

陈业滨, 李卫红, 黄玉兴, 李晓歌, 华家敏. 广州市登革热时空传播特征及影响因素[J]. 热带地理, 2016, 36(5): 767-775.  
CHEN Yebin, LI Weihong, HUANG Yuxing, LI Xiaoge, HUA Jiamin. Spatio-temporal Spreading Features and the Influence Factors of Dengue Fever in Downtown Guangzhou[J]. Tropical Geography, 2016, 36(5): 767-775.

## 广州市登革热时空传播特征及影响因素

陈业滨<sup>1</sup>, 李卫红<sup>1</sup>, 黄玉兴<sup>1</sup>, 李晓歌<sup>2</sup>, 华家敏<sup>1</sup>

(1. 华南师范大学 地理科学学院, 广州 510631; 2. 中国人民大学 环境学院, 北京 100872)

**摘要:**以广州市主城区为研究区, 着眼于街道等微观尺度, 首先通过实地调查分析法、核密度分析法、标准差椭圆法, 探究登革热时空传播特征; 其次结合交叉相关性分析法与地理探测器, 分析温度、湿度、气压、用地类型对登革热传播的影响, 讨论了不同用地类型交互作用与登革热扩散的关系。研究表明: 1) 登革热时空传播具明显的阶段性特征, 多发生于居住环境较差、人口密度较高的区域, 并快速向外扩散; 2) 登革热发展初期, 以输入型病例为主; 3) 环境较差、老年人口众多、人员构成复杂、交通便捷的老城区是登革热高爆发风险区域; 4) 温度、湿度、气压对登革热传播存在显著滞后性影响关系, 温度、湿度与登革热传播呈正相关关系, 气压与登革热传播呈负相关关系; 5) 居民人口分布与登革热传播关系最为密切, 池塘、农田、草地、公共绿地交互地区会增加登革热传播风险。

**关键词:**登革热; 时空传播特征; 气象因素; 用地类型; 交叉相关性分析; 地理探测器; 广州

**中图分类号:** R512.8

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-5221(2016)05-0767-09

**DOI:** 10.13284/j.cnki.rddl.002881

登革热(Dengue Fever, DF)是一种由登革病毒引起的, 通过伊蚊传播的急性传染病<sup>[1]</sup>, 具有发病率高、传播迅猛、重症患者死亡率高等特点<sup>[2]</sup>, 目前主要流行于热带和亚热带地区<sup>[1-5]</sup>。随着全球气候变暖趋势的加强, 登革热的负面影响进一步加剧, 现已成为影响人类健康的主要疾病<sup>[6]</sup>。对登革热的时空传播特征分析和影响因素研究, 能挖掘其时空分布的潜在特征, 了解其时空传播规律, 确定影响登革热扩散的主导因素, 为登革热防控提供理论支撑。

目前, 登革热传播特征及影响因素研究受到国内外学者的广泛关注。从影响因素研究上看, 大多依据研究目的选择计量模型, 通过数理分析揭示众多因素对登革热病毒的影响特征。如 Gharbi 等<sup>[7]</sup>利用时间序列分析模型, 确定在瓜德罗普地区, 温度、湿度、降雨对登革热的发生存在时间滞后影响; Do 等<sup>[8]</sup>以河内为例, 利用交叉相关分析法, 分析了登革热与气象因素的关系, 确定不同气象因素对登革

热的影响存在差异; Åström 等<sup>[9]</sup>研究指出登革热的地理分布与气象条件和社会经济条件都有较强的关系; 郭华<sup>[10]</sup>、郑学礼<sup>[11]</sup>等利用社会经济、温度、降雨等因素, 分析面向主动监控的感染风险时空模式建模与挖掘, 确定气温是影响登革热传播的重要因子。登革热传播的时间及空间特征同样受到关注。鲁亮等<sup>[12]</sup>从气象学角度出发, 通过交叉分析, 得出天气因素对登革热疫情存在 8~10 周的时间滞后影响, 并依此构建登革热流行风险地图; 罗雷<sup>[13]</sup>分析 1978—2010 年不同时期的广州市登革热变化特征, 明确广州市登革热主要集中爆发于 7—10 月份, 确定越秀、荔湾、天河和海珠为登革热重灾区; 李卫红等<sup>[4]</sup>构建了基于复杂地理环境因素驱动的 GA-BP 模型, 用于登革热时空预测与模拟。

总体而言, 已有研究对于登革热传播的时间、空间特征及影响因素等方面均有关关注, 能够为预防并控制登革热疫情的蔓延发挥一定作用; 但是, 上述学者较少从微观视角分析登革热传播特征。而登

收稿日期: 2016-06-18; 修回日期: 2016-08-16

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41201432); 国家自然科学基金项目(41171141)

作者简介: 陈业滨(1991—), 男, 广东人, 硕士研究生, 主要从事时空数据挖掘研究, (E-mail) yebincheng1991@163.com

通信作者: 李卫红(1966—), 女, 四川人, 副教授, 学士, 主要从事犯罪地理研究及时空数据挖掘, (E-mail) hongweili9981@163.com。

革热的爆发往往需要在一个较小范围内经历形成、传播和扩散的过程,因此对街道等微观尺度的深入考察尤为必要。同时,登革热的传播并非仅仅是单一因素作用的结果,而是多因素交互作用的产物。为此,本文从微观时空视角出发,以广州市主城区为研究区域,以 2014 年研究区登革热数据、气象数据、土地利用数据为数据源,利用实地调查分析法、核密度分析、标准差椭圆、交叉相关性分析和地理探测器模型方法等数据分析手段,研究登革热时空传播特征及其与气象因子、土地利用因子之间的响应关系。以期为登革热地区的预防控制提供重要参考。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区概况

广州市具有人口密度高、外来人口多、流动性大等特点<sup>[14]</sup>,一直是广东省乃至全国的登革热重灾区<sup>[15]</sup>。从 2001 年开始,广州市登革热疫情逐渐加剧,在 2002、2006、2010 以及 2014 年登革热疫情相继出现大规模爆发<sup>[16]</sup>,其中以 2014 年最为严重,累计报告病例达 36 934 例,是广州市近 10 a 来最严重的登革热疫情。

在广州市域中,主城区的常住人口约 822.63 万人,占广州市人口总量 72%,登革热病例则占全市总量的 86.6% (数据来源于广东省疾病预防控制中心)。研究区内人口数量相对较多,医疗控制体系发达,集生产生活等多种城市功能于一身,适合分析登革热的时空传播特征,挖掘登革热时空传播影响因素。因此,本文以广州市主城区(越秀、荔湾、海珠、天河、白云、黄埔、萝岗)为研究区域,具有典型性和较好的代表性(图 1)。

### 1.2 研究数据

**1.2.1 登革热数据** 登革热数据来源于广东省疾病预防控制中心。依据广州市内登革热发病案例时间进行统计,时间跨度为 2014-01-01-11-12 (此后没有新生病例)。根据发病人所在地(住所地址或单位地址),利用空间标准地址库地址匹配进行地理编码,获取病例的空间坐标,生成登革热时空分布图(图 2)。

**1.2.2 气象数据** 登革热是一种蚊媒传播疾病,其流行受气象因素的明显制约<sup>[17-21]</sup>。因此,选取日均温度、日均湿度、日均气压为影响因素,分析气象因素对登革热传播的影响。气象数据源于广州五山气象监测站,依据登革热病例发生情况,确定时间

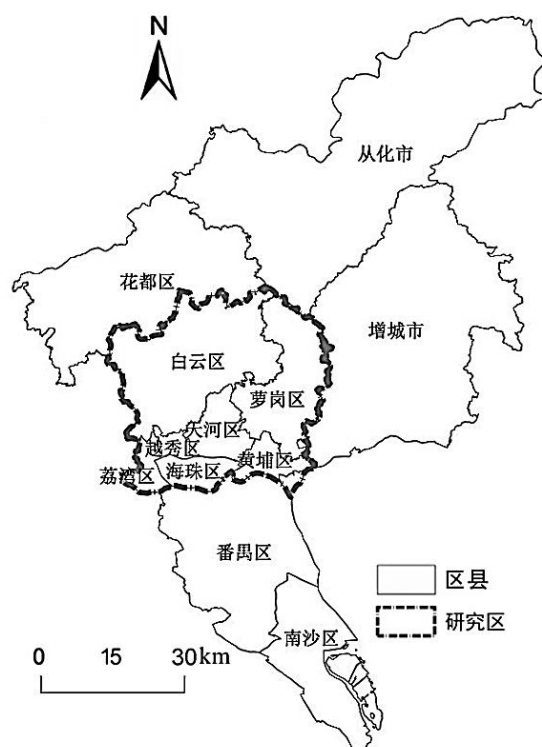


图 1 研究区域

Fig.1 The study area

注: 2014 年 2 月起,广州市撤销黄埔区、萝岗区,设立为新的黄埔区;撤销从化市、增城市,设立从化区、增城区。

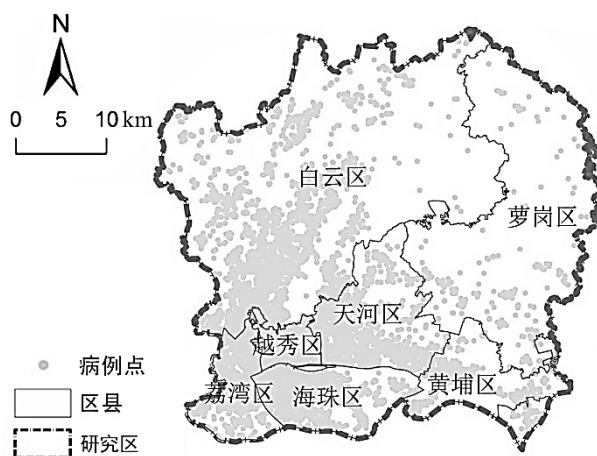


图 2 登革热时空分布

Fig.2 Spatio-temporal distribution of Dengue Fever

跨度为 2014-01-01-2014-11-12。

**1.2.3 土地利用数据** 土地利用数据来自于 2014 年 2.5 m SPOT 卫星遥感影像图。通过图像目视解译方法,按照土地利用大类将土地类型分为农田、林地、草地、公共绿地、池塘、水库、河流、居民地共 8 个大类,土地利用分类如图 3 所示。

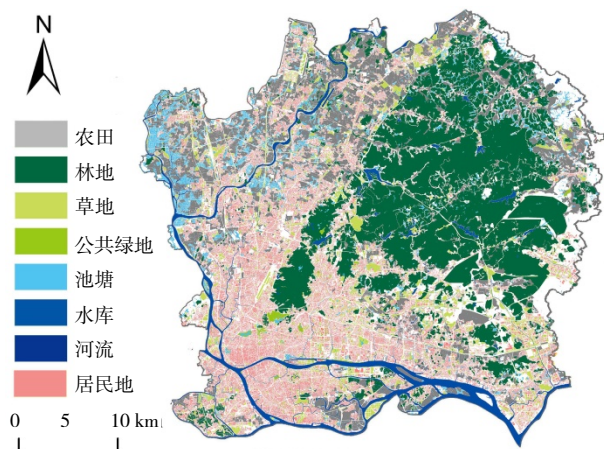


图3 土地利用分类

Fig.3 Classification of landuse

## 2 研究方法

本文所用研究方法有实地调查分析、交叉相关性分析、核密度分析、标准差椭圆与地理探测器。其中,采用核密度分析法与标准差椭圆法进行登革热热点制图,将热点图按时间与空间单元进行提取、叠加、关联,绘制登革热时空传播路径图。实地调查分析法主要考察登革热重灾区(越秀区)的人员结构特征、交通情况、卫生环境条件等。相关性分析方法采用 Pearson 相关性分析,由于 Pearson 相关性分析较为简单,使用非常普遍,在此不作详细介绍,具体方法参见《SPSS 统计分析基础教程》<sup>[22]</sup>。

### 2.1 核密度分析

核密度估算法可直观、简洁表示二维地理空间的登革热热点分布,是一种常用的空间分布模式识别手段。通过对不同时间段的登革热新增病例进行核密度分析,能把握其时空扩散态势及传播路径。核密度分析的一般形式如下式:

$$F(p) = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi R^2} \left[ 1 - \frac{h_i^2}{R^2} \right]^2 \quad (1)$$

式中:  $F(p)$  为位置  $p$  的核密度;  $R$  为搜索半径;  $h_i$  为点  $p$  到点  $i$  的距离。

### 2.2 标准差椭圆分析

标准差椭圆分析是确定样本分布中心及样本扩散程度和方向的方法<sup>[23]</sup>,可用于识别登革热病例的空间分布状态及传播方向。原理是以登革热病例点位平均中心作为起点,对  $x$  坐标和  $y$  坐标的标准差进行计算,确定病例点在  $x$  和  $y$  方向上的标准距离,定义一个包含所有要素分布的椭圆的轴线。其一般形式如式(2)(3)所示。登革热分布与传播的方向

性强弱,可以通过椭圆扁率进行分析,扁率越大,登革热传播的方向性越明显,扁率的一般形式如式(4)所示。

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (3)$$

$$O = (a - b)/a \quad (4)$$

式中:  $SDE_x$ 、 $SDE_y$  为椭圆  $x$  和  $y$  方向的标准差;  $n$  为病例点总数;  $(\bar{x}, \bar{y})$  为病例点平均中心;  $(x_i, y_i)$  为第  $i$  个病例点坐标,  $i = (1, 2, 3, \dots, n)$ ;  $O$  为椭圆扁率;  $a$  为椭圆长半轴;  $b$  为椭圆短半轴。

### 2.3 交叉相关性分析

蚊媒生长繁殖以及病毒在载体体内发育的影响因素是导致登革热传播的重要因素<sup>[17-20]</sup>。这些因素主要是天气因素,如温度、湿度和气压等<sup>[21]</sup>。温度、湿度和气压对登革热的影响存在一定的滞后关系,且大多在4个月内发生作用。交叉相关分析(Cross-Correlation Analysis)可用于分析不同时间滞后条件下,因变量与影响因素间的相关关系<sup>[12]</sup>。本文采用交叉相关性分析方法,设定最大延迟时间设定为22周,分析研究区内温度、湿度、气压在不同时间滞后条件下对登革热传播的影响。相关操作在SPSS 21中完成。

### 2.4 地理探测器

2.4.1 地理探测模型 登革热的空间分布受空间地理要素制约,运用地理探测器(Geographical Detector)可有效识别不同地理因素以及它们交互作用下对登革热空间传播的影响,原理在于检验属性空间分异与因子空间分异的两空间分布的一致性<sup>[24-27]</sup>,目前已在地方性疾病风险的地理影响因素研究、县域城镇化空间特征形成机理研究等方面有了较多应用。地理探测器模型公式如下<sup>[27]</sup>:

$$q_{D,H} = 1 - \frac{1}{n\sigma_H^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{H_{D,i}}^2 \quad (5)$$

式中:  $q_{D,H}$  为影响因子  $D$  对登革热  $H$  的影响力指标;  $\sigma_H^2$  为整个区域登革热的方差;  $n$  为研究区样本数量;  $m$  为次级区域的个数;  $\sigma_{H_{D,i}}^2$  为次一级区域登革热数量的方差。  $\sigma_{H_{D,i}}^2 \neq 0$  时,模型成立。  $q_{D,H} \in [0, 1]$ ,  $q_{D,H} = 0$  时,表明登革热的数量不受因素的影响,  $q_{D,H}$  越大时,表明因素对登革热的解释能力越大,  $q_{D,H} = 1$  时,解释效果达到最佳。

2.4.2 交叉探测模型 不同影响因子间的交互作用可能会促进登革热的空间传播,运用地理探测器中

的交叉探测功能可以分析影响因子间的交互作用对登革热空间传播的影响,公式如下:

$$\begin{aligned} q_{D,H}(D_i \cap D_j) &> q_{D,H}(D_i) + q_{D,H}(D_j): \text{非线性协同作用} \\ q_{D,H}(D_i \cap D_j) &< q_{D,H}(D_i) + q_{D,H}(D_j): \text{非线性拮抗作用} \\ q_{D,H}(D_i \cap D_j) &= q_{D,H}(D_i) + q_{D,H}(D_j): \text{相互独立} \end{aligned} \quad (6)$$

式中:  $q_{D,H}(D_i \cap D_j)$  表示影响因子  $D_i, D_j (i \neq j)$  的交互作用对登革热 H 的影响力指标;  $q_{D,H}(D_i)$  表示影响因子  $D_i$  对登革热 H 的影响力指标;  $q_{D,H}(D_j)$  表示影响因子  $D_j$  对登革热 H 的影响力指标。

具体而言,本研究地理探测器模型的运用大体包括如下部分:

1) 数据预处理。以  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  为单元对研究区进行网格划分,将研究区划分为 44 行  $\times$  47 列,共计 2 068 个网格,其中研究区范围内网格 1 360 个。将登革热病例以及居民地、公共绿地等 8 种用地类型分别进行识别 (Identify)、融合 (Dissolve)、空间关联操作 (Spatial Join)、字段计算器 (Field Calculator),分别计算出每个网格中的病例点数量及农田、林地、草地、公共绿地、池塘、水库、河流、居民地与网格面积的比值。相关操作在 ArcGIS 10.1 中完成;

2) 去除共线性因素干扰。相关性高的用地因子之间,存在多重共线性,因此需要对不同用地类型进行交叉相关性分析,去除相关性过高的用地类型因子;

3) 区间离散化。地理探测器针对类别数据的算法分析结果优于连续数据,采用 2 步聚类法,根据登革热的传播特点及多次试验结果,将网格中的登革热病例数量及农田等用地类型按照数量分别划分为 5 个级别 (1、2、3、4、5 级),相关操作在 SPSS 21 中完成;

4) 影响因素探究。利用地理探测器测算方法,分别对全局与分区进行地理探测,计算各用地因子对登革热分布的影响能力及不同探测因子交互对登革热空间分布的影响<sup>[27]</sup>,相关操作在 GeoDetector 2015 中完成。

### 3 结果与讨论

通过对登革热病例数据初步统计发现,病例传播具有明显的阶段性特征 (表 1)。总体可将登革热传播过程划分为:初期发展阶段、中期爆发阶段和后期消亡阶段。

初期发展阶段为 1 月 1 日至 5 月 30 日,病例发

表 1 登革热时间序列分布

Tab.1 Time-series distribution of Dengue Fever

|        | 时间   | 输入型 | 本地型    | 总病例    |
|--------|------|-----|--------|--------|
| 初期发展阶段 | 1 月  | 1   | 1      | 2      |
|        | 2 月  | 0   | 0      | 0      |
|        | 3 月  | 1   | 0      | 1      |
|        | 4 月  | 1   | 0      | 1      |
|        | 5 月  | 4   | 0      | 4      |
| 中期爆发阶段 | 6 月  | 6   | 15     | 21     |
|        | 7 月  | 1   | 155    | 156    |
|        | 8 月  | 2   | 1 500  | 1 502  |
|        | 9 月  | 0   | 13 538 | 13 538 |
|        | 10 月 | 0   | 16 072 | 16 072 |
|        | 11 月 | 0   | 684    | 684    |
| 总计     |      | 16  | 31 965 | 31 981 |

生数量最少,仅为 8 例,占总量 0.02%;中期爆发阶段为 6 月 1 日至 10 月 31 日,这一阶段登革热病例显著增多,表现出爆发性增长特点,新增病例达 31 289 例,占总量 97.84%;后期消亡阶段为 11 月 1 日以后,这一阶段共发病 684 例,占总量 2.14%。同时,依据病例传入类型可分为输入型与本地型。

#### 3.1 登革热传播特征分析

3.1.1 初期发展阶段登革热传播特征分析 该阶段登革热病例共有 8 例。具体而言,除白云区黄石街道出现 2 例外,荔湾区茶滘街道、白云区景泰街道、越秀区建设街道、海珠区华珠街道、新港街道、萝岗区萝岗街道各有 1 例,其中仅白云区景泰街道的病例为本地型病例,其余为输入型病例。可见,这一阶段登革热发病频次最低,且以输入型病例为主。

对初期阶段病例的发生地点进一步考察发现 (表 2),这一时期的病例大多分布于地铁线、高速公路两侧等交通便利、人流量较大的区域。主要发病地区大多分布于主城区边缘或邻近城中村等外来人口密集、居住环境较差的区域。这表明在登革热发展初期,广州市主城区内登革热疾病的传播以外来人口向城区的流入/流出为主,主要表现为从卫生环境较差的城中村及老城区逐渐向周边新城区扩散。这一特征与发展初期传播类型以输入型为主导的结论相吻合,也与宁文艳等<sup>[28]</sup>得出的我国登革热疫情是由输入型病例引起的本地流行这一结论相一致。

3.1.2 中期爆发阶段登革热传播特征分析 随着输入型病例将登革病毒的带入,研究区登革热蔓延趋势不断加剧,传播类型从输入型转变为本地型。这一阶段新增病例为 31 289 例,本地型病例 31 280 例,占总量 99.97%。中期爆发阶段疫情表现出明显



表 2 初期阶段病例发生地点情况  
Tab.2 Occurrence of Dengue Fever Cases in the initial stage

| 街道名称 | 数量/例 | 病例类型 | 空间位置                                           |
|------|------|------|------------------------------------------------|
| 茶滘街道 | 1    | 输入型  | 距地铁 3 号线仅 400 m 左右                             |
| 景泰街道 | 1    | 本地型  | 邻近广州火车站，距离地铁 2 号线仅 800 m 左右                    |
| 建设街道 | 1    | 输入型  | 邻近越秀公园，距离地铁 1 号线仅 500 m 左右，距离地铁 6 号线仅 600 m 左右 |
| 华珠街道 | 1    | 输入型  | 距离广州环城高速仅 300 m 左右，靠近华南高速路仅 700 m 左右           |
| 新港街道 | 1    | 输入型  | 邻近中大站，距离地铁 8 号线仅 270 m 左右                      |
| 黄石街道 | 2    | 输入型  | 2 个病例空间相邻，彼此相距仅 200 m 左右，同时距离地铁 2 号线仅 300 m 左右 |
| 萝岗街道 | 1    | 输入型  | 距离沈海高速仅 900 m                                  |

的阶段特征（图 4），可大体划分为爆发阶段初期（6—7 月）与爆发阶段后期（8—10 月）。

1）爆发阶段初期特征

在研究区登革热疫情进入爆发阶段的初期后，

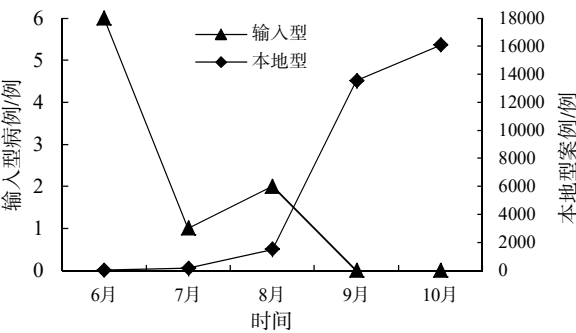


图 4 登革热中期爆发阶段传播特点  
Fig.4 Propagation characteristics of Dengue Fever in the outbreak phase

越秀区表现出明显的高峰（占新病例的 66.1%），并以其为中心，向周边急剧扩散传播，呈现出“中心高，外围低”特点（图 5）。对越秀区进一步研究发现：病例主要集中在东湖（55 例，占越秀区总量 47%），大东（19 例，占越秀区总量 16%）和农林（13 例，占越秀区总量 11%）3 个街道。

对上述 3 个街道进行调研发现：（1）核心区居住环境较差、蚊虫滋生。房屋多是具有 > 30 a 年限的老式建筑，部分区域建筑密度较高，房屋存在遮挡现象，采光条件较差。房屋周边多种植有林荫树及灌木，阴暗潮湿地带众多。暴雨过后，容易出现污水积水，利于蚊虫的大量孳生。（2）外来人口较多，输入性病例传入风险较大。从人员构成上看，区域居住有大量黑人，本地人多以老年人口居多。这可能是因为越秀区是广东省政府所在地，地价高昂，大多商业公司会优先选择其他新兴商业活动中

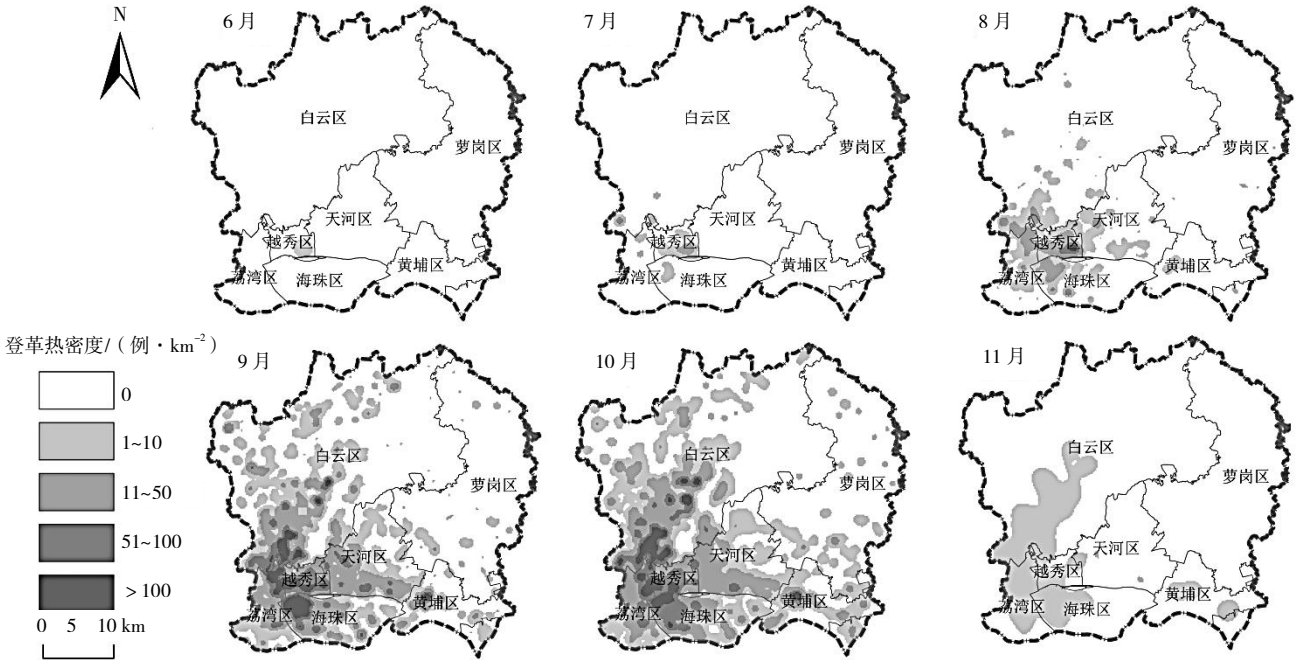


图 5 登革热热点  
Fig.5 Hotspot of Dengue Fever

心落户，导致青年人口外流到广州其他地区，老年人口比例升高。(3)交通通达，紧邻医院，空间壁垒严重削弱。上述街道距离广东省人民医院、中山大学附属医院直线距离仅约 200 m，同时邻近地铁线和内环高速，在缺乏健全防控措施条件下，极易受到医院内接受救治病例的进一步辐射与扩散，为登革病毒的进一步传播提供条件。

2) 爆发阶段后期特征

爆发阶段的后期，气温升高，蚊媒繁殖量上升，登革热疫情迅速爆发。呈现以东湖、大东、农林街道为核心，向周边迅速扩散传播态势。

通过登革热标准差椭圆图(图 6)与时空扩散图(图 7)可以发现：登革热爆发阶段初期(6—7 月)登革热标准差椭圆扁率最高，分别为 0.56、0.39，爆发阶段后期(8—10 月)，椭圆扁率逐渐降低，分

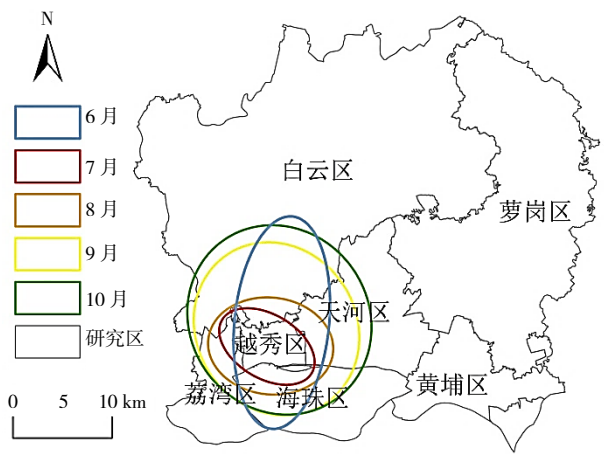
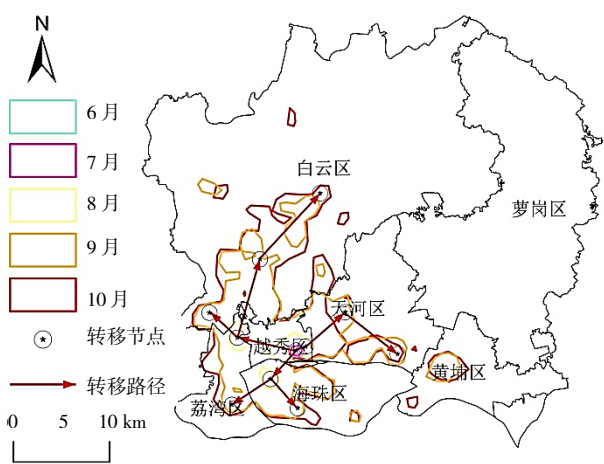


图 6 登革热标准差椭圆  
Fig.6 Standard deviation ellipse of Dengue Fever



注：图中彩色部分为不同月份登革热的热点区域。

图 7 登革热时空扩散  
Fig.7 Spatio-temporal diffusion of Dengue Fever

别为 0.23、0.10、0.08。登革热爆发阶段初期分布特点带有明显的方向性，倾向于向广州老城区(越秀、荔湾、海珠)的人员密集处传播，随后向周边地区蔓延(白云区、天河区、黄埔区、萝岗区)，标准差椭圆的均值中心呈现向北偏东方向偏移趋势。形成越秀东南部、海珠区西部、荔湾区北部三大热点区域，覆盖整个越秀区以及荔湾区北部、海珠区西部、白云区南部、天河区西部。疫情较为严重的区域，具备居住区相对老旧、老年人集聚、交通便利等特征。

3.1.3 后期消亡阶段登革热传播特征分析 后期消亡阶段(11 月)，登革热发展受到遏制，热点区域迅速变小并消亡。11 月份开始，温度下降，降水变少，天气逐渐干燥，环境条件向不利于蚊媒生长的方向转化，伊蚊繁殖期基本结束，蚊虫叮咬问题逐步减弱。加之人为灭蚊活动的开展，病患的有效隔离，登革热传播态势得到有效抑制，新增病例数量显著回落。

3.2 气象因素与登革热的关系

通过交叉相关分析对温度、湿度和气压对登革热传播的影响特征进行分析，研究不同滞后周数下，不同气象因子与登革热数量的相关关系，分析结果如图 8 及表 3 所示。

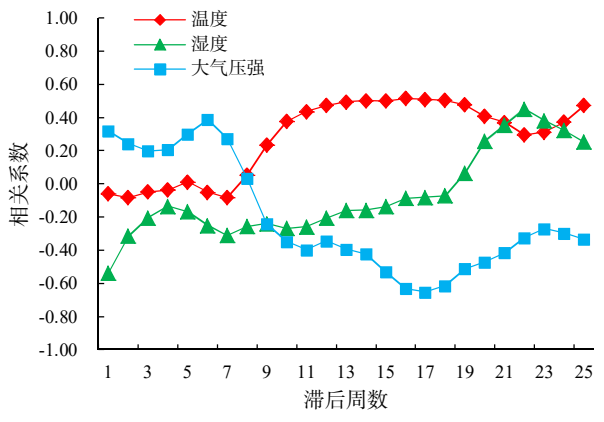


图 8 登革热与气象数据交叉相关性分析结果  
Fig.8 The cross-correlation value between meteorological data and Dengue Fever

表 3 登革热与气象因素最佳滞后相关关系  
Tab.3 The best lag-correlation value between meteorological data and Dengue Fever

| 指标   | 温度     | 湿度     | 气压      |
|------|--------|--------|---------|
| 相关系数 | 0.52** | 0.45** | -0.65** |
| 显著性  | 0.00   | 0.00   | 0.00    |
| 滞后周数 | 15     | 21     | 16      |

注：\*\*表示在 0.01 的显著性水平下显著(双侧检验)。

从结果中可以发现：研究区温度、湿度对登革热的传播呈正相关关系，气压对登革热的传播呈现负相关关系。具体而言，温度、湿度、气压对登革热传播的影响存在延迟作用，温度因素在滞后 8 周起作用，第 15 周延迟效果最佳，相关系数为 0.52；湿度滞后 18 周，21 周效果最佳，相关系数为 0.45；气压滞后 8 周，16 周效果最佳，相关系数为-0.65。该结果与鲁亮等<sup>[12]</sup>分析结果相吻合。因此，气候温暖，环境潮湿、气压小的环境适宜蚊媒的孳生，此类环境条件下登革热病毒的传播最为迅猛。

3.3 用地因素与登革热的关系

登革热的传播，可能受到地理空间要素分布的影响。为进一步探究登革热影响因素，采用地理探测器方法进行分析，结果见表 4、5、6 所示。

从表 4 中可发现：林地与居民地、草地、农田均存在较大的相关关系， $\text{Corr.}(\text{林地}, \text{居民地}) = -0.597$ ， $\text{Corr.}(\text{林地}, \text{草地}) = -0.376$ ， $\text{Corr.}(\text{林地}, \text{农田}) = -0.350$ ，相关系数绝对值  $> 0.3$ 。为消除共线性对分析结果的影响，应当剔除林地因素，采用余下 7 种因素对登革热的影响进行进一步地理探测

分析。

从表 5 中可以发现，研究区范围内对登革热空间分布起作用的主要影响因子为：居民地 ( $q_{D,H}$  为 0.57)、农田 (0.09)、池塘 (0.04)、草地 (0.04)、公共绿地 (0.02)，其中居民地因素占主导地位。为检验结果可靠性，对居民地  $q_{D,H}$  进行分区探测，结果为： $q_{\text{越秀}} = 0.69$ 、 $q_{\text{海珠}} = 0.59$ 、 $q_{\text{天河}} = 0.55$ 、 $q_{\text{白云}} = 0.47$ 、 $q_{\text{荔湾}} = 0.45$ 、 $q_{\text{黄埔}} = 0.28$ 、 $q_{\text{萝岗}} = 0.11$ 。分区结果表明，居民地因子对登革热空间分布起决定性作用。萝岗区  $q$  值偏小，这可能是由于萝岗区在空间上远离登革热发生的中心区域(越秀区)，发挥出空间壁垒特性，登革热感染病例鲜见导致。

从表 6 中可以发现，农田、草地、池塘交互作用对登革热空间分布的影响大于单一因素影响的纯粹相加。农田 $\cap$ 草地 = 0.17，( $\uparrow 31\%$ ) ( $\cap$ 表示交叉影响， $\uparrow$ 表示因素交叉影响相对于因素影响累加的提升比率)，池塘 $\cap$ 公共绿地 = 0.07 ( $\uparrow 17\%$ )，池塘 $\cap$ 草地 = 0.09 ( $\uparrow 13\%$ )。这是因为公共绿地、草地、农田、池塘具备如下特征：1) 公共绿地、草地是城市居民日常接触较多的场所，雨后易出现积

表 4 不同用地类型因子交叉相关系数

Tab.4 The cross-correlation value among different landuse type

|      | 农田       | 林地       | 草地       | 公共绿地     | 池塘       | 水库       | 河流    | 居民地 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-----|
| 农田   | 1        | —        | —        | —        | —        | —        | —     | —   |
| 林地   | -0.350** | 1        | —        | —        | —        | —        | —     | —   |
| 草地   | -0.022   | -0.376** | 1        | —        | —        | —        | —     | —   |
| 公共绿地 | -0.121** | -0.119** | -0.075** | 1        | —        | —        | —     | —   |
| 池塘   | 0.268**  | -0.147** | -0.053   | -0.073** | 1        | —        | —     | —   |
| 水库   | -0.104** | 0.116**  | -0.049   | -0.017   | -0.059*  | 1        | —     | —   |
| 河流   | -0.015   | -0.177** | -0.019   | -0.044   | -0.023   | -0.037   | 1     | —   |
| 居民地  | -0.180** | -0.597** | 0.173**  | -0.084** | -0.193** | -0.134** | 0.002 | 1   |

注：\*表示在 0.01 水平（双侧）上显著相关；\*\*表示在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

表 5 地理探测结果

Tab.5 Geo-detector result

| 土地类型 | 研究区       |      | 天河        |      | 白云        |       | 萝岗        |      | 荔湾        |      | 黄埔        |      | 海珠        |      | 越秀        |      |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
|      | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$   | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$  | $q_{D,H}$ | $P$  |
| 居民地  | 0.57      | 0.00 | 0.55      | 0.00 | 0.47      | 0.000 | 0.11      | 1.00 | 0.45      | 0.00 | 0.28      | 0.02 | 0.59      | 0.00 | 0.69      | 0.00 |
| 农田   | 0.09      | 0.00 | 0.10      | 0.02 | 0.09      | 0.000 | 0.01      | 1.00 | 0.14      | 0.02 | 0.02      | 0.92 | 0.21      | 0.00 | 0.07      | 0.08 |
| 池塘   | 0.04      | 0.00 | 0.04      | 0.21 | 0.08      | 0.000 | 0.00      | 1.00 | 0.03      | 0.99 | 0.06      | 0.25 | 0.04      | 0.18 | 0.05      | 0.98 |
| 草地   | 0.04      | 0.00 | 0.06      | 0.11 | 0.05      | 0.00  | 0.04      | 1.00 | 0.31      | 0.00 | 0.09      | 0.17 | 0.06      | 0.28 | 0.09      | 0.34 |
| 公共绿地 | 0.02      | 0.03 | 0.01      | 0.54 | 0.00      | 1.00  | 0.01      | 1.00 | 0.02      | 0.88 | 0.19      | 0.05 | 0.00      | 0.67 | 0.16      | 0.14 |
| 水库   | 0.01      | 0.17 | 0.02      | 0.53 | 0.01      | 0.75  | 0.00      | 1.00 | 0.00      | 1.00 | 0.00      | 0.76 | 0.00      | 1.00 | 0.00      | 1.00 |
| 河流   | 0.00      | 0.80 | 0.01      | 0.83 | 0.00      | 0.92  | 0.00      | 1.00 | 0.03      | 0.77 | 0.05      | 0.87 | 0.02      | 0.93 | 0.08      | 0.33 |

表 6 交叉探测结果

Tab.6 Interaction detector

|      | 居民地  | 农田   | 池塘   | 水库   | 河流   | 公共绿地 | 草地   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 居民地  | 0.57 | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 农田   | 0.65 | 0.09 | —    | —    | —    | —    | —    |
| 池塘   | 0.58 | 0.11 | 0.04 | —    | —    | —    | —    |
| 水库   | 0.57 | 0.11 | 0.06 | 0.01 | —    | —    | —    |
| 河流   | 0.58 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | —    | —    |
| 公共绿地 | 0.58 | 0.11 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | —    |
| 草地   | 0.59 | 0.17 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.04 |

水,多有阴暗潮湿地带分布。2)南方农田多为水田,主要种植水稻等经济作物,在空间上是水体、植被、人员相互交互的天然理想场所;3)蚊媒的孳生依赖于适宜的温度、充足的积水环境,而相对于河流等处于流动状态的水体,池塘具备静止,水体更换周期长等特点,是蚊虫的繁殖的天然适宜场所。在温度适宜的条件下,农田、草地、池塘、公共绿地的交互地带,更适合蚊虫大量繁殖,增强登革热传播风险。

## 4 结论

从微观视角出发,以广州市主城区为研究区域,采用调查分析法、核密度分析法、标准差椭圆法分析登革热不同阶段时空传播特点,并运用交叉相关性分析方法分析温度、湿度、气压对登革热的作用关系,最后通过地理探测器方法,分析地理要素因子对登革热传播的影响关系,得出结论如下:

1)广州市主城区登革病毒传播具有明显的阶段性特征。初期发展阶段(1—5月),登革热类型以输入型为主,地铁周边等交通网络通畅地区是登革热高危地区;中期爆发阶段(6—10月),登革热类型以本地型为主。在老年人口众多,卫生环境条件较差的广州老城区容易最先爆发登革热;8—10月为登革热爆发期,在前期阶段未得到有效控制的情况下,登革热向周边其他居民区快速蔓延,呈现急剧爆发趋势;后期消亡阶段(11月),在温度下降、气候干燥、人为干预的三重作用下,登革热得到有效遏制,新增病例数量显著回落;

2)研究区内,温度、湿度、气压与登革热的传播存在相关关系。温度对登革热的影响存在8~15周的延迟,湿度对登革热的影响存在18~21周的延迟,气压对登革热的影响存在8~16周的延迟;温度与湿度对登革热呈显著正相关影响关系;气压对登革热呈显著负相关影响关系;

3)研究区内,居民地分布是登革热传播的重要因素,其次依次为:农田、池塘、草地,而公共绿地农田与草地、池塘与公共绿地、池塘与草地等在空间上的交互则会进一步加强登革热的空间传播作用。

## 5 建议

依据登革热病毒在广州市主城区内时空分布特征及影响因素分析结果,对广州市登革热防控提出如下建议:

首先,在登革热的发展初期,应当积极做好登革热防治工作,发现病患或者病毒携带者时,做到隔离治疗,减少病患同其他人员的接触;同时关注地铁等人流密集区域、老城区、城中村的环境卫生,从疫情初期缩小蚊媒的生存环境,做好全面灭蚊及消毒工作。

其次,在登革热的爆发阶段,环境较差、老年人口众多、人员构成复杂、交通便捷的广州老城区是高爆发风险区域,这些地区应当作为重点防控单位;同时,随着疫情的快速蔓延,抵抗力较弱的老人应加强自我保护。这一阶段登革热疫情最为迅猛,一旦不能有效抑制,该疾病将迅速向周边其他人口居住地蔓延。

最后,登革热病毒的传播与气象因素具有明显的滞后性特征。在对登革热疫情进行控制时应当准确把握其传播特点,在温度较高,环境潮湿,气压偏低的地区及年份加强防护工作。

## 参考文献:

- [1] 张海林,张云智,冯云,杨卫红,王静林. 云南省 2005 年登革热监测分析[J]. 中国热带医学, 2006, 6(7): 1162-1163.
- [2] 王金娜,陆烨,郭颂,龚震宇. 气象因素影响登革热传播研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2014, 25(6): 594-596.
- [3] HE L H, ZHOU M H, CHU H L, YANG W F, ZHANG X Y. Application of remote sensing technology in research on mosquito borne diseases: a review[J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2014, 2(25): 184-188.
- [4] 李卫红,陈业滨,闻磊. 基于 GA-BP 神经网络模型的登革热时空扩散模拟研究[J]. 中国图像图形学报, 2015, 20(7): 981-991.
- [5] 孟凤霞,王义冠,冯磊,刘起勇. 我国登革热疫情防控与媒介伊蚊的综合治理[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015, 26(1): 4-10.
- [6] MORIN C W, COMRIE A C, ERNST K. Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications[J]. Environmental Health Perspectives, 2013, 121(11/12): 1264-1272.
- [7] GHARBI M, QUENEL P, GUSTAVE J, CASSADOU S, RUCHE G L. Time series analysis of dengue incidence in Guadeloupe, French West Indies: Forecasting models using climate variables as predictors[J]. BMC Infectious Diseases, 2011, 11: 1-13.
- [8] DO T T T, MARTENS P, LUU N H, WRIGHT P, CHOISY M. Climatic-driven seasonality of emerging dengue fever in Hanoi, Vietnam[J]. BMC Public Health, 2014, 14: 1-10.
- [9] ÅSTRÖM C, ROCKLÖV J, HALES S, BÉGUIN A, LOUIS V, SAUERBORN R I. Potential Distribution of Dengue Fever Under Scenarios of Climate Change and Economic Development[J]. EcoHealth, 2012, 9: 448-454.
- [10] 郭华. 面向主动监控的感染风险时空模式建模与挖掘[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [11] ZHENG X L. Effects of global climate change on natural foci and vectors



- of infectious diseases[J]. *Journal of Pathogen Biology*, 2011, 6 (5): 384–387.
- [12] 鲁亮, 林华亮, 刘起勇. 基于天气因素的我国登革热流行风险地图[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6 (4): 254–258.
- [13] 罗雷, 广州地区登革热自然疫源地及传播流行演变模式研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2012.
- [14] 曹庆, 罗雷, 景钦隆, 李意兰, 魏跃红. 广州市 2011 年登革热疫情流行病学特征分析[J]. *热带医学杂志*, 2013, 13 (4): 519–521.
- [15] 樊景春, 林华亮, 吴海霞, 王君, 杨舒然, 刘起勇. 广东省 2006—2011 年登革热时空分布特征[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2013, 24 (5): 389–391.
- [16] 张海林, 自登云, 龚自达. 云南省登革热流行病学调查分析[J]. *地方病通报*, 1999, 14 (3): 50–54.
- [17] JETTON T H, FOCKS D A. Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming[J]. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 1997, 57: 285–297.
- [18] LI C F, LIM T W, HAN L L, FANG R. Rainfall, abundance of *Aedes aegypti* and dengue infection in Selangor, Malaysia[J]. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine & Public Health*, 1985, 16: 560–568.
- [19] WATTS D M, BURKE D S, HARRISON B A, WHITMIRE R E, NISALAK A. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus[J]. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 1987, 36: 143–152.
- [20] MOURYA D T, YADAV P, MISHRA A C. Effect of temperature stress on immature stages and susceptibility of *Aedes aegypti* mosquitoes to chikungunya virus[J]. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 2004, 70: 346–350.
- [21] WIWANITKIT V. An observation on correlation between rainfall and the prevalence of clinical cases of dengue in Thailand[J]. *Journal of Vector Borne Diseases*, 2006, 43: 73–76.
- [22] 张文彤. SPSS 统计分析基础教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 325–346.
- [23] 毛媛媛, 丁家骏. 抢劫与抢夺犯罪行为时空分布特征研究——以上海市浦东新区为例[J]. *人文地理*, 2014, 29 (1): 49–54.
- [24] 丁悦, 蔡建明, 任周鹏, 杨振山. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. *地理科学进展*, 2014, 33 (5): 657–666.
- [25] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 王洋, 张怡筠. 中国村庄空间分布特征及空间优化重组解析[J]. *地理科学*, 2016, 36 (2): 170–179.
- [26] 刘彦随, 杨忍. 中国县城城镇化的空间特征与形成机理[J]. *地理学报*, 2012, 67 (8): 1011–1020.
- [27] WANG J F, ZHANG T L, FU B J. A measure of spatial stratified heterogeneity[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 250–256.
- [28] 宁文艳, 鲁亮, 任红艳, 刘起勇. 2004—2013 年间中国登革热疫情时空变化分析[J]. *地球信息科学*, 2015, 17 (5): 614–621.

## Spatio-temporal Spreading Features and the Influence Factors of Dengue Fever in Downtown Guangzhou

CHEN Yebin<sup>1</sup>, LI Weihong<sup>1</sup>, HUANG Yuxing<sup>1</sup>, LI Xiaoge<sup>2</sup>, HUA Jiamin<sup>1</sup>

(1. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. School of Environment and Nature Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** The study took downtown Guangzhou as the study area to observe the spatio-temporal spreading features of Dengue Fever (DF) at micro-scale. We used survey analysis, kernel density analysis and standard deviation ellipse method to explore the spatio-temporal diffusion features. Then, we tried to combine the cross correlation analysis method with geographical detector to analyze the effect of temperature, humidity, atmospheric pressure, different land-use types on dengue fever spread. The result showed that: Firstly, fever transmission had stage character significantly. The infection cases occurred predominantly in the spaces with poor environment and high population density, and spread rapidly. Secondly, the importation cases played a major role in the early stages of DF development. Thirdly, the old town, where there were relatively poor environment, large quantity of elderly population, complicated personnel, and convenient traffic, was a high-risk area of DF outbreak. Fourthly, the influence of temperature, humidity and atmospheric pressure on dengue fever spread was lagging. Temperature and humidity had positive relationship with the spread of dengue fever, while atmospheric pressure had negative relationship with the spread. Finally, the distribution of local residents had the closest association with dengue fever spread, and the interactive places among pond, farmland, grassland and public green space could increase the dengue fever infection risk.

**Key words:** Dengue Fevers; spatio-temporal diffusion characteristics; meteorological factors; land-use type; cross-correlation analysis; geographical detector; Guangzhou