生。鲁北和鲁南地区要重点防控非职业性一氧化碳中毒事件的发生,建议各级疾病预防控制机构与气象、宣传等部门建立良好的信息沟通^[20],加强对冬春季节非职业性一氧化碳中毒事故的预警。同时相关部门应对加强对高危人群的健康教育工作,全面普及一氧化碳报警器。对于农村地区而言,集体供暖和转向清洁能源可能不是一个立即可行的解决方案,建议在短期内通过增加窗户面积等其他方式改变住房特点。可将预防非职业性一氧化碳中毒知识加入学校安全教育工

作中,通过提高学生预防非职业性一氧化碳中毒意识进一步减少同居老人中毒事件的发生。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] 张永强,杜世昌,卜凡,等. 2018-2022 年北京市非职业性一氧化碳中毒事件的流行病学特征分析 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(20): 3682-3686.
Zhang YQ, Du SC, Bu F, et al. Epidemiological characteristics of non-occupational Carbon monoxide poisoning in Beijing, 2018-2022 [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51 (20): 3682-3686. (In Chinese)
- [2] GBD 2021 Carbon Monoxide Poisoning Collaborators. Global, regional, and national mortality due to unintentional carbon monoxide poisoning, 2000-2021: Results from the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. Lancet Public Health, 2023, 8(11): e839-e849.
- [3] 笃梦雪,郑灿军,冯晔因,等. 2024 年 1 月中国需关注的突发公共卫生事件风险评估 [J]. 疾病监测, 2024, 39(1): 7-10.
Du MX, Zheng CJ, Feng YN, et al. Risk assessment of public health emergencies concerned in China, January 2024 [J]. Disease Surveillance, 2024, 39(1): 7-10. (In Chinese)
- [4] 张文倩,黄飞,张国钦,等. 2011-2022 年天津市肺结核时空分布特征分析 [J]. 中国防痨杂志, 2023, 45(12): 1170-1176.
Zhang WQ, Huang F, Zhang GQ, et al. Temporal-spatial distribution of pulmonary tuberculosis in Tianjin during 2011-2022 [J]. Chinese Journal of Antituberculosis, 2023, 45 (12): 1170-1176. (In Chinese)
- [5] 郭新慧,张云奇,马仲慧,等. 2012-2023 年北京市房山区其他感染性腹泻时空聚集性研究 [J]. 中国预防医学杂志, 2025, 26(1): 76-82.
Guo XH, Zhang YQ, Ma ZH, et al. Spatio-temporal analysis of non-infectious diarrhoea in Fangshan District, Beijing, 2012-2023 [J]. China Preventive Medicine, 2025, 26(1): 76-82. (In Chinese)
- [6] Li Y, Lu RZ, Dong LY, et al. Epidemic characteristics and Spatio-Temporal patterns of HFERS in Qingdao city, China, 2010-2022 [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2024, 37(9): 1015-1029.
- [7] 陈艳伟,李旭,李夫,等. 2013-2022 年北京市人间布鲁氏菌病流行特征和空间分布分析 [J]. 疾病监测, 2023, 38(10): 1168-1173.
Chen YW, Li X, Li F, et al. Epidemiological characteristics and spatial distribution of human brucellosis in Beijing, 2013-2022 [J]. Disease Surveillance, 2023, 38(10): 1168-1173. (In Chinese)
- [8] Kong DL, Wu CG, Cui YM, et al. Epidemiological characteristics and spatiotemporal clustering of pulmonary tuberculosis among students in southwest China from 2016 to 2022: analysis of Population-Based surveillance data [J]. JMIR Public Health Surveill, 2024, 10: e64286.
- [9] Aboushady AT, Mansour F, El Maghraby M, et al. The use of SatScan software to map spatiotemporal trends and detect disease clusters: a systematic review [J]. Communications Medicine, 2025, 5(1): 82.
- [10] 马涛,李亚娜,汪君君,等. SaTScan 与 FleXScan 软件在南京市 2019 年水痘空间聚集性分析中的应用比较 [J]. 中国卫生统计, 2024, 41(4): 539-542.

- Ma T, Li YN, Wang JJ, et al. Comparison of SaTScan and FleXScan software in spatial aggregation analysis of varicella in Nanjing 2019 [J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2024, 41 (4): 539-542.(In Chinese)
- [11] 陈硕, 赵文武. 中国干旱半干旱区 1990-2020 年土壤水蚀时空变化及动态驱动力[J]. 水土保持学报, 2025, 39(1): 10-20.
Chen S, Zhao WW. Spatial and temporal changes and dynamic driving forces of Soil water erosion in arid and semi-arid regions of China from 1990 to 2020[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(1): 10-20.(In Chinese)
- [12] Guang X, He YF, Chen ZG, et al. Development and validation of a potential risk area identification model for hand, foot, and mouth disease in metropolitan China [J]. J Environ Manage, 2024, 371: 123064.
- [13] 吴士文, 李成龙, 张战平, 等. 1982-2022 年丹江口库区 NDVI 时空演变及驱动因子分析[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(4): 781-791.
Wu SW, Li CL, Zhang ZP, et al. Spatial-temporal Evolution and Driving Factors of NDVI in Danjiangkou Reservoir Area from 1982 to 2022 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2025, 34(4): 781-791.(In Chinese)
- [14] Yin CH, Yan JL, Wang JQ, et al. Spatial analysis of the prevalence of abdominal obesity in middle-aged and older adult People in China: exploring the relationship with meteorological factors based on gender differences[J]. Front Public Health, 2024, 12: 1426295.
- [15] 赵宜静, 郑嵘, 杨敏娟, 等. 2015-2018 年上海市浦东新区非职业性一氧化碳中毒流行病学分析 [J]. 环境与健康杂志, 2020, 37(2): 152-154.
Zhao YJ, Zheng R, Yang MJ, et al. Epidemiological characteristics of non-occupational Carbon monoxide poisoning in Pudong New Area, Shanghai, 2015-2018 [J]. Journal of Environment and Health, 2020, 37(2): 152-154.(In Chinese)
- [16] Forsyth KS, Jiwrajka N, Lovell CD, et al. The connection between sex and immune responses[J]. Nature Reviews Immunology, 2024, 24(7): 487-502.
- [17] Hui HJ, Sun Q, Guo DZ, et al. Sex differences May affect the severity of poisoning and prognosis after Carbon monoxide poisoning: a retrospective study [J]. Undersea & Hyperbaric Medicine, 2016, 43(3): 207-215.
- [18] Zavorsky GS, Tesler J, Rucker J, et al. Rates of Carbon monoxide elimination in males and females [J]. Physiological Reports, 2014, 2(12): e12237.
- [19] 王美楠, 王海英, 胡松涛, 等. 低气压环境下人体新陈代谢变化规律的实验研究[J]. 青岛理工大学学报, 2014, 35(5): 87-91.
Wang MN, Wang HY, Hu ST, et al. Experimental study on change rule of human body metabolism in low pressure environment [J]. Journal of Qingdao Technological University, 2014, 35(5): 87-91.(In Chinese)
- [20] 孔子昂, 李明君, 单冰, 等. 2011-2022 年济南市非职业性一氧化碳中毒事件流行特征分析[J]. 现代预防医学, 2024, 51(12): 2169-2173.
Kong ZA, Li MJ, Shan B, et al. Epidemic characteristics of non-occupational Carbon monoxide poisoning incidents in Jinan, 2011-2022 [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(12): 2169-2173.(In Chinese)

收稿日期: 2024-11-30

(上接第 3129 页)

- factors of water environmental carrying capacity in Shandong Province[J/OL]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology (Chinese-English): 1-14 [2025-07-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20250124.1637.008.html>.(In Chinese)
- [12] 赵培, 解晔, 李秋梅, 等. 2009-2019 年江苏省肿瘤登记地区骨恶性肿瘤发病趋势及年龄变化分析 [J/OL]. 中国肿瘤: 1-8 [2025-07-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2859.R.20250110.1103.002.html>.
- Zhao P, Xie Y, Li QM, et al. Analysis of the incidence trends and age-related changes of malignant bone tumors in cancer registration areas of Jiangsu Province from 2009 to 2019 [J/OL]. China Cancer: 1-8 [2025-07-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2859.R.20250110.1103.002.html>.(In Chinese)
- [13] 庄峰, 姜帆, 李丽丽, 等. 山东省肿瘤登记地区 2019 年结肠直肠癌发病和死亡情况与 2015-2019 年变化趋势分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2025, 32(1): 18-27.
Zhuang F, Jiang F, Li LL, et al. Colorectal cancer incidence and mortality in Shandong Province in 2019 and trend analysis from 2015 to 2019 [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2025, 32(1): 18-27.(In Chinese)
- [14] 陈嘉慧, 王海博, 柯立鑫, 等. 1990 年—2021 年中国因非酒精性脂肪性肝炎所致肝癌的疾病负担分析与未来趋势预测研究 [J]. 华西医学, 2025, 40(4): 546-553.
Chen JH, Wang HB, Ke LX, et al. Analysis and future trend prediction of the disease burden of liver cancer attributed to nonalcoholic steatohepatitis in China from 1990 to 2021 [J]. West China Medical Journal, 2025, 40(4): 546-553.(In Chinese)

收稿日期: 2025-02-13