

# 气候因素对浦东新区蚊虫密度影响的效应分析

谢博,冯磊,顾盈培,沈安梅,刘汉昭,刘俊,蔡凤珠

上海市浦东新区疾病预防控制中心(复旦大学浦东预防医学研究院),上海 200136

**摘要:** **目的** 分析上海市气象情况变化趋势以及浦东新区人工小时法监测结果的蚊虫密度消长规律;探索各种气象因素对浦东新区蚊虫密度的影响。**方法** 收集2011年3月至2015年11月上海市的单日气象数据,整理同时期浦东新区蚊虫人工小时法监测结果。使用分布滞后非线性模型研究气象因素对蚊虫密度指数的影响效应。**结果** 单日平均气温与蚊虫密度指数呈明显非线性关系,滞后天数与效应强度呈“U”型,在温度为32℃时,相对危险度值最高达到2.2。滞后效应在3 d左右达到最强,随后逐渐降低,在10 d后又逐渐回升。湿度的影响情况与温度类似,风速的结果与温、湿度相反。**结论** 温度对蚊虫密度指数效应在滞后3 d时最强,湿度对蚊虫密度影响效应无明显滞后。

**关键词:** 病媒生物;人工小时法;分布滞后非线性模型

**中图分类号:** R384.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-8280(2019)04-0430-04

**DOI:** 10.11853/j.issn.1003.8280.2019.04.017

## An analysis of the effect of climatic factors on mosquito density in Pudong New Area, Shanghai, China

XIE Bo, FENG Lei, GU Ying-pei, SHEN An-mei, LIU Han-zhao, LIU Jun, CAI Feng-zhu

Shanghai Pudong New Area Center for Disease Control and Prevention (Pudong Institute of Fudan University for Preventive Medicine), Shanghai 200136, China

Corresponding author: CAI Feng-zhu, Email: 13671671455@163.com

Supported by the Research Grant for Health Science and Technology of Pudong Health Bureau of Shanghai

**Abstract: Objective** To analyze the trend in the meteorological characteristics of Shanghai, China, and the pattern of changes in mosquito density (surveyed by the labor hour method) in Pudong New Area, Shanghai, and to explore the effect of meteorological factors on mosquito density in Pudong New Area. **Methods** The single-day meteorological data from March 2011 to November 2015 in Shanghai were collected; meanwhile, the mosquito surveillance data based on the labor hour method in Pudong New Area during the same period were collected. The distributed lag non-linear model was used to determine the effect of meteorological factors on mosquito density index. **Results** A significant non-linear relationship was found between single-day average temperature and mosquito density index. The number of lag days showed a U-shaped relationship with the effect intensity. The relative ratio value reached a maximum of 2.2 at 32℃. The lag effect achieved a peak within about 3 days, then gradually decreased, and gradually recovered after 10 days. The effect of humidity was similar to that of temperature. The result of wind velocity was contrary to that of temperature and humidity. **Conclusion** The temperature shows a maximum effect on mosquito density index after 3 lag days, and the humidity has no significant lag effect on mosquito density.

**Key words:** Vector; Labor hour method; Distributed lag non-linear model

研究表明,近40年以来地球的平均气温有明显升高趋势。气象因素作为伴随人类生存的诸多因素之一,对人类的影响是多方面多层次的。其中气象因素改变导致部分病原体及宿主的生存环境改变,从而产生新的流行特点,也是气候变暖对人类的负面影响之一。2014年我国广东省的登革热疫情将

登革热带入了大众的视野<sup>[1]</sup>,2015年寨卡病毒病的流行是人类历史上已知的最大规模的疾病流行之一<sup>[2]</sup>,2014年基孔肯雅热在美洲的多起暴发<sup>[3]</sup>,这些都暗示我们蚊媒疾病病原体与传播媒介本身的生存状况可能已经产生变化,蚊媒疾病可能会成为今后全球公共卫生领域的重点关注对象。国内目前在研究气

**基金项目:**上海市浦东新区卫生局卫生科技项目

**作者简介:**谢博,男,硕士,主要从事病媒生物控制工作,Email: bbyn0208@163.com

**通信作者:**蔡凤珠,Email: 13671671455@163.com

**网络出版时间:**2019-06-20 19:59 **网络出版地址:**http://navi.cnki.net/knavi/JournalDetail?pcode=CJFD&pykm=ZMSK

象因素对蚊虫密度消长的关系时,较多采用回归类模型<sup>[4]</sup>,通常会分析主要气象因素如平均温度、平均湿度、降雨量以及风速等自变量与蚊虫密度监测结果之间的相关性强弱,再通过多元回归的方式建立相关的统计学模型。而国外学者在研究气象因素对蚊虫密度的影响时,往往会采用更加复杂的数学模型,并且纳入模型的气象参数也更加复杂,如积温与湿度的复合指标、降雨量与蒸发量的复合参数以及土壤中污染物的指标等。Chaves 等<sup>[5]</sup>、Jian 等<sup>[6]</sup>均采用更加复杂的模型如 Gompertz 模型等研究气象因素与蚊虫种群密度的动态关系,得出了类似但更加精细的研究结论,特别是研究中采用降雨量与蒸发量的复合参数,合理的解决了同类研究中降雨量与蚊虫密度关系结果不稳定的问题。

本研究采用的分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model,DLNM)是广义相加模型的一种,用来分析气象因素对人工小时法监测结果的非线性关系与滞后效应,该模型最主要的优势在于可以实现对效应关系的具体滞后时间进程进行描述<sup>[7-9]</sup>。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 病媒生物监测数据 2011—2015 年市级监测点相关社区卫生服务中心每年 3—11 月每旬开展监测,具体监测点类型包括居民住宅区 2 个(地下车库和居民楼梯背面)、公园 1 个(厕所和苗圃房)、医院 1 个(浴室、厕所和宿舍等)、2 个农户、1 个大型绿地和 1 个动物饲养场,每旬监测数据由浦东新区疾

病预防控制中心汇总得出。

1.1.2 气象资料 本研究使用由上海市气象部门提供的上海市 2011 年 3 月 1 日至 2015 年 11 月 30 日的单日常规气象监测数据,包括每日平均气温、最低气温、最高气温、相对湿度、降雨量和平均风速。

1.2 方法 人工小时法捕获蚊虫数占种群总数可能为小概率事件,故认为实际分布为准泊松分布。将蚊虫密度指数的广义相加泊松回归模型与分布滞后非线性模型结合,分析各种气象因素对蚊虫密度指数的影响。基本模型为:

$$\text{Log}[E(Y_t)] = \alpha + \gamma DMT_t + s(\text{time}, df) + s(\text{humidity}, df) + s(\text{wind}, \text{speed}, df) + Z_t$$

其中,  $Y_t$  为  $t$  日当日蚊虫密度指数;  $E(Y_t)$  为  $t$  日当日蚊虫密度指数的期望值;  $\text{time}$  为时间序列中的时间变量,  $s()$  为平滑样条函数;  $\gamma$  为观察日  $t$  的日平均气温的系数;  $\text{humidity}$  为观察日  $t$  的相对湿度;  $\text{wind}, \text{speed}$  为观察日  $t$  的平均风速;  $df$  为自由度;  $Z_t$  为对应变量产生线性影响的解释变量。

本研究统计分析应用 R 3.1.3 的“dlm”和“mgcv”程序包进行 DLNM 的相关分析,使用 Excel 2016 软件进行数据的整理与辅助分析。

2 结果

2.1 主要气象因素的分布 上海市 2011—2015 年期间主要气象因素的分析情况见表 1, 5 年期间上海市日平均气温、日最高气温、日最低气温、相对湿度、日平均降雨量、风速的均值为 17.5℃、21.2℃、14.3℃、69.3%、31.4 mm 和 3.0 m/s。

表 1 2011—2015 年上海市主要气象因素分布情况  
Table 1 Distribution of major meteorological factors in Shanghai, 2011—2015

指标	平均值	标准差	最小值	P <sub>1</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>	P <sub>99</sub>	最大值
日平均气温(℃)	17.5	9.2	-3.4	0.2	4.6	9.4	18.7	25.1	29.3	32.7	35.7
日最高气温(℃)	21.2	9.4	-0.4	2.8	7.5	13.2	22.4	28.7	33.2	37.1	39.4
日最低气温(℃)	14.3	9.3	-6.8	-6.8	1.4	6.3	15.1	22.5	26.6	29.1	31.8
相对湿度(%)	69.3	12.3	23.0	23.0	53.0	62.0	70.0	79.0	85.0	92.0	95.0
降雨量(mm)	31.4	98.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	88.0	451.5	1 284.0
风速(m/s)	3.0	1.1	0.4	0.4	1.8	2.3	2.9	3.6	4.4	6.1	10.5

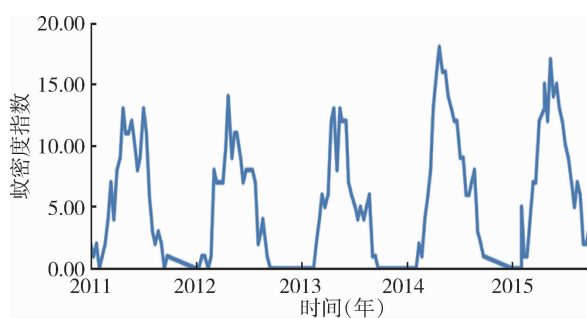
注: P<sub>1</sub>、P<sub>10</sub>、P<sub>25</sub>、P<sub>50</sub>、P<sub>75</sub>、P<sub>90</sub>、P<sub>99</sub> 分别为对应百分位数

2.2 人工小时法监测蚊虫数据描述性分析 2011—2015 年市级监测点相关社区卫生服务中心每年 3—11 月每旬开展蚊虫监测,每旬 8 个监测点数据平均得到浦东新区当旬蚊虫密度指数,5 年共 135 条数据记录。平均值为 6.17 只/人工小时,标准差为 4.93,最小值为 0 只/人工小时,最大值为 18.00 只/人工小时。图 1 显示出明显的夏秋季较高的周期特性。

2.3 不同气象因素对蚊虫密度指数的滞后效应分析

在模型参数识别过程中,分步组合各种气象因素构建模型,结合赤池信息准则(akaike's information criterion, AIC)对各个变量进行取舍并确定其他参数,最终选取 AIC 最小的模型进行气象因素与蚊虫密度指数效应的分析。最终进入模型的气象因素有日平均气温、相对湿度和风速。

分别以单日平均气温、湿度、风速与蚊虫密度指数、滞后天数组合来构建三维效应图。分析在不同滞后天数下各种气象因素对人工小时法蚊虫密度指



注:调查时间均为每年的3月8日

图1 2011—2015年上海市浦东新区人工小时法调查蚊虫密度指数

**Figure 1** Surveillance results of mosquito density index by the labor hour method in Pudong New Area, Shanghai, 2011–2015

数的作用效应。单日平均气温与蚊虫密度指数呈明显非线性关系,特别是在高温天气,滞后天数与效应强度呈“U”型,在温度为 32 °C 时,相对危险度(RR)

值最高达到 2.2。滞后效应在 3 d 左右达到最强,随后逐渐降低,在 10 d 后又逐渐回升(图 2)。湿度的影响情况与温度类似,但是最强效应出现在滞后 0~1 d,方向转折出现在滞后 11~12 d(图 2)。风速的结果与温、湿度相反,在滞后 0~4 d 内效应逐渐增强,最大 RR 值为 1.7,4 d 之后逐渐减弱(图 2)。

**2.4 不同滞后天数下各种气象因素对蚊虫密度效应分析** 在滞后 0、3、6 d 时,随着气温升高,效应逐渐增强,其中在滞后 3 d 时,效应强度随气温变化最为明显,在滞后 9、12、15 d 时,效应强度随气温升高逐渐减弱,但整体效应强度均较低(图 3)。在不同滞后天数下湿度与效应关系同温度类似,但效应强度随湿度变化程度并不明显(图 4)。风速的效应强度随天数变化规律较复杂,在滞后 3、6 d 时,效应强度随风速增加而变强,在其他滞后天数变化均不明显且整体效应较弱。

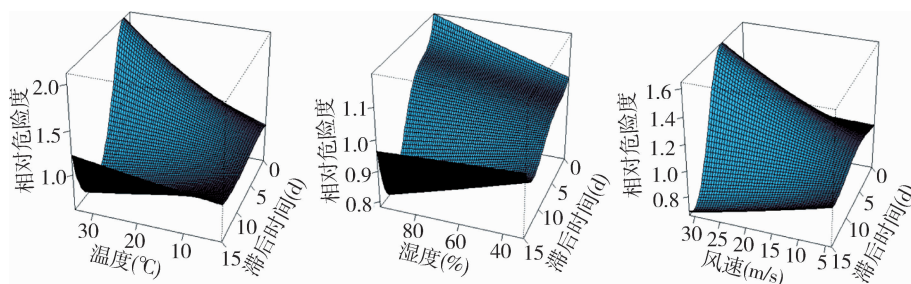


图2 相对危险度随日平均气温、相对湿度、风速与滞后日(lag)变化的3D图

**Figure 2** The 3D chart of changes in relative ratio with single-day average temperature, relative humidity, wind velocity, and number of lag days

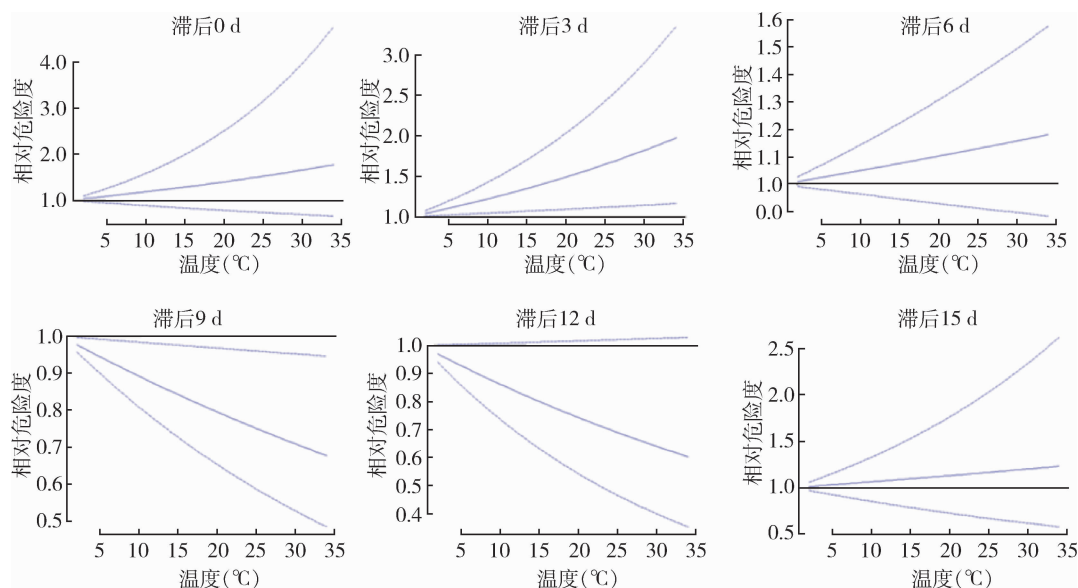


图3 不同滞后天数下温度与效应强度的变化关系

**Figure 3** The relationship between temperature and effect intensity for different lag days

### 3 讨论

目前对气象因素与蚊虫密度之间滞后效应的研

究并不多见,故滞后效应形成的机制也不明确,分析原因可能是蚊虫的各个形态阶段均会被所处环境的物理条件所影响,温、湿度等气象因素有可能会改变

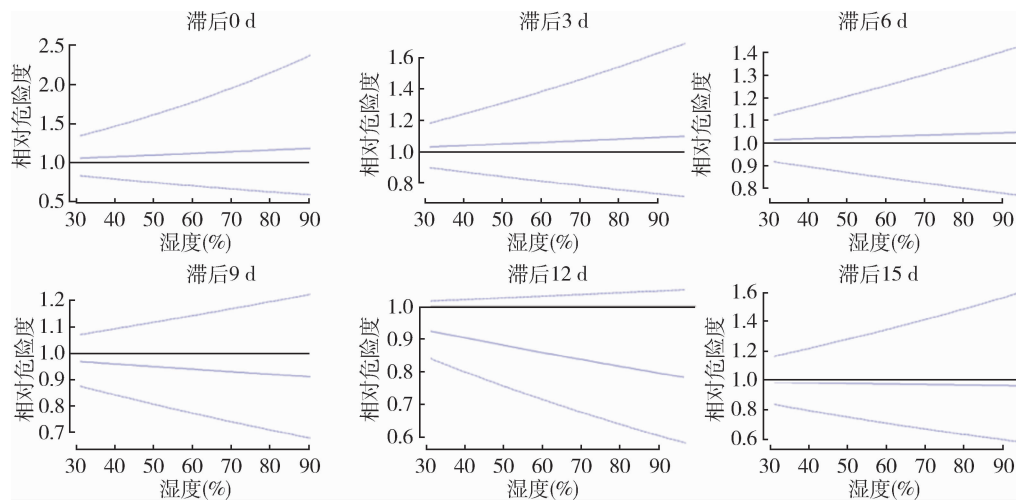


图4 不同滞后天数下湿度与效应强度的变化关系

Figure 4 The relationship between humidity and effect intensity for different lag days

蚊虫变态发育各个阶段的周期,同时适宜的温度也会增加成蚊的活动度。但气象因素对蚊虫发育过程中各个阶段发育周期的影响到成蚊密度增加的结果需要一定的时间周期来体现,这个时间周期可能与从被影响状态到成蚊状态之间的发育时间大致相符,从而导致气象因素与成蚊密度之间的相关关系出现滞后效应。对于本研究所得结果,有3点值得深思:(1)本研究无法体现蚊虫生长发育以及生存活动的最低临界温度与最高临界温度,可能是因为上海市气候较为温和,在监测周期内,平均气温已经较高,高于最低临界温度导致无法观测到低温阈值。而上海市1年之中出现极端高温天气的概率极低,故没有大量在高温时监测的蚊虫密度结果,导致无法观测到高温阈值。(2)除温、湿度以外的气象因素,在不同方法不同地区的研究中结果差异很大,降雨量在很多研究中被发现与蚊虫密度存在正相关性关系,但又有其他研究发现降雨量与蚊虫密度并无关联。降雨本身可增加适宜蚊虫孳生的环境,应该是利于蚊虫孳生与发育活动,但出现上述情况的原因可能为降雨量数据本身平滑性较差,与日平均气温数据相比稍显杂乱,波动周期远大于蚊虫变态发育的各个周期,故对蚊虫生长发育的影响不容易观测。(3)与降雨量相同,风速在气象因素与蚊虫密度关系多项研究中也显示出不同的结果,个人认为可能是由于风速本身的特殊性质造成。风速是指空气相对于地球某一固定地点的运动速率,在风速较低时,很可能距离很近的某两点风速会有所不同,如在距离较近的两栋大楼之间风速为 $a$ ,但其中一栋大楼的大厅内风速可能为0,在大楼之间的绿化灌木中风速可能稍大于0但远小于 $a$ 。气象监测站监测

所得的风速很难代表蚊虫生存的微小环境的实际风速。故风速与蚊虫密度的关系同样难以形成稳定的观测结果。

#### 参考文献

- [1] 熊益权,陈清. 1978—2014年我国登革热的流行病学分析[J]. 南方医科大学学报, 2014, 34(12): 1822—1825. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4254.2014.12.24.
- [2] Duchemin JB, Mee PT, Lynch SE, et al. Zika vector transmission risk in temperate Australia: a vector competence study [J]. Virol J, 2017, 14(1): 108. DOI: 10.1186/s12985-017-0772-y.
- [3] 龚震宇,龚训良. 2004—2016年美国虫媒传染病报告疫情趋势分析[J]. 疾病监测, 2018, 33(8): 707—708. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2018.08.021.
- [4] 王金娜,凌锋,郭颂,等. 浙江省蚊虫密度的相关气象因素研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015, 26(5): 464—466, 470. DOI: 10.11853/j.issn.1003.4692.2015.05.008.
- [5] Chaves LF, Morrison AC, Kitron UD, et al. Nonlinear impacts of climatic variability on the density-dependent regulation of an insect vector of disease [J]. Global Change Biol, 2012, 18(2): 457—468. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02522.x.
- [6] Jian Y, Silvestri S, Belluco E, et al. Environmental forcing and density-dependent controls of *Culex pipiens* abundance in a temperate climate (Northeastern Italy) [J]. Ecol Mod, 2014, 272: 301—310. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.10.019.
- [7] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models [J]. Stat Med, 2010, 29(21): 2224—2234. DOI: 10.1002/sim.3940.
- [8] Gasparrini A. Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models [J]. Stat Med, 2014, 33(5): 881—899. DOI: 10.1002/sim.5963.
- [9] Gasparrini A. Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm [J]. J Stat Softw, 2011, 43(8): 1—20.

收稿日期: 2019-04-11 (编辑: 陈秀丽)