

DOI:10.13350/j.cjpb.240209

• 论著 •

## 气象因素与疟疾发病相关关系的 meta 分析\*

李慧敏,张晶晶,查文婷,徐政,汪鑫娟,吕媛\*\*

(湖南师范大学医学院分子流行病学湖南省重点实验室,湖南长沙 410013)

**【摘要】** 目的 评估气象因素与疟疾发病的相关关系,为制定输入性疟疾防控措施提供依据。方法 计算机检索 PubMed、Web of Science、Medline、Embase、CNKI、万方和维普数据库,查找 2023 年 6 月 24 日前发表的关于疟疾与气象因素相关性的文献。按照事先规定的纳入排除标准筛选文献、提取信息进行 meta 分析和亚组分析。结果 共检出相关文献 1 811 篇,最终纳入 14 篇文献,涉及 16 个地区。meta 分析结果显示滞后的气象因素与疟疾发病具有一定的关系,平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度和降水量均与疟疾发病呈正相关,合并效应值  $r_s$  值分别为 0.49(95%CI:0.33-0.63),0.39(95%CI:0.20-0.55),0.49(95%CI:0.33-0.62),0.28(95%CI:0.13-0.42)和 0.37(95%CI:0.21-0.52),差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。按样本量、经济情况和气候带分组进行亚组分析,结果显示在以“ $n<100$ ”为单位的亚组中,平均气温与疟疾发病相关性的异质性下降至 68.4%, $r_s$  值为 0.53(95%CI:0.37-0.67),呈中等强度正相关。在以“中低等”为单位的分组中,平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度的异质性均有不同程度的下降,如平均最高气温的异质性下降至 59.7%,降雨量与疟疾发病的相关系数差异无统计学意义,其他气象因素与不分组时无明显差别。在“温带”分组中,平均相对湿度的异质性降至 0, $r_s$  值为 0.36(95%CI:0.27-0.45)。结论 气象因素在一定程度上影响疟疾的发病。

**【关键词】** 疟疾;气象因素;meta 分析;相关系数

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1673-5234(2024)02-0172-05

[*Journal of Pathogen Biology*. 2024 Feb;19(2):172-176,182.]

**Relationship between meteorological factors and incidence of malaria: A meta-analysis**

LI Huimin, ZHANG Jingjing, ZHA Wenting, XU Zheng, WANG Xinjuan, LV Yuan (Key Laboratory of Molecular Epidemiology of Hunan Province, School of Medicine, Hunan Normal University, Changsha, 410013, China)\*\*\*

**【Abstract】** **Objective** To assess the correlation between meteorological factors and the incidence of malaria in order to provide a basis for the development of preventive and control measures for imported malaria. **Methods** Computerized searches of PubMed, Web of Science, Medline, Embase, CNKI, Wanfang, and VIP databases were conducted to find literature published before June 24, 2023 on the correlation between malaria and meteorological factors. Literature was screened, information was extracted for meta-analysis and subgroup analysis according to pre-specified inclusion exclusion criteria. **Results** A total of 1 811 relevant papers were detected and finally 14 of them were included covering 16 districts. The results of meta-analysis showed that lagged meteorological factors had a relationship with malaria incidence, mean air temperature, mean maximum air temperature, mean minimum air temperature, mean relative humidity and precipitation were positively correlated with malaria incidence, with combined effect  $r_s$  values of 0.49(95% CI:0.33-0.63), 0.39(95% CI:0.20-0.55), 0.49(95% CI:0.33-0.62), 0.28(95% CI:0.13-0.42), and 0.37(95% CI:0.21-0.52), and all differences were statistically significant for comparison ( $P<0.05$ ). Subgroup analyses by sample size, economic status and climatic zone showed that in the subgroups with “ $n<100$ ”, the heterogeneity of the association between mean temperature and malaria incidence decreased to 68.4%, with an  $r_s$  value of 0.53 (95% CI: 0.37-0.67), showing a moderately strong positive association. In the subgroups of “medium-low”, the heterogeneity of mean air temperature, mean maximum air temperature, mean minimum air temperature, and mean relative humidity decreased to different degrees, for example, the heterogeneity of mean maximum air temperature decreased to 59.7%, the correlation coefficients between rainfall and malaria incidence were not statistically significant, and the other meteorological factors were not significantly different from that in the subgroups without the “ $n<100$ ”. Other meteorological factors were not significantly different from those in the ungrouped scenario. In the “Temperate” subgroup, the heterogeneity of mean

\* **【基金项目】** 湖南省科技创新重大项目(No. 2020SK1015)。

\*\* **【通讯作者】** 吕媛, E-mail: ly598598@126.com

**【作者简介】** 李慧敏(1999-),女,湖南常德人,硕士研究生,主要研究方向为流行病与卫生统计学。E-mail: 2367305253@qq.com

relative humidity decreased to zero, with an  $r_s$  value of 0.36 (95% CI: 0.27-0.45). **Conclusion** It is concluded that meteorological factors affect the incidence of malaria to a certain extent.

**【Key words】** malaria; meteorological factors; meta-analysis; correlation coefficient

疟疾是一种由疟原虫引起的虫媒传染病,通过受感染的雌性按蚊叮咬或输入带疟原虫者的血液传播给人类<sup>[1]</sup>。目前全球消除疟疾的挑战依然巨大,为全球主要公共卫生问题之一。据 WHO 报告,2020 年估计疟疾发病人数达 2.41 亿,死亡人数达 62.7 万<sup>[2]</sup>。近年来中国由于留学、劳务输出以及境外旅游的人数日益增多,部分人群返乡后可能已成为疟原虫携带者或疟疾患者,且中国部分地区仍然存在传疟媒介,因此由输入性疟疾导致的疟疾再传播风险持续存在<sup>[3-4]</sup>。

当前国内外对于气象因素与疟疾相关性的多有研究,但研究结论并不一致。Jang 等<sup>[5]</sup>研究发现,气温与疟疾的发病呈高度正相关,而 Lemma<sup>[6]</sup>研究发现气温与疟疾的发病呈负相关,其他气象因素也存在类似情况。Rouamba 等<sup>[7]</sup>研究发现,降雨量、温度等气象因素与疟疾发病存在不同程度的相关性,且不同的滞后时间与疟疾发病的相关性不同。因此,本研究通过对以往研究中不同滞后时间的气象因素与疟疾发病相关系数的峰值进行综合效应分析,探讨气象因素在疟疾发病中的作用,为疟疾的影响因素研究和预测预警研究提供科学依据。

## 材料与方法

### 1 文献检索策略

通过计算机全面检索 PubMed 医学数据库、Web of Science、Medline、Embase、中国知网、万方中文数据库、维普数据库中,建库以来所有发表于期刊、学位论文、专利、报告和报纸文章等有关于疟疾与气象因素的文献。英文以“meteorological or climate”“malaria”“correlation or relate”为检索词,中文以“气象因素”“气候”“疟疾”“相关性”为检索词,并通过其他网络资源及追溯参考文献等方式收集补充相关文献。

### 2 纳入与排除标准

纳入标准:(1)发表年限为数据库建库以来至 2023 年 6 月 24 日的文献;(2)原始研究结果报告了样本量及气象因素与疟疾发病的相关系数和对应的滞后时间的文献。

排除标准:(1)重复发表或资料雷同的文献,仅保留其中质量较好的一篇;(2)会议摘要、病例报道以及系统综述类文献;(3)所研究的气象因素单一或不能提取可供分析数据的文献;(4)未考虑滞后时间的文献;(5)研究时段不超过 1 年的文献。

### 3 文献筛选和信息提取

依文献检索结果,首先按文献标题和摘要初步筛选与本次分析可能相关的文献。然后通读,严格按照纳入标准和排除标准筛选文献,遇到分歧时讨论决定,在阅读和检索过程中追踪补充符合相关标准的文献。建立信息摘录表,摘录信息包括第一作者、发表年限、题目、研究地区和时间、样本量及其单位、气象因素及其与疟疾发病的相关系数和滞后时间。由 2 位研究员独立筛选文献、提取信息,存在分歧时协商解决或征求第 3 位研究人员意见。参考观察性研究报告规范 (STROBE V4 Checklist Cross-Sectional) 对纳入研究进行质量评价<sup>[8-9]</sup>。

## 4 统计学分析

采用异质性检验证明研究间效应量、研究质量与样本含量等方面的差别是否具有统计学意义,若  $P > 0.1, I^2 < 50\%$  可认为多个同类研究具有同质性,可选用固定效应模型,反之采用随机效应模型。确定模型后对纳入研究的效应值进行合并,并绘制森林图。采用 Egger 检验分析潜在的发表偏倚。采用 R4.0.2 软件进行统计分析,检验水准  $\alpha$  为 0.05。

本研究中以相关系数  $r_s$  作为效应值,纳入文献的研究结果以 Pearson 相关系数  $r$  报告的,需要转换成相应的 Spearman 相关系数  $r_s$  值,转换公式为<sup>[9]</sup>:  $r_s = \frac{6}{\pi} \sin^{-1} \frac{r}{2}$

在合并过程中对  $r_s$  进行 Fisher 转换变为  $Z$  值,所有分析均使用转换值  $Z$  进行。合并后再将合并效应值及其可信区间转换为  $r_s$ ,以显示因素与疾病之间的相关性<sup>[10]</sup>。相应的转换公式如下:

$$\text{Fisher's } Z = 0.5 \times \ln \frac{1+r_s}{1-r_s}$$

$$V_z = \frac{1}{n-3}$$

$$S_E = \sqrt{V_z}$$

式中, $r_s$  为相关系数, $Z$  为由  $r_s$  经 Fisher 转换得到的  $Z$  值, $V_z$  为  $Z$  值的方差近似值, $S_E$  为  $Z$  值标准误( $S_E$ )。

## 结果

### 1 纳入文献的一般情况

初检出相关文献 1 811 篇,其中英文 1 724 篇,中文 87 篇。经过阅读文题和摘要,剔除重复发表和明显不相关的文献,排除 1 699 篇,再通过阅读全文,剔除结果报告中未包含相关系数、滞后时间和研究气象因素单一的文献,排除 98 篇。最终纳入 14 篇文献,涉及

16个地区。文献筛选流程见图1。

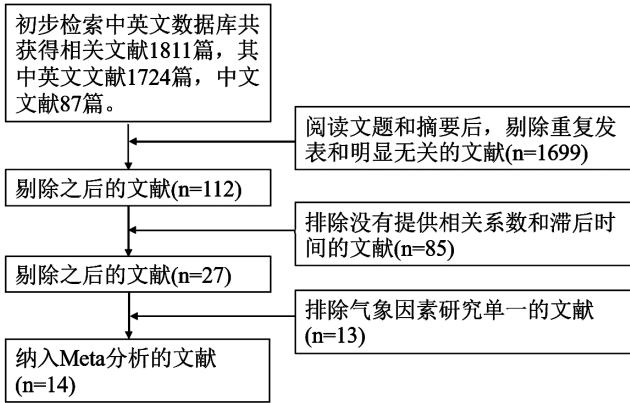


图1 文献筛选流程

Fig. 1 Literature selection process

纳入的文献中，时间单位均为“月”，样本量大于100的有8篇。纳入分析的气象因素主要包括平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度和降雨量等。纳入研究的基本特征见表1。

## 2 气象因素与疟疾发病的相关关系

**2.1 气温** 平均气温、平均最高气温和平均最低气温的  $I^2$  值分别为 93.7%、94.5% 和 94.0%，提示均存在异质性 ( $P < 0.01$ )，用随机效应模型进行效应值的合并。合并结果显示，平均气温、平均最高气温、平均最低气温与疟疾发病均呈正相关，合并效应值  $r_s$  值分别为 0.49 (95% CI: 0.33-0.63)，0.39 (95% CI: 0.20-0.55) 和 0.49 (95% CI: 0.33-0.62)，均有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。见图2、表2。

表1 纳入文献的基本特征

Table 1 Basic characteristics of the included literature

第一作者 (发表年) First author (year)	研究地区 Study location	样本量 (月) Sample size	结局指标 Outcome indicator	平均气温 (°C)		平均最高气温 (°C)		平均最低气温 (°C)		平均相对湿度 (%)		降雨量 (mm)	
				Average temperature		Average maximum temperature		Average minimum temperature		Average relative humidity		Precipitation	
				$r_s$ 值	滞后时间	$r_s$ 值	滞后时间	$r_s$ 值	滞后时间	$r_s$ 值	滞后时间	$r_s$ 值	滞后时间
Tegegne, E(2022) <sup>[11]</sup>	埃塞俄比亚 西戈贾姆地区	60	$r_s$	0.318 **	0	-	-	-	-	-0.391 **	1	-0.332 **	2
Dutta, S(2021) <sup>[12]</sup>	印度 马哈拉施特拉邦	108	$r_s$	0.367 *	2	0.324 *	3	0.384 *	1	0.284 *	0	-0.108	3
Adeola, A. M(2017) <sup>[13]</sup>	南非 穆塔勒地方自治市	233	$r_s$	0.520 **	0	0.420 **	1	0.570 **	2	0.390 **	2	0.530 **	2
温亮(2017) <sup>[14]</sup>	中国海南省万宁市	156	$r_s$	0.610 **	1	0.570 **	1	0.540 **	1	-0.290 **	1	0.170 *	1
Chirebvu, Elijah(2016) <sup>[15]</sup>	博茨瓦纳 图布村	60	$r$	0.476 *	1	0.315 *	2	0.519 *	1	-	-	0.401 *	1
Sena, L(2015) <sup>[16]</sup>	埃塞俄比亚西南部	96	$r_s$	-	-	-0.316	2	0.123	0	0.171 *	3	0.108 *	4
曾晓露(2015) <sup>[17]</sup>	中国海南省	60	$r_s$	0.437 **	1	0.471 **	1	0.393 **	1	0.181	1	0.203	1
成芳(2014) <sup>[18]</sup>	中国江苏省	120	$r_s$	0.899 **	1	0.880 **	1	0.917 **	1	0.675 *	1	0.842 **	1
樊雯婧(2013) <sup>[19]</sup>	中国安徽省合肥市	60	$r_s$	0.734 **	0	-	-	-	-	0.384 **	0	0.559 **	2
Gao, H. W(2012) <sup>[20]</sup>	中国安徽省北部	240	$r_s$	0.320 *	1	0.330 *	1	0.310 *	1	0.330 *	0	0.550 *	1
Gao, H. W(2012) <sup>[20]</sup>	中国安徽省中部	240	$r_s$	0.220 *	1	0.230 *	1	0.210 *	1	0.340 *	0	0.530 *	2
Gao, H. W(2012) <sup>[20]</sup>	中国安徽省南部	240	$r_s$	0.320 *	1	0.320 *	1	0.310 *	1	0.230 *	1	0.480 *	2
Alemu, A(2011) <sup>[21]</sup>	埃塞俄比亚 吉马镇	120	$r_s$	0.037	1	-0.200 *	1	0.223 *	1	0.177	1	0.214 *	1
Zhang, Y(2010) <sup>[22]</sup>	中国山东省济南市	144	$r_s$	-	-	0.590 **	1	0.650 **	1	0.420 **	1	0.190	1
Devi, N. P(2006) <sup>[23]</sup>	印度 北阿坎德邦	48	$r$	0.618 **	1	0.549 **	2	0.688 **	1	0.675 **	0	0.701 **	1
Bi, P(2003) <sup>[24]</sup>	中国舒城县	144	$r_s$	-	-	0.444 **	1	0.467 **	1	0.376 **	1	0.347 **	1

注: \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

表2 气象因素与疟疾发病相关关系的 Meta 分析

Table 2 Meta-analysis of the correlation between meteorological factors and the incidence of malaria

气象因素 Meteorological factors	文献数(篇) Number of literature	研究地区(个) Study location	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]	异质性检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test $I^2$ value (%)
平均气温(°C)	11	13	0.49(0.33, 0.63)	93.7 **
平均最高气温(°C)	12	14	0.39(0.20, 0.55)	94.5 **
平均最低气温(°C)	12	14	0.49(0.33, 0.62)	94.0 **
平均相对湿度(%)	13	15	0.28(0.13, 0.42)	90.1 **
降雨量(mm)	14	16	0.37(0.21, 0.52)	92.8 **

注: \*\*  $P < 0.01$ 。

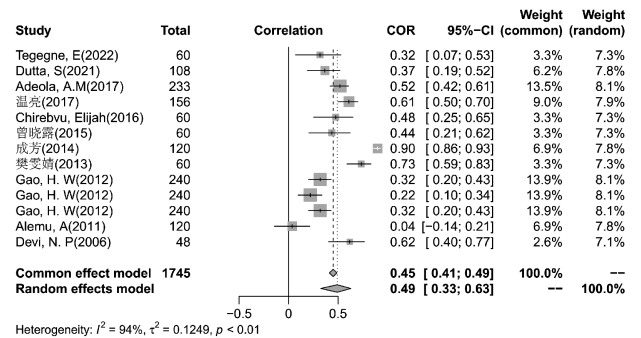


图2 平均气温与疟疾发病的相关关系森林图

Fig. 2 Forest plot of correlation between average temperature and incidence of malaria

**2.2 平均相对湿度和降雨量** 通过异质性检验后采用随机效应模型,平均相对湿度和降雨量与疟疾的发病均呈正相关,合并后效应值  $r_s$  值分别为 0.28(95% CI:0.13-0.42)、0.37(95% CI:0.21-0.52),均有统计学意义( $P < 0.01$ )。见表 2。

### 3 亚组分析

**3.1 按样本量分组** 将纳入文献按样本量分为  $n < 100$ 、 $n > 100$  两组,在以“ $n < 100$ ”为单位的亚组中,平均气温与疟疾发病相关性的异质性下降至 68.4%, $r_s$  值为 0.53(95% CI:0.37-0.67),呈中等强度正相关。平均最高气温、平均相对湿度、降雨量与疟疾发病的相关关系无统计学意义。在以“ $n > 100$ ”为单位的亚组中,各气象因素的异质性及相关系数与不分组时基本一致。见表 3。

**3.2 按经济情况分组** 将纳入文献所研究的地区按经济情况分为中高等、中低等、低等三组,在以“中高等”为单位的分组中,各气象因素的异质性及相关系数与不分组时无明显差异(表 4)。在以“中低等”为单位的分组中,平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平

均相对湿度的异质性均有不同程度的下降,如平均最高气温的异质性下降至 59.7%,降雨量与疟疾发病的相关系数无统计学意义,其他气象因素与不分组时无明显差别。在以“低等”为单位的分组中,平均气温、平均相对湿度、降雨量与疟疾发病的相关系数无统计学意义,平均最高气温与疟疾的发病呈负相关。平均最高气温和平均最低气温的异质性降至 0, $r_s$  值分别为 -0.25(95% CI:-0.37--0.12)和 0.18(95% CI:0.05-0.31)。

**3.3 按气候带分组** 将纳入文献的研究地区按气候带分为热带、亚热带、温带三组,在以“热带”为单位的分组中,平均相对湿度与疟疾发病的相关系数无统计学意义,其他气象因素的异质性及相关系数与不分组时差别不大(表 5)。在以“亚热带”分组中,各气象因素的异质性及相关系数与不分组时无明显差别。在“温带”分组中,平均相对湿度的异质性降至 0, $r_s$  值为 0.36(95% CI:0.27-0.45)。降雨量与疟疾发病的相关系数无统计学意义,其他气象因素与不分组时基本一致。

表 3 气象因素与疟疾发病相关关系的亚组分析(按样本量分组)

Table 3 Subgroup analysis of the correlation between meteorological factors and malaria incidence (grouped by sample size)

气象因素 Meteorological factors	$n < 100$			$n > 100$		
	研究地区 (个) Study location	异质性检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test (%)	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]	研究地区 (个) Study location	异质性检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test (%)	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]
平均气温(°C)	5	68.4	0.53(0.37,0.67)	8	96.0	0.47(0.20,0.67)
平均最高气温(°C)	4	92.5	0.27(-0.15,0.60) <sup>a</sup>	10	95.0	0.43(0.22,0.61)
平均最低气温(°C)	4	83.0	0.44(0.18,0.65)	10	95.4	0.51(0.30,0.67)
平均相对湿度(%)	5	90.3	0.23(-0.15,0.55) <sup>a</sup>	10	90.7	0.31(0.15,0.45)
降雨量(mm)	6	89.8	0.30(-0.03,0.57) <sup>a</sup>	10	93.9	0.41(0.21,0.58)

注:<sup>a</sup>表示  $P > 0.05$ 。

表 4 气象因素与疟疾发病相关关系的亚组分析(按经济情况分组)

Table 4 Subgroup analysis of the correlation between meteorological factors and malaria incidence (grouped by economic situation)

气象因素 Meteorological factors	中高等 Medium-high level			中低等 Medium-low level			低等 Lower level		
	研究地区 (个) Study location	异质性 检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test (%)	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]	研究地区 (个) Study location	异质性 检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test (%)	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]	研究地区 (个) Study location	异质性 检验 $I^2$ 值 Heterogeneity test (%)	合并效应值 Merger effect value [ $r_s$ (95% CI)]
平均气温(°C)	9	95.0	0.55(0.35,0.70)	2	72.0	0.49(0.20,0.70)	2	69.5	0.17(-0.12,0.42) <sup>a</sup>
平均最高气温(°C)	10	93.0	0.49(0.32,0.63)	2	59.7	0.43(0.18,0.62)	2	0	-0.25(-0.37,-0.12)
平均最低气温(°C)	10	95.1	0.53(0.34,0.68)	2	83.6	0.54(0.18,0.78)	2	0	0.18(0.05,0.31)
平均相对湿度(%)	10	90.7	0.32(0.15,0.46)	2	88.6	0.50(0.03,0.79)	2	91.8	-0.11(-0.60,0.43) <sup>a</sup>
降雨量(mm)	11	90.7	0.47(0.32,0.59)	2	96.7	0.36(-0.53,0.87) <sup>a</sup>	3	84.0	0.00(-0.31,0.32) <sup>a</sup>

注:<sup>a</sup>表示  $P > 0.05$ 。

### 4 敏感性分析与发表偏倚

对纳入的研究进行敏感性分析结果显示,纳入平均气温和平均最低气温的各项研究中,剔除成芳<sup>[18]</sup>的研究后异质性分别降至 84.0%和 83.5%,但相关系数差别不大。其他气象因素的各项研究敏感性分析均未见异质性明显降低,且相关系数变化不大。

各气象因素的 Egger 检验显示,均无统计学意义

( $P > 0.05$ ),说明分析中不存在发表偏倚(表 6)。

## 讨论

本研究经 Meta 分析,气象因素与疟疾发病有一定关系,纳入的平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度、降雨量 5 个气象因素均与疟疾发病呈正相关,其中平均气温、平均最高气温、平均最低气

温、降雨量为中等强度相关,平均相对湿度为弱相关。

表 5 气象因素与疟疾发病相关关系的亚组分析(按气候带分组)  
Table 5 Subgroup analysis of the correlation between meteorological factors and the incidence of malaria (grouped by climatic zones)

气象因素 Meteorological factors	热带 Tropics			亚热带 Subtropics			温带 Temperate zone		
	研究地区 (个)	异质性 检验 $I^2$ 值	合并效应值 Merger effect value	研究地区 (个)	异质性 检验 $I^2$ 值	合并效应值 Merger effect value	研究地区 (个)	异质性 检验 $I^2$ 值	合并效应值 Merger effect value
	Study location	Heterogeneity test(%)	[ $r_s$ , (95% CI)]	Study location	Heterogeneity test(%)	[ $r_s$ , (95% CI)]	Study location	Heterogeneity test(%)	[ $r_s$ , (95% CI)]
平均气温(°C)	8	81.6	0.43(0.30,0.56)	4	97.9	0.63(0.17,0.86)	1	-	0.32(0.20,0.43)
平均最高气温(°C)	8	92.8	0.28(0.04,0.50)	4	97.4	0.54(0.09,0.81)	2	89.9	0.47(0.18,0.68)
平均最低气温(°C)	8	80.2	0.44(0.31,0.56)	4	98.1	0.57(0.04,0.85)	2	94.5	0.50(0.10,0.76)
平均相对湿度(%)	8	92.0	0.16(-0.10,0.40) <sup>a</sup>	5	85.5	0.41(0.24,0.56)	2	0	0.36(0.27,0.45)
降雨量(mm)	9	90.3	0.23(0.01,0.43)	5	92.7	0.58(0.36,0.74)	2	93.8	0.39(-0.01,0.68) <sup>a</sup>

注:<sup>a</sup>表示  $P>0.05$ 。

表 6 各气象因素发表偏倚结果  
Table 6 Results of publication bias by meteorological factors

气象因素 Meteorological factors	Egger 检验 Egger's test	
	t	P
平均气温(°C)	0.96	0.36
平均最高气温(°C)	0.17	0.86
平均最低气温(°C)	0.84	0.42
平均相对湿度(%)	-0.20	0.85
降雨量(mm)	-1.08	0.30

气象因素会为疟疾的传播提供了有利的条件,在疟疾的传播过程中发挥了重要的作用。疟疾广泛分布于热带和亚热带地区,因此气温是影响疟疾传播最重要的气象因素之一。降水会影响媒介按蚊的栖息地和按蚊宿主的分布<sup>[25]</sup>。相对湿度的变化也会影响按蚊密度消长和疟疾疫情的波动<sup>[26]</sup>。气象因素与疟疾之间的联系具有滞后性<sup>[27]</sup>,如温度、相对湿度和降雨量对疟疾发病存在滞后效应影响,且不同气象因子表现出不同的滞后关联模式和幅度,这可能是由于不同研究地点的不同气候、地理条件造成的<sup>[28]</sup>。本研究发现温度在滞后的时间里与疟疾发病呈正相关,Rouamba等<sup>[7]</sup>研究也发现滞后14周的温度与疟疾发病显著相关,这可能是由于温度会影响疟疾媒介按蚊的繁殖速度和体内疟原虫的发育速度<sup>[29]</sup>。每日气温波动也会影响一些因素,例如疟原虫的发育速度、蚊子的成熟速度以及蚊子叮咬的时间间隔等。这些因素共同作用的结果是,当平均气温较低时,每日温度波动会加速疟疾的传播。当平均气温较高时,每日温度波动会减少疟疾的传播<sup>[30]</sup>。此外,本研究还发现相对湿度、降雨量在滞后的时间里与疟疾发病呈正相关,这与Huang等<sup>[29,31]</sup>研究结果相似,且湿度在滞后2个月的延迟效应和降雨量在滞后3个月的延迟效应较好,这可能与湿度会引起按蚊孳生地的分布变化,还会直接影响按蚊的活动有关。

在亚组分析中,平均最高气温、平均相对湿度、降雨量3个因素在“ $n<100$ ”为单位的亚组中结果显示无统计学意义,这提示样本量大小可能会对相关关系的

结果有影响。在“低等”为单位的分组中,气温与疟疾发病的相关性有下降的趋势,这与疟疾传播和社会经济地位低下呈正相关的关系不同<sup>[7]</sup>,提示在研究气象因素与疟疾发病的相关性时,应综合考虑社会经济、气候条件等多方面的影响,否则要慎重下结论。在气候带亚组分析中,亚热带的各气象因素的相关性都高于热带和温带,这可能是与温度过高或过低影响疟原虫的发育,湿度过高或过低影响按蚊的生存有关<sup>[32]</sup>。

本研究采用meta分析对气象因素与疟疾发病的相关关系进行了定量的系统综述,仅纳入了报告相关系数和对应滞后时间的研究,未能对使用其他统计方法的研究进行分析,也未考虑多因素之间的关联,可能存在一定偏倚。但Egger检验结果良好,不存在严重的发表偏倚,说明本研究结果较稳定,具有较强的参考价值。

气象因素与疟疾的发病有一定相关性。应持续关注气候变化,并提前采取保护措施以预防疟疾的发生和发展。但在以后对二者的相关性研究中,应综合考虑滞后时间、气候类型、社会经济情况以及人群等因素造成的影响,进而为疟疾发病的影响因素研究和预测预警研究提供重要的参考价值。并提示相关部门应重视气象因素对疟疾的影响,做好相应的防控措施。

【参考文献】

- [1] Ashley EA, Pyae Phyo A, Woodrow CJ. Malaria [J]. Lancet (London, England), 2018, 391(10130):1608-1621.
- [2] WHO. World malaria report 2021 [M]. Geneva: World Health Organization, 2021.
- [3] 丰俊,张丽,夏志贵,等. 中国消除疟疾:重要里程碑意义及消除后的挑战[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2021, 39(4):421-428.
- [4] 夏志贵,周水森,汤林华. 中国消除疟疾的历程、意义、主要经验及消除后策略与展望[J]. 传染病信息, 2022, 35:39-45, 59.
- [5] Jang JH, Lee JH, Je MK, et al. Correlations between the incidence of national notifiable infectious diseases and public open data, including meteorological factors and medical facility resources [J]. J Preven Med Pub Heal, 2015, 48(4):203-215.

(下转 182 页)

- Parasitol, 2010, 26(4):162-167.
- [12] Chen Q, Wang X, Li C, et al. Investigation of parasitic nematodes detected in the feces of wild carnivores in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. Pathogens, 2022, 11(12):1520.
- [13] 谢宜, 王莹, 王旭, 等. 基于高通量测序的家犬粪便寄生虫病原调查[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2023, 41(3):325-330.
- [14] 王逢会, 王波波, 蔡葵蒸. 蛇形毛圆线虫单种分离株的建立[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(5):7-12.
- [15] Kanzaki N, Ide T. *Diplogasteroides luxuriosa* sp. associated with *Acalolepta luxuriosa* (Coleoptera: Cerambycidae) from Japan [J]. Nematology, 2016, 18(2):221-233.
- [16] Wang CR, Lou Y, Gao JF, et al. Comparative analyses of the complete mitochondrial genomes of the two murine pinworms *Aspiculuris tetraptera* and *Syphacia obvelata* [J]. Gene, 2016, 585(1):71-75.
- [17] 李春阳, 王旭, 陈齐鲁, 等. 基于分子生物学技术对四川省石渠县野外犬科动物蠕虫感染情况调查[J]. 中国病原生物学杂志, 2022, 17(6):675-681.
- [18] Duncan KT, Koons NR, Litherland MA, et al. Prevalence of intestinal parasites in fecal samples and estimation of parasite contamination from dog parks in central Oklahoma [J]. Vet Parasitol Reg Stud Reports, 2020, 19:100362.
- [19] 高海军, 丹巴泽里, 凌攀, 等. 2018-2022年四川省甘孜藏区棘球蚴病监测结果分析[J]. 中国病原生物学杂志, 2023, 18(11):1311-1314, 1319.
- [20] 康殿巨, 张俊杰, 斯郎格玛, 等. 2016-2019年四川省甘孜州棘球蚴病综合防治效果评估[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2021, 39(2):150-155.
- [21] 方晨, 邓金华, 赵辰昊, 等. 呼图壁县家犬肠道寄生虫感染情况调查报告[J]. 当代畜牧, 2019(14):49-50.
- [22] 冯兴明, 张金宝, 石磊, 等. 羊体内寄生虫的驱虫试验[J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37(5):85-88.
- 【收稿日期】 2023-10-08 【修回日期】 2023-01-10
- 
- (上接 176 页)
- [6] Lemma W. Description of malaria epidemics and normal transmissions using rainfall variability in Gondar Zuria highland District, Ethiopia [J]. Heliyon, 2021, 7(8):e07653.
- [7] Rouamba T, Nakanabo-Diallo S, Derra K, et al. Socioeconomic and environmental factors associated with malaria hotspots in the Nanoro demographic surveillance area, Burkina Faso [J]. BMC public health, 2019, 19(1):249.
- [8] Vandembroucke JP, von Elm E, Altman DG, et al. Strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE): explanation and elaboration [J]. Ann Intern Med, 2007, 147(8):W163-94.
- [9] Rupinski MT, Dunlap WP. Approximating pearson product-moment correlations from kendall's tau and spearman's rho [J]. Educat Psychol Measure, 2016, 56(3):419-429.
- [10] Michael Borenstein, Larry V Hedges, Julian PT Higgins, Hannah R Rothstein. Introduction to meta-analysis [M]. United States: Wiley, 2009.
- [11] Tegegne E, Alemu Gelaye K, Dessie A, et al. Spatio-Temporal Variation of Malaria Incidence and Risk Factors in West Gojjam Zone, Northwest Ethiopia [J]. Environ Heal Insight, 2022, 16:11786302221095702.
- [12] Dutta S, Jagtap M, Balasubramaniam R, et al. A pilot study on assessing the effect of climate on the incidence of vector borne disease at Pune and Pimpri-Chinchwad area, Maharashtra [J]. Mausam, 2021, 72(2):399-414.
- [13] Adeola AM, Botai JO, Rautenbach H, et al. Climatic variables and malaria morbidity in mutale local municipality, South Africa: A 19-year data analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2017, 14(11):1360.
- [14] 温亮, 林明和, 李承毅, 等. 疟疾与气象因素关系不同模型预测效果比较[J]. 中国公共卫生, 2017, 33(6):942-945.
- [15] Chirebvu E, Chimbari MJ, Ngwenya BN, et al. Clinical malaria transmission trends and its association with climatic variables in tubu village, botswana: a retrospective analysis [J]. PloS one, 2016, 11(3):e0139843.
- [16] Sena L, Deressa W, Ali A. Correlation of Climate Variability and Malaria: A Retrospective Comparative Study, Southwest Ethiopia [J]. Ethiop J Heal Sci, 2015, 25(2):129-138.
- [17] 曾晓露. 海南地区疟疾疫情分布特征及环境影响因素研究[D]. 重庆: 第三军医大学, 2015.
- [18] 成芳. 气候因素与江苏省常见传染病发病关联的研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- [19] 樊雯婧. 合肥市疟疾发病预测数学模型应用及发病现况的流行病学研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2013.
- [20] Gao HW, Wang LP, Liang S, et al. Change in rainfall drives malaria re-emergence in Anhui Province, China [J]. PloS one, 2012, 7(8):e43686.
- [21] Alemu A, Abebe G, Tsegaye W, et al. Climatic variables and malaria transmission dynamics in Jimma town, South West Ethiopia [J]. Parasit Vect, 2011, 4:30.
- [22] Zhang Y, Bi P, Hiller JE. Meteorological variables and malaria in a Chinese temperate city: A twenty-year time-series data analysis [J]. Environ Intern, 2010, 36(5):439-445.
- [23] Devi NP, Jauhari RK. Climatic variables and malaria incidence in Dehradun, Uttaranchal, India [J]. J Vect Born Dis, 2006, 43(1):21-28.
- [24] Bi P, Tong S, Donald K, et al. Climatic variables and transmission of malaria: A 12-year data analysis in Shuchen County, China [J]. Public Heal Rep, 2003, 118(1):65-71.
- [25] 夏菁, 蔡顺祥, 林文, 等. 湖北省 2004-2009 年疟疾发病率与气象因素关系[J]. 热带医学杂志, 2016, 16(7):937-940, 944.
- [26] Bashar K, Tuno N. Seasonal abundance of Anopheles mosquitoes and their association with meteorological factors and malaria incidence in Bangladesh [J]. Parasit Vect, 2014, 7:442.
- [27] 赵星. 气象因子与疟疾的高维交互作用关系的流行病学研究[C]//中国气象学会. 第 33 届中国气象学会年会 S16 气候环境变化与人体健康, 2016:6.
- [28] Zhao X, Chen F, Feng Z, et al. The temporal lagged association between meteorological factors and malaria in 30 counties in south-west China: a multilevel distributed lag non-linear analysis [J]. Malaria J, 2014, 13:57.
- [29] 刘起勇. 气候变化对中国媒介生物传染病的影响及应对——重大研究发现及未来研究建议[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2021, 32(1):1-11.
- [30] Paaajmans KP, Blanford S, Bell AS, et al. Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107(34):15135-15139.
- [31] Huang F, Zhou S, Zhang S, et al. Temporal correlation analysis between malaria and meteorological factors in Motuo County, Tibet [J]. Malaria J, 2011, 10:54.
- [32] 齐小秋. 疟疾防治手册. 第 3 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- 【收稿日期】 2023-08-04 【修回日期】 2023-11-01