

# 2014—2019年我国极端降水与其他感染性腹泻的关联性研究

张骁驰<sup>1</sup>, 吕婷婷<sup>2</sup>, 于文浩<sup>1</sup>, 李国傲<sup>1</sup>, 高杉杉<sup>3,4</sup>, 赵琦<sup>1</sup>, 王立友<sup>2</sup>

(1. 山东大学齐鲁医学院公共卫生学院流行病学系, 山东 济南 250012;

2. 德州市疾病预防控制中心, 山东 德州 253700;

3. 山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)消化科, 山东 济南 250014;

4. 山东大学齐鲁医学院公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 山东 济南 250012)

**摘要:**目的 探讨我国2014—2019年极端降水事件与其他感染性腹泻(other infectious diarrhea, OID)发病的关系,以及气候特征和干旱水平对极端降水相关OID风险的影响,为制定OID防控措施提供依据。方法 收集2014—2019年我国31个省、直辖市、自治区(无香港、澳门、台湾省)的OID报告病例数据和同期水文气象数据,采用基于类泊松回归的二阶段时间序列分析方法量化极端降水事件频次与OID发病风险的关联;采用交互模型研究自然气候区及6个月标准化降水蒸散指数量化的干旱水平的修饰作用。结果 2014—2019年研究区域内累计报告OID病例5 595 698例;极端降水事件频次与OID风险呈显著正相关,相对危险度为1.03(95%CI:1.03~1.04);暖温带半湿润地区极端降水相关的OID风险最高;北亚热带湿润地区、边缘热带湿润地区以及中温带干旱地区的极端降水相关OID风险显著低于暖温带半湿润地区( $P<0.05$ )。干旱水平对极端降水的修饰作用明显;严重干旱地区在面临极端降水时的OID风险较高。结论 极端降水频次与OID发病风险呈正相关,可作为不同地区制定针对性预防措施的依据。

**关键词:**极端降水;其他感染性腹泻;时间序列分析;关联性研究

中图分类号:R183

文献标志码:A

## Association between extreme precipitation and other infectious diarrhea in China from 2014 to 2019

ZHANG Xiaochi<sup>1</sup>, LYU Tingting<sup>2</sup>, YU Wenhao<sup>1</sup>, LI Guoao<sup>1</sup>, GAO Shanshan<sup>3,4</sup>, ZHAO Qi<sup>1</sup>, WANG Liyou<sup>2</sup>

(1. Department of Epidemiology, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan 250012, Shandong, China; 2. Dezhou Center for Disease Control and Prevention, Dezhou 253700, Shandong, China;

3. Department of Gastroenterology, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University and Shandong Provincial Qianfoshan Hospital, Jinan 250014, Shandong, China;

4. Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan 250012, Shandong, China)

**Abstract: Objective** To provide a foundation for developing targeted prevention and control measures for other infectious diarrhea (OID) by investigating the association between extreme precipitation and the risk of in China from 2014 to 2019, and assessing the impact of climatic characteristics and drought levels on the OID risk associated with extreme precipitation. **Methods** Data on OID cases and hydrometeorological conditions were collected from 31 provinces, municipalities, and autonomous regions of China between 2014 and 2019. A two-stage time series analysis based on quasi-

Poisson regression was employed to quantify the association between the frequency of extreme precipitation events and the risk of OID. Additionally, the modifying effects of natural sub-regions and drought levels (quantified by the 6-month standardized precipitation evapotranspiration index) were analyzed. **Results** A total of 5,595,698 OID cases were reported in the study area from 2014 to 2019. A significant positive association between the frequency of extreme precipitation events and the risk of OID was observed, with a relative risk of 1.03 (95% CI: 1.03-1.04). The risk of OID associated with extreme precipitation was highest in the warm-temperate humid and sub-humid north China. In contrast, the risk in the subtropical humid central and south China, the tropic humid south China, and the temperate and warm-temperate desert of northwest China was significantly lower than in the warm-temperate humid and sub-humid north China ( $P < 0.05$ ). The modifying effect of drought levels was significant, with a higher risk of diarrhea associated with extreme precipitation under high drought conditions. **Conclusion** The frequency of extreme precipitation events is positively associated with the risk of OID which has provided a foundation for the development of region-specific prevention measures for OID.

**Key words:** Extreme precipitation; Other infectious diarrhea; Time series analysis; Association study

其他感染性腹泻 (other infectious diarrhea, OID) 是指除霍乱、痢疾、伤寒和副伤寒以外的各种病原体 (包括病毒、细菌、真菌、原虫等) 感染肠道而引起的以腹泻为主要症状的一组传染病, 属于我国法定丙类传染病<sup>[1-2]</sup>, 造成了一定程度的疾病负担和社会经济损失<sup>[3]</sup>。

OID 是一种典型的气候敏感性传染病, 发病风险与极端降水事件密切相关。多项流行病学研究表明, 暴雨洪涝灾害后或累积降雨量达到一定水平时, 我国居民罹患 OID 的风险显著升高<sup>[4-6]</sup>。此外, 有研究表明干旱在极端降水对 OID 发病风险的影响中可能具有修饰作用<sup>[7]</sup>。

近年受全球气候变化的影响, 极端降水事件发生的强度和频次均有明显增加<sup>[8-10]</sup>, 由此引发的 OID 风险将对我国居民健康构成威胁。本研究通过分析 2014—2019 年我国 31 个省、直辖市、自治区的 OID 病例报告数据和降水数据, 研究极端降水事件对 OID 发病风险的影响, 为制定更加精准的 OID 防控策略提供理论依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

2014—2019 年我国 31 个省、自治区和直辖市 (无香港、澳门、台湾省) 的逐月 OID 病例报告数据来自中国疾病预防控制中心, 包括血清学检测确诊病例和临床确诊病例。诊断标准参考《感染性腹泻诊断标准 (WS271-2007)》<sup>[11]</sup>。包括日平均、最高、最低气温, 湿度及降水量 (空间分辨率  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) 在内的同期气象数据来自中国气象局, 并根据已有文献验证可靠性<sup>[12]</sup>。OID 病例报告数据和气象数据按照《国家地理信息公共服务平台》提供的市级

行政区划范围进行汇总和匹配<sup>[13]</sup>。考虑到数据的可用性和完整性, 最终纳入 4 个直辖市、332 个地级行政区和 3 个省或自治区直辖县级行政区作为研究范围。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 自然气候区划分

根据平均温度、降水量和湿度等气候条件, 将我国划分为 7 个自然气候区, 包括北亚热带湿润地区、边缘热带湿润地区、高原温带半干旱地区、暖温带半湿润地区、中温带半干旱地区、中温带半湿润地区及中温带干旱地区<sup>[14]</sup>。

#### 1.2.2 极端降水

极端降水日为日降水量超过当地过去 30 年内日降水量的第 99 百分位数<sup>[15]</sup>。与采用固定阈值的方法相比, 该方法充分考虑了降水水平的地区性差异, 目前已广泛用于极端降水事件的评估<sup>[16]</sup>。在本研究中, 分别为每个市级行政区划范围计算每日极端降水量阈值, 将极端降水日按月汇总为每月极端降水频次, 使其与病例报告数据的时间尺度相同。

#### 1.2.3 干旱指数

使用标准化降水蒸散指数 (standardized precipitation evapotranspiration index, SPEI) 衡量干旱程度。该指标通过比较土壤和植被中可用水分含量与大气蒸发需求来计算气候水平衡, 比于降水量等传统干旱测量指标更加可靠。SPEI 的计算方法及参数设置均参考国家标准《气象干旱等级 (GB/T 20481-2017)》<sup>[17]</sup>。干旱等级按照 SPEI 划分为无旱 ( $\text{SPEI} > -0.5$ )、轻旱 ( $-1.0 < \text{SPEI} \leq -0.5$ )、中旱 ( $-1.5 < \text{SPEI} \leq -1.0$ )、重旱 ( $-2 < \text{SPEI} \leq -1.5$ ) 和特旱 ( $\text{SPEI} \leq -2.0$ )。既往研究表明, 较长时间的干旱 ( $\geq 6$  个月) 可能直接影响供水安全并导致 OID 的发生<sup>[18]</sup>。此外, 滞后 6 个月 SPEI (SPEI-6) 可以

更好地捕捉干旱的季节性趋势<sup>[19]</sup>。因此,本研究采用 SPEI-6 量化各行政区域的干旱程度。为保证每个地区样本量充足,将轻旱和中旱合并为中等干旱 ( $-1.5 < \text{SPEI-6} \leq -0.5$ ),将重旱和特旱合并为严重干旱 ( $\text{SPEI-6} \leq -1.5$ )。

### 1.3 统计学处理

本研究使用基于类泊松回归的二阶段时间序列分析量化极端降水事件频次与 OID 的关联<sup>[20]</sup>。在第一阶段,采用广义相加模型估计每个市级行政区划范围内极端降水频次与 OID 的暴露-反应关系。参考既往研究,模型调整了平均温度、湿度和 SPEI-6 等潜在的混杂因素<sup>[18,21]</sup>,以及一个自由度为 7 的时间项控制长期趋势。在第二阶段,采用随机效应 Meta 分析分别对全国及各自然气候区的估计值进行汇总。为探究不同干旱水平下极端降水相关的 OID 风险,首先将 SPEI-6 分别以 -0.5 和 -1.5 为中心进行中心化,然后在第一阶段分析中添加中心化后的 SPEI-6 与极端降水频次的交互项,构建干旱-极端降水交互模型。敏感性分析通过将平均气温替换为最高气温和最低气温,以及将时间项的自由度从 7 调整为 4、5、6 来检验模型的稳定性。根据公式

$$z = (E_1 - E_2) / \sqrt{(\text{SE}(E_1))^2 + \text{SE}(E_2)^2}$$

估计组间差异是否具有统计学意义,其中  $E_1$  和  $E_2$  是点估计值,SE 是标准误差<sup>[22]</sup>。采用 R4.4.0 软件进行统计分析。连续变量使用  $\bar{x} \pm s$  进行描述;关联性分析结果使用相对危险度(relative risk, RR)及其 95% 置信区间(95% confidence interval, 95% CI) 进行描述。检验水准取  $\alpha = 0.05$  (双侧检验),  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

2014—2019 年间,研究区域内累计报告 OID 5 595 698 例。累计报告病例数呈现明显的季节性趋势;发病高峰出现在每年的夏季(6—8 月)和冬季(11 月—次年 1 月)。在此期间,研究区域内极端降水事件的平均阈值为  $(32.44 \pm 15.81)$  mm,平均每月发生极端降水事件  $(0.34 \pm 0.75)$  次,平均温度为  $(12.98 \pm 10.99)$  °C,平均相对湿度为  $(68.93 \pm 16.90)\%$ ,平均 SPEI-6 为  $-0.53 \pm 0.71$ 。见图 1。

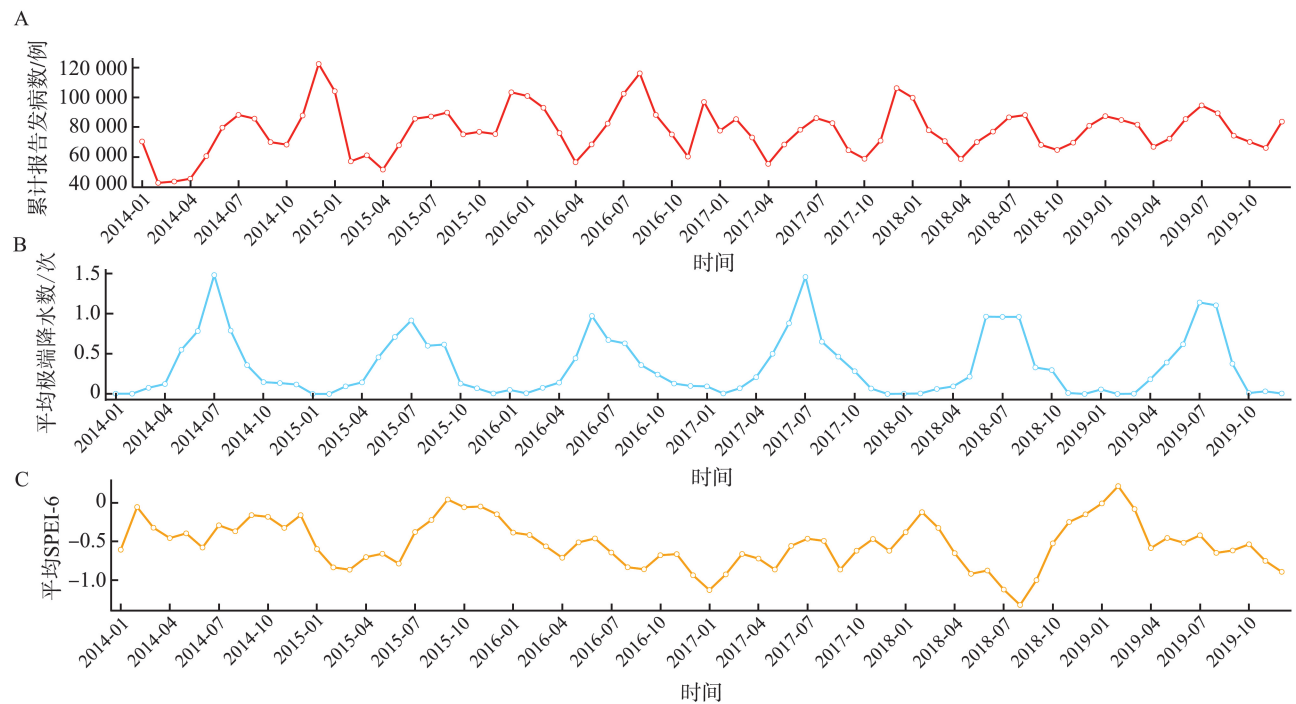


图 1 2014—2019 年累计 OID 病例数和各影响因素的月度变化情况

A: 累计报告发病例数; B: 平均极端降水数; C: 平均 SPEI-6。

Figure 1 Monthly variation of OID cases and risk factors from 2014 to 2019

A: Cumulative number of reported cases; B: Average times of extreme precipitation events; C: Average SPEI-6.

北亚热带湿润地区的年均 OID 报告病例数、极端降水和中等干旱事件频次最高;暖温带半湿润地区的年均严重干旱事件频次最高。见表 1。

### 2.2 极端降水与 OID 发病风险的关联

全国汇总结果显示,极端降水频次与 OID 的发病风险总体正相关。每发生一次极端降水事件,对

应的  $RR$  为 1.03 (95%  $CI$ : 1.03~1.04)。按自然气候区分组的结果显示,各自然气候区内极端降水的效应存在差异。暖温带半湿润地区的极端降水相关

OID 风险最高,与北亚热带湿润地区、边缘热带湿润地区、中温带干旱地区和全国平均水平的差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。见表 2。

表 1 2014—2019 年年均 OID 病例数和各影响因素的自然气候区分布

Table 1 Annual average number of OID cases and risk factors across natural sub-regions from 2014 to 2019

自然气候区	年均 OID 病例 / 例	年均极端降水 事件频次/次	年均中等干旱 事件频次/次	年均严重干旱 事件频次/次
暖温带半湿润地区	55 267.86±2 561.88	59.39±14.23	106.81±14.61	21.44±15.64
北亚热带湿润地区	75 815.17±5 237.56	104.22±19.94	128.97±28.69	16.89±8.72
边缘热带湿润地区	17 708.97±2 117.42	17.72±4.27	25.67±4.97	5.25±4.75
高原温带半干旱地区	511.14±51.96	9.00±1.89	13.47±4.15	1.42±1.96
中温带半干旱地区	925.22±64.82	2.11±0.73	2.72±1.21	0.69±1.18
中温带半湿润地区	2 747.11±174.92	21.83±8.12	24.00±9.01	1.31±1.17
中温带干旱地区	2 460.58±167.76	18.22±4.54	20.42±5.06	2.58±3.75
全国	22 205.15±28 910.56	33.21±35.20	46.01±48.47	7.08±10.37

表 2 极端降水与 OID 发病风险的关联

Table 2 Association between extreme precipitation and the risk of OID

自然气候区	$RR$ (95% $CI$ )	$P$
暖温带半湿润地区	1.07 (1.05~1.08)	Ref.
北亚热带湿润地区	1.02 (1.01~1.03)	<0.01
边缘热带湿润地区	1.02 (1.00~1.05)	<0.01
高原温带半干旱地区	1.02 (0.96~1.08)	0.15
中温带半干旱地区	1.07 (1.00~1.14)	0.97
中温带半湿润地区	1.05 (1.03~1.08)	0.31
中温带干旱地区	1.00 (0.96~1.03)	<0.01
全国	1.03 (1.03~1.04)	<0.01

### 2.3 干旱程度的修饰作用

干旱-极端降水交互模型显示,中等干旱组和严重干旱组每发生一次极端降水事件时,相关 OID 发生的  $RR$  分别为 1.03 (95%  $CI$ : 1.02~1.04) 和 1.06 (95%  $CI$ : 1.05~1.07)。严重干旱组每发生一次极端降水事件相关的 OID 风险比中等干旱组更高,差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。见图 2。

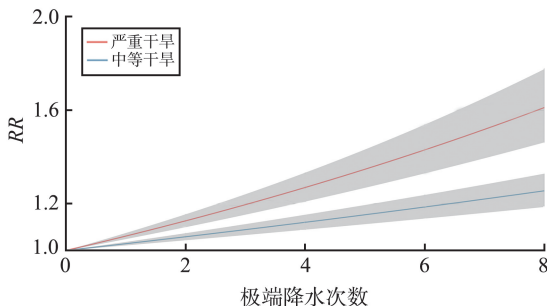


图 2 不同干旱水平下的极端降水与 OID 关联

Figure 2 Association between extreme precipitation and OID under different drought levels

### 2.4 敏感性分析

敏感性分析显示,将平均气温替换为最高气温、最低气温,以及将时间项的自由度从 7 调整为 4、5、6

后,极端降水与 OID 的关联程度变化与参照组的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见表 3。

表 3 极端降水与 OID 关联的敏感性分析

Table 3 Sensitivity analysis of the association between extreme precipitation and OID

模型	$RR$ (95% $CI$ )	$P$
参照组	1.03 (1.03~1.04)	Ref.
模型 1	1.04 (1.03~1.04)	0.77
模型 2	1.03 (1.03~1.04)	0.93
模型 3	1.03 (1.03~1.04)	0.88
模型 4	1.03 (1.03~1.04)	0.97
模型 5	1.03 (1.03~1.04)	0.96

模型 1: 将平均气温替换为最高气温;模型 2: 将平均气温替换为最低气温;模型 3: 在主模型的基础上将时间项的自由度调整为 4;模型 4: 在主模型的基础上将时间项的自由度调整为 5;模型 5: 在主模型的基础上将时间项的自由度调整为 6。参照组为全国汇总模型。

## 3 讨论

近年来,全球气候变化导致的极端降水事件频发已对人类健康造成严重威胁<sup>[23]</sup>。感染性腹泻作为一种气候敏感性疾病,其与极端降水事件的关联受到了研究者的广泛关注。已有来自多个国家的研究发现极端降水可能是感染性腹泻的重要危险因素<sup>[24-26]</sup>。国内相关研究主要集中于极端降水对感染性腹泻的直接影响,未充分考虑自然气候差异以及干旱等其他极端气候事件的修饰作用<sup>[27-29]</sup>。本研究基于 2014—2019 年我国 31 个省、自治区和直辖市的长时序病例报告数据,采用考虑地区间差异的相对阈值方法定义极端降水事件,系统评估了不同自然气候区和干旱水平下极端降水事件对 OID 风险的影响。研究结果补充了我国多个自然气候区内极端降水与 OID 关联性研究的空白,提供了干旱

对极端降水相关 OI D 风险影响的证据,为制定针对性公共卫生干预措施提供了科学依据。

Du 等<sup>[24]</sup>使用 95 百分位数定义 2004—2014 年休斯顿市极端降水事件,发现其发生频次与腹泻相关住院风险增加有关;Dimitrova 等<sup>[30]</sup>使用 Z 分数定义了 32 个中低收入国家的“正异常”降水事件,发现其与塔吉克斯坦、马里等干旱气候国家及赞比亚等副热带气候国家 5 岁以下儿童感染性腹泻风险增加显著相关;Yu 等<sup>[31]</sup>研究发现,2007—2017 年间我国长江流域 97 个城市的 OI D 风险在极端降水事件期间显著增加。本研究结果与上述研究基本一致,说明在不同经济发展水平和不同气候条件的国家、地区中,极端降水与感染性腹泻风险的关联较为稳定<sup>[27]</sup>。Du 等<sup>[24]</sup>在采用较低的极端降水阈值(95 百分位数)下观察到 RR 略高,说明不同极端降水事件定义可能导致其效应强度轻微波动,但总体结果未发生明显改变。原因可能与采用较低的极端降水阈值时,识别出的极端降水事件更多有关。

我国尚缺乏覆盖多个自然气候区的相关研究,但既往研究提示极端降水事件相关的感染性腹泻风险在不同气候区可能存在差异<sup>[23]</sup>。例如,张静<sup>[28]</sup>研究发现在北京等暖温带半湿润地区,全人群的 OI D 风险与降水量增加有关;周士夏等<sup>[29]</sup>研究发现在上海等北亚热带湿润地区,病毒感染性腹泻风险随着日降水量的增加而呈现下降趋势。本研究发现,我国的暖温带半湿润地区的极端降水相关 OI D 风险最高,显著高于北亚热带湿润地区、边缘热带湿润地区和中温带干旱地区。这种自然气候区对极端降水相关感染性腹泻风险的影响可能是暖温带半湿润地区受季风活动影响,呈现旱季雨季分明的气候特征<sup>[14]</sup>。病原体在旱季积累,并在雨季发生的极端降水事件时迅速扩散到地表水和饮用水中,进而增加感染性腹泻风险。相比之下,在北亚热带湿润地区和边缘热带湿润地区,雨季持续时间较长,全年降水量丰富,导致水源中的污染物和病原体浓度相对较低且波动较小。极端降水事件可能在短期内显著增加水源的稀释作用,从而降低水源中污染物和病原体的浓度,最终降低相关感染性腹泻风险<sup>[32-33]</sup>。

本研究发现,干旱水平对极端降水相关的 OI D 风险具有修饰作用。目前普遍认可的观点是“浓缩-稀释效应假设”,即在干旱条件下,病原体在环境中逐渐累积,形成“浓缩效应”;当极端降水发生时,积累的病原体会通过径流迅速扩散,导致水源污染和感染性腹泻风险增加。随着降水强度和持续时间的增加,“稀释效应”开始发挥作用,污染物和病原体的浓度可能会下降,降低感染性腹泻的发病风

险<sup>[9]</sup>。本研究结果与该假设一致。

本研究存在一些局限性:①本研究为生态学研究,无法做出因果推断,可能存在生态学谬误。②OI D 的发病风险还可能受到其他环境因素和社会经济因素的影响。限于数据可得性,这些因素未能在本研究中得到充分考虑。③部分城市和地区的数据由于获取限制未纳入本次研究,可能对研究结果的代表性产生影响。

综上所述,2014—2019 年我国 339 个行政区域的极端降水频次与 OI D 发病风险呈正相关。干旱地区发生极端降水事件所导致的 OI D 风险更高。在气候变化的背景下,建议相关公共卫生政策制定时充分考虑区域气候特点和极端天气事件等因素,针对我国不同的自然气候区和不同干旱程度的地区制定更加精准、适应性更强的防控措施,进一步提升 OI D 防控能力。

## 参考文献:

- [1] Li L, Sun MX, Zhao J. Other infectious diarrhea[M]// Radiology of infectious diseases: Volume 2. Dordrecht: Netherlands, 2015: 171-186.
- [2] 汤家炜, 汤其宁, 朱时雨, 等. 2015—2019 年中国法定传染病发病趋势分析[J]. 医学动物防制, 2024, 40(1): 4-7.  
TANG Jiawei, TANG Qining, ZHU Shiyu, et al. Analysis of the incidence trend of notifiable infectious diseases in China from 2015 to 2019[J]. Journal of Medical Pest Control, 2024, 40(1): 4-7.
- [3] Baral R, Nonvignon J, Debellut F, et al. Cost of illness for childhood diarrhea in low- and middle-income countries: a systematic review of evidence and modelled estimates[J]. BMC Public Health, 2020, 20(1): 619. doi: 10.1186/s12889-020-08595-8
- [4] 劳家辉, 刘志东, 刘言玉, 等. 成都市暴雨洪涝灾害对其它感染性腹泻发病影响及脆弱人群分析[J]. 中国公共卫生, 2019, 35(8): 1046-1049.  
LAO Jiahui, LIU Zhidong, LIU Yanyu, et al. Influence of floods on incidence of other infectious diarrhea and vulnerable population in Chengdu City[J]. Chinese Journal of Public Health, 2019, 35(8): 1046-1049.
- [5] 高璐. 暴雨洪涝相关敏感传染病的筛选及预估研究: 以安徽省为例[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- [6] 李燃. 气象因素所致感染性腹泻关联分析与风险评估[D]. 成都: 成都医学院, 2023.
- [7] Wang P, Asare EO, Pitzer VE, et al. Floods and diarrhea risk in young children in low- and middle-income countries[J]. JAMA Pediatr, 2023, 177(11): 1206-1214.

- [8] Calvin K, Dasgupta D, Krinner G, et al. Climate change 2023: synthesis report, summary for policymakers. contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Geneva: IPCC, 2023; 1-34.
- [9] Kraay ANM, Man O, Levy MC, et al. Understanding the impact of rainfall on diarrhea: testing the concentration-dilution hypothesis using a systematic review and meta-analysis[J]. *Environ Health Perspect*, 2020, 128(12): 126001. doi:10.1289/EHP6181
- [10] Wang LC, Wang JH, He F, et al. Spatial-temporal variation of extreme precipitation in the Yellow-Huai-Hai-Yangtze Basin of China[J]. *Sci Rep*, 2023, 13: 9312. doi:10.1038/s41598-023-36470-0
- [11] 中华人民共和国卫生部. 感染性腹泻诊断标准: WS 271—2007[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [12] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(4): 1102-1111.  
WU Jia, GAO Xuejie. A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(4): 1102-1111.
- [13] 中华人民共和国自然资源部. 国家地理信息公共服务平台 [EB/OL]. (2024-04-24) [2024-07-15]. <https://www.tianditu.gov.cn/>
- [14] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. *地理学报*, 1983, 38(1): 1-10.  
ZHAO Songqiao. A new scheme for comprehensive physical regionalization in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 1-10.
- [15] Zhang XB, Alexander L, Hegerl GC, et al. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data [J]. *Wires Clim Change*, 2011, 2(6): 851-870.
- [16] Myhre G, Alterskjær K, Stjern CW, et al. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 16063. doi:10.1038/s41598-019-52277-4
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 气象干旱等级: GB/T 20481-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] Wang P, Asare E, Pitzer VE, et al. Associations between long-term drought and diarrhea among children under five in low- and middle-income countries [J]. *Nat Commun*, 2022, 13(1): 3661. doi:10.1038/s41467-022-31291-7
- [19] Baltig DF, AghaKouchak A, Lohmann G, et al. Northern Hemisphere drought risk in a warming climate [J]. *NPJ Clim Atmos Sci*, 2021, 4: 61. doi:10.1038/s41612-021-00218-2
- [20] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations[J]. *Stat Med*, 2012, 31(29): 3821-3839.
- [21] 郝强, 高琦, 赵然, 等. 2014—2016年气温和相对湿度对深圳市5岁以下儿童轮状病毒腹泻的影响[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2022, 60(2): 89-95.  
HAO Qiang, GAO Qi, ZHAO Ran, et al. Effects of ambient temperature and relative humidity on rotavirus diarrhea among children under 5 years old in Shenzhen City during 2014-2016[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2022, 60(2): 89-95.
- [22] Altman DG, Martin Bland J. Interaction revisited: the difference between two estimates [J]. *BMJ*, 2003, 326(7382): 219. doi:10.1136/bmj.326.7382.219
- [23] 姜宝法, 丁国永, 刘雪娜. 暴雨洪涝与人类健康关系的研究进展[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2018, 56(8): 21-28.  
JIANG Baofa, DING Guoyong, LIU Xuena. Research progress on the relationship between floods and human health[J]. *Journal of Shandong University (Health Science)*, 2018, 56(8): 21-28.
- [24] Du SC, Chien LC, Bush KF, et al. Short-term associations between precipitation and gastrointestinal illness-related hospital admissions: a multi-city study in Texas [J]. *Sci Total Environ*, 2024, 951: 175247. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.175247
- [25] Mertens A, Balakrishnan K, Ramaswamy P, et al. Associations between high temperature, heavy rainfall, and diarrhea among young children in rural Tamil Nadu, India: a prospective cohort study [J]. *Environ Health Perspect*, 2019, 127(4): 47004. doi:10.1289/EHP3711
- [26] Bradatan C, Dennis JA, Flores-Yeffal N, et al. Child health, household environment, temperature and rainfall anomalies in Honduras: a socio-climate data linked analysis [J]. *Environ Health*, 2020, 19(1): 10. doi:10.1186/s12940-020-0560-9
- [27] 朱耿睿, 李育. 基于柯本气候分类的1961—2013年我国气候区类型及变化[J]. *干旱区地理*, 2015, 38(6): 1121-1132.  
ZHU Gengrui, LI Yu. Types and changes of Chinese climate zones from 1961 to 2013 based on Köppen climate classification [J]. *Arid Land Geography*, 2015, 38(6): 1121-1132.
- [28] 张静. 2014—2016年降水和温度对北京市其他感染性腹泻的影响[D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [29] 周士夏, 张海洋, 王丽萍, 等. 基于分布滞后非线性模型探讨上海市诺如病毒感染性腹泻的发病与气象因素的关联[J]. *中华疾病控制杂志*, 2021, 25(10): 1180-1185.  
ZHOU Shixia, ZHANG Haiyang, WANG Liping, et al. Exploration of the association between meteorological factors and positive rate of norovirus infectious diarrhea based on the distributed lag non-linear model in Shanghai [J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2021, 25(10): 1180-1185.