

前期降水条件在安徽省极端降雨对细菌性痢疾发病影响中的调节作用

刘雨晨¹, 龚磊², 吴家兵², 肖永康², 刘立¹, 李伟彬¹, 马文军^{3,4}, 黄存瑞⁵, 杨廉平¹

1. 中山大学公共卫生学院, 广东 广州 510080

2. 安徽省疾病预防控制中心, 安徽 合肥 230601

3. 暨南大学基础医学与公共卫生学院, 广东 广州 510630

4. 广东省疾病预防控制中心广东省公共卫生研究院, 广东 广州 511430

5. 清华大学万科公共卫生与健康学院, 北京 100084

摘要:

[背景] 气候变化导致极端降雨事件频发, 细菌性痢疾发病率较高且与极端降雨关系较为密切, 极端降雨及其前期降水条件对该病发病影响值得关注。

[目的] 定量分析前期降水条件在安徽省极端降雨对细菌性痢疾发病影响中的调节作用, 并探讨该作用在城乡间的差异。

[方法] 收集 2006 年 1 月 1 日—2017 年 8 月 31 日期间安徽省 CN05.1 气象数据和细菌性痢疾病例数据。构建安徽省极端降雨事件与当日发病例数的暴露反应泊松回归模型, 探讨前期降水条件在极端降雨事件对细菌性痢疾发病影响中的调节作用, 并进一步按城乡分层分析。

[结果] 本研究共纳入细菌性痢疾病例 129459 例, 日均 30.39 例。研究发现, 与前期干燥且无极端降雨的情况相比, 前期干燥且存在极端降雨的情形对全省人群细菌性痢疾发病影响无明显差异($P>0.05$), 但前期湿润则会显著增加极端降雨后全省人群的细菌性痢疾发病风险(前期湿润且无极端降雨: $RR=1.281$, 95%CI: 1.264~1.298; 前期湿润且存在极端降雨: $RR=1.267$, 95%CI: 1.167~1.376)。城乡分层后, 前期降水条件同样显示出在极端降雨事件中对细菌性痢疾发病的调节作用: 与前期干燥且无极端降雨的情况相比, 前期干燥且存在极端降雨的情形对城市和农村人群细菌性痢疾发病无明显影响(均 $P>0.05$)。但在城市或农村地区, 前期湿润且无极端降雨时(城市: $RR=1.391$, 95%CI: 1.362~1.421; 农村: $RR=1.222$, 95%CI: 1.201~1.243)及前期湿润且存在极端降雨时(城市: $RR=1.364$, 95%CI: 1.193~1.559; 农村: $RR=1.218$, 95%CI: 1.098~1.352)细菌性痢疾发病风险均升高。

[结论] 在极端降雨对安徽省细菌性痢疾发病影响中, 前期降水条件在全省及城市和农村均存在一定调节作用, 前期湿润条件下其发病风险升高。

关键词: 细菌性痢疾; 极端降雨; 前期降水条件; 城乡分层; 调节作用

Moderation effect of antecedent rainfall conditions on incidence of bacillary dysentery following heavy rainfall in Anhui Province LIU Yuchen¹, GONG Lei², WU Jiabing², XIAO Yongkang², LIU Li¹, LI Weibin¹, MA Wenjun^{3,4}, HUANG Cunrui⁵, YANG Lianping¹ (1. School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510080, China; 2. Anhui Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hefei, Anhui 230601, China; 3. School of Medicine, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China; 4. Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 511430, China; 5. Vanke School of Public Health, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract:

[Background] Climate change leads to frequent heavy rainfall events, and higher incidences of bacillary dysentery after heavy rainfall have been observed. The impacts of heavy rainfall and its antecedent rainfall conditions on the disease are worth paying attention to.

[Objective] To quantitatively analyze how the relationship between heavy rainfall events and bacillary dysentery occurrence is modified by antecedent rainfall conditions in Anhui Province and explore the different moderation effects in urban and rural contexts.

[Methods] CN05.1 meteorological data of Anhui Province and cases of bacillary dysentery of the



DOI 10.11836/JEOM21468

组稿专家

马文军(暨南大学基础医学与公共卫生学院), E-mail: mawj@gdiph.org.cn

基金项目

国家重点研发计划“全球变化及应对”重点专项(2018YFA0606200); 国家自然科学基金项目(72074234); 中山大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(2021qntd42)

作者简介

并列第一作者。
刘雨晨(1996—), 女, 硕士生;
E-mail: liuych76@126.com
龚磊(1983—), 男, 硕士, 副主任医师;
E-mail: gong0516@sina.com

通信作者

杨廉平, E-mail: yanglp7@mail.sysu.edu.cn

伦理审批

已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-09-30
录用日期 2022-01-12

文章编号 2095-9982(2022)03-0304-05

中图分类号 R12

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21468

引用

刘雨晨, 龚磊, 吴家兵, 等. 前期降水条件在安徽省极端降雨对细菌性痢疾发病影响中的调节作用[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(3): 304-308.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21468

Funding

This study was funded.

Correspondence to

YANG Lianping, E-mail: yanglp7@mail.sysu.edu.cn

Ethics approval

Obtained

Competing interests

None declared

Received 2021-09-30

Accepted 2022-01-12

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21468

To cite

LIU Yuchen, GONG Lei, WU Jiabing, et al. Moderation effect of antecedent rainfall conditions on incidence of bacillary dysentery following heavy rainfall in Anhui Province[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(3): 304-308.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21468

same area were collected from January 1, 2006 to August 31, 2017. An exposure-response Poisson regression model of heavy rainfall events and the number of daily cases was constructed to explore the moderation effect of antecedent rainfall conditions on the incidence of bacillary dysentery, and further stratified by urban and rural areas.

[Results] This study included 129 459 cases of bacillary dysentery, with a daily average of 30.39. Compared with dry antecedent conditions without heavy rainfall, dry antecedent conditions with heavy rainfall had no obvious different effect on the incidence of bacillary dysentery for the whole province ($P > 0.05$). But wet antecedent conditions significantly increased the risk of bacillary dysentery for the whole province after heavy rainfall (wet antecedent conditions without heavy rainfall: $RR=1.281$, 95%CI: 1.264-1.298; wet antecedent conditions with heavy rainfall: $RR=1.267$, 95%CI: 1.167-1.376). After urban and rural stratification, antecedent rainfall conditions also showed a significant moderation effect on the incidence of bacillary dysentery following heavy rainfall events. Compared with dry antecedent conditions without heavy rainfall, dry antecedent conditions with heavy rainfall had no obvious effect on the incidence of bacillary dysentery for the urban and the rural populations ($P > 0.05$). However, wet antecedent conditions without heavy rainfall (urban: $RR=1.391$, 95%CI: 1.362-1.421; rural: $RR=1.222$, 95%CI: 1.201-1.243) and wet antecedent conditions with heavy rainfall (urban: $RR=1.364$, 95%CI: 1.193-1.559; rural: $RR=1.218$, 95%CI: 1.098-1.352) significantly increased the risk of bacillary dysentery in both rural and urban areas.

[Conclusion] In the influence of heavy rainfall on the incidence of bacillary dysentery in Anhui Province, antecedent rainfall conditions have a certain moderation effect in the whole province and in both urban and rural areas, and the risk of bacillary dysentery is increased under wet antecedent conditions.

Keywords: bacillary dysentery; heavy rainfall; antecedent rainfall conditions; urban and rural stratification; moderation effect

气候变化很可能会显著地改变区域和时间尺度上的洪水风险。而中国的大多数洪水,包括2020年持续发生的洪水,都主要是由极端降雨造成的^[1]。极端降雨事件常引起饮用水源污染及供水和消毒设施不同程度的破坏,导致细菌性痢疾等感染性腹泻疾病的暴发流行^[2]。细菌性痢疾(bacillary dysentery),作为一种常见的感染性腹泻疾病,至今仍是威胁人类健康(尤其是在发展中国家)的重要公共卫生问题之一^[3]。安徽省地处暖温带与亚热带过渡地区,降水丰沛,是我国多涝区之一,细菌性痢疾防治至今仍是该省传染病控制工作中的重点。Deshpande等^[4]发现,前期降雨偏少的情况在极端降雨事件对细菌性痢疾发病影响中存在显著的调节作用,该作用会使城市地区感染性腹泻发病风险升高,而对农村地区却无影响。了解城市和农村的不同发病规律是开展细菌性痢疾防治的关键。目前,国内尚缺乏对前期降水条件如何调节极端降雨事件对城市与农村细菌性痢疾发病影响差异的系统认识,国内外不同地区开展的相关研究结果间也存在较大差异。本研究利用安徽省十余年的气象数据和细菌性痢疾病例数据,探究前期降水条件在极端降雨对细菌性痢疾发病影响中的调节作用,并探讨该作用在城乡间的差异,为相关部门针对城乡采取有差别的预防控制措施提供启示。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 疾病资料和人口学资料 本研究使用的细菌性痢疾病例数据均来自安徽省法定报告传染病监测系

统,共收集安徽省2006年1月1日—2017年8月31日的全部细菌性痢疾病例个案数据129 473例,全部为参照GB106002—1995《细菌性痢疾诊断标准》,并结合流行病学史、症状体征和实验室检查确诊为细菌性痢疾的病例。数据为日发病监测数据,病例信息主要包括报告单位、现住地址国标、出生日期、性别、年龄、发病日期等。将全部病例按照报告单位及现住地址国标筛选导出,其中14例现住地址国标为外省地区,予以排除,以确保研究对象均为当地常住人口,本研究共纳入个案数据129 459例。本研究已通过广东省疾病预防控制中心医学科研伦理委员会评审(审批号:2019025)。

1.1.2 气象资料 本研究使用的CN05.1格点化气象数据,来源于中国气象数据共享网(<http://data.cma.cn>)。CN05.1气象数据是一种空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 的逐日观测数据。本研究据此获得了安徽省研究期间(2006年1月1日—2017年8月31日)日累积降水量的网格估计值,并利用这些估计值,根据每个点的经度、纬度发送到百度地图,返回得到确切县级行政区信息。其中有25个县级行政区(共105个县级行政区)降水数据因行政区划更新或者区域面积较小缺失。行政区划更新分出的新县级行政区以原区划降水数据近似估计代替,其余以直线距离最近相邻县级行政区内该点降水数据近似估计代替。据此为每个县级行政区生成相应降雨时间序列。

1.2 方法

1.2.1 极端降雨事件和前期降水条件界定 本研究将极端降雨事件定义为:在划分好的省级层面城乡区域

中,任意一天的日累积降水量超过研究期间日累积降水量的第 90 百分位。据此在安徽省城乡分层模型降水量的整个时间序列中,分别创建了极端降雨事件的二分类变量(0,无极端降雨;1,有极端降雨)。本研究将前期降水条件定义为:在划分好的省级层面城乡区域中,将整个时间窗口中日累积降水量(在极端降雨事件前 8 周)滚动求和;如果前 8 周の日累积降水量总和等于或超过第 50 百分位,则定义为“湿润”的前期降水条件;如果低于 50 百分位,则定义为“干燥”。据此在安徽省城乡分层模型降水量的整个时间序列中,分别创建了前期降水条件的二分类变量(0,干燥;1,湿润)。

1.2.2 城乡区域划分方法 根据国家统计局统一制定的城乡分类代码,参照最新《统计用区划代码和城乡划分代码编制规则》与国家统计局《关于更新全国统计用区划代码和城乡划分代码的公告》,城乡分类代码从第 15 位起始,第 15 位编码为“1”的居委会/村委会定义为城镇,编码为“2”的居委会/村委会定义为乡村。此外,将与区/县处于同一级别的特殊区域如高新技术产业开发区、经济开发区、产业园区等区域并入此特殊区域地理位置所属地区的市辖区。各县级行政区城镇比例即为该县内城镇个数占城镇和乡村总数的比例。本研究以城镇比例(城市化程度高低)均值(城镇比例=0.422 3)为界限进行城乡划分,安徽省各县(区)城镇比例见补充材料表 S1。城镇比例在均值以上的县级行政区定义为城市,均值以下的县级行政区则定义为农村(即按照城镇比例排序,在安徽省 105 个县级行政区中,前 38 位为城市,后 67 位为农村)。

1.2.3 统计学分析 居民因感染志贺杆菌发生细菌性痢疾属于小概率事件,泊松分布适合于描述单位时间内随机事件(尤其是小概率事件)发生次数的概率分布,细菌性痢疾病例个案数据可认为近似服从泊松分布。泊松回归模型是广义线性模型的一种,它扩展了线性模型的框架,包含了非正态响应变量的分析,适用于在给定时间内响应变量为事件发生数目的情形。因此,本研究将泊松回归模型拟合到细菌性痢疾病例的每日计数中,以评估极端降雨事件、前期降水条件和细菌性痢疾发病之间的关系,城乡分层分别建模。根据极端降雨事件和前期降水条件的定义,选择前期干燥且无极端降雨的情况作为对照组。此外,将季节、星期几、天数作为线性协变量包括在内,以控制数据中潜在的季节效应、星期几效应和长期趋势的影响。模型见公式(1):

$$\lg[E(Y_t)] = \beta_0 + \beta_1 P_{Hre_t} + \beta_2 P_{Ante_t} + \beta_3 (P_{Hre_t} \times P_{Ante_t}) + V_{SEASON_t} + V_{DOW_t} + V_{DAY_t} \quad (1)$$

式中, $E(Y_t)$ 为第 t 日细菌性痢疾病例的发病数, β_0 为截距, P_{Hre_t} 表示极端降雨事件, P_{Ante_t} 表示前期降水条件。以前期干燥且无极端降雨情况作为对照,前期干燥并有极端降雨的情况对细菌性痢疾发病产生的效应为 $RR=\exp(\beta_1)$,前期湿润但没有极端降雨情况对细菌性痢疾发病产生的效应为 $RR=\exp(\beta_2)$,前期湿润同时存在极端降雨情况对细菌性痢疾发病产生的效应为 $RR=\exp(\beta_1+\beta_2+\beta_3)$ 。 V_{SEASON_t} 、 V_{DOW_t} 、 V_{DAY_t} 分别为季节效应、星期几效应和长期趋势。

前述回归模型分别适用于安徽省全省及城乡分层面,当分析全省层面时则纳入城乡变量作为混杂变量进行相应控制,并且针对每种考虑的影响因素估计了 RR 及 95% CI 。统计软件采用 R4.0.3,检验水准定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 描述性分析

2006 年 1 月 1 日—2017 年 8 月 31 日期间安徽省法定报告传染病监测系统共收集省内细菌性痢疾病例 129 459 例,日均 30.39 例。农村地区病例(81 122 例,占 62.66%)多于城市地区(48 337 例,占 37.34%)。男性病例(73 361 例,占 56.67%)多于女性病例(56 098 例,占 43.33%)。6~65 岁人群的发病人数最多,占 55.97%;职业分布显示,农民发病人数最多占 42.16%。结果见表 1。

安徽省全省各地均有发病,主要集中在皖北和中部等人口稠密地区。大别山区、沿江江南和皖南等人口稀疏地区发病较少,各县市细菌性痢疾发病地理分布情况见补充材料图 S1。安徽省全年均有病例发生,发病时间主要集中在每年的 5—10 月,正值安徽省降水量高峰期,发病特征有明显的季节性,且城市与农村发病的季节性一致。结果见图 1。

2.2 城市农村泊松回归模型分析

泊松回归模型分析结果显示,与前期干燥且没有极端降雨的情况相比,前期干燥在极端降雨事件对细菌性痢疾发病的影响在省级层面并不明显($P>0.05$),但前期湿润会明显增加省级层面极端降雨后细菌性痢疾发病的风险(前期湿润却无极端降雨: $RR=1.281$, 95% CI : 1.264~1.298;前期湿润且存在极端降雨: $RR=1.267$, 95% CI : 1.167~1.376)。

表 1 安徽省细菌性痢疾病例城乡、人群分布的统计描述
(2006.1.1—2017.8.31)

Table 1 Statistical description of bacillary dysentery cases by selected categories in Anhui Province (2006.1.1–2017.8.31)

指标(Index)	发病例数/例 Bacillary dysentery incidence/case	百分比/% Percentage/%
城乡分区(Urban-rural divide)		
城市(Urban)	48 337	37.34
农村(Rural)	81 122	62.66
性别(Gender)		
男(Male)	73 361	56.67
女(Female)	56 098	43.33
年龄/岁(Age/years)		
0~5	37 685	29.11
6~65	72 452	55.97
66~99	19 322	14.92
职业类型(Occupation type)		
农民(Farmer)	54 581	42.16
散居儿童(Diaspora children)	35 178	27.17
学生(Student)	16 017	12.37
办公职员(Office staff)	5 315	4.11
工人(Worker)	5 600	4.33
离退(Retiree)	5 304	4.09
其他(Other type)	7 464	5.77
合计(Total)	129 459	100.00

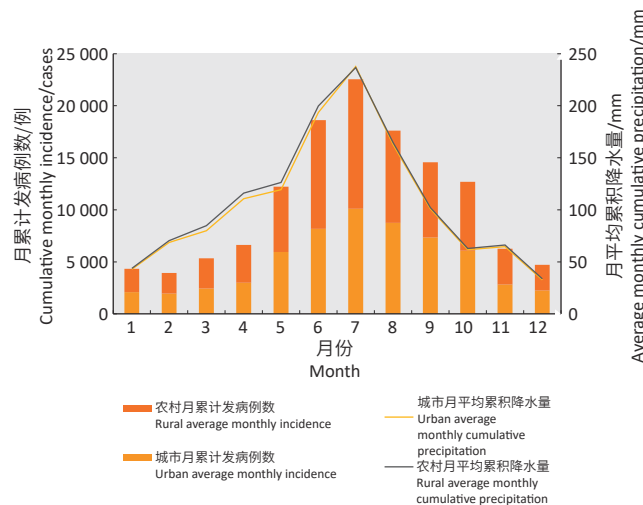


图 1 安徽省细菌性痢疾病例和月平均累积降水量的城乡分布
(2006.1.1—2017.8.31)

Figure 1 Urban and rural distribution of bacillary dysentery incidence and average monthly cumulative precipitation in Anhui Province (2006.1.1–2017.8.31)

按照城乡分层后,与前期干燥且没有极端降雨的情况相比,前期干燥伴有极端降雨的情况对城市和农村细菌性痢疾发病均无明显影响(均 $P > 0.05$)。但前期湿润却无极端降雨(城市: $RR=1.391$, $95\%CI$: $1.362\sim 1.421$; 农村: $RR=1.222$, $95\%CI$: $1.201\sim 1.243$)、前期湿润且存在极端降雨时(城市: $RR=1.364$, $95\%CI$: $1.193\sim$

1.559 ; 农村: $RR=1.218$, $95\%CI$: $1.098\sim 1.352$)城市和农村细菌性痢疾发病风险均会升高,城市在以上两种情况时细菌性痢疾的发病风险均略高于农村。结果见图 2。

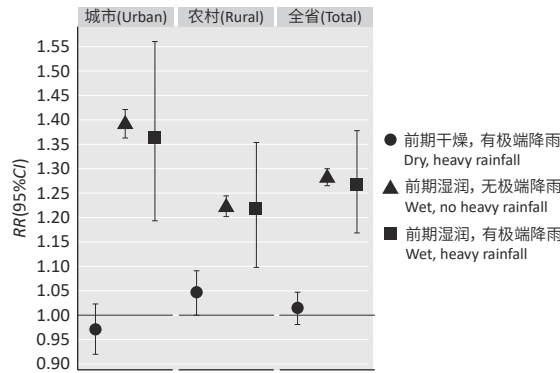


图 2 安徽省前期降水并极端降雨情况的细菌性痢疾发病风险

Figure 2 RRs of bacillary dysentery incidence with antecedent rainfall conditions and heavy rainfall in Anhui Province

3 讨论

本研究中城乡分层泊松回归模型分析结果表明,前期降水条件在极端降雨对细菌性痢疾发病影响中存在调节作用。Levy 等^[5]发现,少雨和干燥的环境对极端降雨后腹泻发病风险存在一定的调节作用;Chhetri 等^[6]发现在极端降水后 4~6 周,隐孢子虫病和贾第虫病(宿主被感染后可出现腹泻等健康问题)发病风险显著增加,且干燥期后出现极端降雨发病风险更大。以上研究均发现,极端降雨前的环境状况(干燥或湿润期)对感染性腹泻发病存在调节作用,与本研究结果具有一定相似性。

本研究发现,前期湿润会明显增大全省、城市和农村极端降雨后细菌性痢疾发病的风险。与前期干燥且无极端降雨的情况相比,前期湿润且无极端降雨,以及前期湿润且存在极端降雨的两种情形均对细菌性痢疾发病有影响,均使发病风险升高。原因可能与细菌性痢疾的发病机制有关。细菌性痢疾是一种介水传播疾病,人体摄入受污染的水可能引起发病^[7]。另外,湿润环境已被发现是病媒传播疾病的最关键决定因素之一^[8]。湿润的非极端降雨时期,病原体被激活,随着污染物进行沉积,形成一定量的污染负荷^[9-10]。极端降雨时期,降水、气温、气压、相对湿度、地表植被等生存条件的变化以及各类生物生活环境的改变,促使许多激活的病原体迅速繁殖传播。但当这种情况在更长的时间内发生时,“稀释效应”可能会起作用,即更高的径流量会稀释病原体浓度,使得细菌性痢疾发病风险下降^[5]。此时前期湿润伴有极端降雨引起的发病

风险可能低于前期湿润但无极端降雨的情况。水资源匮乏以及卫生服务措施中断也为细菌性痢疾的传播创造了有利条件^[11]。例如极端降雨可以通过提高水源浊度从而影响饮用水水质,使得饮用水处理基础设施过载,进而增加进入人体的病原体含量,提高易感人群的细菌性痢疾发病率^[12]。此外,洪水可能会淹没供水系统,导致回流,引起地下水和其他饮用水源的污染,从而促使病原体随水输送到地表或地下水中,增大介水传播疾病(如细菌性痢疾)发病风险^[13]。

本研究同时发现在极端降雨对细菌性痢疾发病影响中,城市地区湿润的前期降水条件的效应比农村地区更大,城市可能更为脆弱。推测极端降雨事件发生后,受较低的人口密度和较少的建筑环境影响,极端降雨很短期内对农村地区环境条件的影响可能相对较小,较低的传播率可能不太会导致细菌性痢疾的局部流行^[14]。此外,城市地区建筑环境面积更为广阔,拥有更多的不透水表面积,高不透水面率的城市地面会改变城市地表径流的发生机制,使暴雨时地表径流量增大 4~5 倍^[15],下渗减少,容易引发城市内涝,使得降雨后病原体扩散速度加快,传播范围增大,社区脆弱性升高,继而加重细菌性痢疾发病负担。当前我国城市地区正在迅速扩大,这种迅速的城市化可能会引起社区社会结构的变化,继而造成基础设施不足,从而影响卫生和卫生设施水平,进而影响肠道病原体传播^[16]。另外,农村地区医疗可及性比城市差,可能存在相对较多细菌性痢疾患者未去医院就诊的情况,从而会降低对农村地区细菌性痢疾发病风险的评估值。考虑到未来气候变化会增加该地区和其他地区极端降雨的发生频率^[17],研究城乡差异在暴雨洪涝与细菌性痢疾发病病因链中的调节作用对促进人类健康具有重要意义。

本研究的局限性在于:(1)可能有轻型或非典型病例未上报,因此病例数据对轻度症状病例的细微波动可能不敏感,可能造成潜在的选择偏倚;(2)本研究纳入或考虑的变量不足,可能存在其他混杂因素;(3)CN05.1 与实际情况在某些海拔较高地区可能存在一定偏差^[18]。

综上所述,安徽省前期降水条件对极端降雨与细菌性痢疾发病之间的关系在城市或农村层面存在一定的调节作用,城市地区可能更为脆弱。未来需要更多研究来阐明驱动产生城乡差异的作用机制,如城乡不透水面对此影响的贡献。建议城市、农村相关部门应建立早期预警系统,在极端降雨前后重点监测细菌性痢疾的发病情况,并在极端降雨时期采取有差别的卫生防护措施。

参考文献

- [1] GUO Y, WU Y, WEN B, et al. Floods in China, COVID-19, and climate change[J]. *Lancet Planet Health*, 2020, 4(10): E443-E444.
- [2] 刘天, 姜宝法. 成都等5市洪水事件和细菌性痢疾关联性及其滞后效应分析[J]. *现代预防医学*, 2017, 44(17): 3245-3249.
LIU T, JIANG BF. Lagged association between flood events and bacillary dysentery, Chengdu and other four cities[J]. *Mod Prev Med*, 2017, 44(17): 3245-3249.
- [3] 刘言玉, 吴含, 劳家辉, 等. 气象因素与细菌性痢疾发病相关关系的meta分析[J]. *环境与健康杂志*, 2018, 35(6): 487-491.
LIU YY, WU H, LAO JH, et al. Relationship between meteorological factors and incidence of bacillary dysentery: a meta-analysis[J]. *J Environ Health*, 2018, 35(6): 487-491.
- [4] DESHPANDE A, CHANG HH, LEVY K. Heavy rainfall events and diarrheal diseases: the role of urban-rural geography[J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2020, 103(3): 1043-1049.
- [5] LEVY K, WOSTER AP, GOLDSTEIN RS, et al. Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: a systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding, and drought[J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50(10): 4905-4922.
- [6] CHHETRI BK, TAKARO TK, BALSHAW R, et al. Associations between extreme precipitation and acute gastro-intestinal illness due to cryptosporidiosis and giardiasis in an urban Canadian drinking water system (1997-2009)[J]. *J Water Health*, 2017, 15(6): 898-907.
- [7] CABRAL JP S. Water microbiology. Bacterial pathogens and water[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2010, 7(10): 3657-3703.
- [8] MCMICHAEL AJ, LINDGREN E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses[J]. *J Intern Med*, 2011, 270(5): 401-413.
- [9] LEVY K, HUBBARD AE, EISENBERG JN. Seasonality of rotavirus disease in the tropics: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Epidemiol*, 2009, 38(6): 1487-1496.
- [10] MOORS E, SINGH T, SIDERIUS C, et al. Climate change and waterborne diarrhoea in northern India: impacts and adaptation strategies[J]. *Sci Total Environ*, 2013, 468-469 Suppl: S139-S151.
- [11] ALDERMAN K, TURNER LR, TONG S. Floods and human health: a systematic review[J]. *Environ Int*, 2012, 47: 37-47.
- [12] SETTY KE, ENAULT J, LORET JF, et al. Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at Water Safety Plan implementation sites in France and Spain[J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2018, 221(4): 714-726.
- [13] DE MAN H, VAN HH JL, LEENEN JT ME, et al. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban flood-water[J]. *Water Res*, 2014, 48: 90-99.
- [14] CARLTON EJ, EISENBERG JN S, GOLDSTICK J, et al. Heavy rainfall events and diarrhea incidence: the role of social and environmental factors[J]. *Am J Epidemiol*, 2014, 179(3): 344-352.
- [15] 徐涵秋, 王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析[J]. *遥感学报*, 2016, 20(5): 1270-1289.
XU HQ, WANG MY. Remote sensing-based retrieval of ground impervious surfaces[J]. *J Remote Sens*, 2016, 20(5): 1270-1289.
- [16] EISENBERG JN S, CEVALLOS W, PONCE K, et al. Environmental change and infectious disease: how new roads affect the transmission of diarrheal pathogens in rural Ecuador[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, 103(51): 19460-19465.
- [17] FIELD C B. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [18] LEVY MC, COLLENDER PA, CARLTON EJ, et al. Spatiotemporal error in rainfall data: consequences for epidemiologic analysis of waterborne diseases[J]. *Am J Epidemiol*, 2019, 188(5): 950-959.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)