

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2018.25.009

文章编号: 1005-8982 (2018) 25-0041-06

某市暴雨洪涝对细菌性痢疾发病影响的 时间序列分析*

李晓梅¹, 薛晓嘉¹, 丁国永¹, 李栋¹, 侯海峰¹, 刘起勇², 姜宝法³

(1. 泰山医学院公共卫生学院, 山东 泰安 271026; 2. 中国疾病预防控制中心传染病
预防控制所, 北京 102206; 3. 山东大学公共卫生学院, 山东 济南 250012)

摘要: 目的 定量评价广西省柳州市暴雨洪涝对细菌性痢疾发病的健康效应。**方法** 运用时间序列分析, 控制长期趋势、季节趋势、滞后效应和气象因素等混杂因素的基础上, 采用季节性自回归移动平均模型(SARIMA)定量分析洪水历时与居民细菌性痢疾发病的关系。**结果** 研究发现发生洪水月份的细菌性痢疾发病率高于对照月份。SARIMA 回归分析显示月洪水历时与细菌性痢疾月罹患率呈负相关, 月洪水历时天数每增加 1 d, 其细菌性痢疾罹患率下降 7.7% ~ 8.0%。**结论** 暴雨洪涝对细菌性痢疾的发病产生明显影响, 特别是历时短的严重洪水相比历时长的一般洪水造成细菌性痢疾发病风险更高。

关键词: 暴雨洪涝; 细菌性痢疾; 时间序列; 季节性自回归移动平均模型

中图分类号: R516.4

文献标识码: A

Effect of floods on morbidity of bacillary dysentery in Liuzhou, China: time series analysis*

Xiao-mei Li¹, Xiao-jia Xue¹, Guo-yong Ding¹, Dong Li¹, Hai-feng Hou¹, Qi-yong Liu², Bao-fa Jiang³
(1. School of Public Health, Taishan Medical University, Taian, Shandong 271026, China; 2. National
Institute for Communicable Disease Control and Prevention, China Center for Disease Control and
Prevention, Beijing 102206, China; 3. School of Public Health, Shandong University,
Jinan, Shandong 250012, China)

Abstract: Objective To establish an appropriate quantitative model to evaluate the relationship between bacillary dysentery and floods in Liuzhou, China. **Methods** On the basis of time series analysis to control long-term trends, seasonal trends, lagged effect and meteorological factors, the seasonal autoregressive moving average (SARIMA) model was conducted to examine the relationship between bacillary dysentery and monthly flood days. **Results** This study showed that the morbidity of bacillary dysentery in the flood period was different to those in the control period. Multivariable SARIMA models showed that monthly flood days were negatively correlated to the monthly attack rate of bacillary dysentery. **Conclusions** The findings suggest that floods could have affected the transmission of bacillary dysentery. In addition, severe floods with a shorter duration may cause a higher risk of bacillary dysentery than the prolonged moderate floods.

Keywords: floods; bacillary dysentery; time series analysis; SARIMA model

收稿日期: 2018-03-06

* 基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目 (No: 2016WS0605, 2016WS0602); 山东省自然科学基金 (No: ZR2015HL100, ZR2014JL051); 泰安市科技发展计划 (No: 2016NS1206, 2015NS2136); 泰山医学院高层次课题 (No: 2015GCC16, 2016GCC05)

[通信作者] 丁国永, E-mail: dgy153@126.com; Tel: 0538-6222081

目前气候变暖、极端天气事件频率增加等全球气候变化已经成为不可争辩的事实,并且还将继续发展下去。暴雨洪涝灾害是发生最频繁的自然灾害,2001~2010年洪水和其他水文事件占全部灾害的50%以上^[1]。广西位于我国华南地区,属亚热带季风气候区,雨水丰沛,是暴雨洪涝的多发区和重灾区。

暴雨洪涝对健康的影响是复杂而深远的,其中包括增加细菌性痢疾的发病率和死亡率。据估计全球每年大约有110万人死亡于感染细菌性痢疾^[2]。细菌性痢疾也是我国面临的一个重要公共卫生问题,法定传染病数据库显示2012年约有21万新发细菌性痢疾病例,是第7大高发传染病。有关暴雨洪涝对细菌性痢疾的影响虽有报道,但暴雨洪涝对细菌性痢疾的发病风险仍不够清晰。国内关于暴雨洪涝与细菌性痢疾的研究较少,涉及广西省柳州市的研究尚未见报道。本研究通过监测资料,利用时间序列分析定量评价暴雨洪涝对细菌性痢疾发病的影响,有助于更好地了解暴雨洪涝与健康的关系,并协助制订相应战略,以减轻暴雨洪涝引起相关传染病疾病负担。

1 资料与方法

1.1 资料来源

细菌性痢疾发病数据来源于中国疾病预防控制中心的法定报告传染病数据库,细菌性痢疾数据时间范围为2004~2010年。人口学数据来自中国疾病预防控制中心公共卫生科学数据中心。同时期气象灾害数据查阅于《中国气象灾害年鉴》《中国水利年鉴》《全国气候影响评价》《广西年鉴》。气象资料由中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)提供。

1.2 数据预处理

漏报是影响传染病报告质量的关键,本研究依据研究区域漏报调查报告进行了数据校正。由2位评价者利用事先设计好的标准从年鉴和气象数据网提取暴雨洪涝数据,如存在分歧征求第三方意见。经多次逻辑查错和频数分布查错,对可疑数据重新核对原始年鉴和气象数据网,尽量降低数据提取错误。

1.3 研究设计和统计学方法

首先绘制柳州市居民细菌性痢疾月罹患率的时序图。采用Spearman相关分析对细菌性痢疾与洪水历时及气象因素进行相关性分析,考虑到细菌性痢疾病原体生长周期、传播过程及发病的潜伏期等因素,滞后2个月的相关性分析。

利用季节性自回归移动平均模型(seasonal autoregressive moving average, SARIMA)定量分析月洪水历时天数与居民细菌性痢疾发病的关系。ARIMA模型能够依据平稳序列预测结果变量,而当变量存在明显的季节性时,SARIMA模型更为合适,因为该模型能很好地控制长期趋势和季节效应^[3]。在实际中,序列的季节效应、长期趋势效应和随机波动之间有着复杂的交互影响关系,故需要采用乘积季节模型。其模型表达式如下:

$$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1(B^s) - \Phi_2(B^{2s}) - \dots - \Phi_p(B^{ps})$$

$$\Theta_q(B^s) = 1 + \Theta_1(B^s) + \Theta_2(B^{2s}) + \dots + \Theta_q(B^{qs})$$

SARIMA模型在流行病学研究中得到广泛应用^[2,4-5]。

本研究中,在控制季节性和自相关性基础上,以细菌性痢疾月罹患率作为应变量,月洪水历时天数和其他月气象变量作为自变量模拟SARIMA模型。由于月最低气温和月最高气温存在较高的相关性,所以分别针对月最低气温和月最高气温建立2个SARIMA模型:模型1中的变量包含了月最低气温,而模型2中的变量包含月最高气温。

首先采用自相关图对序列的平稳性进行初步判断,然后利用单位根检验(augmented dickey-fuller, ADF)对应变量和自变量进行平稳性检验。如经单位根检验序列为非平稳序列,则对该序列进行差分,直到其为平稳序列为止。为验证平稳序列是否值得继续分析,采用LB统计量对平稳序列进行纯随机性检验。然后对SARIMA模型进行定阶。根据应变量自相关函数和偏自相关函数图估计自回归阶数p和移动平均阶数q,以及季节性自回归P和移动平均阶数Q。利用非线性最小二乘法估计模型参数,模型的诊断包括拟合优度检验和残差图。最后利用SARIMA模型拟合,通过模型拟合值及其95%可信区间绘制细菌性痢疾实际监测罹患率和拟合值的效果图。

2 结果

2.1 细菌性痢疾的发病状况

研究期间细菌性痢疾月罹患率呈下降趋势,并具有明显的季节性,研究期间发病最高峰出现在2004年8月份(10.22/10万)。2004~2010年不同季节的细菌性痢疾在洪水月份和对照月份的分布状况见表1。发病高峰的夏季,洪水月份的细菌性痢疾月罹患率为4.01/10万,而对照月份为3.04/10万;发病高峰的秋季,洪水月份的细菌性痢疾月罹患率为4.28/10万,而

对照月份为 4.09/10 万。

2.2 Spearman 相关分析

月洪水历时天数和气象变量与细菌性痢疾的相关系数结果见表 2。柳州市的月洪水历时天数、月平均最低气温和月平均最高气温在滞后 0 个月时与细菌性痢疾月罹患率相关, 且相关系数在滞后 0 个月内最大 ($r = -0.324 \sim 0.602, P < 0.05$); 而月平均气压在滞后 1 个月时与细菌性痢疾月罹患率呈负相关 ($r = -0.556, P = 0.000$)。其他气候变量如月极端降水天数、月降水量、月平均湿度则在滞后 2 个月时与细菌性痢疾月罹患率呈正相关 ($r = 0.348, 0.517$ 和 $0.420, P = 0.001, 0.000$ 和 0.000)。

表 1 2004~2010 年不同季节的月细菌性痢疾发病在洪水月份和对照月份分布状况

季节	洪涝	月份 / 月	累积发病例数	月罹患率 (/10 万)
春季	是	2	113	1.47
	否	19	1 305	1.42
夏季	是	7	1 041	4.01
	否	14	1 592	3.04
秋季	是	12	1 923	4.28
	否	9	1 387	4.09
冬季	是	4	271	1.78
	否	17	1 152	1.72

表 2 柳州市 2004~2010 年细菌性痢疾月罹患率与气象因子的相关性分析

气象变量	滞后 / 月	r 值	P 值	气象变量	滞后 / 月	r 值	P 值
月洪水历时	0	-0.324	0.003	月平均最高气温	0	0.602	0.000
	1	-0.239	0.028		1	0.557	0.000
	2	0.123	0.264		2	0.361	0.001
月降水量	0	0.262	0.016	月平均湿度	0	-0.047	0.672
	1	0.429	0.000		1	0.201	0.067
	2	0.517	0.000		2	0.420	0.000
月平均最低气温	0	0.556	0.000	月平均气压	0	-0.475	0.000
	1	0.530	0.000		1	-0.556	0.000
	2	0.367	0.001		2	-0.504	0.000

2.3 平稳性检验和纯随机性检验

序列的自相关系数递减到零的速度较快, 具有短期自相关性 (见图 1)。进一步用 ADF 检验进行验证, 在延迟 6 阶内, ADF 在 0.01、0.05 和 0.10 检验水准上均拒绝零假设 (序列有单位根), 因此可以认为细菌性痢疾月罹患率序列为平稳性序列 (见图 2)。细菌性痢疾月罹患率序列的残差经检验发现 (Ljung-Box $Q = 228.463, P = 0.000$), 可认为该序列是非白噪声序列, 具有分析价值。

2.4 SARIMA 回归分析

在单因素 SARIMA 回归模型中, 只有月洪水历时天数、降水量和气温与细菌性痢疾月罹患率比较差压有统计学意义, 而月平均气压、月平均湿度被剔除。2 个 SARIMA 模型参数估计结果 (见表 3)。SARIMA 模型 1 参数估计显示月洪水历时与细菌性痢疾罹患率呈负相关, 月洪水历时天数每增加 1 d, 其细菌性痢

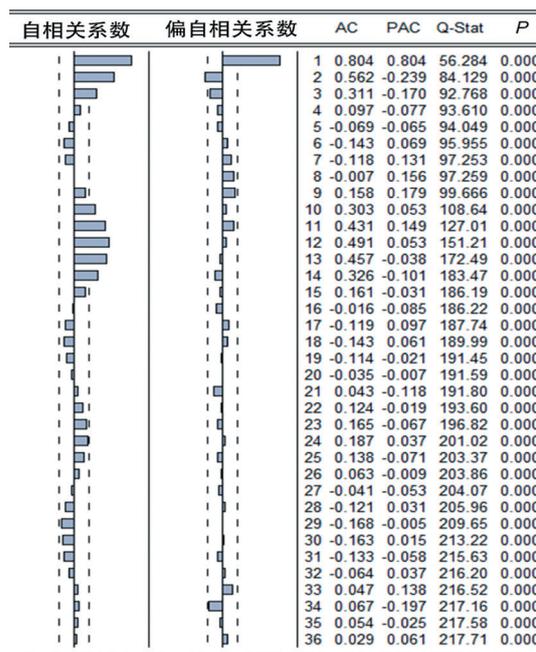


图 1 细菌性痢疾罹患率的自相关和偏自相关函数

无效假设：发病率有单位根
外生变量：常数，线性趋势
滞后阶数长度：6（基于AIC，最大滞后阶数=12）

	t-Statistic	P *
单位根检验	-6.360652	0.0000
检验临界值:		
1% 水平	-4.081666	
5% 水平	-3.469235	
10% 水平	-3.161518	

*MacKinnon (1996) 单侧 P 值

图 2 细菌性痢疾月罹患率单位根检验结果

罹患率下降 7.7%；而月平均最低气温与细菌性痢疾月罹患率呈正相关，月平均最低气温每增加 1℃，细菌性痢疾罹患率增加 11.7%。SARIMA 模型 2 结果

显示月洪水历时天数同样与细菌性痢疾罹患率呈负相关，其系数为 -0.080；而月平均最高气温与细菌性痢疾月罹患率呈正相关，月平均最高气温每增加 1℃，细菌性痢疾罹患率增加 10.2%。月降水量在 2 个 SARIMA 模型中均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

2.5 SARIMA 模型的检验

2 个 SARIMA 模型残差自相关函数和偏自相关相关函数结果见图 3，自相关诊断显示残差呈随机分布，无相关性，提示残差序列属于白噪声序列。细菌性痢疾监测的罹患率和模型拟合的罹患率有非常好的拟合优度，拟合效果见图 4、5。图中黑色实线为实际月罹

表 3 柳州市 2001~2010 年细菌性痢疾相关影响因素在 SARIMA 模型中的参数估计及显著性检验

变量	b	S_b	t 值	P 值
模型 1				
AR1	0.835	0.114	7.299	0.000
AR2	-0.084	0.117	-0.721	0.473
月洪水历时 (lag0)	-0.077	0.030	-2.599	0.011
月降水量 1 (lag2)	0.002	0.001	1.315	0.192
月平均最低气温 (lag0)	0.117	0.035	3.353	0.001
常数项	0.279	0.824	0.339	0.736
模型 2				
AR1	0.841	0.114	7.399	0.000
AR2	-0.093	0.116	-0.802	0.425
月洪水历时 (lag0)	-0.080	0.029	-2.731	0.008
月降水量 (lag2)	0.002	0.001	1.348	0.182
月平均最高气温 (lag0)	0.102	0.029	3.561	0.001
常数项	-0.220	0.899	-0.245	0.807

注：AR1，1 阶自回归，AR2，2 阶自回归；模型 1 $R^2=0.797$ ，模型 2 $R^2=0.800$

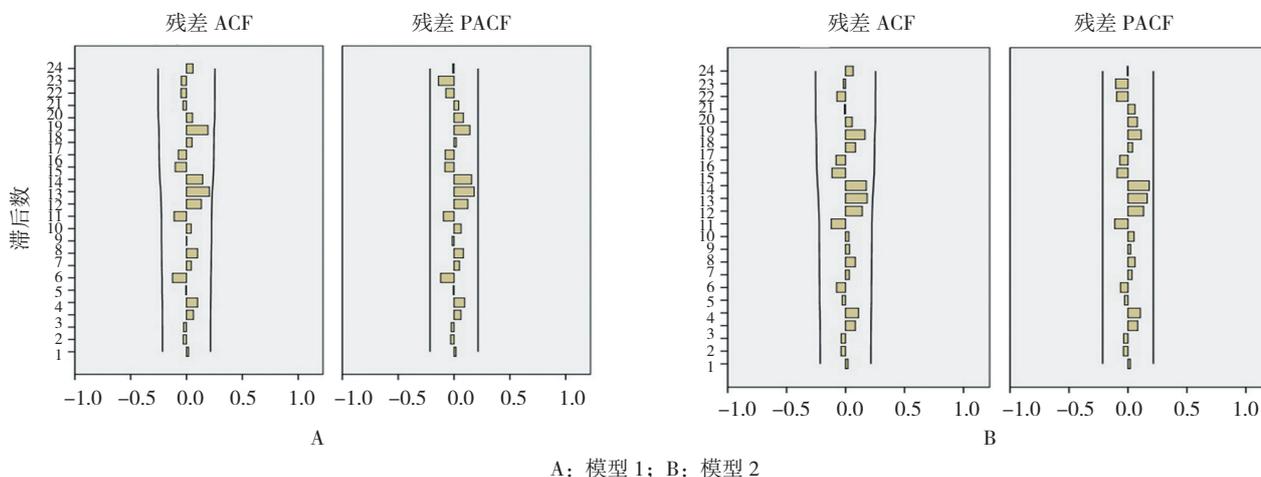


图 3 2 个 SARIMA 模型残差序列自相关函数和偏自相关相关函数结果

患率, 蓝色虚线为模型拟合值, 两侧黄色虚线为 95% 可信区间, 其拟合图表明模型拟合效果理想。

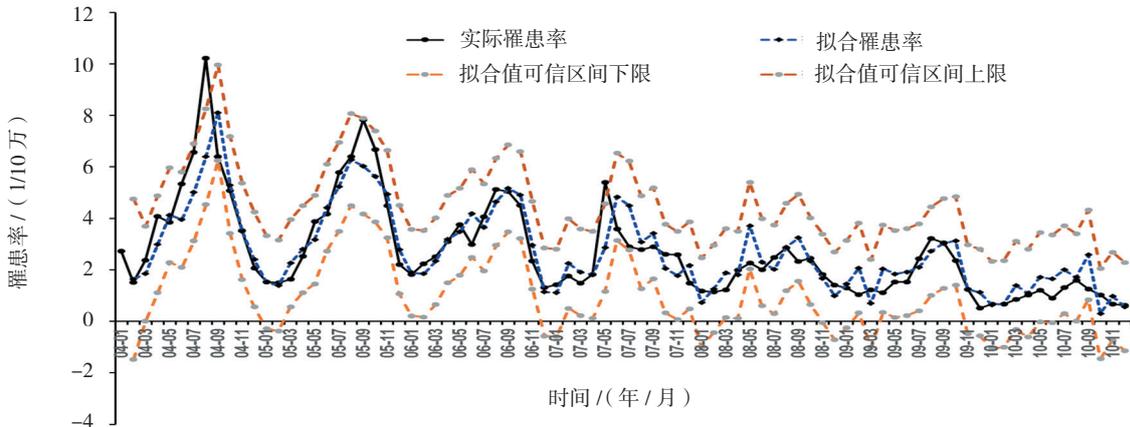


图 4 柳州市 2004 ~ 2010 年细菌性痢疾监测的月罹患率与模型 1 拟合的罹患率的拟合效果

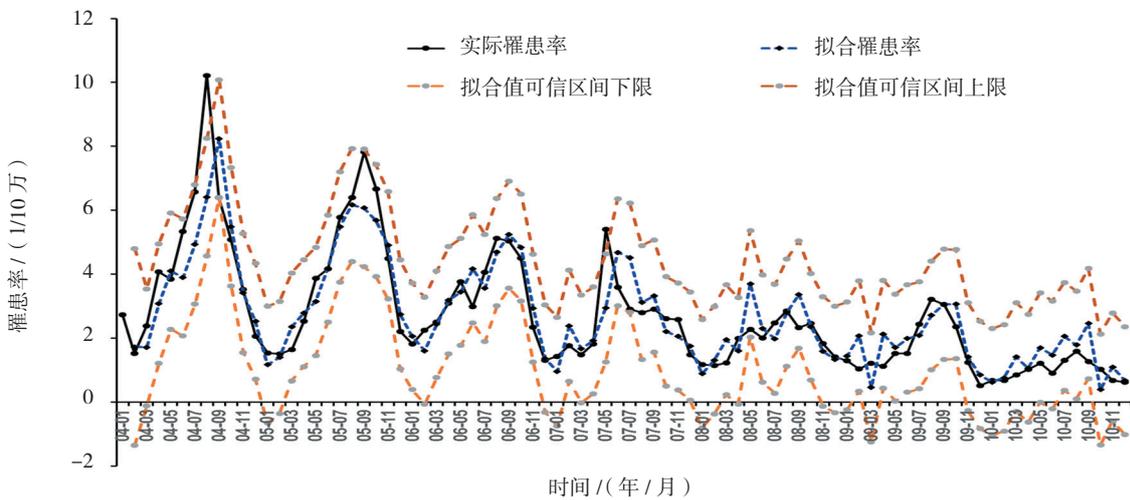


图 5 柳州市 2004 ~ 2010 年细菌性痢疾监测的月罹患率与模型 2 拟合的罹患率的拟合效果

3 讨论

本研究首次在柳州市开展暴雨洪涝与细菌性痢疾关系的流行病学研究。结果提示月洪水历时天数影响细菌性痢疾的发病风险, 历时短的严重暴雨洪涝造成细菌性痢疾发病风险反而高于历时长的一般暴雨洪涝造成的发病风险。月洪水历时天数对细菌性痢疾发病风险的结果与 NI 等^[6-7]的研究类似。

另外, 研究发现气温与细菌性痢疾的发病风险呈正相关, 其发病风险最高能增加 10.2%。气温对细菌性痢疾的发病影响与其他研究结果类似: 来自我国的研究显示最高或最低气温每升高 1℃细菌性痢疾病例数最高可多增加 10% ~ 16%^[4, 8]; 在秘鲁, 每升高 1℃就有可能使得儿童患严重腹泻风险增加 8%^[9]; 英格兰研究同样显示随着气温的增加, 弯杆菌病报告病例增

加 5%^[10]。虽然其他气象变量如平均湿度、气压、降水量在相关分析与细菌性痢疾月罹患率有着较强的相关性, 但在回归模型中未发现其与细菌性痢疾发病有着明显的关联。特别是降水量对细菌性痢疾的影响还远未搞清楚, 因为月洪水历时天数与降水量有着较强的关联, 而在模型中月洪水历时天数也显示对细菌性痢疾的发病风险起着重要作用。所以未来还需要更多的研究探讨降水量与细菌性痢疾的关系。

暴雨洪涝期间大量的降水改变痢疾杆菌的生存环境, 适当的温度和湿度有利于病原体的繁殖和传播。研究显示^[2, 5, 11-12], 极端降水过后, 饮用水和娱乐用水易被痢疾杆菌污染, 可能会导致细菌性痢疾暴发或流行。暴雨洪涝初期, 适当的环境有利于病原体的繁殖, 加上密集的降水促使环境中病原体流淌至水生环境, 增加水表面的微生物含量, 进而污染水源和食物^[3, 13]。

此外,暴雨洪涝还可能对输水系统、污水和废物处理系统以及其他卫生基础设施造成破坏,导致当地水质严重恶化,增加暴雨洪涝期间肠道病原体的传播^[4]。

从多因素模型结果显示月洪水历时天数与细菌性痢疾月罹患率呈负相关,提示短暂而严重的暴雨洪涝造成的细菌性痢疾风险要高于长时间一般暴雨洪涝。短而严重暴雨洪涝,其降水量强度大,造成的破坏力强,往往造成很多卫生基础设施的损坏,导致饮用水和食物污染的机会大^[7]。而长时间一般的暴雨洪涝,其破坏力弱,水源污染的机会少,再加灾害持久,政府卫生部门往往会加强洪涝期间卫生宣传和饮用水消毒,人们防病意识增强,导致细菌性痢疾发病风险低于短而严重的暴雨洪涝。

本研究从长时间尺度证实暴雨洪涝对细菌性痢疾的发病存在影响,特别是洪水历时对细菌性痢疾发病起着负面作用。然而,本研究存在着许多局限性。首先,虽然很多研究证实 SARIMA 模型对分析细菌性痢疾发病有较好拟合优度,且能很好地控制细菌性痢疾的自相关性^[8, 15-16],但在本研究中未纳入暴雨洪涝程度。因 SARIMA 模型对自变量要求为数值型资料,对分类变量是否适用未见报道,并且要求自变量也应为平稳序列,这就造成了暴雨洪涝程度无法纳入模型中。其次,影响细菌性痢疾其他传播的因素,例如人的行为因素、社会经济状况、卫生服务可用性、环境卫生状况等没有纳入本研究中。再次,本研究采用的是月数据,其精确度低,特别是在探讨滞后效应方面存在缺陷。显然,未来还需要更多研究从暴雨洪涝程度、历程以及其他社会因素探讨细菌性痢疾在暴雨洪涝暴露期流行的原因,这样更有利于加深对暴雨洪涝与健康关系的了解。

参 考 文 献:

- [1] GUHA-SAPIR D, VOS F, BELOW R, et al. Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Brussels: CRED[DB/OL]. [2016-01-17]: http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf.
- [2] GREENOUGH G, MCGEEHIN M, BERNARD S M, et al. The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2001, 109(Suppl 2): 191-198.
- [3] CANN K F, THOMAS D R, SALMON R L, et al. Extreme water-related weather events and waterborne disease[J]. *Epidemiology and Infection*, 2013, 141(4): 671-686.
- [4] ZHANG Y, BI P, HILLER J E, et al. Climate variations and bacillary dysentery in northern and southern cities of China[J]. *The Journal of Infection*, 2007, 55(2): 194-200.
- [5] MCMICHAEL A J, WOODRUFF R E, HALES S. Climate change and human health: present and future risks[J]. *Lancet*, 2006, 367(9513): 859-869.
- [6] NI W, DING G, LI Y, et al. Impacts of floods on dysentery in Xinxiang city, China, during 2004-2010: a time-series Poisson analysis[J]. *Global Health Action*, 2014, 7(1): 23904.
- [7] NI W, DING G, LI Y, et al. Effects of the floods on dysentery in north central region of Henan Province, China from 2004 to 2009[J]. *The Journal of Infection*, 2014, 69(5): 430-439.
- [8] ZHANG Y, BI P, HILLER J E. Weather and the transmission of bacillary dysentery in Jinan, Northern China: a time-series analysis[J]. *Public Health Reports*, 2008, 123(1): 61-66.
- [9] CHECKLEY W, EPSTEIN L D, GILMAN R H, et al. Effect of El Nino and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children[J]. *Lancet*, 2000, 355(9202): 442-450.
- [10] TAM C C, RODRIGUES L C, O'BRIEN S J, et al. Temperature dependence of reported campylobacter infection in England, 1989-1999[J]. *Epidemiology and Infection*, 2006, 134(1): 119-125.
- [11] PATZ J A, VAVRUS S J, UEJIO C K, et al. Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes region of the U.S.[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2008, 35(5): 451-458.
- [12] CURRIERO F C, PATZ J A, ROSE J B, et al. The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994[J]. *American Journal of Public Health*, 2001, 91(8): 1194-1199.
- [13] MARCHEGGIANI S, PUCCINELLI C, CIADAMIDARO S, et al. Risks of water-borne disease outbreaks after extreme events[J]. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 2010, 92(3): 593-599.
- [14] PARKER D J, THOMPSON P M. *Floods in Africa: Vulnerability, Impacts and Mitigation*[M]. London: Routledge, 2000.
- [15] HU W, TONG S, MENGERSEN K, et al. Weather variability and the incidence of cryptosporidiosis: comparison of time series poisson regression and SARIMA models[J]. *Annals of Epidemiology*, 2007, 17(9): 679-688.
- [16] TOBIAS A, SAEZ M, GALAN I, et al. Sensitivity analysis of common statistical models used to study the short-term effects of air pollution on health[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2003, 47(4): 227-229.

(张蕾 编辑)