

论著·调查研究

清远市气温与呼吸系统疾病死亡归因风险的关联性研究*

张家泳, 罗燕东, 郭莉敏, 陈腾腾

(清远市疾病预防控制中心, 广东 清远 511500)

[摘要] 目的 探讨清远市气温变化与呼吸系统疾病死亡风险之间的关系, 为当地公共卫生策略制定提供科学依据。方法 选取 2018 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日清远市呼吸系统疾病死亡数据及气象资料, 采用分布式滞后非线性模型量化温度与呼吸系统疾病死亡的相关性。结果 Spearman 相关分析显示, 温度与 NO_2 、 PM_{10} 呈明显负相关 ($P < 0.05$); PM_{10} 与气压、风速呈正相关 ($P < 0.05$); 风速与 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 呈正相关 ($P < 0.05$)。日均温度对呼吸系统疾病的死亡风险呈“U”型, 气温与死亡有相关性 ($P < 0.05$)。极端低气温对呼吸系统疾病最大健康效应出现在第 3 天, 相对地危险度 (RR) 值为 1.04 [95% 可信区间 (95%CI) 0.99~1.10]。极端高温对呼吸系统疾病最大健康效应出现在第 1 天, RR 值为 1.12 (95%CI 1.01~1.25)。在极端低温时, 呼吸系统疾病死亡健康效应呈现滞后性, 在暴露 14 d 后达到最大健康效应, RR 值为 1.032 (95%CI 1.015~1.049)。在极端高温时, 呼吸系统疾病死亡呈急性健康效应, 在暴露 7 d 后达到最大健康效应, RR 值为 1.043 (95%CI 1.019~1.259)。结论 气温变化尤其是极端气温显著影响清远市呼吸系统疾病死亡风险, 具有滞后性和累积效应。建议加强高温和低温天气的健康预警, 提高居民防护意识, 完善公共卫生策略, 以降低气温相关健康风险。

[关键词] 气温; 呼吸系统疾病; 分布滞后非线性模型; 死亡; 归因风险

DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2025.08.029 **中图法分类号:** R11

文章编号: 1009-5519(2025)08-1915-05

文献标识码: A

The association between temperature and attributable risk of respiratory disease mortality in Qingyuan City*

ZHANG Jiayong, LUO Yandong, GUO Limin, CHEN Tengteng

(Qingyuan Center for Disease Control and Prevention, Qingyuan, Guangdong 511500, China)

[Abstract] **Objective** To explore the relationship between temperature changes and the risk of respiratory disease mortality in Qingyuan City, and to provide a scientific basis for local public health strategy-making. **Methods** Data on respiratory disease mortality and meteorological factors in Qingyuan City from January 1, 2018, to December 31, 2022, were collected. The Distributed Lag Nonlinear Model (DLNM) was used to quantify the correlation between temperature and respiratory disease mortality. **Results** Spearman correlation analysis showed that temperature was significantly negatively correlated with NO_2 and PM_{10} ($P < 0.05$); PM_{10} was positively correlated with air pressure and wind speed ($P < 0.05$); wind speed was positively correlated with SO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ ($P < 0.05$). The risk of death from respiratory diseases associated with daily average temperature showed a “U” shape, with a significant correlation between temperature and mortality ($P < 0.05$). The maximum health effect of extreme low temperatures on respiratory diseases appeared on the 3rd day, with a relative risk (RR) of 1.04 (95%CI 0.99~1.10). For extreme high temperatures, the maximum health effect on respiratory diseases occurred on the 1st day, with an RR of 1.12 (95%CI 1.01~1.25). Under extreme low temperatures, the health effect on respiratory disease deaths showed a lag effect, reaching the maximum after 14 days of exposure ($RR = 1.032$, 95%CI 1.015~1.049). Under extreme high temperatures, respiratory disease deaths showed an acute health effect, with the maximum effect observed after 7 days of exposure ($RR = 1.043$, 95%CI 1.019~1.259). **Conclusion** Temperature changes, especially extreme tempera-

* 基金项目: 清远市科技计划项目(230914088723979)。

作者简介: 张家泳(1991—), 硕士研究生, 主管医师, 主要从事传染病防控工作。

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250721.1431.004\(2025-07-21\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250721.1431.004(2025-07-21))

tures, significantly affect the risk of respiratory disease mortality in Qingyuan City, with lagged and cumulative effects. It is recommended to strengthen health warnings during periods of high and low temperatures, enhance residents' awareness of protection, and improve public health strategies to reduce climate-related health risks.

[Key words] Temperature; Respiratory diseases; Distributed lag non-linear model; Mortality; Attributable risk

在全球气候持续变化的大背景下,环境温度已经转变成为首要的环境健康风险因素之一,并且被视为一个突出的公共卫生问题^[1]。当前,极端天气现象及气候变化的趋势,已经成功吸引来自全球科研人员的高度关注,因为频繁发生且不断增强的极端天气事件,正在对人类的健康状况构成日益严重的威胁^[2]。本研究着重对清远市呼吸系统疾病死亡数据及气象数据进行收集,并且创新性地运用分布式滞后非线性模型(DLNM),深入量化分析气温变化与呼吸系统疾病之间的相关性,进而精准获取温度对呼吸系统疾病的死亡效应。本研究旨在深入揭示气温变化对呼吸系统疾病死亡的归因风险,不仅对保护当地居民的健康具有极其重要的科学价值和现实指导意义,同时也为当地相关部门有效开展气温风险评估工作,以及科学制定健康策略,提供了坚实的理论依据与数据支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日广东省清远市呼吸系统疾病死亡数据来源于清远市疾病预防控制中心死因监测系统共 17 008 例死亡病例资料,平均年龄为 78.6 岁,中位数为 81 岁。气温资料从中国空气质量在线监测分析平台获得。包括年龄、性别、职业、文化程度、死亡原因和死亡时间等,死亡原因包括慢性阻塞性肺病、支气管炎、哮喘与肺炎等疾病。节假日资料来源于国务院办公厅平台,人口资料来源于 2018—2022 年清远市人民政府平台。数据分析之前进行清洗与处理,保证数据质量。

1.2 方法 通过广义加性模型实现泊松回归,构建 DLNM 模型^[3],分析低温、高温、日均气温对呼吸系统疾病死亡风险的影响。将每日呼吸系统疾病死亡人数和每日空气污染物数据整理成时间序列的形式,作为变量构建 DLNM 模型,定量评估各空气污染物因素对呼吸系统疾病效应及其滞后性。首先建立每日空气污染物浓度矩阵,一般空气污染物引起的呼吸道急性效应多在 1 周以内,故设置滞后时间为 21 d,采用等比间隔设置滞后拐点,自由度为 3。本研究所构建的 DLNM 模型基本公式形式如下:

$$g[E(Y_t)] = \alpha + cb(x, \text{lag}) + ns(y, df = 3) + ns(\text{time}, df = 7 * \text{year}) + as.\text{factor}(\text{dow}) + as.$$

factor(holiday)其中,g 为连接函数,因呼吸系统疾病死亡率较低,故选择广义泊松分布;α 为截距,Yt 为 t 日的呼吸系统疾病死亡例数,x 为 t 日的空气污染物日均浓度,y 为 t 日未纳入交叉基的空气污染物指标,lag 为滞后天数,cb 为交叉基函数,ns 为自然平滑样条函数,time 为长期趋势,dow 为星期几效应,holiday 为节假日效应,转变为因子变量形式纳入模型中,以此考虑星期几和节假日对模型的可能影响。模型中所有自由度的选择依据均为最小赤池信息准则,以此确定基函数的最优自由度。

1.3 统计学处理 采用 Excel 2016 软件整理发病资料和气温数据,应用 SPSS21.0 统计软件进行数据分析和相关性分析,采用 R4.2.1 软件中 DLNM 程序包构建模型,计算相对危险度(RR)来评估气温在不同滞后时间下对呼吸系统疾病死亡的影响,并通过 glot 函数将结果可视化。

2 结 果

2.1 研究对象基本情况 2018—2022 年每月均有呼吸系统疾病死亡病例,但每年 12 月至次年 1 月,死亡人数略高于其他月份。平均气温为 22.13 ℃,气温变化范围为 4.10~32.23 ℃;平均气压为 10134.90 hPa,气压波动范围为 9960.71~10317.71 hPa;平均风速为 21.43 m/s,风速范围为 7.14~60.43 m/s;PM_{2.5} 日均浓度为 28.97 μg/m³,浓度范围为 1.48~155.04 μg/m³;PM₁₀ 日均浓度为 46.23 μg/m³,浓度范围为 1.70~196.69 μg/m³;SO₂ 日均浓度为 8.82 μg/m³,浓度范围为 3.00~29.21 μg/m³;NO₂ 日均浓度为 28.49 μg/m³,浓度范围为 4.58~91.04 μg/m³;O₃ 日均浓度为 55.03 μg/m³,浓度范围为 2.58~148.08 μg/m³;CO 日均浓度为 807.82 μg/m³,浓度范围为 325.00~2253.13 μg/m³。见表 1。日均气温呈现明显的周期性和季节性,年初和年末气温相对较低,而年中气温则到达最高,总体呈现明显的倒“U”型分布态势。见图 1。

2.2 气象因素与空气污染物的 Spearman 相关性分析 Spearman 相关分析显示,温度与 NO₂、PM₁₀ 呈明显负相关($P < 0.05$);PM₁₀ 与气压、风速呈正相关($P < 0.05$);风速与 SO₂、PM_{2.5} 呈正相关($P < 0.05$)。见表 2。

2.3 日均气温对呼吸系统疾病死亡风险的影响

2.3.1 日均气温的单日滞后效应 不同滞后时间下,气温对呼吸系统疾病死亡的影响不同。在极端高温天气且滞后天数较短时,气温对死亡的影响较大。

温度对呼吸系统疾病在温度达到最高时,RR 值当日即可达到最高,而后随着滞后时间的延长,RR 值先逐渐减小再上升。见图 2。

表 1 2018—2022 年清远市气象因素、空气污染物分布情况

| 因素 | 平均值($\bar{x} \pm s$) | 最小值 | P_{25} | P_{50} | P_{75} | 最大值 |
|--|------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 平均气温(℃) | 22.13±6.36 | 4.10 | 17.49 | 23.23 | 27.57 | 32.23 |
| 平均气压(hPa) | 10134.90±71.63 | 9960.71 | 10076.71 | 10134.43 | 10188.82 | 10317.71 |
| 平均风速(m/s) | 21.43±8.53 | 7.14 | 15.71 | 20.00 | 23.33 | 60.43 |
| CO(mg/m^3) | 807.82±242.71 | 325.00 | 638.85 | 770.83 | 934.52 | 2253.13 |
| NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 28.49±14.06 | 4.58 | 18.79 | 25.40 | 34.41 | 91.04 |
| O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 55.03±24.90 | 2.58 | 37.33 | 52.98 | 70.28 | 148.08 |
| SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 8.82±3.28 | 3.00 | 6.48 | 8.04 | 10.29 | 29.21 |
| PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 46.23±26.91 | 1.70 | 27.63 | 39.90 | 58.29 | 196.69 |
| $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 28.97±19.36 | 1.48 | 15.68 | 23.92 | 36.99 | 155.04 |

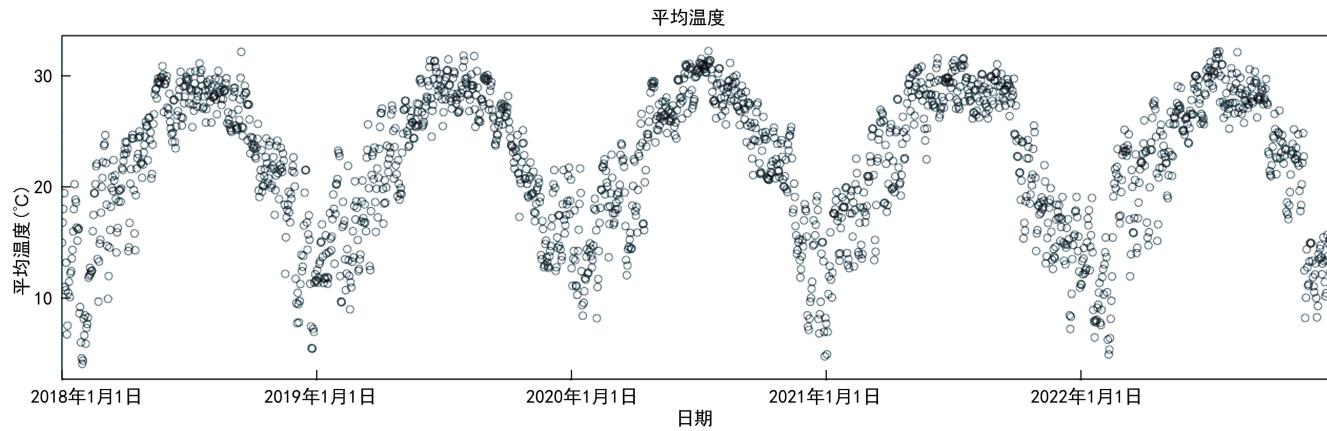


图 1 2018—2022 年清远市气温变化时序图

表 2 2018—2022 年清远市气象因素与空气污染物的 Spearman 相关性分析

| 气象因素 | 温度 | CO | NO_2 | O_3 | SO_2 | PM_{10} | $\text{PM}_{2.5}$ | 气压 |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| CO | -0.530 | | | | | | | |
| NO_2 | -0.164 ^a | 0.441 | | | | | | |
| O_3 | 0.195 | -0.178 ^a | -0.062 ^a | | | | | |
| SO_2 | -0.195 | 0.298 | 0.676 | 0.230 | | | | |
| PM_{10} | -0.158 ^a | 0.369 | 0.751 | 0.332 | 0.731 | | | |
| $\text{PM}_{2.5}$ | -0.282 | 0.501 | 0.699 | 0.262 | 0.671 | 0.941 | | |
| 气压 | -0.883 | 0.477 | 0.135 ^a | -0.122 ^a | 0.206 | 0.180 ^a | 0.291 | |
| 风速 | -0.404 | 0.230 | 0.106 ^a | -0.028 ^a | 0.142 ^a | 0.108 ^a | 0.132 ^a | 0.403 |

注:^a 表示 $P < 0.05$ 。

2.3.2 日均气温的累积滞后效应 日均温度对呼吸系统疾病的死亡风险呈“U”型,气温与死亡有关联性($P < 0.05$)。较低温和高温均会增加呼吸系统疾病死亡风险,人群呼吸系统疾病最适宜温度为 23.2 ℃。低于最适宜温度时,随着气温降低,RR 值逐渐增加。高于最适宜温度时,RR 随气温升高而增加,高温累计

RR 值比低温增加更快。见图 3。

2.3.3 极端气温对呼吸系统死亡的滞后效应 极端低气温对呼吸系统疾病最大健康效应出现在第 3 天,RR 值为 1.04[95% 可信区间(95%CI)0.99~1.10]。极端高温对呼吸系统疾病最大健康效应出现在第 1 天,RR 值为 1.12(95%CI 1.01~1.25)。见图 4。

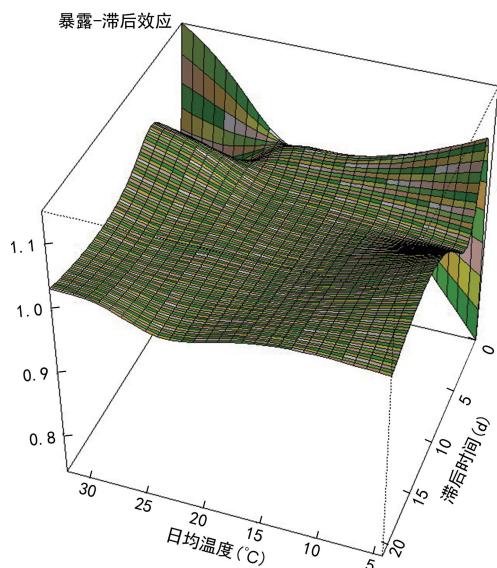


图 2 日均气温对呼吸系统疾病死亡影响的 3D 图

2.3.4 极端气温对死亡的累积健康效应 在极端低

温时,呼吸系统疾病死亡健康效应呈现滞后性,在暴露 14 d 后达到最大健康效应,RR 值为 1.032(95%CI 1.015~1.049)。在极端高温时,呼吸系统疾病死亡呈急性健康效应,在暴露 7 d 后达到最大健康效应,RR 值为 1.043(95%CI 1.019~1.259)。见表 3。

2.3.5 不同气温与死亡关联的归因分值 温度总效应、高温对呼吸系统死亡的 AF 值分别为 9.91(95%CI 2.19~16.62)、1.99(95%CI 1.16~2.73), 归因死亡人数分别为 1 685 人和 338 人。见表 4。

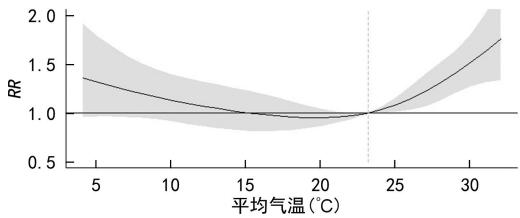


图 3 日均温度对呼吸系统死亡的累积效应图

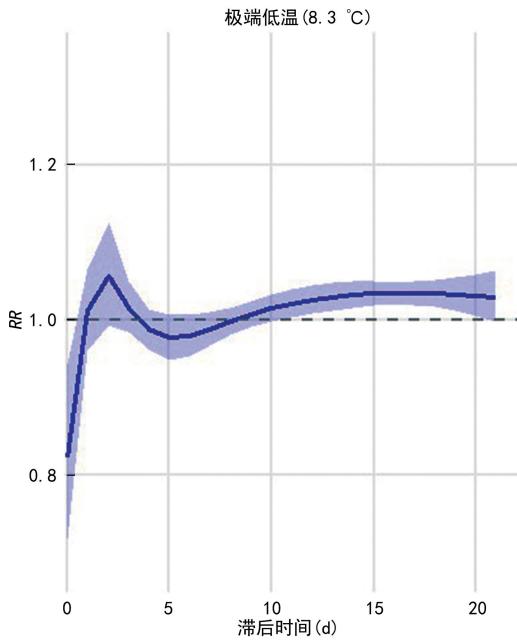


图 4 极端气温对呼吸系统疾病死亡健康效应的滞后效应

表 3 不同滞后时间下极端气温对呼吸系统疾病死亡的累计健康效应

| 极端气温 | 滞后时间 (d) | 呼吸系统疾病死亡 | |
|------|-------------|----------|--------------------------|
| | | RR | 95%CI |
| 极端低温 | 0~3 | 1.016 | 0.984~1.050 |
| | 0~7 | 0.988 | 0.967~1.010 |
| | 0~14 | 1.032 | 1.015~1.049 ^a |
| | 0~21 | 1.029 | 0.998~1.063 |
| 极端高温 | 0~3 | 1.001 | 0.966~1.036 |
| | 0~7 | 1.043 | 1.019~1.259 ^a |
| | 0~14 | 1.009 | 0.990~1.028 |
| | 0~21 | 1.033 | 0.994~1.073 |

注:^a 表示 $P < 0.05$ 。

表 4 不同气温对呼吸系统疾病死亡关联的归因分值

| 温度 | 归因分值[RR(95%CI)] | 归因死亡数(n) |
|------|-------------------------------|----------|
| 总效应 | 9.91(2.19~16.62) ^a | 1 685 |
| 极端低温 | 1.26(-0.20~2.66) | 215 |
| 日均气温 | 6.86(-0.24~13.62) | 1 166 |
| 极端高温 | 1.99(1.16~2.73) ^a | 338 |

注:^a 表示 $P < 0.05$ 。

3 讨 论

本研究借助分布滞后非线性模型的分析,揭示了气温与呼吸系统疾病死亡之间的关系在 21 d 滞后时呈现“U”型曲线,确定最适宜温度为 23.2 °C。然而,

由于不同地区气候条件的显著差异,关于气温与死亡风险关系的研究在不同国家和地区展现出多样化的暴露-反应关系曲线,通常表现为“J”型、“U”型或“V”型。例如,在上海、镇江、济南、盐城市等地的研究中^[4-7],气温与死亡的关系曲线均表现为“U”型,与本研究结果相符。此外,极端高温和低温对健康的滞后效应存在显著差异。极端高温主要引发急性健康效应,其健康风险在暴露当天达到峰值;而极端低温的健康效应则具有较长的滞后性,通常在暴露后第3天达到最大值,这一结论与合肥、广州和郑州的相关研究结果一致^[8-10]。这一现象的主要成因在于,当极端温度出现时,人体内的温度调节系统难以迅速适应外界环境温度的变化,导致呼吸系统功能紊乱,进而引发呼吸系统疾病,使人群死亡率上升^[11]。

在本研究中,我们观察到极端高温对呼吸系统疾病死亡的累积健康影响,在暴露后的第7天,相对风险(RR)达到峰值,这一峰值出现的时间晚于中国社区气温风险研究中所报道的0~3 d滞后达到最大累积效应的情况^[12]。对于极端低温而言,其对呼吸系统疾病死亡的累积健康影响在暴露后的第14天达到最大RR值,这与江阴市关于气温对循环系统疾病死亡影响可持续14 d的研究发现相吻合^[13]。本研究中,极端低温和极端高温条件下,呼吸系统疾病死亡的累积健康效应RR值的最大值分别为1.032(95%CI 1.015~1.049)和1.043(95%CI 1.019~1.259)。这些数值与一项针对11个城市的研究所报告的盐城市数据相近,其中冷效应为1.69(95%CI 1.50~1.52),热效应为1.10(95%CI 0.80~1.52)^[14],差异可能来自拟合数据的年份不同。

国内外已有不少关于气温与人群健康关系的研究。2010年,BUSTINZA等^[15]在加拿大的一项研究结果显示经历高温热浪,其居民死亡率相较于1981—2005年同期增长了33%;在1975—2003年期间,MIRON等^[16]在西班牙某项研究结果得出寒潮致使当地居民死亡率显著上升的结论;2006—2011年,中国66个城市在高温或低温环境下,居民死亡风险增加,其中高温造成3.44%、低温造成1.04%的超额死亡风险^[17];一项针对全球12个国家306个城市的分析显示,高温或低温均能提升居民死亡风险^[18]。多数研究借助RR或优势比等指标探究温度与死亡的关联。为更直观呈现气候变化对人群健康的危害,本研究运用归因指标,揭示气温尤其是极端温度的疾病归因风险和归因死亡人数。结果显示,呼吸系统疾病死亡人群归因于气温的总效应分值为9.91%,高于GASPARRINI等^[19]所研究的13个国家人群全死因归因于气温7.7%的风险,低于宁波市气温对总死亡

人数的归因风险评估的13.4%^[20]。这提示不同气候条件、人群特征、经济发展水平等因素,可能导致各地气温对人群死亡归因风险存在差异。

本研究率先对清远市气温引发的呼吸系统疾病死亡情况展开了全面深入的探索,发现不适宜的温度条件会提升居民的死亡风险,并且这种影响具有一定滞后性。然而,本研究也存在一些不足之处。首先,呼吸系统疾病死亡受到诸多因素的干扰,像当地经济状况、周边医院的医疗水平及空气质量等都可能对其产生影响,但由于资料收集方面存在局限,本研究未能将这些因素纳入模型进行有效控制。其次,在死因监测系统中,不能完全排除因ICD-10国际疾病编码分类错误而导致的偏差。再次,本研究目前仅对气温与死亡之间的关系进行了量化分析,对于其背后的病理生理机制尚未明确,这需要在后续研究中进一步深入探究和解析。

参考文献

- [1] 苏恒宇,孙高峰,谢惠芳. 2018—2022年中国西南某市相对湿度、温度与大气污染物对呼吸系统疾病死亡的影响[J]. 现代预防医学,2025,52(3):447-454.
- [2] 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.
- [3] GASPARRINI A, ARMSTRONG B, KENWARD M G. Distributed lag non-linear models[J]. Statistics in Medicine,2010,29(21):2224-2234.
- [4] 陈亦晨,陈华,曲晓滨,等. 上海市浦东新区居民非意外死亡与日均气温相关性的时间序列研究[J]. 现代预防医学,2022,49(9):1554-1558.
- [5] 陈宇,施泉清,张春霞,等. 基于分布滞后非线性模型评估镇江市日均气温对居民死亡风险的影响[J]. 环境卫生学杂志,2023,13(6):433-438.
- [6] 李京,王创新,胥欣,等. 气温对2007—2013年济南市人群慢性非传染性疾病死亡的归因风险研究[J]. 山东大学学报(医学版),2018,56(8):76-87.
- [7] 晁建磊,孙佳皓,刘付东,等. 盐城市气温与居民死亡关联分析:基于分布滞后非线性模型[J]. 环境卫生学杂志,2024,14(6):482-488.
- [8] 唐静,肖长春,张俊青,等. 合肥市2007—2016年日平均温度与居民非意外死亡人数的关系[J]. 中华疾病控制杂志,2018,22(4):422-425.
- [9] 宋韶芳,刘华章,刘于飞,等. 2011—2016年广州市逐日死亡人数与气温关系的时间序列研究[J]. 环境卫生学杂志,2018,8(1):46-50.
- [10] 王永星,闫晓娜,张杰,等. 郑州市日均气温对居民非意外死亡影响的分布滞后非线性模型分析[J]. 郑州大学学报(医学版),2021,56(5):652-657.

(下转第1926页)