· 环境与职业卫生 ·

2019—2024 年张家口市极端气温对居民非意外死亡影响研究

赵媛[1,2],王苏玮[2],丁婷婷[2],麦麦提江[3],刘毅刚[2],刘学慧[1],安玉琴[1,2]
1. 河北医科大学公共卫生学院,河北 石家庄 050017;2. 河北省疾病预防控制中心环境卫生监测与评价所;
3. 巴州疾病预防控制中心(州卫生监督所)

摘要:目的　分析张家口市极端气温对居民非意外死亡风险的影响,并识别易感人群。**方法**　2019—2024 年张家口市居民非意外死亡数据及同期气象与大气污染数据来源于空气污染对人群健康影响监测信息系统。采用分布滞后非线性模型(DLNM)分析极端气温对非意外死亡和心血管疾病死亡的暴露 - 滞后 - 反应关系,并按性别、年龄进行分层分析。**结果**　张家口市日均气温与非意外死亡、心血管疾病死亡风险的关系均呈"U"型;极端低温的健康效应具有延迟性,累积滞后效应均在滞后 21 天达到峰值,非意外死亡和心血管疾病死亡的累积相对危险度 *CRR*(95% *CI*)分别为 2.470(1.746 ~ 3.494)和 2.163(1.379 ~ 3.394);而极端高温呈急性,分别在滞后 6 天和 5 天达到峰值,其 *CRR*(95% *CI*)分别为 1.483(1.316 ~ 1.672)和 1.462(1.236 ~ 1.729);分层分析结果显示男性及≥65 岁人群在极端温度下的 *CRR* 高于其他亚组。**结论**　极端气温显著增加张家口市居民心血管疾病死亡风险,其中男性及老年人群(≥65 岁)更易受极端气温影响。

关键词:极端气温;日均温度;非意外死亡;分布滞后非线性模型
中图分类号:R122　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1003 - 8507(2026)10 - 1785 - 07
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202510248

Research on the impact of extreme temperatures on resident non - accidental mortality, Zhangjiakou City, 2019 - 2024

ZHAO Yuan*, WANG Su - wei, DING Ting - ting, Maimaitijiang, LIU Yi - gang,
LIU Xue - hui, AN Yu - qin
School of Public Health, Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei 050017, China

Abstract: Objective　To explore the impact of extreme temperature on the risk of non - accidental mortality in Zhangjiakou city, and to identify susceptible subpopulations. **Methods**　Data on non - accidental mortality among residents in Zhangjiakou City from 2019 to 2024, as well as concurrent meteorological and air pollution data, were obtained from the Air Pollution and Health Effects Monitoring Information System. The distributed lag non - linear model (DLNM) was employed to analyze the exposure - lag - response relationships between extreme temperatures and both non - accidental mortality and cardiovascular disease mortality, with stratified analyses conducted by sex and age group. **Results**　The exposure - response relationship between daily mean temperature and both non - accidental and cardiovascular mortality exhibited a U - shaped curve. The effects of extreme cold showed persistent lag patterns, with the cumulative relative risks (cumulative *RR*s) peaking at lag 21 days for both non - accidental mortality (*CRR* = 2.470, 95% *CI*: 1.746 - 3.494) and cardiovascular mortality (*CRR* = 2.163, 95% *CI*: 1.379 - 3.394). In contrast, the effects of extreme heat were acute and short - lived, with cumulative *RR*s peaking at lag 6 days (*CRR* = 1.483, 95% *CI*: 1.316 - 1.672) and lag 5 days (*CRR* = 1.462, 95% *CI*: 1.236 - 1.729) for non - accidental and cardiovascular mortality, respectively. Stratified analysis revealed that males and individuals aged ≥65 years were at higher risk, with greater cumulative *RR*s during extreme temperature events. **Conclusion**　Extreme temperatures significantly increase the risk of cardiovascular mortality in Zhangjiakou. Males and the elderly (≥65 years) are particularly vulnerable.

Keywords: Extreme temperature; Daily mean temperature; Non - accidental mortality; Distributed lag non - linear model

近年来,气候变化的加剧导致极端气温事件频率与强度显著增加,世界各地不断刷新历史高温记录[1]。IPCC 第六次评估报告中明确指出,气候变化

基金项目:2020 年河北省医学研究重点课题计划(20200692)
作者简介:赵媛(2001—),女,硕士在读,研究方向:环境卫生监测与评价
通信作者:安玉琴,E - mail:anyuqin1983@126.com

对健康的威胁正呈现加剧态势,并表现出复合暴露和连锁事件的风险特征,预计未来随着全球变暖进程的持续推进,相关健康风险将进一步升级[2]。在此背景下,气温与人群健康的关联研究已成为公共卫生领域的核心议题。流行病学证据表明,环境温度与人群死亡率呈非线性关联(U 型/J 型分布),并存在显著地域异质性。国内研究显示,暴露于极端气温等非适宜温度会显著增加居民,特别是≥65 岁人群,因心血管与呼吸系统疾病导致的死亡风险,相关证据多来自华东、华南等南方或沿海城市[3-10]。张家口作为典型的气候过渡带,具有冬季寒冷漫长、夏季短暂凉爽、昼夜温差大等特点。同时,该市老年人口比例高,心脑血管疾病负担重[11],其独特的地理气候特征与本地人口健康结构叠加,使得当地居民的健康对温度波动尤为敏感[12]。然而,针对该区域极端气温暴露 - 反应关系的系统性研究仍相对匮乏。

本研究基于 2019—2024 年张家口市居民死因监测数据及同期气象大气污染数据,通过构建分布滞后非线性模型(Distributed Lag Non - linear Model, DLNM)[13],量化极端气温暴露对非意外死亡的滞后效应及累积风险,并通过亚组分析揭示不同年龄、性别的脆弱人群特征,从而为制定基于人群特征和区域差异的精准化气候健康适应策略提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 *研究数据* 2019—2024 年张家口市居民死亡数据、同期气象及大气污染数据均来自空气污染对人群健康影响监测信息系统。死亡数据主要包括性别、年龄、根本死因及 ICD 编码(ICD - 10)据此筛选非意外死亡(A00 - R99)、心血管疾病死亡(I00 - I99)和呼吸系统疾病(J00 - J99)。气象数据包括日平均温度(℃)、日平均相对湿度(%)等;大气污染包括 $PM_{2.5}$、PM_{10}、O_3、SO_2、NO_2和 CO 六项主要污染物平均浓度。

1.2 *极端高温、极端低温的定义* 目前极端温度的流行病学阈值尚未形成统一定义。参考环境健康领域研究方法,本研究将极端低温阈值定义为日均温度的第 2.5 百分位数($P_{2.5}$),极端高温定义为第 97.5 百分位数($P_{97.5}$)。

1.3 *分析方法*

1.3.1 模型构建 分布滞后非线性模型(DLNM)可以同时考虑气温与死亡之间的非线性及效应的滞后性和累积性。模型核心结构如下:

$$Y_t \sim \text{Quasi - poisson}[E(Y_t)]$$

$$\text{Lag}[E(Y_t)] = \alpha + \beta basis.Temp + ns(time, 6 * year) + ns(RH, df = 3) + \gamma DOW_t + \delta Holiday$$

式中:采用拟泊松分布来描述每日死亡人数,α 为截距,β、γ 和 δ 为协变量系数;Y_t为每日非意外死亡人数;*basis. Temp* 是日均气温的交叉基函数,温度暴露和滞后维度均使用自然立方样条(*ns*, *df* = 4),滞后时长最大为 21 天;模型经拟泊松赤池信息准则(QAIC)优化确定最终参数。*time* 是日期变量,时间趋势自由度选择 6/年;*RH* 是日平均相对湿度,*df* 选择 3;DOW_t是星期几变量;*Holiday* 表示是否为法定节假日。

1.3.2 效应估计与分层分析 以日均温度的最小死亡风险温度(minimum mortality temperature, MMT)为基准参考值,计算单日滞后效应相对危险度(*RR*)和累积相对危险度(*CRR*),量化极端气温对非意外死亡的影响效应。进一步根据不同性别和年龄将人群划分为男性、女性、<65 岁、≥65 岁亚组进行极端气温累积滞后效应分析。

1.3.3 敏感性分析 根据研究结果,选取效应值最大且最显著的滞后时点,通过调整时间趋势自由度(6~8/年)、纳入不同空气污染物($PM_{2.5}$、PM_{10}、O_3等)以及检验污染物滞后效应的潜在影响,我们进一步将 $PM_{2.5}$的滞后浓度(lag3、lag5)作为协变量,评估模型在关键时点的稳健性。同时,考虑受新冠疫情的影响,进行上述分析时,将疫情期导致的异常值进行截尾处理(3 × IQR 标准),并同步进行敏感性分析,以排除疫情相关异常值对稳健性检验结果的干扰。比较不同参数设定下相对危险度及其置信区间的变化,若调整参数后 *RR* 变化幅度 <10% 或置信区间重叠度较高,则认为模型结果稳健。

1.4 *统计学方法* 运用 R 4.3.1 软件进行数据分析,使用 dplyr 和 tidyr 包进行数据清洗与整理;基于 dlnm 包构建 DLNM 模型,使用“crossbasis”函数建立双变量交叉基矩阵,同时采用 splines 包的“ns”函数控制协变量(如温度、时间趋势和湿度)的非线性关系;最后通过 ggplot2 包绘制暴露 - 反应曲线和滞后效应曲面等。检验水准 $\alpha = 0.05$。

2 结 果

2.1 *基本情况* 2019—2024 年张家口市非意外死亡总人数共 42 539 人,男性 24 974 人,女性 17 565 人,<65 岁 7 988 人,≥65 岁 34 511 人。日均温度平均值为 9.38 ℃,其中极端低温($P_{2.5}$)为 -12 ℃、极端高温($P_{97.5}$)为 27 ℃。心血管疾病死亡 19 345 人,呼吸系统疾病死亡 5 636 人,因呼吸系统疾病死亡例数不足,未纳入模型。见表 1。

2.2 *单日滞后效应* 基于分布滞后非线性模型的分析显示,非意外死亡的 MMT 为 18 ℃[$P_{66.5}$],心血管疾病死亡的 MMT 为 16.5 ℃[$P_{62.6}$]。日均温度与非意外死亡和心血管疾病死亡风险之间呈非线性“U”

表 1　2019—2024 年张家口市气象、环保与居民死亡情况

Table 1　Meteorological, environmental protection, and resident mortality data in Zhangjiakou city(2019 – 2024)

变量	$\bar{x} \pm s$	Min	P_{25}	P_{50}	P_{75}	Max
非意外死亡(人)	19.41 ±9.47	5.00	15.00	18.00	22.00	147.00
男性	11.39 ±6.22	1.00	8.00	11.00	13.00	98.00
女性	8.01 ±4.28	0.00	6.00	7.00	10.00	52.00
<65 岁	3.64 ±1.99	0.00	2.00	3.00	5.00	18.00
≥65 岁	15.76 ±8.78	3.00	12.00	15.00	18.00	141.00
心血管系统死亡(人)	8.83 ±4.71	0.00	6.00	8.00	11.00	59.00
呼吸系统死亡(人)	2.57 ±3.71	0.00	1.00	2.00	3.00	62.00
日均温度(℃)	9.38 ±12.14	−21.50	−1.30	10.70	20.50	30.80
日均相对湿度(%)	47.71 ±17.00	10.00	35.00	47.00	59.80	93.00
PM_{10}(g/m^3)	60.35 ±82.86	9.00	32.00	46.00	68.00	2 301.00
$PM_{2.5}$(g/m^3)	25.23 ±19.54	4.00	13.00	20.00	31.00	247.00
NO_2(g/m^3)	20.63 ±10.29	3.00	13.00	18.00	26.00	82.00
SO_2(g/m^3)	9.21 ±5.42	2.00	5.00	8.00	11.00	42.00
CO(mg/m^3)	0.55 ±0.27	0.20	0.40	0.50	0.70	2.10
O_3(g/m^3)	97.43 ±38.50	17.00	69.00	90.00	121.00	233.00

型关系,相对高温和低温暴露均会增加死亡风险,其中低温效应更为显著。见图 1。

单日滞后结果显示,极端低温对非意外死亡和心血管疾病死亡均呈现滞后效应,分别在 lag4、lag5 开始出现显著效应,均持续到 lag21 时效应最大,其非意外死亡单日效应 *RR*(95% *CI*)分别为 1.034(1.010 ~ 1.059)、1.103(1.049 ~ 1.161);心血管疾病死亡效应为 1.036(1.002 ~ 1.070)、1.080(1.010 ~ 1.154)。极端高温则表现为急性效应,均在 lag0 达到峰值,*RR*(95% *CI*)分别为 1.129(1.089 ~ 1.170)和 1.132(1.075 ~ 1.193),至 lag5 后均无显著影响 1.015(0.997 ~ 1.034)和 1.009(0.982 ~ 1.036)。见图 2。

2.3　*累积滞后效应*　累积滞后结果显示,极端低温对非意外死亡和心血管疾病死亡均呈持续上升趋势,分别自 lag0 – 8、lag0 – 10 出现效应,至 lag0 – 21 达最大,累积滞后效应 *CRR*(95% *CI*)分别为 2.470(1.746 ~ 3.494)和 2.163(1.379 ~ 3.394)。极端高温呈先升后降趋势,于 lag0 – 6、lag0 – 5 达峰值,*CRR*(95% *CI*)分别为 1.483(1.316 ~ 1.672)和 1.462(1.236 ~ 1.729),lag0 – 21 分别降至 1.431(1.161 ~ 1.763)和 1.426(1.032 ~ 1.970)。见图 3。

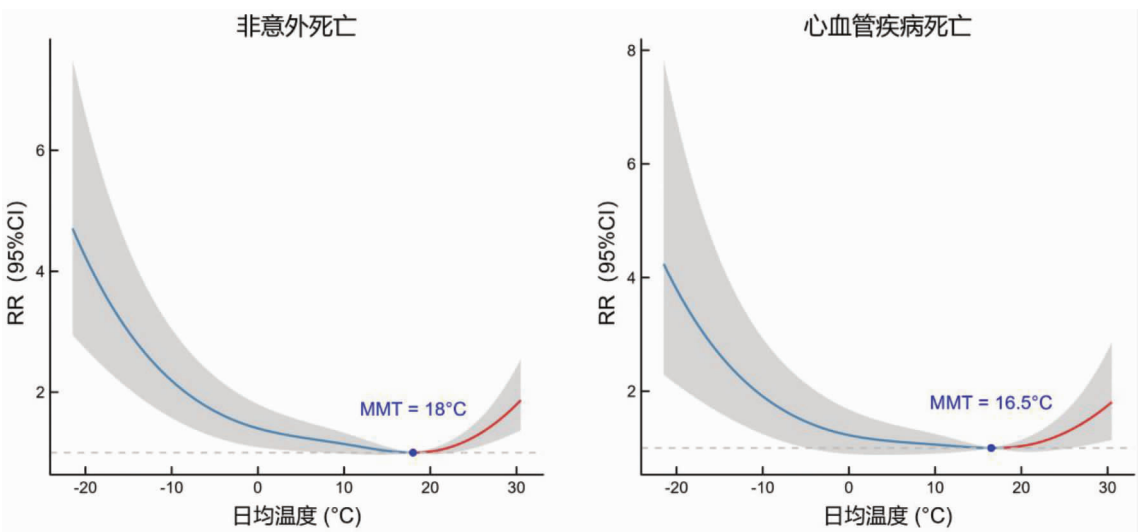


图 1　日均温度对非意外死亡和心血管疾病死亡的影响效应图

Fig. 1　Effect of daily average temperature on non – accidental mortality and cardiovascular disease mortality

2.4　*分层分析*　极端低温对男性、女性及≥65 岁人群的累积滞后效应均呈上升趋势,峰值均出现在 lag0 – 21 天,其中非意外死亡累积相对风险(*CRR*, 95% *CI*)分别为 2.877(1.889 ~ 4.382)、1.982(1.216 ~

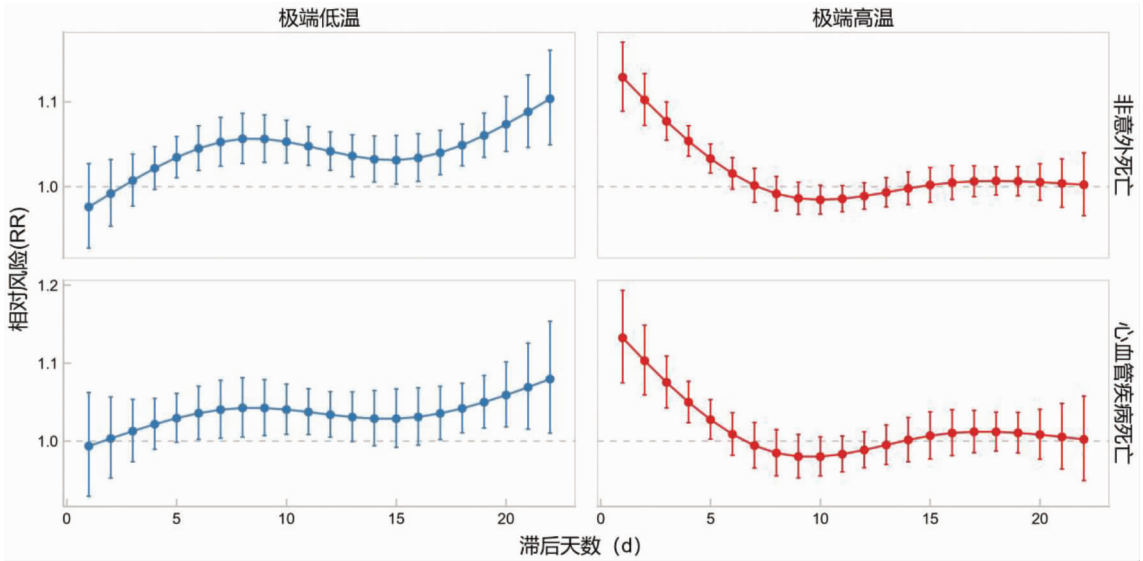


图 2　极端气温对非意外死亡和心血管疾病死亡的单日滞后效应图

Fig. 2　Single – day lag effects of extreme temperatures on non – accidental mortality and cardiovascular disease mortality

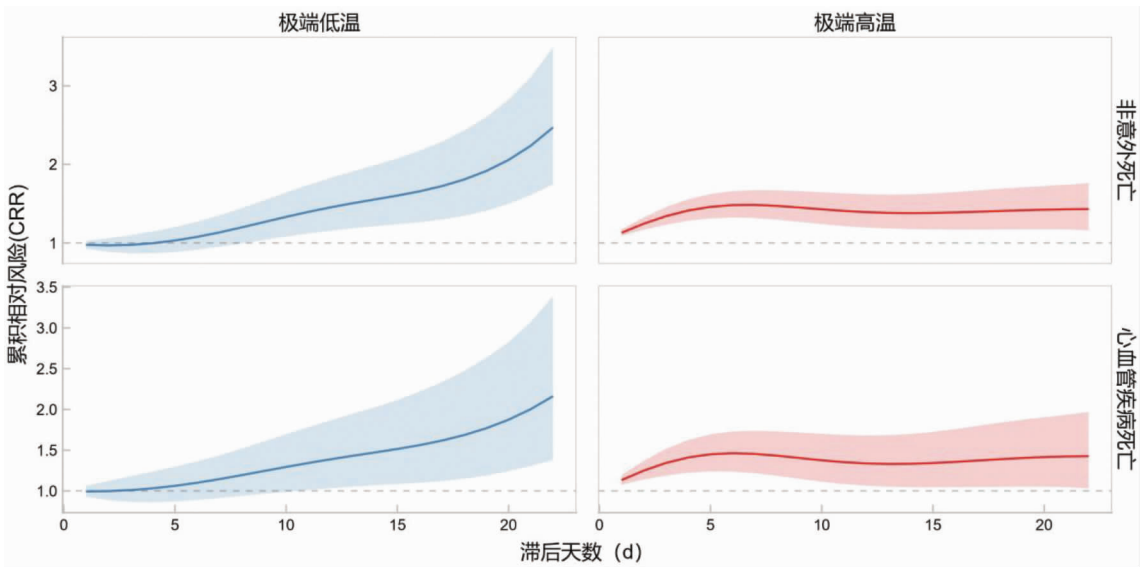


图 3　极端气温对非意外死亡和心血管疾病死亡的累积滞后效应图

Fig. 3　Cumulative lag effects of extreme temperatures on non – accidental mortality and cardiovascular disease mortality

3. 231)、2. 960(2. 020 ~ 4. 339),心血管疾病死亡 *CRR*(95% *CI*)分别为 2. 489(1. 416 ~ 4. 377)、1. 786(0. 933 ~ 3. 417)、2. 737(1. 645 ~ 4. 556);<65 岁人群的累积滞后效应均无统计学意义。

极端高温呈先升后降趋势,男性表现为先升后降再升高。女性与≥65 岁人群峰值分别出现在 lag0 – 6 天和 lag0 – 5 天,男性非意外死亡及心血管疾病死亡峰值分别出现在 lag0 – 5 天和 lag0 – 4 天后又均在 lag0 – 18 天出现峰值,对应非意外死亡 *CRR*(95% *CI*)分别为 1. 493(1. 270 ~ 1. 755)、1. 534(1. 354 ~ 1. 740)、1. 485(1. 287 ~ 1. 713)、1. 496(1. 177 ~ 1. 902),心血管疾病死亡 *CRR*(95% *CI*)分别为 1. 570(1. 227 ~ 2. 010)、1. 485(1. 251 ~ 1. 762)、1. 393(1. 136 ~ 1. 707)、1. 407(0. 964 ~ 2. 054);<65 岁人群的累积滞后效应均无统计学意义。见图 4。

2. 5　敏感性分析　本研究聚焦于极端高温的即时效应(lag0),作为敏感性分析时点。结果显示,在调整变量后,极端高温对非意外死亡的相对估计值 *RR* 保持相对稳定,其中 Adj_deaths 为处理异常值后非意外死亡的变量名。基础模型 *df* = 6 时 *RR* 为 1. 12,敏感性分析 *RR* 范围为 1. 10 ~ 1. 14。所有模型的 95% *CI* 均相互重叠,进一步证实主要分析结果的稳健性。见表 2。

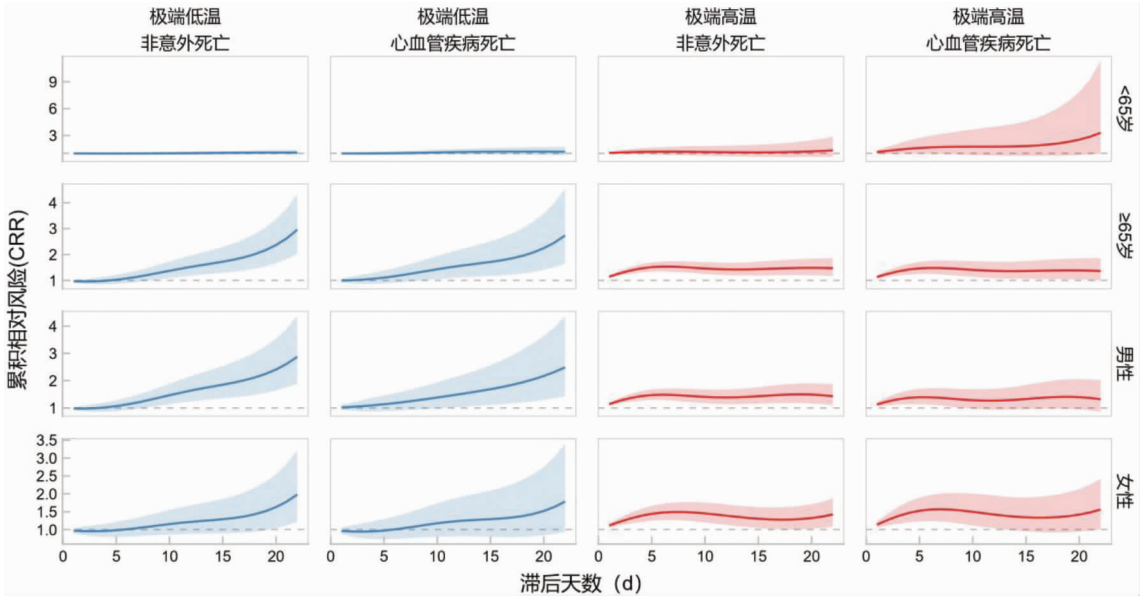


图 4　极端气温对不同性别、不同年龄非意外死亡和心血管死亡的累积滞后效应图

Fig. 4　Cumulative lag effects of extreme temperatures on non – accidental and cardiovascular mortality by gender and age

表 2　调整不同时间趋势自由度与不同污染物的敏感性分析

Table 2　Sensitivity analysis adjusting for different degrees of freedom for temporal trends and various pollutants

调整变量	*RR* 值	95% *CI*
df = 7	1.137	1.089 ~ 1.187
df = 8	1.118	1.072 ~ 1.167
Adj_deaths	1.114	1.072 ~ 1.158
$PM_{2.5}$	1.124	1.073 ~ 1.177
$PM_{2.5}$_lag3	1.123	1.074 ~ 1.174
$PM_{2.5}$_lag5	1.116	1.068 ~ 1.166
PM_{10}	1.135	1.084 ~ 1.187
O_3	1.101	1.046 ~ 1.159
SO_2	1.122	1.073 ~ 1.174
NO_2	1.118	1.069 ~ 1.168
CO	1.114	1.064 ~ 1.167

3　讨　论

本研究发现以温度最小死亡率(MMT)为参考温度下的相对高温和低温均会显著性增加非意外死亡和心血管疾病死亡的风险,且暴露反应曲线均为非线性与梁子越[14]、李俊林[15]、李欢[16]等研究结果一致。既往研究表明 MMT 多分布于 P_{70} – P_{99} 区间,其中 Yang[17] 等基于全国数据报道为 P_{78},Guo[18] 等的全球多中心研究则提示约为 P_{75}。相比之下,张家口市 MMT 位于 $P_{66.5}$,明显低于国内外一般水平。这一特征可能反映了寒冷地区特有的气温 – 死亡关联模式:该地区冬季漫长且供暖期覆盖较全,居民长期暴露于低温环境可能形成了代谢性冷适应,导致热舒适区间前移;同时,较大的日温差可能削弱了人群对温和高温的耐受性,共同促使死亡风险最低点向温度分布的更低分位数偏移[19]。本研究结果显示,极端低温对心血管疾病死亡表现出滞后效应,可能与寒冷条件下血管收缩、血压升高及血液粘稠度增加等慢性生理应激有关[20];而极端高温则呈现急性效应,可能归因于高温引发的脱水、血液重新分布及心血管系统瞬时超负荷[21],研究结果进一步验证了极端气温通过多途径病理生理机制对心血管系统产生的危害特征。值得注意的是,张家口市极端低温暴露的总效应(*CRR* = 2.470, *CRR* = 2.163)显著高于极端高温(*CRR* = 1.431, *CRR* = 1.426),因此在张家口市区的气候健康防护策略中,应优先加强寒冷相关健康风险的干预措施,同时建议针对短期热暴露的健康影响及时建立早期防护措施。

亚组分析显示,≥65 岁人群对极端低温和高温均敏感,但低温风险的累积周期较高温更长,与范西莹等[22]一致。这可能与老年人体温调节及外周循环功能衰退、难以快速适应低温环境有关,亦可能因该群体心血管等基础疾病负担较重,低温暴露的病理损伤更易持续累积[23]。相比之下,高温损伤多为急性应激反应,故风险峰值出现较早且持续时间短。性别分层中,男性在极端低温暴露后短期内即显现风险,女性则呈现滞后效应且持续时间长[5-6],这可能反映男性户外暴露率较高而易受急性冲击,女性因基础代谢率偏低、长期低温下产热储备不足,叠加潜在慢性病共病,导致风险迟发等[24]。除 <65 岁组外,其他亚组的极端高温健康风险均在累积暴露后 5 ~ 6 天内达到峰值,其中老年人与男性的风险曲线高度重合,进一步证实了高温急性暴露对脆弱人群的显著危害。

本研究存在一定局限性。首先,本研究采用气象局提供的日均温度作为人群平均暴露指标,研究结果可能存在一定的生态学偏倚。其次,温度与污染物的交互作用机制(如高温促进 O_3 生成的生物化学途径,及两者对 CVD 死亡的协同应激)在本研究中未能充分解析[25-26]。未来或采用复合暴露模型验证不同污染水平下的温度-反应曲线,以明确易感人群的阈值窗口。

综上所述,张家口市 2019—2024 年极端气温与非意外死亡呈显著关联,且低温相对风险高于高温,呈现长滞后累积(3 周)与持续暴露依赖的特征,而高温多为急性应激反应。基于不同时间分布特征,建议制定差异化防护方案,如针对低温暴露,应建立基于滞后效应的防护方案,重点关注暴露后 2 ~ 3 周的心脑血管疾病等健康影响;针对高温暴露,则及时进行防护措施,如高温天气下快速启动应急避暑措施,重点加强户外工作者和老年人在日最高温时段的防护;鉴于本地 MMT($P_{66.5}$)显著低于全国均值,提示寒冷地区人群对温和高温(20 ~ 25℃区间)可能存在适应性脆弱,建议加强 MMT 临界值前后该人群的健康监测和公众对温度滞后效应的认知,并将温度健康风险纳入气候变化适应性规划体系。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] World Meteorological Organization. Global annual to decadal climate update 2025-2029[R]. Geneva: WMO, 2025.

[2] 黄存瑞,刘起勇. IPCC AR6 报告解读:气候变化与人类健康[J]. 气候变化研究进展,2022,18(4):442-451.
Huang CR, Liu QY. Interpretation of IPCC AR6 on climate change and human health[J]. Climate Change Research, 2022, 18(4): 442-451. (In Chinese)

[3] 于洋,郑浩,费娟,等. 2017—2019 年南京市极端气温对人群非意外死亡风险影响研究[J]. 环境与健康杂志,2023(2):140-145.
Yu Y, Zheng H, Fei J, et al. Effects of extreme temperature on the risk of non-accidental death in Nanjing from 2017 to 2019[J]. Journal of Environment and Health, 2023(2): 140-145. (In Chinese)

[4] 张德坤,田元睿,赵小兰,等. 泰州市 2016-2020 年每日平均温度对居民循环及呼吸系统疾病死亡的滞后效应分析[J]. 环境与健康杂志,2025,42(2):140-144.
Zhang DK, Tian YR, Zhao XL, et al. Lagging effect of daily average temperature on resident mortality in Taizhou city, Jiangsu province from 2016 to 2020[J]. Journal of Environment and Health, 2025, 42(2): 140-144. (In Chinese)

[5] 匡文韬,赵锦,倪涵,等. 长沙市 2015—2019 年极端天气事件对循环系统疾病死亡影响[J]. 中国公共卫生,2023,39(7):896-901.
Kuang WT, Zhao J, Ni H, et al. Impact of extreme weather events on circulatory system disease mortality in Changsha city: 2015-2019[J]. Chinese Journal of Public Health, 2023, 39(7): 896-901. (In Chinese)

[6] 陈亦晨,陈华,曲晓滨,等. 日均气温对社区居民脑卒中死亡影响的时间序列研究[J]. 中国全科医学,2022,25(15):1838-1844.
Chen YC, Chen H, Qu XB, et al. Impact of average daily temperature on stroke mortality in community: a time-series analysis[J]. Chinese General Practice, 2022, 25(15): 1838-1844. (In Chinese)

[7] 邓小明,邹观湘,彭卫雄,等. 2017—2023 年寒潮对湖南省衡阳市居民住院人数影响:不同寒潮定义下的时间序列研究[J]. 环境与职业医学,2025,42(7):808-813.
Deng XM, Zou GX, Peng WX, et al. Impact of cold waves on hospital admissions in Hengyang, Hunan from 2017 to 2023: a time series study under different cold wave definitions[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2025, 42(7): 808-813. (In Chinese)

[8] 曹胜男,李金坤,陈莉,等. 2018—2023 年连云港市环境温度对居民死亡影响的时间序列分析[J]. 江苏预防医学,2025,36(5):622-626.
Cao SN, Li JK, Chen L, et al. Time series analysis of the association between ambient temperature and resident mortality in Lianyungang from 2018 to 2023[J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2025, 36(5): 622-626. (In Chinese)

[9] 胡茂红,熊文艳,戚京城,等. 2018—2022 年南昌市极端气温对居民脑卒中死亡风险影响[J]. 中国公共卫生,2025,41(1):88-94.
Hu MH, Xiong WY, Qi JC, et al. Influence of extreme temperatures on stroke mortality risk among residents of Nanchang city between 2018 and 2022[J]. Chinese Journal of Public Health, 2025, 41(1): 88-94. (In Chinese)

[10] 马艳,朱启炯,蔡伟聪,等. 深圳市气温与人群伤害发生风险关联的病例交叉研究[J]. 环境与职业医学,2025,42(5):536-542.
Ma Y, Zhu QJ, Cai WC, et al. Case-crossover study on the association between ambient temperature and injury mortality risk in Shenzhen[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2025, 42(5): 536-542. (In Chinese)

[11] 河北省统计局,国家统计局河北调查总队. 河北统计年鉴-2024(总第 5 卷)[M]. 北京:中国统计出版社,2024.
Hebei Provincial Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Hebei. Hebei Statistical Yearbook 2024[M]. Beijing: China Statistics Press, 2024. (In Chinese)

[12] 徐超璇,鲁春霞,黄绍琳. 张家口地区生态脆弱性及其影响因素[J]. 自然资源学报,2020,35(6):1288-1300.
Xu CX, Lu CX, Huang SL. Study on ecological vulnerability and its influencing factors in Zhangjiakou area[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(6): 1288-1300. (In Chinese)

[13] 黄照,刘涛,许燕君,等. 基于死亡数据用 DLNM 构建气象健康指数[J]. 环境卫生学杂志,2018,8(5):368-373, 380.
Huang Z, Liu T, Xu YJ, et al. Based on death information and using DLNM to develop a meteorological health index[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2018, 8(5): 368-373, 380. (In Chinese)

(下转第 1860 页)

public hospitals in China based on TOPSIS and factor analysis[J]. Chinese Journal of Health Policy, 2019, 12(1): 68 - 73. (In Chinese)

[13] 张静. 北京市各级各类公立医院经济运行现状分析[J]. 中国卫生经济,2024,43(2):75 - 78, 83.
Zhang J. Analysis of the economic operation status of public hospitals at all levels and types in Beijing[J]. Chinese Health Economics, 2024, 43(2): 75 - 78, 83. (In Chinese)

[14] 王宏宇,秘丽霞. 我国高校债务风险动态预警模型研究[J]. 会计之友,2015,(1):75 - 78.
Wang HY, Mi LX. Research on the dynamic early warning model for debt risk in China's higher education institutions[J]. Friends of Accounting, 2015, (1): 75 - 78. (In Chinese)

[15] 张成,潘秋予,宋磊,等. 基于平衡计分卡的公立医院运营管理评价指标体系构建研究[J]. 现代预防医学,2025,52(8):1418 - 1421, 1434.
Zhang C, Pan QY, Song L, et al. Research on the construction of public hospital operation management evaluation index system based on balanced scorecard[J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(8): 1418 - 1421, 1434. (In Chinese)

[16] 吴斯旻. 患者小病在社区,大病去三甲二级公立医院如何突破"夹缝"[N]. 第一财经日报,2025 - 06 - 09(A06).
Wu SM. Patients with minor illnesses go to community hospitals, while those with serious illnesses go to top - tier hospitals - how can secondary public hospitals break through the 'squeeze' in this system? [N]. China Business News, 2025 - 06 - 09(A06).

收稿日期:2025-12-22

(上接第 1790 页)

[14] 梁子越,陈凤格,张莹,等. 2017—2021 年石家庄市温度对居民非意外死亡风险的影响[J]. 现代预防医学,2023,50(17):3128 - 3132.
Liang ZY, Chen FG, Zhang Y, et al. Effect of temperature on the risk of non - accidental death of residents in Shijiazhuang from 2017 to 2021[J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(17): 3128 - 3132. (In Chinese)

[15] 李俊林,徐静,尹立,等. 秦皇岛市气温及其变化对居民死亡风险的影响研究[J]. 气象学报,2022,80(3):433 - 448.
Li JL, Xu J, Yin L, et al. Effects of temperature and temperature change on mortality of residents in Qinhuangdao, China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2022, 80(3): 433 - 448. (In Chinese)

[16] 李欢,杨升美,岳宣志,等. 呼和浩特市环境温度与循环系统疾病死亡风险和负担的相关性研究[J]. 中华疾病控制杂志,2024,28(10):1176 - 1183.
Li H, Yang SM, Yue XZ, et al. Correlation between ambient temperature and mortality risk and burden of circulatory diseases in Hohhot[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(10): 1176 - 1183. (In Chinese)

[17] Yang J, Yin P, Zhou MG, et al. Cardiovascular mortality risk attributable to ambient temperature in China[J]. Heart, 2015, 101(24): 1966 - 1972.

[18] Guo YM, Gasparrini A, Armstrong B, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation[J]. Epidemiology, 2014, 25(6): 781 - 789.

[19] 叶丽雯,李阳,师春立,等. 2016—2021 年自贡市温度变化对心脑血管疾病死亡的影响[J]. 预防医学情报杂志,2025,41(2):235 - 244, 263.
Ye LW, Li Y, Shi CL, et al. Effect of temperature variability on the mortality from cardio - cerebrovascular diseases in Zigong City from 2016 to 2021[J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2025, 41(2): 235 - 244, 263. (In Chinese)

[20] 王倩,邹玉宝. 环境温度对血压的影响及相关管理策略[J]. 中国循环杂志,2024,39(5):516 - 520.
Wang Q, Zou YB. Update on the impact of environmental temperature on blood pressure and associated management strategies[J]. Chinese Circulation Journal, 2024, 39(5): 516 - 520. (In Chinese)

[21] 邵海锐,吕磊,钟勇. 高温对心血管系统影响的研究进展[J]. 医学研究与战创伤救治,2023,36(11):1217 - 1220.
Shao HR, Lv L, Zhong Y. Research progress on the impact of high temperature on cardiovascular system[J]. Journal of Medical Research & Combat Trauma Care, 2023, 36(11): 1217 - 1220. (In Chinese)

[22] 范西莹,李晶晶. 气候要素影响下老年人死亡风险表现及适应水平差异分析[J]. 人口研究,2023,47(5):115 - 128.
Fan XY, Li JJ. Influence of climate factors on mortality risk of older adults in China[J]. Population Research, 2023, 47(5): 115 - 128. (In Chinese)

[23] Chen XH, Su MM, Yuan ML, et al. Association between ambient temperature and non - accidental mortality in Guiyang, China: A time - series analysis (2013 - 2023)[J]. PLOS One, 2025, 20(4): e0319863.

[24] Yao X, Qu Y, Mishra AK, et al. Elderly vulnerability to temperature - related mortality risks in China[J]. Sci Adv, 2025, 11(6): eado5499.

[25] 李秀,方博. 大气污染物与气温交互作用对我国居民死亡影响的系统综述[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine,2022,39(9):1031 - 1037.
Li X, Fang B. Interactive effects of air pollutants and temperature on mortality in China: a systematic review[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(9): 1031 - 1037. (In Chinese)

[26] Wang T, Chen X, Yao Y, et al. Pro - Thrombotic changes in response to ambient ozone exposure exacerbated by temperatures[J]. Environmental Science & Technology, 2025, 59(17): 8391 - 8401.

收稿日期:2025-10-21