

2010—2020年恩施州手足口病的流行特征、影响因素与防控效果



苏彦文¹, 吴 云², 孙 秋¹, 郭彩洪³, 王连文¹

1. 湖北民族大学数学与统计学院 (湖北恩施 445000)
2. 恩施州疾病预防控制中心传染病防控科 (湖北恩施 445000)
3. 恩施州优抚医院精神科 (湖北恩施 445000)

【摘要】目的 分析 2010—2020 年恩施州手足口病 (hand, foot and mouth disease, HFMD) 的流行特征, 探讨社会经济与气象因素的影响, 并评估疫情防控措施对 HFMD 的干预效果。**方法** 运用 ArcGIS 10.8 对恩施州 88 个乡镇级行政单元的 HFMD 病例进行时空特征可视化; 采用贝叶斯时空模型解析社会经济与气象因素对疾病分布的影响; 使用 SEIR 模型估算易感人群人数与比例; 构建时间序列模型, 预测 2020 年发病趋势并量化疫情防控措施效果。**结果** 2010—2020 年累计报告病例 58 954 例, 年均发病率为 11.90/10 万, 死亡率为 0.01/10 万, ≤ 5 岁儿童占发病人数的 93.20%; 居民储蓄存款每增加 1 个标准差单位, 发病率下降 1.1% ($P < 0.05$); 医院床位数与发病率呈正相关; 气温升高 ($\beta=0.182$) 和降水增多 ($\beta=0.229$) 增加发病风险; 疫情防控措施使发病数每月减少 415 例 ($P=0.049$), 但防控放松后, 2020 年 12 月发病数较 2019 年同期增长 266.6%, 呈现补偿性流行特征。**结论** 本研究揭示了恩施州 HFMD 的时空分布特征及社会经济气象驱动因素, 量化了疫情防控措施效果, 为山区传染病精准防控提供了多维度依据。

【关键词】 手足口病; 贝叶斯时空模型; SARIMA 模型; 时空特征; 影响因素

【中图分类号】 R 725.1; R181.3 **【文献标识码】** A

Epidemiological characteristics, influencing factors, and prevention and control effects of hand, foot and mouth disease in Enshi prefecture from 2010 to 2020

SU Yanwen¹, WU Yun², SUN Qiu¹, GUO Caihong³, WANG Lianwen¹

1. School of Mathematics and Statistics, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei Province, China
 2. Department of Infectious Disease Prevention and Control, Enshi Center for Disease Control and Prevention, Enshi 445000, Hubei Province, China
 3. Department of Psychiatry, Enshi Prefecture Special Care Hospital, Enshi 445000, Hubei Province, China
- Corresponding author: WANG Lianwen, Email: lwwang@hbmzu.edu.cn

【Abstract】Objective To analyze the epidemiological characteristics of hand, foot and mouth disease (HFMD) in Enshi Prefecture, explore the impacts of socioeconomic and meteorological factors, and evaluate the intervention effects of pandemic prevention and control measures on HFMD. **Methods** ArcGIS 10.8 was used to visualize the spatiotemporal characteristics of HFMD cases across 88 township-level administrative units in Enshi

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202505045

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (12001178)

通信作者: 王连文, 博士, 副教授, Email: lwwang@hbmzu.edu.cn

Prefecture. Estimating the number and proportion of susceptible individuals using the SEIR model. Bayesian spatiotemporal models were employed to analyze the influences of socioeconomic and meteorological factors on disease distribution. A time-series model was constructed to predict the incidence trend in 2020 and quantify the impact of pandemic control measures. **Results** From 2010 to 2020, a total of 58 954 HFMD cases were reported, with an average annual incidence rate of 11.90 per 100 000, a mortality rate of 0.01 per 100 000, and children aged ≤ 5 years accounted for 93.20% of cases. A 1-standard-deviation increase in household savings deposits was associated with a 1.1% decrease in incidence ($P<0.05$). Higher temperatures ($\beta=0.182$) and increased precipitation ($\beta=0.229$) were linked to elevated incidence risk. pandemic control measures reduced monthly cases by 415 ($P=0.049$). However, after the relaxation of prevention and control measures, the number of cases in December 2020 increased by 266.6% compared with the same period in 2019, indicating a compensatory epidemic. **Conclusion** This study reveals the spatiotemporal distribution characteristics and socioeconomic-meteorological drivers of HFMD in Enshi Prefecture, quantifies the effect of pandemic prevention and control measures, and provides multi-dimensional evidence for precision prevention and control of infectious diseases in mountainous areas.

【Keywords】 Hand, foot and mouth disease; Bayesian spatiotemporal model; SARIMA model; Spatiotemporal characteristics; Influencing factors

手足口病 (hand foot and mouth disease, HFMD) 作为全球范围内威胁儿童健康的重要传染病, 其流行特征呈现显著的时空异质性和环境依赖性。世界卫生组织监测数据显示, 亚太地区 HFMD 年均发病率可达 120/10 万, 且重症病例中 EV71 型肠道病毒感染占比超过 80%^[1]。我国作为 HFMD 疾病负担较重的国家之一, 2010—2018 年累计报告病例超 2 000 万例^[2]。恩施土家族苗族自治州作为鄂西南山区少数民族聚居区, 具有独特的地理社会特征, 属亚热带季风性湿润气候, 年均降水量 1 600 mm, 相对湿度 75% 以上, 为肠道病毒存活提供了有利环境; 同时, 全州约 38% 儿童为留守儿童, 而基层医疗资源可及性仅为全省平均水平的 67%^[3], 形成了“高气候风险—低卫生资源”的双重挑战。这种独特生态—社会背景使其成为研究山区传染病流行特征的典型样本。而现有研究缺乏对“气候—社会经济—突发公共卫生事件”三者交互作用的系统分析。

既往研究多聚焦于气象因素与 HFMD 的线性关系^[4], 往往忽视了社会经济因素通过卫生服务利用、健康素养等中介变量产生的非线性效应^[5]。例如, 医院床位配置可能通过改善病例发现能力表现为正向关联, 而居民储蓄水平可能通过促进预防性卫生支出产生负向影响^[6-7]。值得注意的是, 在 COVID-19 疫情流行期间实

施的物理隔离等非药物干预措施, 在阻断病毒传播的同时, 可能通过减少人群接触重塑接触传播疾病的流行模式^[8-9]。然而, 此类干预措施对 HFMD 的具体影响程度及潜在反弹风险尚未在山区人群中得到系统评估。因此, 本研究通过整合多源时空数据, 解析 HFMD 的时空异质性分布规律; 构建贝叶斯层次模型解析自然—社会因素的交互效应, 并建立季节性差分自回归移动平均 (seasonal autoregressive integrated moving average, SARIMA) 预测模型, 量化疫情防控措施的干预效果, 旨在为山区传染病精准防控提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究数据与区域

本研究的数据集涵盖恩施州 88 个乡级行政单元 (109°4'48"E—110°38'24"E, 29°50'24"N—31°24'0"N) 2010—2020 年 HFMD 病例数据, 均来源于传染病信息网络直报系统。病例诊断均符合《手足口病诊疗指南 (2018 年版)》^[10] 标准, 包括实验室确诊病例 (病毒核酸检测阳性) 和临床诊断病例 (符合临床表现及流行病学史)。本研究纳入的 58 954 例均为首次确诊病例, 不含复发病例。由于 HFMD 主要感染对象为学龄前儿童, 且 EV71 型病毒感染后可产生持久免疫, 复发病例占比极低 ($< 1\%$), 因此未对复发病例单独

分析。本研究使用的社会经济数据来源于《中国县域统计年鉴》(<http://60.16.24.131/CSYDMirror/trade/Yearbook/Single/N2024030157?z=Z001>)，气象数据取自哥白尼气候变化服务 ERA5-land 数据集 (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>) 及中国气象数据网 (<https://data.cma.cn/>)。恩施州的地图信息来自国家基础地理信息中心 (<https://www.ngcc.cn/>)。研究区域 2020 年常住人口 345.6 万，重点分析恩施州（人口密度 $203.7/\text{km}^2$ ）与利川市（ $163.8/\text{km}^2$ ）的高负荷区域。

1.2 研究方法

1.2.1 时空特征可视化

本研究运用 Excel 2019 软件构建病例数据库并进行人口学特征分析，通过 ArcGIS 10.8 平台进行乡镇尺度的时空异质性可视化分析（核密度估计法）。

1.2.2 贝叶斯时空模型

构建分层贝叶斯时空模型，通过线性协变量与全局截距 ($N(0,1)$) 构建固定效应基准项，纳入气温、降水、居民储蓄、医疗资源等协变量；联合三层次随机效应（时间趋势、空间异质性、时空非平稳交互），通过分层方差参数动态调节效应权重；回归系数采用收缩正态先验 ($N(0,\sigma^2)$)，随机效应标准差施加半正态弱先验（尺度 = 1）。模型基于 PyMC 5.10.0 执行，采用 NUTS 双链采样（各 2 000 次迭代，含 1 000 次调优），依据 Gelman-Rubin 收敛准则（ $\hat{R} < 1.01$ ）与轨迹-密度联合图验证参数稳定性。该模型通过方差解耦时空效应贡献，结合弱先验约束与自适应正则化，实现复杂时空数据下的多尺度稳健推断与不确定性量化。

1.2.3 传染病模型

使用易感-暴露-感染-康复 (Susceptible-Exposed-Infected-Recovered, SEIR) 模型估算 HFMD 易感人群的人数与比例，SEIR 模型为传染病基本模型，研究传染病的传播速度、空间范围、传播途径等问题，以指导对传染病的预防和控制。

1.2.4 时间序列分析

建立季节性 SARIMA (p,d,q) (P,D,Q)_s 模型：通过 ADF 检验确定差分阶数 ($d=1,D=1,s=12$)；基于 AIC 准则筛选最优参数组合 ($p=1,q=1,P=1,Q=1$)；构建干预分析模型量化疫情防控措施效应，2020 年 1 月将定义为干预节点；采用分段回

归分析比较干预前后发病趋势变化（似然比检验， $\alpha=0.05$ ）。

2 结果

2.1 时空分布特征

2010—2020 年恩施州累计报告 HFMD 病例 58 954 例，年均发病率为 11.90/10 万，死亡率为 0.01/10 万。其中重症病例 328 例、死亡 4 例，病死率 (case fatality rate, CFR) 为 0.067 8/10 万。年龄分布呈现显著聚集性，学龄前儿童 (≤ 5 岁) 占 93.21% (54 951 例)。时空分布呈现显著异质性：2010—2019 年发病率年均增长 8.72%，2019 年达历史峰值 (10 989 例)；2020 年受疫情防控措施影响，发病人数降至 4360 例 (降幅 60.3%)。高发病率乡镇 ($> 15/10$ 万) 集中于恩施州中心城区 (舞阳坝街道、小渡船街道) 及东北-东南经济走廊，形成“核心-边缘”扩散趋势，见图 1、图 2。

2.2 驱动因素分析结果

2.2.1 核心效应参数

固定效应 (beta/alpha)：beta 为基础协变量（如人口、医疗资源）的影响系数，反映其对结局 (HFMD 发病) 的平均作用；alpha 代表模型基准水平（无时空效应时的基础值）。核密度图展示后验估计的集中趋势，迹图呈稳定波动说明采样收敛，见图 3-A 与图 3-B。

时空效应 (time/space/spacetime_effect)：time_effect 用于捕捉纯时间趋势（如季节波动），space_effect 体现区域固有风险（如山区与城区差异），spacetime_effect 则反映“时间+空间”的协同作用（如局部夏季特有的风险增强）。轨迹图中多线稳定波动，说明各时间与空间单元的效应估计可靠，见图 3-C、图 3-D 与图 3-E。

2.2.2 不确定性参数

不确定参数 (sigma_y) 衡量模型未解释的残差波动，其数值越大，表明遗漏因素或噪声越强，见图 3-F；sigma_beta/time/space/spacetime 分别反映固定效应、纯时间/空间/时空交互效应的异质性，数值越大，表示对应效应的波动或差异越显著。核密度图的集中程度、轨迹图的稳定波动，共同验证了参数估计的收敛性与可靠性，见图 3-G、图 3-H、图 3-I、图 3-J。

2.2.3 诊断价值

所有迹图后期均稳定无漂移（如 beta、alpha

迹图无持续趋势），说明马尔科夫链蒙特卡洛方法（Markov Chain Monte Carlo Method，MCMC）采样有效；分布越窄（如 sigma_y 集中），参数估计越精准。这些诊断支持模型收敛，为效应解读提供了基础。

贝叶斯时空模型的可靠性通过严格的收敛性检验得以验证^[11]。如图 3 所示，MCMC 采样轨迹显示，回归系数、截距项及时间效应的超参数均

呈现稳定波动，且 Gelman–Rubin 收敛诊断指标表明模型达到充分收敛状态，为后续因果推断提供了稳健基础。

基于收敛模型的后验估计结果见表 1，气象因素与社会经济因素对 HFMD 发病率表现出差异化驱动效应，温度与降水量每增加 1 个标准差单位，发病率分别上升 18.2% 和 22.9%，这与肠道病毒在温暖湿润环境中的存活和传播特性高

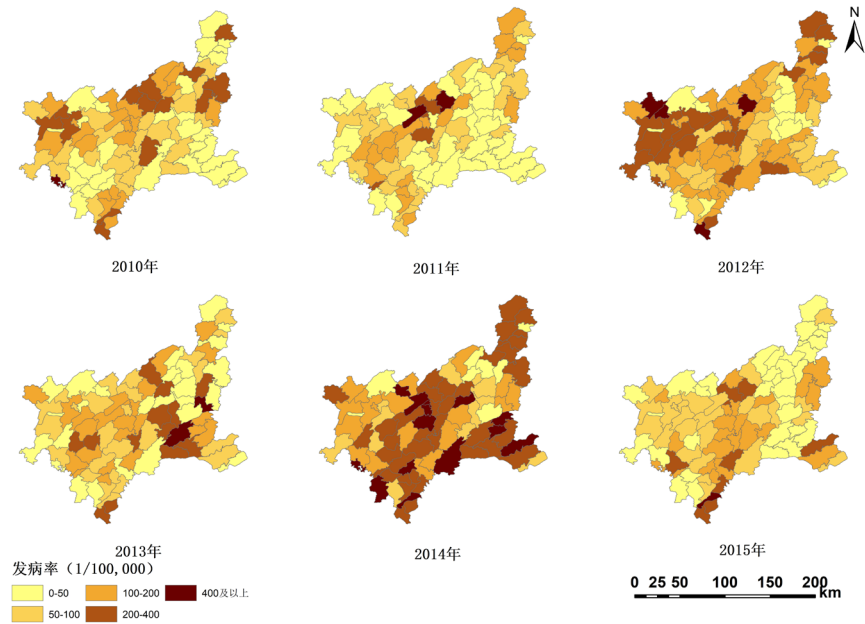


图1 2010—2015年恩施州手足口病发病率地区分布

Figure 1. Regional distribution of the incidence of hand, foot and mouth disease in Enshi Prefecture from 2010 to 2015

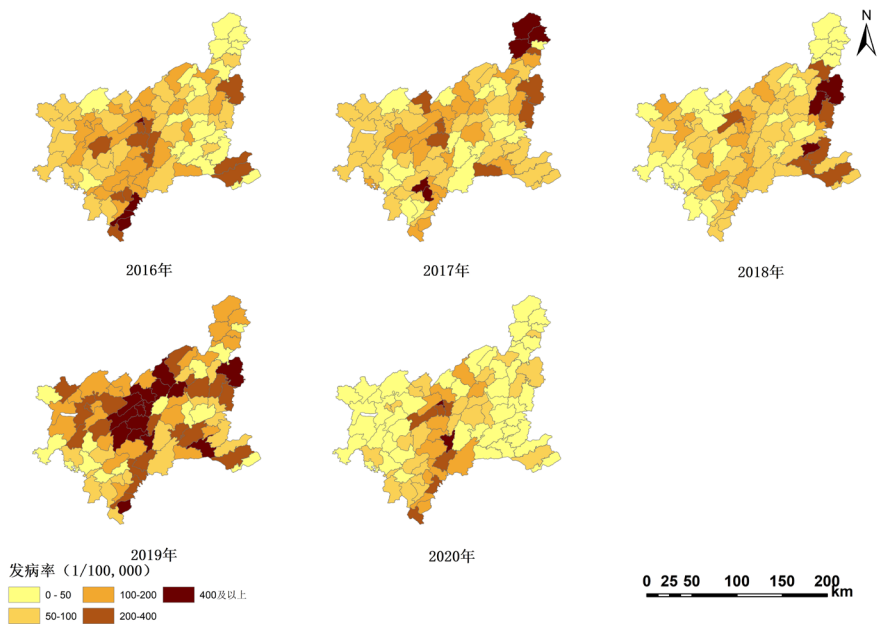
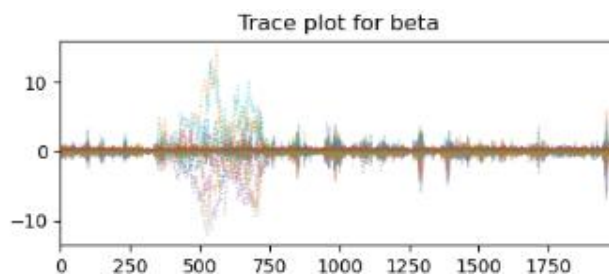
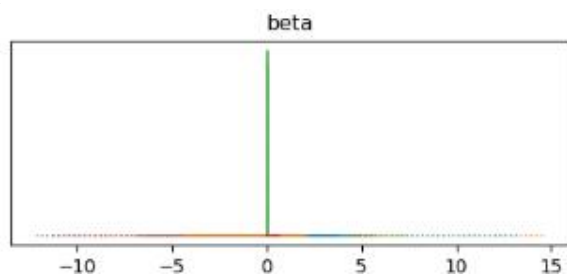


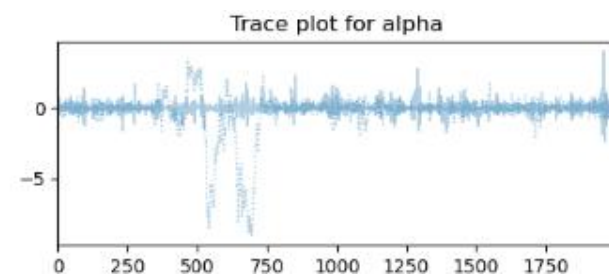
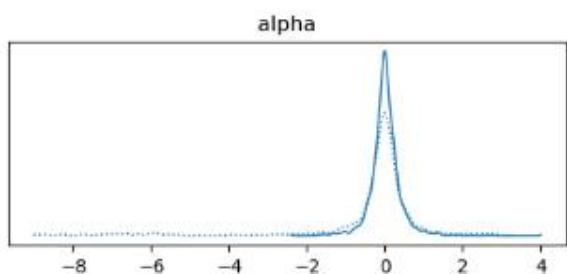
图2 2016—2020年恩施州手足口病发病率地区分布

Figure 2. Regional distribution of the incidence of hand, foot and mouth disease in Enshi Prefecture from 2016 to 2020

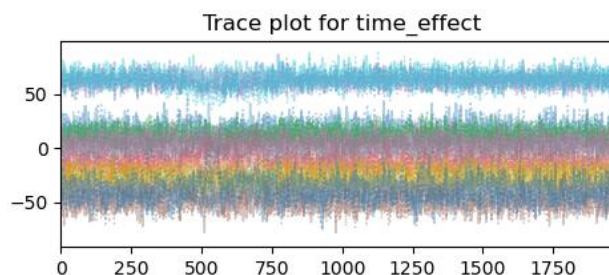
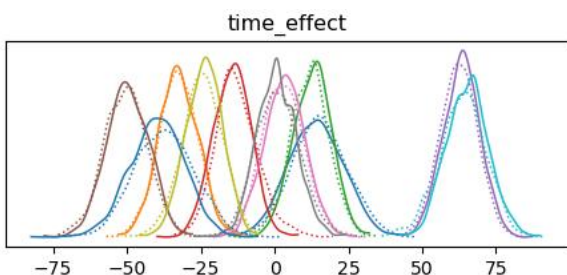
A



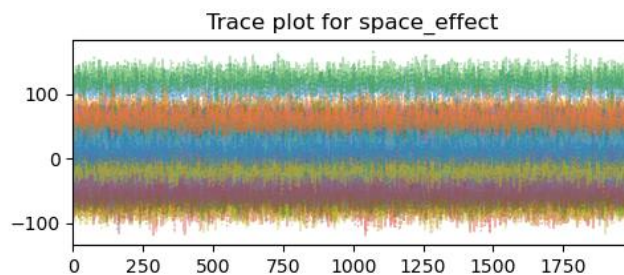
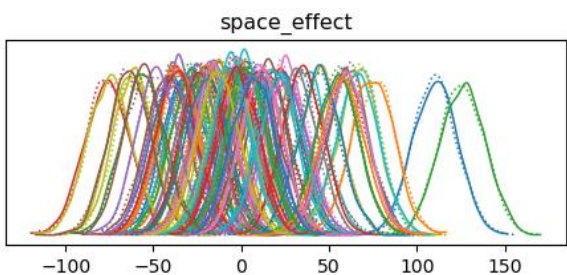
B



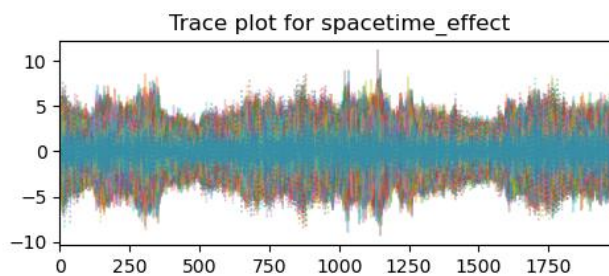
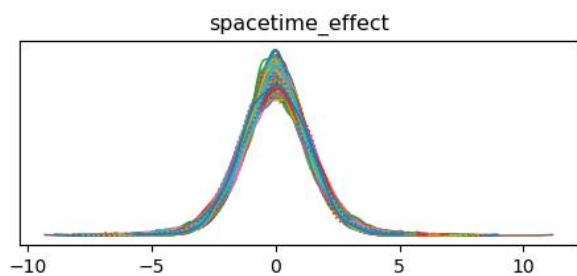
C



D



E



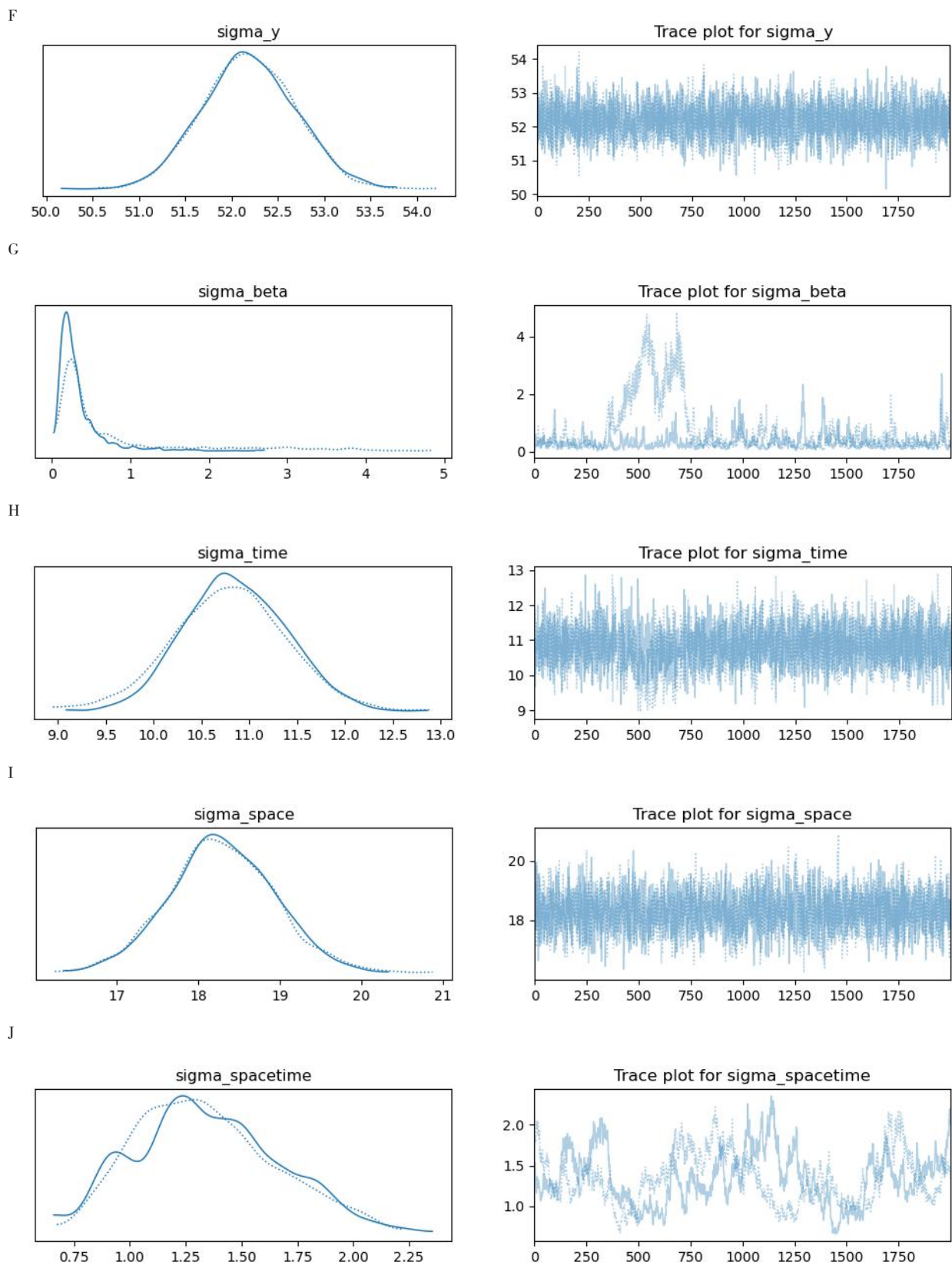


图3 参数采样轨迹图

Figure 3. Parameter sampling trajectory diagram

注：A、B为固定效应（beta/alpha）图，轨迹稳定波动说明采样收敛；C、D、E为时空效应（time/space/spacetime_effect）图，轨迹图中多线稳定波动，说明各时间/空间单元的效应估计可靠；F为sigma_y，衡量模型未解释的残差波动图，值越大，遗漏因素/噪声越强；G、H、I、J分别为sigma_beta/time/space/spacetime，反映固定效应、纯时间/空间/时空交互效应的异质性图。

度一致^[12]。居民储蓄存款每增加 1 个标准差单位，发病率下降 1.1% ($\beta=-0.011$, $P<0.05$)，提示经济条件好的地区家庭预防性卫生投入（如卫生消毒、疫苗接种）更加充分，能抑制疾病传播^[13]；医院床位数与发病率呈正相关 ($\beta=0.138$, $P<0.05$)，与医疗资源集中区域的“诊断偏倚”有关。恩施州基层医疗资源可及性仅为全省平均水平的 67%，医院床位配置较高的区域（如恩施市中心城区）因病例检测和报告能力更强，导致报告发病率更高^[14]。

2.3 疫情防控效果评估

COVID-19 疫情防控措施对恩施州 HFMD 流行趋势的影响呈现显著的阶段性特征。2020 年 1—7 月发病数较 2019 年同期下降 78.6%~99.9%（表 2），其中 2—5 月降幅超 98%，传统夏季高峰消失，发病数较预测值下降 68%。SARIMA 模型预测显示，2020 年 1—9 月实际发病数显著低于预测值，最大单月偏离度出现在 4 月（图 4）。干预分析模型（表 3）显示防控变量系数为 -415.2 ($P=0.049$)，即防控措施使月均发病数减少 415 例，与 2020 年 1—7 月实际发病数（累计 170 例）较 2019 年同期下降 99.1% 的结果吻

合。2020 年 1—7 月，基于 SEIR 模型估算恩施州 ≤ 5 岁易感儿童比例从基线 78% 升至 89%，与防控措施解除后易感人群基数骤增有关，12 月发病数较 2019 年同期增长 266.6%，2020 年 8—12 月，月均发病数达 838 例，较 2019 年同期（339 例）增加 147.2%。12 月单月发病数约为 2019 年同期的 1.67 倍（表 2），85% 新增病例集中于前期防控较严格的高海拔乡镇（如板桥镇、新塘乡），与易感人群分布高度重叠（Moran's $I=0.78$, $P<0.001$ ），2020 年 10—12 月实际发病数较预测值偏离 51.42%~71.12%，12 月反弹偏离度达 71.12%（图 4）。

干预模型的稳健性验证表明，加入防控变量后，SARIMA 模型参数通过显著性检验，且残差序列通过 Ljung-Box 检验 ($P>0.05$)，模型方程如下：

$$(1-B)Y_t = -415.20I_t + \frac{(1-1.02B)(1-0.426)}{(1-0.427B)}\alpha_t$$

其中，干预变量 I_t 的系数量化了防控措施对发病数的月均抑制效果，而 2020 年 12 月的发病反弹（较预测值偏离 50.12%）进一步凸显了非药物干预措施的短期效果与长期风险并存的特征（图 4）。

表1 参数统计摘要表

Table 1. Parameter statistical summary table

项目	Mean	Sd	Hdi_3%	Hdi_97%	Mcse_mean	Mcse_sd	$\hat{R}$
TEMP	0.182	0.309	0.154	0.210	0.016	0.020	1.02
DEWP	0.047	0.288	-0.648	1.087	0.043	0.030	1.01
SLP	-0.032	0.546	-0.495	0.419	0.013	0.012	1.02
STP	0.112	0.435	-0.393	0.596	0.025	0.013	1.03
VISIB	-0.085	0.229	-1.117	0.684	0.050	0.036	1.01
WDSP	-0.042	0.710	-0.777	0.929	0.068	0.048	1.00
MXSPD	0.018	0.607	-0.811	0.788	0.026	0.028	1.02
PRCP	0.229	0.366	0.198	0.260	0.049	0.035	1.04
deposits	-0.011	0.814	-0.023	0.002	0.005	0.004	1.01
hospital beds	0.138	0.112	0.164	0.525	0.004	0.012	1.01

注：Mean（均值），各参数的平均估计值；Sd（标准差），反映参数估计值的离散程度，数值越大波动越大；Hdi_3%/Hdi_97%（后验分布分位数），贝叶斯估计中参数的94%可信区间下限/上限；Mcse_mean/Mcse_sd（蒙特卡洛标准误差），反映均值/标准差估计的稳定性； $\hat{R}$ （收敛诊断指标），MCMC 抽样收敛性判断值，理想值 ≈ 1 ， $\hat{R}<1.05$ 视为收敛；TEMP（温度），环境温度变量，用于分析疾病与温度的关联；DEWP（露点温度），反映空气湿度，与病原体传播相关；SLP（海平面气压）、STP（站压），气象压力指标，影响空气流动或污染物扩散；VISIB（能见度），与空气污染水平相关；WDSP（风速）、MXSPD（最大风速），影响病原体或污染物扩散效率；PRCP（降水量），与水源污染或媒介生物繁殖相关；deposits（存款），经济指标；hospital beds（医院床位数），医疗资源指标。

表2 恩施州2020年1—12月与2019年同期手足口病发病情况比较（例）

Table 2. Comparison of the incidence of hand, foot and mouth disease between January and December 2020 and the same period in 2019 in Enshi Prefecture (n)

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2019	524	182	525	2 006	2 992	2 077	988	241	255	351	474	374
2020	112	3	9	3	11	6	26	160	280	1 027	1 726	997
同期增长率（%）	-78.63	-98.35	-98.29	-99.85	-99.63	-99.71	-97.37	-33.61	9.8	1.93	2.64	1.67

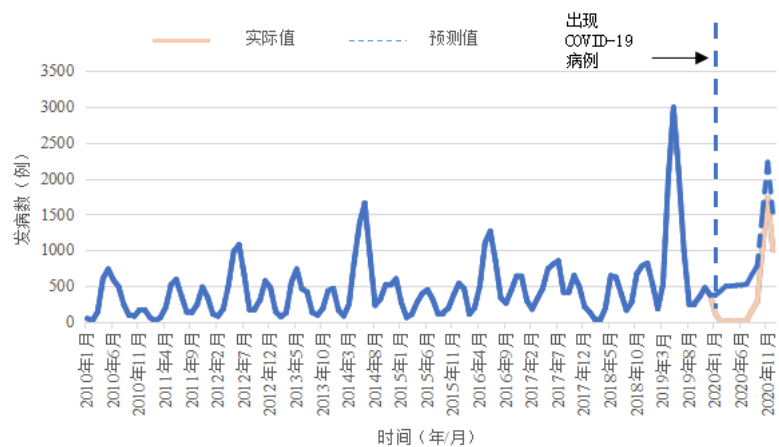


图4 恩施州2020年1—12月手足口病的发病趋势预测图

Figure 4. Prediction diagram of the incidence trend of hand, foot and mouth disease in Enshi Prefecture from January to December 2020

表3 加入干预变量后的模型参数检验结果
Table 3. Test results of model parameters after adding intervention variables

参数	估计值	χ^2	t值	P值
AR(1,1)	0.427	0.124	3.44	0.000 6
MA(1,1)	1.020	0.122	8.36	<0.000 1
MA(2,1)	0.426	0.115	3.71	0.000 2
Xreg	-415.2	210.5	-1.97	0.049 0

3 讨论

本研究发现，恩施州居民储蓄水平与 HFMD 发病率呈显著负相关，与广州等发达地区的正相关结论形成鲜明对比^[15]。这种区域差异可能源于经济发展阶段对卫生资源配置的结构性影响，经济发展落后地区的家庭储蓄更易转化为预防性支出。例如，恩施州 EV71 疫苗接种率从 2018 年的 62% 升至 2020 年的 85%，同期发病率下降 23.7%，且预防性卫生支出占储蓄比例显著高于深圳^[16-17]；而在发达地区，高收入人群跨区域活动频率高且人口密度大这些因素共同放大了传播风险^[18]，形成“发展阶段悖论”，落后地区通过预防投入降低风险，发达地区则因流动性与聚集性增加风险。此外，医院床位数与 HFMD 发病率呈现显著正相关，这与“医疗资源充足降低发病率”的传统认知相悖，可能与诊断偏倚和空间聚集性作用有关，恩施州基层医疗资源可及性较低，床位集中区因检测设备相对完善，实验室确诊比例显著高于偏远乡镇，由此出现“检测能力差异”引发的报告偏倚，与重庆农村地区“诊断能力提升使报告病例增加”的结论一致^[19]；此外，高床位医疗机构多位于区域中心或商业中心，儿童聚集密度大，也在客观上加速了病毒传播。

气温和降水的正向效应验证了肠道病毒在温暖湿润环境中的存活特性。恩施州年均降水量达 1 600 mm，相对湿度在 75% 以上，为病毒在环境表面（如玩具、餐具）的长期存活提供了条件。四川省夏季高温（ $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）与 HFMD 发病高峰重叠^[20]，而恩施州因山区地形影响导致的局部小气候（如昼夜温差大），可能使病毒传播呈现更复杂的时空分布特征。本研究未发现风速与发病率的显著关联，与部分研究结论有所不同^[21]。例如，研究运用贝叶斯时空模型分析了山东省 2008 年 5—8 月 HFMD 发病风险与气象因素的关系，发现周平均风速与 HFMD 发病相对风险呈正相关，平均风速每增大 10%，发病相对风险值为 1.020^[22]。但该研究聚焦于 HFMD 高发期，与本研究时间尺度不同。此外，恩施州多山地的地形致使风速空间异质性极高，不同区域风速差异大，难以形成稳定的风速对病毒传播影响模式。提示在分析气象因素对传染病传播的影响时，需紧密结合当地地形特征具体分析。

恩施州 2020 年 HFMD 防控效果的阶段性特征揭示了非药物干预措施的双重效应。疫情防控期间的社交隔离措施可能导致易感儿童比例上升，此外，解除隔离后的易感人群基数显著高于基线水平，与同类山区“免疫空白”现象一致^[23]。解封后新增病例集中于前期防控严格的高海拔乡镇，可能与该区域易感人群基数较高、人员流动恢复后传播机会增加有关。空间分析显示，病例存在显著聚集性，提示需关注山区地理特征对传播的放大效应。居家隔离使儿童日均户外活动减

少 1.8 小时, 维生素 D 缺乏风险增加 42%, 而维生素 D 缺乏可通过下调抗菌肽表达使抗病毒能力下降 30%~50%^[24-28]。山区 38% 的留守儿童因缺乏父母照护, 手卫生监管合格率仅 52%, 其感染风险较非留守儿童高 1.8 倍^[29]。可以通过纳入“健康效益-行为成本”动态平衡模型, 如远程教育指导家庭消毒、提供维生素 D 强化食品, 并在模型中纳入“防控强度-易感人群累积”参数, 进一步优化预警阈值。

本研究采用生态学设计, 无法规避个体行为混杂因素。如家庭卫生习惯可能同时影响家庭储蓄水平与感染风险, 导致因果推断偏差。未来研究可结合问卷调查数据, 构建“社会经济地位-行为习惯-疾病结局”的结构方程模型, 以解析中介效应路径。此外, 贝叶斯时空模型在突发公共卫生事件中的外推能力受限, 提示需开发融合实时监测数据的动态更新模型, 从而提升模型对突发事件的响应能力。针对山区地理特征, 可进一步整合无人机遥感数据, 量化植被覆盖率与病毒环境载量的关联, 为精准划定防控重点区域提供科学依据。

参考文献

- World Health Organization. A guide to clinical management and public health response for hand, foot and mouth disease (HFMD)[R]. Geneva: World Health Organization, 2011.
- 陈小佳, 黄邓高, 冯桃. 2008~2018 年我国手足口病流行性分析[J]. 海南医学院学报, 2021, 27(15): 1142-1148, 1155. [Chen XJ, Huang DG, Feng T, et al. Prevalence analysis of hand, foot and mouth disease in China, 2008-2018[J]. Journal of Hainan Medical University, 2021, 27(15): 1142-1148, 1155.] DOI: 10.13210/j.cnki.jhmu.20210526.003.
- 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴(2021)[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2021: 105-110.
- 杨雅斯, 卢亚陵, 方莅媛, 等. 气象因素对四川省手足口病发病率的影响及预测模型构建[J]. 四川大学学报(医学版), 2020, 51(5): 685-690. [Yang YS, Lu YL, Fang LY, et al. Influence of meteorological factors on HFMD and construction of prediction model in Sichuan province[J]. Journal of Sichuan University(Medical Sciences), 2020, 51(5): 685-690.] DOI: 10.12182/20200960106.
- Ye XY, Wang YD, Zou YX, et al. Associations of socioeconomic status with infectious diseases mediated by lifestyle, environmental pollution and chronic comorbidities: a comprehensive evaluation based on UK Biobank[J]. Infect Dis Poverty, 2023, 12(1): 5. DOI: 10.1186/s40249-023-01056-5.
- Man HJ, Huang HT, Qin ZY, et al. Analysis of a SARIMA-XGBoost model for hand, foot, and mouth disease in Xinjiang, China[J]. Epidemiol Infect, 2023, 151: e200. DOI: 10.1017/S0950268823001905.
- Li CH, Mao JJ, Wu YJ, et al. Combined impacts of environmental and socioeconomic covariates on HFMD risk in China: a spatiotemporal heterogeneous perspective[J]. PLoS Negl Trop Dis, 2023, 17(5): e0011286. DOI: 10.1371/journal.pntd.0011286.
- Liu WC, Wang RN, Li Y, et al. The indirect impacts of nonpharmacological COVID-19 control measures on other infectious diseases in Yinchuan, Northwest China: a time series study[J]. BMC Public Health, 2023, 23(1): 1089. DOI: 10.1186/s12889-023-15878-3.
- 张皓丹, 归国平, 郭锋, 等. 基于干预分析模型的 COVID-19 疫情对手足口病的影响[J]. 中华疾病控制杂志, 2023, 27(3): 339-344. [Zhang HD, Gui GP, Guo F, et al. Study on the influence of COVID-19 epidemic to hand, food and mouth disease based on intervention analysis model[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2023, 27(3): 339-344.] DOI: 10.16462/j.cnki.zhjbkz.2023.03.017.
- 国家卫生健康委员会. 手足口病诊疗指南(2018 年版)[EB/OL]. (2018-05-15) [2025-03-20]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5435156.htm.
- Banerjee S, Carlin BP, Gelfand AE. Hierarchical modeling and analysis for spatial data[M]. New York: Chapman and Hall/CRC, 2014: 25-30.
- Liu LL, Wang L, Qi C, et al. Epidemiological characteristics and spatiotemporal analysis of hand-foot-mouth diseases from 2010 to 2019 in Zibo city, Shandong, China[J]. BMC Public Health, 2021, 21(1): 1640. DOI: 10.1186/s12889-021-11665-0.
- Huang Y, Deng T, Yu SC, et al. Effect of meteorological variables on the incidence of hand, foot, and mouth disease in children: a time-series analysis in Guangzhou, China[J]. BMC Infect Dis, 2013, 13: 134. DOI: 10.1186/1471-2334-13-134.
- Ying ML, Wang SJ, Bai C, et al. Rural-urban differences in health outcomes, healthcare use, and expenditures among older adults under universal health insurance in China[J]. PLoS One, 2020, 15(10): e0240194. DOI: 10.1371/journal.pone.0240194.
- 陈思秋, 孙立梅, 马文军, 等. 基于贝叶斯时空模型广州市手足口病精细时空尺度下发病影响因素分析[J]. 中国公共卫生, 2020, 36(8): 1171-1176. [Chen SY, Sun LM, Ma WJ, et al. Risk factors of hand, foot, and mouth disease in Guangzhou city, 2010-2014: a Bayesian fine-scale spatio-temporal modeling analysis[J]. Chinese Journal of Public Health, 2020, 36(8): 1171-1176.] DOI: 10.11847/zgggws1121488.
- 张琳, 曹雷, 李燕, 等. 2017—2021 年中国肠道病毒 71 型灭活疫苗接种现状分析[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(4): 561-567. [Zhang L, Cao L, Li Y, et al. Analysis of the vaccination status of enterovirus type 71 inactivated vaccine in China from 2017 to 2021[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2023, 44(4): 561-567.] DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220811-00704.
- 张儒豪, 光旭, 何逸飞, 等. 2013—2022 年广东省深圳市手足口病流行特征和病原学分析[J]. 疾病监测, 2024, 39(10):

- 1263–1269. [Zhang RH, Guang X, He YF, et al. Epidemiological and etiological characteristics of hand, foot and mouth disease in Shenzhen, Guangdong, 2013–2022[J]. Disease Surveillance, 2024, 39(10): 1263–1269.] DOI: [10.3784/jbjc.202312120654](#).
- 18 韦懿芸, 孙亚敏, 鲁宁. 2010—2019 年北京市海淀区手足口病发病时空特征分析[J]. 中国健康教育, 2021, 37(11): 996–998, 1004. [Wei YY, Sun YM, Lu N. Spatial-temporal distribution of Hand-foot-mouth Disease (HFMD) in Haidian district during 2010–2019[J]. Chinese Journal of Health Education, 2021, 37(11): 996–998, 1004.] DOI: [10.16168/j.cnki.issn.1002-9982.2021.11.008](#).
- 19 Zhou HX, Yao Y, Long QJ, et al. Epidemiological characteristics and influencing factors of hand, foot and mouth disease reinfection cases in Jiulongpo District, Chongqing, China, 2009–2023[J]. Front Public Health, 2025, 13: 1543450. DOI: [10.3389/fpubh.2025.1543450](#).
- 20 Prihartono I, Guo XX, Tariq A, et al. Global school closures in response to COVID–19 pandemic: comparison of national initial estimates and actual lengths of school closures during 2019–2020 academic year[J]. Social Sciences & Humanities Open, 2024, 9: 100871. DOI: [10.1016/j.ssaho.2024.100871](#).
- 21 谢聪, 彭雨霜, 黄增辉, 等. 基于湖北省统筹传染病监测预警平台的疫情信息报告质量与效率分析[J]. 疾病监测, 2025, 40(1): 44–48. [Xie C, Peng YS, Huang ZH, et al. Analysis on quality and efficiency of epidemic information reporting based on regional infectious disease surveillance and early warning platform in Hubei[J]. Disease Surveillance, 2025, 40(1): 44–48.] DOI: [10.3784/jbjc.202411180663](#).
- 22 吴北平, 杨典, 王劲峰, 等. 利用贝叶斯时空模型分析山东省手足口病时空变化及影响因素[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(12): 1645–1652. [Wu BP, Yang D, Wang JF, et al. Space-time variability and determinants of hand, foot and mouth in Shandong province: a Bayesian spatio-temporal modeling approach[J]. Journal of Geo-Information Science, 2016, 18(12): 1645–1652.] DOI: [10.3724/SP.J.1047.2016.01645](#).
- 23 宋飏, 刘艳晓, 张瑜, 等. 中国手足口病时空分异特征及影响因素[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 574–588 [Song Y, Liu YX, Zhang Y, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of hand, foot, and mouth disease in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 574–588.] DOI: [10.11821/dlxb202203006](#).
- 24 张云婷, 马生霞, 陈畅, 等. 中国儿童青少年身体活动指南[J]. 中国循证儿科杂志, 2017, 12(6): 401–409. [Zhang YT, Ma SX, Chen C, et al. Physical activity guidelines for Chinese children and adolescents[J]. Chinese Journal of Evidence Based Pediatrics, 2017, 12(6): 401–409.] DOI: [10.3969/j.issn.1673-5501.2017.06.001](#).
- 25 邓永超, 唐喜春, 李逊, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情后儿童维生素 D 营养状况调查[J]. 中国当代儿科杂志, 2021, 23(11): 1091–1096. [Deng YC, Tang XC, Li X, et al. An investigation of vitamin D nutritional status in children after outbreak of coronavirus disease 2019[J]. Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2021, 23(11): 1091–1096.] DOI: [10.7499/j.issn.1008-8830.2106155](#).
- 26 Brockman-Schneider RA, Pickles RJ, Gern JE. Effects of vitamin D on airway epithelial cell morphology and rhinovirus replication[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e86755. DOI: [10.1371/journal.pone.0086755](#).
- 27 Li YP, Deng HL, Wang WJ, et al. Vitamin D receptor gene methylation in patients with hand, foot, and mouth disease caused by enterovirus 71[J]. Arch Virol, 2020, 165(9): 1979–1985. DOI: [10.1007/s00705-020-04701-8](#).
- 28 陶希, 张玲, 向兵, 等. 恩施州某农村留守儿童伤害综合干预效果评价[J]. 中华疾病控制杂志, 2016, 20(3): 271–274. [Tao X, Zhang L, Xiang B, et al. Effectiveness evaluation of comprehensive intervention about injury among the left-behind children in rural area of Enshi[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2016, 20(3): 271–274.] DOI: [10.16462/j.cnki.zhjbkz.2016.03.014](#).
- 29 Butler-Jones D, Wong T. Infectious disease, social determinants and the need for intersectoral action[J]. Can Commun Dis Rep, 2016, 42(Suppl 1): S118–S120. DOI: [10.14745/ccdr.v42is1a04](#).

收稿日期: 2025 年 05 月 16 日 修回日期: 2025 年 07 月 05 日
本文编辑: 沈 力 黄 笛

引用本文: 苏彦文, 吴云, 孙秋, 等. 2010—2020 年恩施州手足口病的流行特征、影响因素与防控效果[J]. 数理医药学杂志, 2026, 39(1): 24–33. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202505045](#).
Su YW, Wu Y, Sun Q, et al. Epidemiological characteristics, influencing factors, and prevention and control effects of hand, foot and mouth disease in Enshi prefecture from 2010 to 2020[J]. Journal of Mathematical Medicine, 2026, 39(1): 24–33. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202505045](#).