· 疾病控制 ·

基于贝叶斯时空模型的滨州市手足口病影响因素研究

徐欣颖[1]，颜伟[2]，石兴龙[1]，吕婧[1]，岳芳[1]，乔颖异[1]，刘冠翔[3]，李秀君[1]

1.山东大学齐鲁医学院公共卫生学院，山东 济南 250012；2.滨州市疾病预防控制中心，山东 滨州 256600；
3.山东大学齐鲁医学院基础医学院，山东 济南 250012

摘要：目的 了解山东省滨州市手足口病发病的流行特征和影响因素，为制定手足口病防控策略提供依据。**方法** 通过中国疾病预防控制信息系统传染病报告信息管理系统收集2017—2023年滨州市手足口病病例资料，通过第五代欧洲中期天气预报中心收集同期气象资料。计算手足口病报告发病率，描述性分析手足口病的时间分布、人群分布和地区分布特征；采用贝叶斯时空模型分析手足口病发病的影响因素。**结果** 2017—2023年滨州市报告手足口病17 314例，年均报告发病率为62.57/10万。发病高峰为6—9月，部分年份在10—11月出现次高峰。滨城区和阳信县年均报告发病率较高，分别为107.41/10万和72.95/10万。男性10 461例，女性6 853例，男女比为1.53∶1；年龄以1~3岁为主，11 713例占67.65%。贝叶斯时空模型分析结果显示，手足口病发病风险有明显季节性和地域性。2017—2019年和2021年每年的第24—27周和第44—47周达峰值，*RR*值为1.771~6.747，2022—2023年为单峰分布；滨城区、阳信县和惠民县*RR*值均>1。平均温度（*RR*=1.092，95%*CI*：1.080~1.105）、平均相对湿度（*RR*=1.015，95%*CI*：1.008~1.022）与手足口病发病风险呈正相关，平均风速（*RR*=0.749，95%*CI*：0.655~0.856）与手足口病发病风险呈负相关。**结论** 滨州市手足口病高发于夏季、中部地区，男性、1~3岁儿童是高风险人群。手足口病发病风险随平均温度和平均相对湿度升高而上升，随平均风速升高而下降。

关键词：手足口病；流行特征；贝叶斯时空模型；影响因素

中图分类号：R725.1；R181.3 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-5087（2026）02-0161-05

Influencing factors for hand, foot, and mouth disease in Binzhou City based on a Bayesian spatio-temporal model

XU Xinying[1], YAN Wei[2], SHI Xinglong[1], LÜ Jing[1], YUE Fang[1], QIAO Yingyi[1], LIU Guanxiang[3], LI Xiujun[1]

1.School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan, Shandong 250012, China; 2.Binzhou Center for Disease Control and Prevention, Binzhou, Shandong 256600, China; 3.School of Basic Medical Sciences, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan, Shandong 250012, China

Abstract: Objective To investigate the epidemiological characteristics and influencing factors for hand, foot, and mouth disease (HFMD) incidence in Binzhou City, Shandong Province, so as to provide the evidence for developing HFMD prevention and control strategies. **Methods** Data on HFMD cases in Binzhou City from 2017 to 2023 were collected through the Infectious Disease Reporting Information System of Chinese Disease Prevention and Control Information System. Meteorological data during the same period were collected from the fifth-generation European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. The incidence of HFMD was calculated, and the temporal, population, and regional distribution characteristics of HFMD were analyzed descriptively. Bayesian spatiotemporal model was used to analyze the influencing factors for HFMD incidence. **Results** From 2017 to 2023, a total of 17 314 HFMD cases were reported in Binzhou City, with an annual average reported incidence of $62.57/10^5$. The incidence peak was from June to September, and a secondary peak appeared from October to November in some years. The annual average reported incidences were

DOI：10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2026.02.011

基金项目：国家重点研发计划项目（2023YFC2604400）；山东省公共卫生学会科研项目（SDPHA202403）

作者简介：徐欣颖，硕士研究生在读，公共卫生专业

通信作者：李秀君，E-mail：xjli@sdu.edu.cn

higher in Bincheng District and Yangxin County, which were 107.41/10^5 and 72.95/10^5, respectively. There were 10 461 males and 6 853 females, with a male-to-female ratio of 1.53∶1. The age was mainly 1-3 years, with 11 713 cases accounting for 67.65%. Bayesian spatiotemporal model analysis showed that the risk of HFMD incidence had obvious seasonality and regionality. From 2017 to 2019 and in 2021, the peaks occurred in weeks 24-27 and 44-47 each year, with *RR* values of 1.771-6.747. From 2022 to 2023, it showed a single peak distribution. The *RR* values were all >1 in Bincheng District, Yangxin County, and Huimin County. Average temperature (*RR*=1.092, 95%*CI*: 1.080-1.105) and average relative humidity (*RR*=1.015, 95%*CI*: 1.008-1.022) were positively correlated with the risk of HFMD incidence, while average wind speed (*RR*=0.749, 95%*CI*: 0.655-0.856) was negatively correlated with the risk of HFMD incidence. **Conclusions** HFMD in Binzhou City mainly occurs in summer and in central areas. Males and children aged 1-3 years are high-risk populations. The risk of HFMD incidence increases with the increase of average temperature and average relative humidity, and decreases with the increase of average wind speed.

Keywords: hand, foot, and mouth disease; epidemiological characteristics; Bayesian spatio-temporal model; influencing factor

手足口病是由肠道病毒感染引起的常见传染病，主要通过粪-口途径和密切接触传播，5岁以下儿童为高发人群[1]。该病在全球范围内已多次暴发和流行，对儿童的生命健康造成严重影响[2-3]。山东省手足口病发病呈现聚集性分布，高发地区主要集中在鲁西北、鲁中及鲁东南沿海地区，其中滨州市是高发城市之一[4-5]。既往研究表明，手足口病流行受多种环境因素和社会经济因素的影响，温度、湿度和气压等气象因素可通过延长病原体存活时间或增加人群暴露量间接促进手足口病的传播[6]。贝叶斯时空模型可将未知参数视为随机变量，同时考虑疾病的时空异质性，在时间和空间维度综合利用数据信息，通过集成嵌套拉普拉斯近似算法获取参数的后验分布，在流行病学领域广泛应用[7]。2016年肠道病毒71型疫苗上市，2017年起接种量增加，手足口病的流行环境发生变化[8]。本研究收集2017—2023年滨州市手足口病病例资料，了解其流行特征，基于贝叶斯时空模型分析手足口病发病的影响因素，为制定手足口病防控策略提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

2017—2023年滨州市手足口病病例资料来源于中国疾病预防控制信息系统传染病报告信息管理系统。同期气象资料来源于第五代欧洲中期天气预报中心ERA5-Land数据集（https://cds.climate.copernicus.eu）。本研究地图资料来源于国家地理信息公共服务平台（天地图，https://www.tianditu.gov.cn）。

1.2 方法

收集2017—2023年滨州市手足口病病例的年龄、性别、现住址和诊断日期等资料，覆盖所辖7个县（市、区），计算手足口病报告发病率，描述性分析滨州市手足口病的时间分布、人群分布和地区分布特征。收集各县（市、区）的平均温度、平均相对湿度、平均气压、平均风速和累积降水量；采用Spearman秩相关分析变量间的相关性，当两变量间呈强相关（$|r_S|\geq0.7$，$P<0.05$）时，参考既往研究[9-10]保留更具潜在意义的变量。

手足口病发病数服从Poisson分布，构建贝叶斯时空模型 $Y_{it}\sim\text{Poisson}(E_{it}\theta_{it})$，评估2017—2023年滨州市手足口病发病与气象因素的关联。假设 Y_{it} 表示在滨州市第 i 个县（市、区）第 t 周手足口病的发病数，E_{it} 表示期望发病数，θ_{it} 表示相对危险度（relative risk，RR）。通过连接函数构建4种贝叶斯时空模型：模型1仅包含截距项和影响因素；模型2包含截距项、空间效应和影响因素；模型3包含截距项、空间效应、时间效应和影响因素；模型4包含截距项、空间效应、时间效应、时空交互效应和影响因素。通过偏差信息准则（deviance information criterion，DIC）和渡边赤池信息准则（Watanabe-Akaike information criterion，WAIC）分析模型的拟合效果[11]，DIC值和WAIC值越小，表示模型的拟合效果越好。以模型4为例，表达式如下。

$$\log(\theta_{it})=\beta_0+\mu_i+\nu_i+\gamma_t+\varphi_t+\delta_{it}+\sum_{k=1}^{K}\beta_k x_{kit}$$

式中：β_0 为截距项；μ_i 为空间结构效应，采用条件自回归先验[12]；ν_i 为空间非结构效应，采用独立同分布先验；γ_t 为时间结构效应，采用一阶随机游走模型[12]；φ_t 为时间非结构效应，采用独立同分布先验；δ_{it} 为时空交互效应，采用Ⅰ型交互模型，即空间非结构项与时间非结构项的交互；x_{kit} 表示第 i 个县（市、区）第 t 周的第 k 个影响因素；β_k 为回

归系数，经指数转换后得到效应估计量，采用 *RR* 值及 95%*CI* 描述。

1.3 统计分析

采用 R 4.2.2 软件整理数据和统计分析。采用 INLA 程序包构建贝叶斯时空模型。检验水准 $\alpha = 0.05$。

2 结 果

2.1 2017—2023 年滨州市手足口病流行特征

2017—2023 年滨州市报告手足口病 17 314 例，年均报告发病率为 62.57/10 万。各年份报告发病率分别为 99.63/10 万、113.13/10 万、84.63/10 万、34.97/10 万、59.62/10 万、11.48/10 万和 33.92/10 万。发病具有季节性，发病高峰为 6—9 月，2017 年、2019 年和 2021 年 10—11 月出现次高峰。见图 1。各县（市、区）均有病例报告，滨城区年均报告发病率较高，为 107.41/10 万；其次是阳信县，为 72.95/10 万；无棣县年均报告发病率较低，为 25.31/10 万。

2017—2023 年滨州市男性报告手足口病发病 10 461 例，女性 6 853 例，男女比为 1.53∶1。年龄以 1~3 岁为主，11 713 例占 67.65%。以散居儿童和幼托儿童为主，分别为 11 305 和 4 958 例，占 65.29% 和 28.64%。

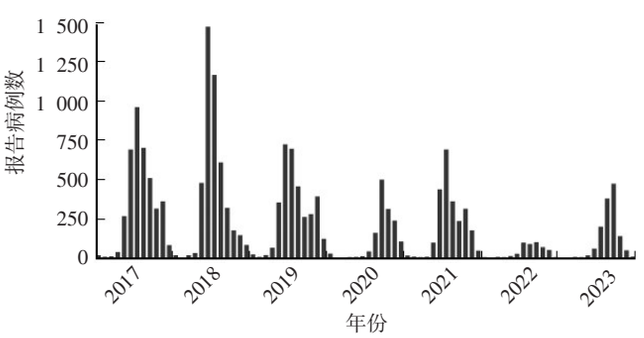


图 1 2017—2023 年滨州市手足口病月报告病例数

Figure 1 Monthly cases of hand, foot, and mouth disease in Binzhou City from 2017 to 2023

2.2 气象因素间的相关性分析

2017—2023 年滨州市各县（市、区）平均温度在−10.84~32.23 ℃波动，平均相对湿度在 22.07%~86.38% 波动，平均气压在 987.56~1 037.34 hPa 波动，平均风速在 1.27~5.89 m/s 波动，累积降水量在 0~244.20 mm 波动。Spearman 秩相关分析结果显示，平均温度与平均气压呈强相关（r_S=−0.929，P<0.001）。参考文献［9-10］，排除平均气压，最终保留的变量为平均温度、平均相对湿度、平均风速和累积降水量。

2.3 贝叶斯时空模型分析

2.3.1 时间效应和空间效应

模型 4 DIC 值和 WAIC 值最小，分别为 9 276 和 9 222，拟合效果较好。时间效应结果显示，手足口病发病呈明显季节性，2017—2019 年和 2021 年每年的第 24—27 周和第 44—47 周发病风险达峰值，*RR* 值为 1.771~6.747；2020 年、2022—2023 年每年出现 1 个高峰，分别在第 47、41 和 38 周，见图 2。空间效应结果显示，手足口病发病存在地域性，滨城区、阳信县和惠民县发病风险较高（均 *RR*>1），见图 3。时空交互效应结果显示，以 2019 年为例，手足口病发病风险呈中部高、南北部低的区域性分布，高风险区域以滨城区、阳信县和惠民县为主，低风险区域以邹平市、博兴县、沾化区和无棣县为主，不同季节存在一定差异。

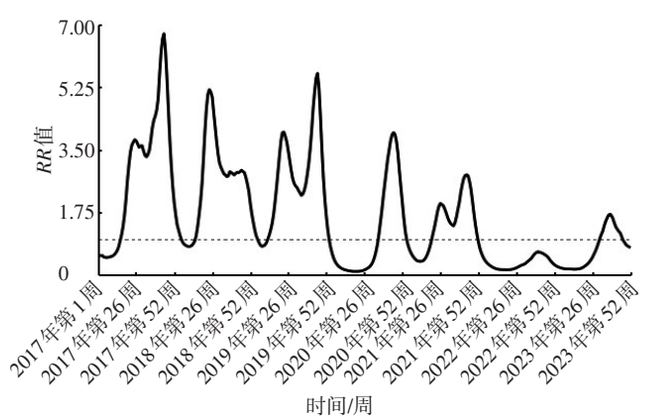


图 2 2017—2023 年滨州市手足口病发病风险的时间效应

Figure 2 Temporal effect of hand, foot, and mouth disease incidence risk in Binzhou City from 2017 to 2023



注：审图号为GS（2024）0650号。*RR*值<1为低风险区域；*RR*值>1为高风险区域。

图 3 2017—2023 年滨州市手足口病发病风险的空间效应

Figure 3 Spatial effect of hand, foot, and mouth disease incidence risk in Binzhou City from 2017 to 2023

2.3.2　气象因素对手足口病发病的影响因素分析

平均温度的回归系数为0.088，*RR*值为1.092（95%*CI*：1.080~1.105），手足口病发病风险随平均温度升高而上升；平均相对湿度的回归系数为0.015，*RR*值为1.015（95%*CI*：1.008~1.022），手足口病发病风险随平均相对湿度升高而上升；平均风速的回归系数为－0.289，*RR*值为0.749（95%*CI*：0.655~0.856），手足口病发病风险随平均风速升高而下降；累积降水量对手足口病发病的影响无统计学意义（*RR*=1.001，95%*CI*：0.998~1.004）。

3　讨　论

2017—2023年滨州市手足口病发病高峰集中在夏季，部分年份在秋季出现次高峰，与山东省研究结果[13]一致。2019年后手足口病发病率有所降低，可能与新型冠状病毒感染防控期间的各类卫生防控措施降低了肠道病毒的传播有关[14]。各县（市、区）均有病例报告，中部的滨城区年均报告发病率较高，可能与其作为滨州市中心城区，人口密度高且儿童聚集场所多有关。

滨州市手足口病的高发人群为男性、1~3岁和散居儿童，与既往研究结果[15]类似。一方面，低龄儿童的免疫系统尚未发育完善，抵抗肠道病毒侵袭的能力较弱[16]；另一方面，男童相对更为好动，接触污染环境及物品机会较大，从而增加发病风险。建议家长和托幼机构加强儿童卫生防护，强化个人卫生习惯养成和环境卫生管理，同时确保适龄儿童及时接种疫苗，有效降低感染风险[17]。

贝叶斯时空模型通过引入先验信息，能有效捕捉数据的时空依赖性。本研究结果显示，时间维度上，发病高风险时段多见于夏初和秋末，与流行特征基本一致。夏初高温、高湿的气象条件有利于病毒的存活和传播；秋末天气转凉，室内活动增加、通风减少，导致传播风险增加。空间维度上，发病风险具有空间聚集性，高风险区域主要集中在滨州市中部的滨城区、阳信县和惠民县。滨城区城市化程度较高，托幼机构、游乐场等人员聚集性场所较多，人口流动性强，可能增加了手足口病的传播风险[18]。阳信县和惠民县紧邻滨城区，可能存在较频繁的人口流动，促进了手足口病的跨区域传播。影响因素分析结果显示，平均温度、平均湿度与手足口病发病风险呈正相关。2017—2023年滨州市夏季平均温度达27 ℃，平均相对湿度为65%，形成有利于肠道病毒存活和传播的高温、高湿环境，导致传播风险增加[19-20]。平均风速与手足口病发病风险呈负相关，与既往研究结果[4, 21]一致。较强的空气流动可以稀释环境中病毒的浓度，降低致病风险。

综上所述，2017—2023年滨州市手足口病发病呈明显季节性，中部地区高发，男性、1~3岁儿童是高风险人群。高温、高湿和低风速是手足口病发病的风险因素。建议加强发病高风险区域的监测，积极开展托幼机构从业人员和幼儿家长的健康教育，促进儿童良好卫生习惯的养成，降低手足口病发病风险。本研究仍存在不足，手足口病的流行是多种因素共同作用的结果，本文仅分析了气象因素，未来可纳入更全面的因素进一步探究；县（市、区）非最小行政单元，未来可考虑在更精细的空间尺度进行研究；新型冠状病毒流行可能对手足口病发病产生一定影响，可能掩盖了原有的流行特征。

参考文献

[1] ASWATHYRAJ S, ARUNKUMAR G, ALIDJINOU E K, et al. Hand, foot and mouth disease (HFMD): emerging epidemiology and the need for a vaccine strategy [J]. Med Microbiol Immunol, 2016, 205 (5): 397-407.

[2] ZHU P Y, JI W Q, LI D, et al.Current status of hand-foot-and-mouth disease [J/OL]. J Biomed Sci, 2023, 30 (1) [2026-01-14]. https://doi.org/10.1186/s12929-023-00908-4.

[3] ZHAO T S, DU J, SUN D P, et al.A review and meta-analysis of the epidemiology and clinical presentation of coxsackievirus A6 causing hand-foot-mouth disease in China and global implications [J/OL]. Rev Med Virol, 2020, 30 (2) [2026-01-14]. https://doi.org/10.1002/rmv.2087.

[4] ZHANG C, KOU Z Q, WANG X J, et al.Exploring the spatiotemporal effects of meteorological factors on hand, foot and mouth disease: a multiscale geographically and temporally weighted regression study [J/OL]. BMC Public Health, 2024, 24 (1) [2026-01-14]. https://doi.org/10.1186/s12889-024-20596-5.

[5] 衣贵鹏, 庞振陆, 李望晨, 等. 2012—2019年山东省手足口病流行特征及空间聚集性分析 [J]. 现代预防医学, 2021, 48 (15): 2710-2715.

[6] YANG X, WANG J S, ZHANG G M, et al.Short-term effects of extreme meteorological factors on hand, foot, and mouth disease infection during 2010-2017 in Jiangsu, China: a distributed lag non-linear analysis [J/OL]. Geohealth, 2024, 8 (4) [2026-01-14]. https://doi.org/10.1029/2023GH000942.

[7] BLANGIARDO M, CAMELETTI M, BAIO G, et al.Spatial and spatio-temporal models with R-INLA [J]. Spat Spatiotemporal Epidemiol, 2013, 7: 39-55.

[8] 李鑫, 陶小娥, 谢璇, 等. 肠道病毒71型灭活疫苗应用前后中国手足口病流行特征分析 [J]. 传染病信息, 2025, 38 (6): 616-621.

[9] JIANG X H, MA Y, LV Q, et al.Influence of social and meteoro-

logical factors on hand, foot, and mouth disease in Sichuan Province［J/OL］.BMC Public Health, 2023, 23（1）［2026-01-14］.https://doi.org/10.1186/s12889-023-15699-4.

［10］LIU L L, HU Y C, QI C, et al.Comparison of different predictive models on HFMD based on weather factors in Zibo City, Shandong Province, China［J/OL］.Epidemiol Infect, 2021, 150［2026-01-14］.https://doi.org/10.1017/S0950268821002508.

［11］SPIEGELHALTER D J, BEST N G, CARLIN B P, et al.Bayesian measures of model complexity and fit［J］.J R Stat Soc Ser B Stat Methodol, 2002, 64（4）: 583-639.

［12］ZHU Z X, FENG Y, GU L F, et al.Spatio-temporal pattern and associate factors of intestinal infectious diseases in Zhejiang Province, China, 2008-2021: a Bayesian modeling study［J/OL］.BMC Public Health, 2023, 23（1）［2026-01-14］.https://doi.org/10.1186/s12889-023-16552-4.

［13］WANG J, HU T, SUN D P, et al.Epidemiological characteristics of hand, foot, and mouth disease in Shandong, China, 2009-2016［J/OL］.Sci Rep, 2017, 7（1）［2026-01-14］.https://doi.org/10.1038/s41598-017-09196-z.

［14］ZHAO Z, ZHENG C J, QI H C, et al.Impact of the coronavirus disease 2019 interventions on the incidence of hand, foot, and mouth disease in mainland China［J/OL］.Lancet Reg Health West Pac, 2022, 20［2026-01-14］.https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100362.

［15］WU B Q, ZHANG X N, FU M H, et al.Epidemiological trends of hand, foot, and mouth disease in children under age 10, Jiangning District, Jiangsu, China（2009-2023）［J/OL］.BMC Infect Dis, 2025, 25（1）［2026-01-14］.https://doi.org/10.1186/s12879-025-11281-y.

［16］钱晓萍，凌健，刘腾.吴兴区 6 岁以下儿童手足口病流行特征分析［J］.预防医学，2023，35（3）：243-245，249.

［17］赵玉秋，张进，邓舒，等.安徽省 5 岁以下儿童手足口病患病的家庭和行为因素［J］.预防医学，2021，33（7）：693-696.

［18］ZHANG X X, XU C D, XIAO G X.Space-time heterogeneity of hand, foot and mouth disease in children and its potential driving factors in Henan, China［J/OL］.BMC Infect Dis, 2018, 18（1）［2026-01-14］.https://doi.org/10.1186/s12879-018-3546-2.

［19］BERTRAND I, SCHIJVEN J F, SÁNCHEZ G, et al.The impact of temperature on the inactivation of enteric viruses in food and water: a review［J］.J Appl Microbiol, 2012, 112（6）: 1059-1074.

［20］COATES S J, DAVIS M D P, ANDERSEN L K.Temperature and humidity affect the incidence of hand, foot, and mouth disease: a systematic review of the literature-a report from the International Society of Dermatology Climate Change Committee［J］.Int J Dermatol, 2019, 58（4）: 388-399.

［21］CAO HY, XU RR, LIANG YM, et al.Effects of extreme meteorological factors and high air pollutant concentrations on the incidence of hand, foot and mouth disease in Jining, China［J/OL］.PeerJ, 2024, 12［2026-01-14］.https://doi.org/10.7717/peerj.17163.

收稿日期：2025-08-29　**修回日期**：2026-01-14　**本文编辑**：高碧玲

（上接第 160 页）

2011, 101（Suppl. 1）: S353-S358.

［12］王雅慧，王燕，郑达治，等.2014—2023 年广州市天河区户籍居民伤害死亡特征分析［J］.伤害医学（电子版），2024，13（4）：25-30.

［13］WANG L, YU C H, ZHANG Y Q, et al.An analysis of the characteristics of road traffic injuries and a prediction of fatalities in China from 1996 to 2015［J］.Traffic Inj Prev, 2018, 19（7）: 749-754.

［14］孙倩男，王巍巍，陈一佳，等.江苏省 2006—2022 年老年人伤害流行特征和变化趋势［J］.中华流行病学杂志，2024，45（8）：1112-1119.

［15］路俊英，郭冬霞，李芳伟，等.中国老年人跌倒发生现状及影响因素［J］.郑州大学学报（医学版），2020，55（5）：662-667.

［16］沈凡暄，张良文，方亚.2018 年我国社区老年人跌倒现状及其影响因素研究［J］.伤害医学（电子版），2022，11（1）：7-12.

［17］袁亚运，李红芳.中国城乡老年人跌倒的性别差异研究——基于 CHARLS 2015 数据［J］.人口与社会，2020，36（4）：46-57.

［18］李容跃，陈亦晨，陈华，等.2002—2021 年上海市浦东新区居民伤害死亡流行特征及趋势分析［J］.疾病监测，2023，38（6）：735-740.

［19］黄霜，胡劲松，黄渊秀.2014—2021 年长沙市居民伤害死亡特征及潜在减寿年数分析［J］.公共卫生与预防医学，2024，35（2）：48-52.

［20］李为翊，方博，高强，等.1993—2021 年上海市黄浦区伤害死亡特征及潜在减寿年数分析［J］.疾病监测，2024，39（12）：1567-1572.

收稿日期：2025-09-03　**修回日期**：2026-01-25　**本文编辑**：刘亚敏