

气温对六安市水痘发病风险的影响研究

王瑶, 潘璠, 张欢, 陈亚飞, 秦伟

六安市疾病预防控制中心免疫预防科, 安徽 六安 237008

摘要: **目的** 分析气温对安徽省六安市水痘发病风险的影响, 为水痘防治提供参考。**方法** 通过中国疾病预防控制中心信息系统收集2010—2021年六安市水痘发病资料, 通过国家气象科学数据中心和全国城市空气质量实时发布平台收集同期气象资料, 建立分布滞后非线性模型(DLNM)分析气温对水痘日发病数的影响, 并按性别和年龄进行亚组分析; 建立随时间变化的DLNM分析极端低温和极端高温对水痘的累积发病风险及其随时间的变化趋势。**结果** 2010—2021年六安市共报告水痘病例25 318例, 男性15 013例, 占59.30%; 女性10 305例, 占40.70%。水痘日发病数 $M(Q_R)$ 为4(6)例, 日均气温为17.50(15.80)℃, 最低-5.80℃, 最高34.90℃。DLNM分析结果显示, 相对于中位温度, 极端低温降低水痘发病风险($RR=0.522$, $95\%CI: 0.375\sim 0.728$), 极端高温增加水痘发病风险($RR=1.604$, $95\%CI: 1.112\sim 2.316$); 男性效应曲线与总人群类似(极端低温, $RR=0.497$, $95\%CI: 0.331\sim 0.746$; 极端高温, $RR=1.978$, $95\%CI: 1.260\sim 3.106$); 气温对水痘发病的影响主要集中于6~<13岁儿童(极端低温, $RR=0.426$, $95\%CI: 0.247\sim 0.736$; 极端高温, $RR=2.431$, $95\%CI: 1.378\sim 4.288$)。随时间变化的DLNM分析结果显示, 极端低温和极端高温累积风险值均呈逐年增加趋势($P<0.05$)。**结论** 六安市低温可降低水痘发病风险, 高温可增加水痘发病风险, 且这一效应在男性和6~<13岁儿童中较为明显。极端低温和极端高温时水痘的累积发病风险呈逐年增加趋势。

关键词: 水痘; 气温; 极端气温; 随时间变化的分布滞后非线性模型

中图分类号: R122 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087(2023)08-0692-05

Effect of temperature on the risk of varicella in Lu'an City

WANG Yao, PAN Fan, ZHANG Huan, CHEN Yafei, QIN Wei

Department of Immunization Planning, Lu'an Center for Disease Control and Prevention, Lu'an, Anhui 237000, China

Abstract: Objective To examine the effect of temperature on the risk of varicella in Lu'an City, Anhui Province, so as to provide insights into varicella prevention and control. **Methods** Data on incidence of varicella in Lu'an City from 2010 to 2021 were collected from Chinese Disease Prevention and Control System, and meteorological data in Lu'an City were also collected from National Meteorological Science Data Center and China National Urban Air Quality Real-Time Publishing Platform during the same period. The effect of temperature on the risk of varicella was examined using a distributed lag non-linear model (DLNM) and subgroup analyses for gender and age were conducted. The effects of extremely low and high temperatures on the cumulative risk of varicella and trends in the cumulative risk of varicella over time were analyzed using a time-varying DLNM. **Results** Totally 25 318 varicella cases were reported in Lu'an City from 2010 to 2021, including 15 013 men (59.30%) and 10 305 women (40.70%). The median number of varicella cases was 4 (interquartile range, 6) cases, and the daily median air temperature was 17.50 (interquartile range, 15.80) °C, with the lowest temperature recorded as -5.80 °C and the highest temperatures as 34.90 °C. The results from the DLNM showed that the extremely low temperatures reduced the risk of varicella ($RR=0.522$, $95\%CI: 0.375\sim 0.728$) in relative to median temperature, while extremely high temperature increased the risk of varicella ($RR=1.604$, $95\%CI: 1.112\sim 2.316$). Subgroup analysis revealed the effect curve for men was similar to total populations (extremely low temperature: $RR=0.497$, $95\%CI: 0.331\sim 0.746$; extremely high temperature: $RR=1.978$, $95\%CI: 1.260\sim 3.106$), and the effect of

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2023.08.010

作者简介: 王瑶, 本科, 主管医师, 主要从事疫苗可预防传染病监测与控制工作

通信作者: 秦伟, E-mail: luancdc@163.com

temperature on varicella risk was mainly concentrated among children at ages of 6 to 12 years (extremely low temperature: $RR=0.426$, $95\%CI: 0.247-0.736$; extremely high temperature: $RR=2.431$, $95\%CI: 1.378-4.288$). The results from the time-varying DLNM revealed that the cumulative risk of varicella due to both extremely low and high temperatures appeared a tendency towards a rise over years ($P<0.05$). **Conclusions** Low temperature may reduce the risk of varicella, while high temperature increases the risk of varicella in Lu'an City, which is more remarkable among men and children at ages of 6 to 12 years. The cumulative risk of varicella at both extremely low and high temperatures shows a tendency towards a rise over years.

Keywords: varicella; temperature; extreme temperature; time-varying distributed lag non-linear model

水痘是由水痘-带状疱疹病毒初次感染引起的急性呼吸道传染病，典型患者会分批出现斑疹、丘疹和疱疹等症状，由于传染性强，常在学校等人群聚集性场所暴发疫情^[1]。研究表明^[2-3]，气温与水痘的发生和传播存在相关性。既往研究通常只使用单一的分布滞后非线性模型 (distributed lag non-linear model, DLNM) 分析气温与水痘发病的关联^[3-4]，但所拟合的暴露-反应关系受极端值影响较大，且难以解释时间变化趋势^[5]。随时间变化的 DLNM 不仅能消除研究时间变化时拆分数数据集所导致的模型稳定性低的问题，避免降低统计效能，还能很好地估计某特定气温的效应随时间变化的速率，特别是对分析单一城市小数据集的时间变化趋势具有重要价值^[5-6]。本研究采用随时间变化的 DLNM 分析六安市气温对水痘发病风险的影响，并探讨该影响的时间变化趋势，为水痘防控工作提供参考，为研究气温健康效应的长期趋势提供思路。

1 资料与方法

1.1 资料来源

2010—2021 年六安市水痘发病资料来源于中国疾病预防控制中心信息系统，包括日均发病数及病例的年龄、性别、发病时间和住址。气象资料来源于国家气象科学数据中心 (<http://data.cma.cn>)，收集日均温度、最高温度、最低温度和相对湿度。日均昼夜温差为日最高温度减去日最低温度，极端高温为日均温度第 99 百分位数 (P_{99})，极端低温为日均温度第 1 百分位数 (P_1)^[7-9]。日均细颗粒物 (fine particulate matter, $PM_{2.5}$) 数据来源于全国城市空气质量实时发布平台 (<https://air.cnemc.cn:18007>)。

1.2 方法

1.2.1 DLNM 构建

根据水痘发病监测数据，2010—2021 年六安市每日水痘发病为小概率事件，近似泊松分布，故本研究采用基于类泊松广义相加模型的 DLNM 评估气温对水痘发病风险的影响，并按性别和年龄进行亚组分

析。基本表达式如下：

$$\text{Log}[E(Y_t)] = \alpha + \text{cb}(MT; \text{lag} = 14) + \text{ns}(\text{time}, \nu = 8) + \text{ns}(DTR, \nu = 3) + \text{ns}(RH, \nu = 3) + \text{DOW } t + \text{Holiday } t$$

式中： t 表示观察天数； Y_t 和 $E(Y_t)$ 分别表示第 t 天水痘实际发病数和估计发病数； α 表示截距； MT 表示日均温度； lag 表示滞后时间， time 表示长期趋势； DTR 为日均昼夜温差， ν 表示自由度； $\text{cb}()$ 表示交叉基函数； $\text{ns}()$ 表示自然三次样条函数； DOW 表示星期几效应； Holiday 表示假期效应。日均昼夜温差和相对湿度均作为分类变量纳入模型，采用自由度为 3 的自然三次样条函数控制日均昼夜温差和相对湿度的影响；采用自由度为 8 的自然三次样条函数控制长期趋势和季节性的影响^[4, 10]。根据最小赤池信息准则 (Akaike information criterion, AIC)，最长滞后时间选择拟合 14 天时间跨度，以充分捕捉极端温度对水痘发病的滞后效应^[2]。

1.2.2 随时间变化的 DLNM 构建

建立随时间变化的 DLNM 分析极端低温和极端高温对水痘的累积发病风险及其随时间的变化趋势，基本表达式如下^[5]：

$$\text{Log}[E(Y_t)] = \alpha + \text{cb}(MT; \text{lag} = 14) + \text{ns}(\text{time}, \nu = 8) + \text{ns}(DTR, \nu = 3) + \text{ns}(RH, \nu = 3) + \text{DOW } t + \text{Holiday } t + \text{int}(\text{time} * \text{cb}(MT; \text{lag} = 14))$$

式中： int 表示交叉基函数和时间 (time) 的交互项； time 中心锚定点通常为探讨评估年份的中心日期 (7 月 1 日)； $\text{cb}(MT)$ 表示当前 7 月 1 日的极端气温-滞后-水痘发病效应；其他参数含义与上述 DLNM 模型一致。由于采用线性假设， $\text{cb}(MT)$ 的系数可代表全年的温度效应，例如探究 2010 年和 2021 年时间效应则把 time 中心锚定在 2010 年 7 月 1 日 (即第 182 天) 和 2021 年 7 月 1 日 (即第 4200 天)，相应的交互项公式如下：

$$\text{int1} <- ((\text{data}\$time - 182) / 4383) * \text{cb}(MT) \dots$$

```
int12 <- ((data$time-4 200) /4 383) *cb (MT)
```

本研究选择中位温度（第 50 百分位数）作为比较基准，极端温度的效应估计量采用 RR 值及其 95% CI 描述。

1.2.3 敏感性分析

采用以下 3 种方法进行敏感性分析^[4, 11]：(1) 采用平均温度不同滞后时间（7 d、14 d、21 d）捕捉可能的滞后效应；(2) 调整模型中长期趋势的自由度（6~8）检验模型的稳定性；(3) 纳入主要的空气污染物 $PM_{2.5}$ 控制混杂因素。

1.3 统计分析

采用 Excel 2019 软件整理数据，采用 R 4.2.0 软件建立 DLNM 和随时间变化的 DLNM。定量资料不服从正态分布，采用中位数和四分位数间距 $[M(Q_R)]$ 描述。相关性分析采用 Spearman 秩相关。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 2010—2021 年六安市水痘发病及气温分布特征

2010—2021 年六安市报告水痘病例 25 318 例，男性 15 013 例，占 59.30%；女性 10 305 例，占 40.70%。水痘日发病数 $M(Q_R)$ 为 4 (6) 例，其中男性日发病数 $M(Q_R)$ 为 3 (4) 例，女性为 2 (2) 例。病例年龄 $M(Q_R)$ 为 12.00 (8.70) 岁，0~<6 岁日发病数 $M(Q_R)$ 为 1 (1) 例，6~<13 岁为 1 (3) 例，≥13 岁为 2 (3) 例。日均气温 $M(Q_R)$ 为 17.50 (15.80) °C，最低 -5.80 °C，最高 34.90 °C；日均昼夜温差 $M(Q_R)$ 为 8.30 (5.40) °C，最低 0.40 °C，最高 24.60 °C；日均相对湿度 $M(Q_R)$ 为 75.00% (24.00%)，最低 17.10%，最高 100.00%；日均 $PM_{2.5}$ 质量浓度 $M(Q_R)$ 为 37.00 (32.00) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最低 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最高 264.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

2.2 气象因素、 $PM_{2.5}$ 与水痘发病的相关性分析

Spearman 秩相关分析显示，日均气温与水痘日发病数呈负相关 ($r_s=-0.163$, $P<0.001$)，日均 $PM_{2.5}$ 质量浓度与水痘日发病数呈负相关 ($r_s=0.174$, $P<0.001$)，日均昼夜温差、相对湿度与水痘日发病数无明显相关性 ($P>0.05$)。

2.3 气温对水痘发病的影响

气温对总人群水痘每日发病影响呈“J”型曲线。相对于中位温度（17.50 °C），低温降低水痘发病风险，极端低温时 RR 值为 0.522 (95% CI : 0.375~0.728)；高温可增加水痘发病风险，极端高温时 RR 值为 1.604 (95% CI : 1.112~2.316)。进一步亚组分

析显示，男性效应曲线与总人群类似，相对于中位温度，极端低温时 RR 值为 0.497 (95% CI : 0.331~0.746)，极端高温时 RR 值为 1.978 (95% CI : 1.260~3.106)；在女性中气温对水痘发病的效应无统计学意义。气温对水痘发病的影响主要集中在 6~<13 岁儿童，相对于中位温度，极端低温时 RR 值为 0.426 (95% CI : 0.247~0.736)，极端高温时 RR 值为 2.431 (95% CI : 1.378~4.288)；在 0~<6 岁和 ≥13 岁人群中气温对水痘发病的效应无统计学意义。见图 1。

2.4 气温对水痘发病影响的时间变化趋势

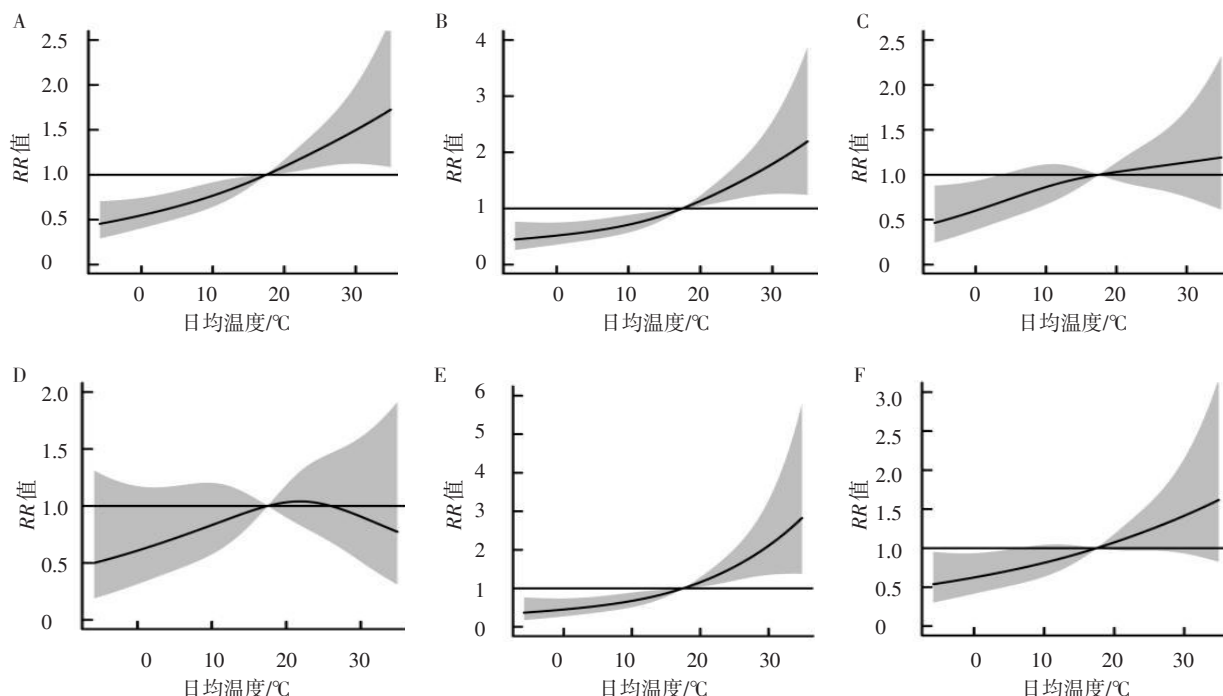
随时间变化的 DLNM 分析结果显示，极端低温、极端高温时水痘发病的累积风险值均呈逐年增加趋势 ($P<0.001$)。其中，极端低温在 2010—2017 年降低水痘发病风险，在 2018—2021 年未发现统计学关联；极端高温在 2015—2021 年增加水痘发病风险，在 2010—2014 年未发现统计学关联。见表 1。敏感性分析结果显示，通过调整时间自由度、日均气温滞后时间和 $PM_{2.5}$ ，极端低温和极端高温的效应值均未发现明显改变 ($P>0.05$)，模型分析结果稳定可靠，见表 2。

3 讨论

本研究结果显示，低温可降低水痘发病风险，高温可增加水痘发病风险。本研究结果与既往研究结果略有不同。兰州市一项研究发现，高温和低温均造成人群水痘发病风险上升^[2]，提示气温对水痘发病的影响存在明显地域化差异，因此了解不同地区气温对疾病的影响对准确开展风险评估有重要意义^[10]。

研究显示，我国水痘高发年龄为 5~14 岁儿童，且男性发病率高于女性^[12-13]。亚组分析发现，相对于中位温度（17.50 °C），低温在男性和 6~<13 岁儿童中均表现出对水痘发病的保护作用，而随着气温上升水痘发病风险均呈上升趋势，与兰州市研究结果^[2]类似。当气温较低时，人们户外活动减少，暴露风险降低，故水痘发病风险低的原因之一；高温天气人们倾向于在有空调的室内活动，密闭空间内的聚集性也会增加传播风险。

本研究在使用 DLNM 分析气温对水痘发病整体影响的基础上，创新性采用随时间变化的 DLNM 分析时间变化趋势。结果显示，六安市无论是极端低温还是极端高温，水痘的累积发病风险均呈逐年增加趋势。极端低温在 2010—2017 年为水痘保护性因素，但随着时间的变化，极端低温逐渐变为增加水痘发病



注：A为总人群；B为男性；C为女性；D为0~<6岁；E为6~<13岁；F为≥13岁。

图1 2010—2021年六安市日均温度对水痘日发病数的影响

Figure 1 Effect of daily median temperature on daily number of varicella cases in Lu'an City from 2010 to 2021

表1 2010—2021年六安市极端温度对水痘发病影响的变化趋势

Table 1 Trends in the effect of extreme temperature on the risk of varicella in Lu'an City from 2010 to 2021

年份	RR值 (95%CI)	
	极端低温	极端高温
2010	0.191 (0.091 ~ 0.399)	1.138 (0.533 ~ 2.426)
2011	0.228 (0.121 ~ 0.432)	1.204 (0.627 ~ 2.314)
2012	0.274 (0.160 ~ 0.470)	1.274 (0.730 ~ 2.223)
2013	0.328 (0.208 ~ 0.516)	1.349 (0.842 ~ 2.162)
2014	0.393 (0.268 ~ 0.577)	1.427 (0.950 ~ 2.145)
2015	0.471 (0.334 ~ 0.663)	1.511 (1.040 ~ 2.193)
2016	0.564 (0.402 ~ 0.791)	1.599 (1.096 ~ 2.332)
2017	0.676 (0.465 ~ 0.982)	1.692 (1.112 ~ 2.575)
2018	0.809 (0.522 ~ 1.255)	1.791 (1.097 ~ 2.923)
2019	0.969 (0.575 ~ 1.634)	1.895 (1.063 ~ 3.377)
2020	1.161 (0.626 ~ 2.154)	2.006 (1.019 ~ 3.947)
2021	1.279 (0.607 ~ 2.695)	2.247 (1.018 ~ 4.958)
P值	<0.001	<0.001

风险，可能与人群适应性有关^[14]，随着全球气候变暖，人群越来越适应高温，可能对冷效应的适应性降低，提示气候对健康的影响可能随时间的变化有所不同。与极端低温类似，2010—2021年极端高温对每

日水痘累计发病风险也呈上升趋势。近年来，在东北亚^[15]、澳大利亚^[16]、西班牙^[17]等地均观察到这种气温对健康影响的长期时间变化。我国内陆气温呈现明显上升趋势，不断升高的温度对中国人群健康造成巨大负担^[18]。

综上所述，气温对水痘发病有显著影响，极端低温和极端高温对水痘发病的累积风险值均呈逐年增加趋势。相对于中位温度，六安市极端高温会增加水痘发病风险，男性和6~<13岁儿童更容易受到影响。建议加强健康教育，提高公众对气温潜在威胁的认识，对高危人群采取针对性干预措施，降低水痘发病风险。本研究仅针对1个城市分析，在结果外推上可能受限制，且气象数据主要来源于监测资料，并不能精确到个体暴露，可能存在暴露错分偏倚。此外，新型冠状病毒感染疫情的发生也可能对水痘发病存在一定影响，但敏感性分析显示总体结果较为稳定，因此可认为影响有限。

参考文献

[1] 潘璠, 金正格, 王瑶, 等. 2005—2019年六安市疫苗针对传染病突发公共卫生事件流行特征分析 [J]. 预防医学, 2021, 33(7): 715-717.
 [2] 王金玉, 李盛, 马汉平, 等. 2008—2016年兰州市日均气温与水痘发病的关联性研究 [J]. 中华预防医学杂志, 2018, 52(8): 842-848.

表 2 随时间变化的 DLNM 敏感性分析结果
Table 2 Sensitivity analysis for the time-varying DLNM

变量	极端低温 (-1.50 °C)	P 值	极端高温 (32.40 °C)	P 值
滞后时间/d				
14	0.522 (0.375 ~ 0.728)	参照组	1.605 (1.112 ~ 2.316)	参照组
7	0.571 (0.445 ~ 0.731)	0.676	1.671 (1.277 ~ 2.187)	0.862
21	0.670 (0.429 ~ 1.047)	0.381	1.103 (0.674 ~ 1.807)	0.232
时间自由度				
8	0.522 (0.375 ~ 0.728)	参照组	1.605 (1.112 ~ 2.316)	参照组
7	0.536 (0.389 ~ 0.740)	0.909	1.100 (0.778 ~ 1.555)	0.128
6	0.559 (0.411 ~ 0.759)	0.770	1.157 (0.835 ~ 1.601)	0.172
控制PM _{2.5}				
否	0.522 (0.375 ~ 0.728)	参照组	1.605 (1.112 ~ 2.316)	参照组
是	0.790 (0.510 ~ 1.226)	0.140	1.648 (1.005 ~ 2.702)	0.933

[3] WANG Z, LI X, LI S, et al. Association between ambient temperature and varicella among adults in Qingdao, China during 2008–2019 [J]. *Int J Environ Health Res*, 2022, 33 (2): 1–10.

[4] LU J Y, ZHANG Z B, HE Q, et al. Association between climatic factors and varicella incidence in Guangzhou, Southern China, 2006–2018 [J/OL]. *Sci Total Environ*, 2020, 728 [2023-07-01]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138777>.

[5] 赵琦, 李珊珊, 郭玉明. 随时间变化的分布滞后非线性模型应用介绍: 以气温与死亡关系为例 [J]. *环境与职业医学*, 2020, 37 (1): 9–14.

[6] GASPARRINI A, GUO Y, HASHIZUME M, et al. Temporal variation in heat-mortality associations: a multicountry study [J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123 (11): 1200–1207.

[7] MOHAMMADI D, ZARE ZADEH M, ZARE SAKHVIDI M J. Short-term exposure to extreme temperature and risk of hospital admission due to cardiovascular diseases [J]. *Int J Environ Health Res*, 2021, 31 (3): 344–354.

[8] YATIM A, LATIF M T, SOFWAN N M, et al. The association between temperature and cause-specific mortality in the Klang Valley, Malaysia [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28 (42): 60209–60220.

[9] WANG J, YU L, DENG J, et al. Short-term effect of meteorological factors on the risk of rheumatoid arthritis hospital admissions: a distributed lag non-linear analysis in Hefei, China [J/OL]. *Environ Res*, 2022, 207 [2023-07-01]. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112168>.

[10] 刘天, 翁熹君, 张丽杰, 等. 2010—2017年湖北省荆州市逐日气温对手足口病发病的影响 [J]. *疾病监测*, 2019, 34 (9): 855–860.

[11] ZHANG T, QIN W, NIE T, et al. Effects of meteorological factors on the incidence of varicella in Lu'an, Eastern China, 2015–2020 [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2023, 30 (4): 10052–10062.

[12] 董蒲梅, 王森, 刘燕敏. 2016—2019年中国水痘流行病学特征 [J]. *中国疫苗和免疫*, 2020, 26 (4): 403–406.

[13] 随海田, 李锦成, 王森, 等. 2005—2015年中国水痘流行病学特征 [J]. *中国疫苗和免疫*, 2019, 25 (2): 155–159.

[14] 许怀悦, 王情, 马润美, 等. 温度相关的疾病负担研究进展 [J]. *山东大学学报 (医学版)*, 2021, 59 (12): 13–19, 32.

[15] LEE W, CHOI H M, KIM D, et al. Temporal changes in mortality attributed to heat extremes for 57 cities in Northeast Asia [J]. *Sci Total Environ*, 2018, 616/617: 703–709.

[16] LU P, XIA G, ZHAO Q, et al. Temporal trends of the association between ambient temperature and hospitalisations for cardiovascular diseases in Queensland, Australia from 1995 to 2016: a time-stratified case-crossover study [J/OL]. *PLoS Med*, 2020, 17 (7) [2023-07-01]. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003176>.

[17] DÍAZ J, CARMONA R, MIRÓN I J, et al. Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013) [J]. *Environ Int*, 2018, 116: 10–17.

[18] 刘凯, 聂格格, 张森. 中国 1951—2018年气温和降水的时空演变特征研究 [J]. *地球科学进展*, 2020, 35 (11): 1113–1126.

收稿日期: 2023-05-04 修回日期: 2023-07-01 本文编辑: 田田