

# 基于Bayes时空分析探讨气象因素对手足口病的影响

王超 方立群 曹务春 张英杰 曹凯 胥芹 郭秀花

**【摘要】** 目的 探讨气象因素对我国手足口病患的影响。方法 采用层次Bayes模型[Besag, York, and Mollie' (BYM) model]对数据进行拟合,比较空间异质模型(UH)、空间相关模型(CH)和时空交互效应模型对数据的拟合效果,选取最优模型结合生态学分析手足口病的气象影响因素。结果 加入协变量的时空交互CH+UH拟合效果较优(DIC=35 507.2),降水量( $RR=1.0517$ , 95%CI: 1.0504~1.0525)、平均气压( $RR=1.0764$ , 95%CI: 1.0748~1.0779)、平均温度( $RR=1.0896$ , 95%CI: 1.0781~1.1069)、平均相对湿度( $RR=1.0890$ , 95%CI: 1.0821~1.0912)和日照时数( $RR=1.0851$ , 95%CI: 1.0798~1.0875)是手足口病的危险因素。结论 手足口病的发生具有时空聚集的特点,气象因素与手足口病的发生关系密切。

**【关键词】** 手足口病; Bayes时空分析; 气象因素

**Analysis on impact of meteorological factors on incidence of hand, foot and mouth disease based on Bayes spatial-temporal theory** Wang Chao<sup>1</sup>, Fang Liqun<sup>2</sup>, Cao Wuchun<sup>2</sup>, Zhang Yingjie<sup>3</sup>, Cao Kai<sup>1</sup>, Xu Qin<sup>1</sup>, Guo Xiuhua<sup>1</sup>. 1 School of Public Health, Capital Medical University, Beijing Municipal Key Laboratory of Clinical Epidemiology, Beijing 100069, China; 2 Institute of Microbiology and Epidemiology, Academy of Military Medical Sciences; 3 National Center for Public Health Surveillance and Information Services, Chinese Center for Disease Control and Prevention  
Corresponding author: Guo Xiuhua, Email: guoxiuh@ccmu.edu.cn

This work was supported by grants from the National Science and Technology Major Project of China (No. 2012ZX10005009-003) and National Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2011CB505404).

**【Abstract】 Objective** To understand the impact of meteorological factors on the incidence of hand, foot and mouth disease (HFMD) and the epidemiological characteristics of HFMD in China. **Methods** Bayesian hierarchical model[Besag, York, and Mollie' (BYM) model] was used to fit the data. The fitting effects of uncorrelated heterogeneity (UH) model, correlated heterogeneity (CH) model and spatial and temporal interaction model were compared and the best model was selected to analyze the meteorological factors influencing the incidence of HFMD. **Results** The UH+CH model with spatial and temporal interaction had best fitting effect (DIC=35 507.2). Rainfall ( $RR=1.0517$ , 95% CI: 1.0504~1.0525), average temperature ( $RR=1.0896$ , 95% CI: 1.0781~1.1069), average relative humidity ( $RR=1.0890$ , 95% CI: 1.0821~1.0912), average air pressure ( $RR=1.0764$ , 95% CI: 1.0748~1.0779) and hours of sunshine ( $RR=1.0851$ , 95% CI: 1.0798~1.0875) were the meteorological factors influencing the incidence of HFMD. **Conclusion** The incidence of HFMD had spatial and temporal clustering characteristics. The meteorological factors were closely related with the incidence of HFMD.

**【Key words】** Hand, foot and mouth disease; Bayes spatial-temporal analysis; Meteorological factor

手足口病是肠道病毒引起的常见传染病之

一<sup>[1-3]</sup>。自从手足口病纳入法定传染病进行管理,至2012年底,全国累计报告发病数已超过720万例<sup>[1]</sup>。国内对手足口病的研究一般集中在不同地区的局部暴发、流行病学三间分布的描述和评估<sup>[4-5]</sup>。近年来,手足口病时间、空间聚集分布相关研究成为新热点<sup>[6-11]</sup>。目前已有研究发现影响手足口病的气象因素并不一致,例如,新加坡和中国香港地区的研究表

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.05.014

基金项目:国家科技重大专项(2012ZX10005009-003);国家重点基础研究发展计划(973计划)(2011CB505404)

作者单位:100069 北京,首都医科大学公共卫生学院北京市临床流行病学重点实验室(王超、曹凯、胥芹、郭秀花);军事医学科学院微生物学和流行病学研究所(方立群、曹务春);中国疾病预防控制中心公共卫生监测与信息中心(张英杰)

通信作者:郭秀花, Email: guoxiuh@ccmu.edu.cn

明,气温升高与手足口病发病率升高呈正相关关系<sup>[12-13]</sup>,而在日本的另一项研究中发现,一周中平均气温>25℃的天数与手足口病的发病率呈负相关<sup>[14]</sup>。此外,中国香港地区的一个研究显示,风速是手足口病的危险因素<sup>[13]</sup>,但其他研究并不支持这个结果。本研究旨在采用Bayes统计学方法分析气象环境因素对我国手足口病的影响。

## 资料与方法

1. 资料来源:2008—2010年手足口病疫情数据病例信息来自中国疾病预防控制中心网站,包含全国各地从2008年1月至2010年12月登记的所有手足口病数据(包括发病人数、发病率等)。经过整理最终纳入340个地区的3 396 797份手足口病数据。

全国地区数字区划地图来自于北京超图软件有限公司,格式为.shp文件,地图文件中把全国分为347个地区。在进行空间分析时,因为地图中的香港、澳门、台湾、东沙群岛、伊犁地区、石河子市等地区没有相应的发病数据,因此在制图分析时,未纳入这些地区;重庆市的发病数据有市辖区和郊区县两部分,而地图中还包括郊区市,在制图分析时将郊区县和郊区市合并为郊区县进行分析。

气象环境数据来自中国气象科学数据共享服务网(China Meteorological Data Sharing Service System),数据包括全国674个气象监测站各月份气象监测指标。气象资料筛选过程:以各监测站经纬度标注到数字区划地图中,将与各地区区域中心距离最近的气象站监测数据作为相应地区的气象数据,整理后共有304个气象监测点数据纳入研究。在初期分析数据时发现变量指标过多、时间分段数较大时,模型拟合过程缓慢且出现不能拟合的情况,因此在数据分析时,将时间分为12段,选取降水量(mm)、平均监测站气压(hPa)、平均风速(m/s)、平均气温(℃)、平均相对湿度(%)、日降水量≥0.1 mm天数(d)和日照时数(h)7个气象环境指标。

### 2. 统计学分析:

(1) Bayes时空模型<sup>[15]</sup>: Bayes时空模型的基本思想是基于Bayes理论,即结合样本信息与先验分布对后验分布参数做出估计。Poisson模型是小区域数据最常用的模型,适用于疾病发生数较小和人口基数较大的小区域。通常 $y_i$ 表示疾病发生例数,服从期望为 $\mu_i$ 的Poisson分布,其似然函数为:

$$L(y | \mu) = \prod_{i=1}^m \mu_i^{y_i} \exp(-\mu_i) / y_i!$$

均值函数由两部分组成:①背景人口效应;②每个区域的超额危险度,也常称作相对危险度( $\theta$ )。第一部分通常是由标准化的人口疾病发生率和局部期望发生率的比较估计得到的。因此,假设数据满足独立分布,则: $E(y_i) = \mu_i = e_i \theta_i$ ,其中 $e_i$ 是第 $i$ 个区域的期望发病人数, $\theta_i$ 是第 $i$ 个区域的 $\theta$ ,即为研究所关心的指标,同时考虑时间维度与疾病发生的关系。在本课题组前期研究中发现,加入时空交互作用的不相关空间异质效应与相关空间异质效应模型对数据的拟合最好,由此建立如下模型:

$$\theta_{ij} = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 \times \text{time}1_j + u_i + v_i + g_j + \text{psi}_{ij} + d_i \times \text{time}1_j)$$

式中 $i$ 表示第 $i$ 个区县, $j$ 表示第 $j$ 年, $\alpha_0$ 是截距, $\alpha_1 \times \text{time}1_j$ 是第 $j$ 年的截距, $v_i$ 与 $u_i$ 分别表示不相关空间异质效应和相关空间异质效应。 $g_j$ 表示自回归时间效应, $\text{time}1_j$ 表示第 $j$ 年的时间效应, $\alpha_1$ 为其系数, $d_i$ 表示距离效应, $\text{psi}_{ij}$ 表示时空交互效应。

(2) 生态学分析:生态学分析用于疾病结局变量具有地理信息且疾病发生与协变量或预测因素有关的数据分析,协变量可以在空间聚集的不同水平上获得。本研究将加入时空交互效应的CH(空间异质模型)+UH(空间相关模型)代入降水量(mm)、平均监测站气压(hPa)、平均风速(m/s)、平均气温(℃)、平均相对湿度(%)、日降水量≥0.1 mm天数(d)和日照时数(h)等协变量进行分析。模型估计的协变量 $\theta > 1$ ,且95%CI不包含1时,提示对应协变量是手足口病发生的危险因素。WinBUGS1.4.3用于模型的建立与求解,ArcGIS10.1用于制图。

## 结果

1. 模型拟合: WinBUGS软件通过Gibbs抽样进行模型拟合,舍去前5 000次结果不稳定的部分后继续抽样,待各参数估计值趋于稳定时,迭代过程基本收敛,此时记录模型拟合指标DIC值。当模型收敛时,模型的抽样动态轨迹图(dynamic trace plot)特点:自相关图显示为与变量本身相关( $r=1$ ),核密度图为正态曲线的对数钟状,迭代轨迹图显示为在某一数值上下波动。

加入时空交互效应的CH+UH收敛时,模型的DIC值为35 672.2,加入协变量之后模型的DIC值为35 507.2(降低65.0),提示加入的协变量与手足口病发生有关。

2.  $\theta$ 与报告发病率比较: Bayes时空模型的最优结果是CH+UH,对该模型所计算出的手足口病 $\theta$ 与

报告发病率进行比较,点的大小代表报告发病率的高低,点越大,报告发病率越高;图层颜色代表患病危险度的大小,图层颜色越深,患病危险度越大;图层颜色越浅,其危险度越小。一年内报告发病率最高的时间是 4—6 月,其次是 7—9 月,最低的是 1—3 月。手足口病的发生呈逐年加重的趋势。报告发病率高的地方,其患病危险度不一定也高;手足口报告发病率高的地区大多分布在我国东部、南部人口密集、经济条件较好的地区,而患病危险度高的地区大多在云南、贵州、四川、陕西等地,见图 1。

3. 环境因素对手足口病患的影响:最优模型中纳入降水量、平均监测站气压、平均风速、平均气温、平均相对湿度、日降水量  $\geq 0.1$  mm 天数和日照时数 7 个协变量分析气象环境因素对手足口病发病的影响。结果显示,降水量、平均气压、平均温度、平均相对湿度和日照时数的  $\theta > 1$ ,且 95%CI 不包含 1,提示这些因素是手足口病患的危险因素;平均风速和日降水量  $\geq 0.1$  mm 天数不是手足口病患的危险因素,见表 1。

表 1 环境因素对手足口病患危险度的影响

变 量	$\bar{x}$	s	RR 值 ( $\theta$ )	95%CI	
				下限	上限
截距	-195	0.826 7	-	-	-
降水量(mm)	0.050 4	0.000 7	1.051 7	1.050 4	1.052 5
平均气压(hPa)	0.073 6	0.000 9	1.076 4	1.074 8	1.077 9
平均风速(m/s)	-0.442 1	0.295 1	0.642 7	0.402 0	1.032 8
平均温度(°C)	0.085 8	0.009 5	1.089 6	1.078 1	1.106 9
平均相对湿度(%)	0.085 3	0.002 2	1.089 0	1.082 1	1.091 2
日降水量 $\geq 0.1$ mm 天数(d)	-0.049 7	0.020 7	0.951 5	0.930 4	1.006 4
日照时数(h)	0.081 7	0.001 9	1.085 1	1.079 8	1.087 5

### 讨 论

本研究建立了层次 Bayes 模型探讨了我国手足口病的时空分布特征。结果显示,全国手足口病的发生存在空间相关性,且受到时间空间交互作用的影响。

在考虑空间异质效应和空间相关效应后,通过生态学分析发现,气象因素中的降水量、平均气压、平均温度、平均相对湿度和日照时数是手足口病患病的危险因素。已有研究显示,降水量增大、平均气压增高、平均温度升高、平均相对湿度增大和日照时数增多均会使手足口病患病的危险性增大<sup>[12-13, 16-18]</sup>。原因可能是夏季温度高、降水大、湿度大,有利于

病毒的传播与生存,不注意卫生很容易发生肠道传染病。气压是手足口病的危险因素,与朱琦和郝元涛<sup>[19]</sup>的研究结果相同,原因可能是海拔越高气压越低,我国手足口病报告发病率较高的东、南部沿海地区处于气压较高地区,同时也是经济较发达、人口稠密的地区,手足口病发病与气压的关系可能受到上述因素的干扰和影响。日照时间长利于手足口病的发生,与郭淑珍等<sup>[20]</sup>和王学岗等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

由于手足口病为肠道病毒而非呼吸道病毒引起,空气传播不是其主要传播途径。本研究结果显示,平均风速不是手足口病发生的危险因素,与已有研究结果一致<sup>[14, 21-22]</sup>。

需要指出的是,本研究的数据是 2008—2010 年各月份的手足口病报告病例数据,手足口病于 2008 年 5 月 2 日正式纳为法定丙类传染病管理,可能存在病例漏报现象,从而产生信息偏倚。由于手足口病的发生具有明显季节性,1—4 月的发病例数相对较少,因此本研究未排除 2008 年前 4 个月的数据。

### 参 考 文 献

- [1] Xing W, Liao QH, Viboud C, et al. Hand, foot, and mouth disease in China, 2008–12; an epidemiological study [J]. Lancet Infect Dis, 2014, 14(4):308–318.
- [2] Nong GM, Liu YM. Clinical manifestation and diagnosis of hand-foot-mouth disease in children [J]. J Appl Clin Pediatr, 2009, 24(22):1706–1708. (in Chinese)  
农光民, 刘艳明. 儿童手足口病的临床表现及诊断 [J]. 实用儿科临床杂志, 2009, 24(22):1706–1708.
- [3] Xiao XC, Chen C, Ding P, et al. Retrospective study on onychomadesis linked to hand, foot and mouth disease [J]. Chin J Child Health Care, 2013, 21(2):201–204. (in Chinese)  
肖新才, 陈纯, 丁鹏, 等. 手足口病导致脱甲症的回顾性调查分析 [J]. 中国儿童保健杂志, 2013, 21(2):201–204.
- [4] Lyu HK, Zhang YJ, Miao ZP, et al. Epidemiological and pathogenic characteristics of hand, foot, and mouth disease in Zhejiang province, 2008–2009 [J]. Chin J Public Health, 2012, 28(1):105–107. (in Chinese)  
吕华坤, 张严峻, 缪梓萍, 等. 浙江省 2008—2009 年手足口病疫情及病原学分析 [J]. 中国公共卫生, 2012, 28(1):105–107.
- [5] Sun LM, Deng AP, Kang M, et al. Epidemiological characteristics of hand-foot-mouth disease in Guangdong, 2009–2010 [J]. South China J Prev Med, 2011, 37(4):9–13. (in Chinese)  
孙立梅, 邓爱萍, 康敏, 等. 2009—2010 年广东省手足口病流行特征分析 [J]. 华南预防医学杂志, 2011, 37(4):9–13.
- [6] Deng T, Huang Y, Yu S, et al. Spatial-temporal clusters and risk

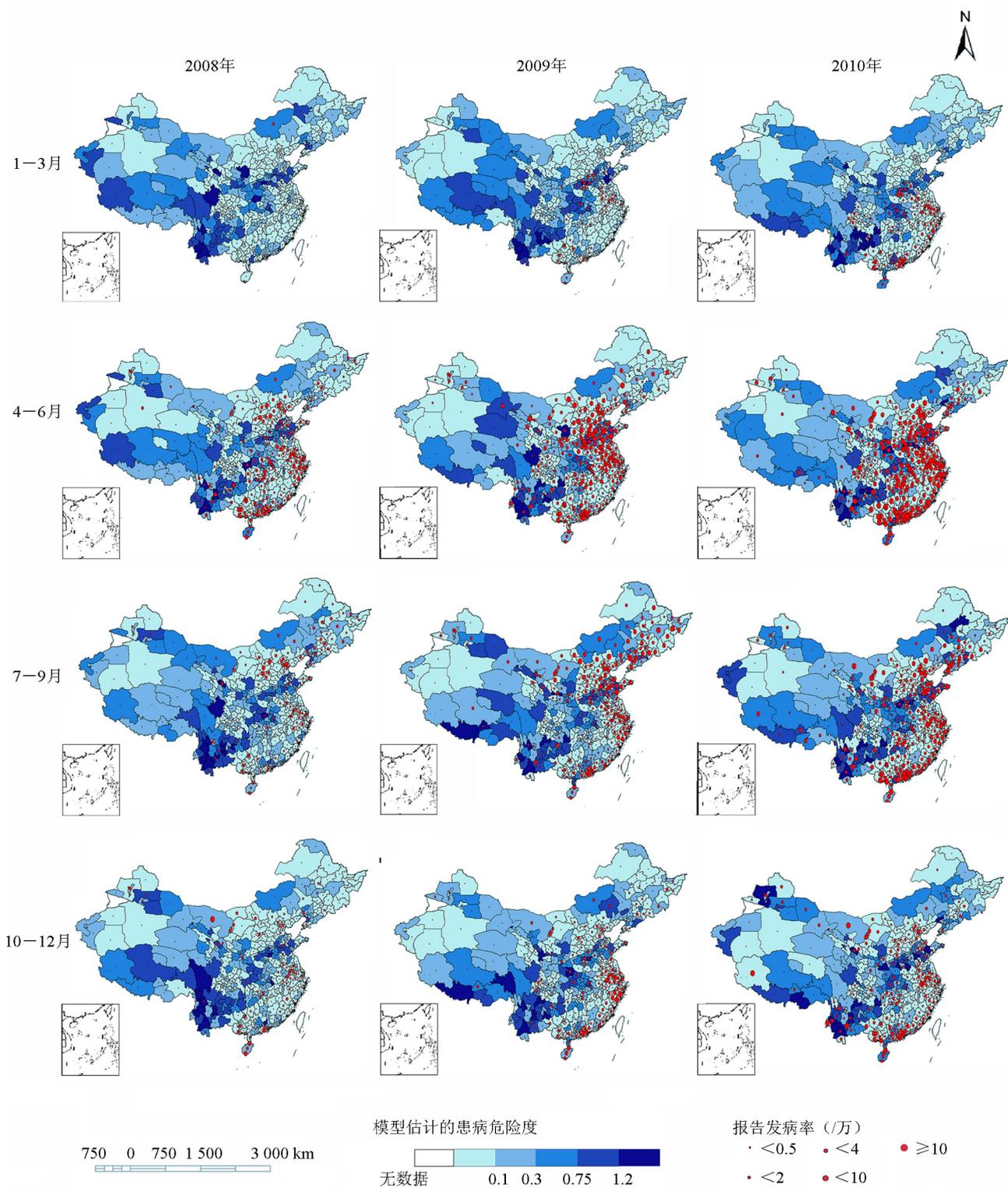


图1 2008—2010年全国各地区手足口病报告发病率与患病危险度的叠加

- factors of hand, foot, and mouth disease at the district level in Guangdong province, China[J]. PLoS One, 2013, 8(2): e56943.
- [7] Liu Y, Wang X, Liu Y, et al. Detecting spatial-temporal clusters of HFMD from 2007 to 2011 in Shandong province, China[J]. PLoS One, 2013, 8(5): e63447.
- [8] Wang J, Cao Z, Zeng DD, et al. Epidemiological analysis, detection, and comparison of space-time patterns of Beijing hand-foot-mouth disease (2008–2012)[J]. PLoS One, 2014, 9(3): e92745.
- [9] Liu WD, Wu Y, Liang Q, et al. Epidemiological characteristics and temporal-spatial clustering analysis on hand-foot-mouth disease in Jiangsu province, 2009–2011 [J]. Chin J Epidemiol, 2012, 33(8): 813–817. (in Chinese)  
刘文东, 吴莹, 梁祁, 等. 江苏省2009—2011年手足口病流行特征及时空聚集性分析[J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33(8): 813–817.
- [10] Xie YH, Tang ZZ, Tan Y. Spatio-temporal clustering of hand, foot, and mouth disease at the county level in Guangxi, China[J]. PLoS One, 2014, 9(2): e88065.
- [11] Xiao GX, Hu YH, Ma JQ, et al. Spatial clustering and changing trend of hand-foot-mouth disease during 2008–2011 in China[J]. Chin J Epidemiol, 2012, 33(8): 808–812. (in Chinese)  
肖革新, 胡跃华, 马家奇, 等. 中国2008—2011年手足口病空间聚集性及变化趋势研究[J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33(8): 808–812.
- [12] Hii YL, Rocklöv J, Ng N. Short term effects of weather on hand, foot and mouth disease[J]. PLoS One, 2011, 6(2): e16796.
- [13] Ma E, Lam T, Wong C, et al. Is hand, foot and mouth disease associated with meteorological parameters? [J]. Epidemiol Infect, 2010, 138(12): 1779–1788.
- [14] Urashima M, Shindo N, Okabe N. Seasonal models of herpangina and hand-foot-mouth disease to simulate annual fluctuations in urban warming in Tokyo [J]. Jpn J Infect Dis, 2003, 56(2): 48–53.
- [15] Lawson AB. Bayesian disease mapping: hierarchical modeling in spatial epidemiology[M]. CRC Press, 2013.
- [16] Xu YL, Li D. Relationship between climatic factors and HFMD in Zhangdian district of Zibo [J]. J Trop Med, 2010, 10(10): 1237–1239. (in Chinese)  
许一玲, 李栋. 淄博市张店区手足口病流行与气象因素的关系研究[J]. 热带医学杂志, 2010, 10(10): 1237–1239.
- [17] Zhang DB, Pan QJ, Huo JC, et al. Analysis on the response of meteorological factors and hand foot and mouth disease [C]. Xiamen: The twenty-eighth China meteorological society annual meeting, 2011: 115. (in Chinese)  
张德汴, 潘庆杰, 霍继超, 等. 气象因子与手足口病响应分析[C]. 厦门: 第二十八届中国气象学会年会, 2011: 115.
- [18] Kang M, Ma WJ, Lin JY, et al. Short-term effects of weather on the incidence of hand, foot and mouth disease in Guangzhou city [J]. Chin J Epidemiol, 2012, 33(2): 244–245. (in Chinese)  
康敏, 马文军, 林锦炎, 等. 广州市气象因素对手足口病发病的短期效应研究[J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33(2): 244–245.
- [19] Zhu Q, Hao YT. Analysis on temporal aggregation studies and climate factors of hand foot and mouth disease in China, 2008–2010 [C]. Xi'an: Chinese health statistics annual meeting, 2011: 27. (in Chinese)  
朱琦, 郝元涛. 2008—2010年中国大陆手足口病时空聚集性研究及气候影响因素分析[C]. 西安: 中国卫生统计学学会会议, 2011: 27.
- [20] Guo SZ, Tang DZ, Feng Q, et al. Effects of meteorological variables on the incidence of hand foot and mouth disease in Harbin [J]. Chin J Public Health Manag, 2013, 29(2): 215–216. (in Chinese)  
郭淑珍, 唐道洲, 冯茜, 等. 哈尔滨市气象因素对手足口病发病的影响[J]. 中国公共卫生管理, 2013, 29(2): 215–216.
- [21] Wang XG, Lyu B, Zhang SY, et al. Analysis on relationship between climatic factors and HFMD, Liaocheng city [J]. Prev Med Trib, 2012, 18(9): 657–658. (in Chinese)  
王学岗, 吕博, 张世英, 等. 2009—2011年聊城市手足口病发病率与气象因素的关系分析[J]. 预防医学论坛, 2012, 18(9): 657–658.
- [22] Liu L, Han JT, Pang ZZ, et al. Relationship between meteorological factors and hand-foot-mouth disease in Shijiazhuang [J]. Chin Gener Pract, 2013, 16(3): 326–328. (in Chinese)  
刘立, 韩江涛, 庞志钊, 等. 石家庄市气象因素与手足口病流行的关系研究[J]. 中国全科医学, 2013, 16(3): 326–328.

(收稿日期: 2014-10-07)

(本文编辑: 万玉立)