

Study on the Spatiotemporal Diffusion Trend of Dengue Fever in Guangzhou

Weihong Li*, Yebing Chen, Lei Wen

School of Geography, South China Normal University, Guangzhou Guangdong
Email: [*hongweili9981@163.com](mailto:hongweili9981@163.com)

Received: Jun. 6th, 2015; accepted: Jun. 25th, 2015; published: Jul. 2nd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

[Objective] To analyze the spatiotemporal diffusion trend of Dengue Fever (DF) in Guangzhou, and guide scientific prevention and control measures. [Methods] Totally 7 districts of Guangzhou city were chosen and investigated. Daily reported cases of DF in 2014 were collected. Using polynomial fitting method, 1 order derivative and 2 derivative methods to fit the development trend of DF in each district, we obtain the turning-point, mutational-point of the curve trend of DF respectively. Finally, using Spearman correlation analysis method, we analyze the relationship between the population and DF diffusion trends. [Innovation] In order to obtain more accurate results, we not only collected daily DF cases data of Guangzhou city in 2014, but also accurately located each case of DF in space; combining with the trend fitting and derivative analysis methods, we analyze the diffusion trend, life cycle and diffusion rule of DF. [Results] DF's development process has experienced four stages: the occasional stage, the development stage, the epidemic stage and the disappearance stage; there is a correlation between the various stages of DF development; In Guangzhou, the population density has a significant impact on DF, correlation coefficient has reached 0.893. [Conclusion] The diffusion trend of DF in Guangzhou city has obvious seasonal and regional; the development stage started earlier, the destructive force is much stronger; DF and population density have obvious correlation.

Keywords

Dengue Fever, Spatiotemporal Diffusion Trend, Trend Fitting Method, Influence Factors

*通讯作者。

广州市登革热疫情时空扩散趋势探究

李卫红*, 陈业滨, 闻 磊

华南师范大学地理科学学院, 广东 广州

Email: hongweili9981@163.com

收稿日期: 2015年6月6日; 录用日期: 2015年6月25日; 发布日期: 2015年7月2日

摘 要

[目的]分析广州市登革热疫情时空扩散趋势, 为防治提供依据。[方法]选择广州市7大核心区县为研究对象。以天为单位, 对2014年上报的登革热病例进行整理。采用多项式拟合方法, 对每个区县的登革热发展趋势进行趋势拟合, 再利用1阶求导与2阶求导, 分别获取该区县发展趋势中的转折点、突变点。最后采用Spearman相关性分析方法, 分析登革热发展趋势中的影响因素及各关键趋势节点之间的相互关系。[创新]时间上以天为单位, 对2014年的广州市每天的登革热病例数据进行整理; 空间上精确定位每一例登革热病例, 分析结果更准确; 结合数学上的趋势拟合与导数分析方法, 对登革热扩散趋势进行分析, 能够探究登革热疫情的生命周期以及扩散规律。[结果]登革热的发展共经历偶然出现、初期发展、疫情爆发以及疫情消亡等四个阶段; 登革热初期发展阶段的开始时刻、开始时刻数量、突变时刻、突变时刻数量、转折时刻、转折时刻数量彼此间存在显著相关性; 人口密度对登革热总量有显著影响, 二者间的相关性高达0.893。[结论]广州市登革热的扩散具有明显的季节性; 登革热的传播具有区域性; 登革热初期发展阶段开始时刻越早, 爆发的破坏力越强; 登革热与人口密度具备明显的相关关系。

关键词

登革热, 时空扩散, 趋势拟合方法, 影响因素

1. 引言

登革热(Dengue Fever, DF)是由登革 1、2、3 和 4 型病毒引起的传染病, 主要通过伊蚊传播, 广泛流行于全球热带和亚热带的 100 多个国家和地区, 尤其是东南亚地区流行较为严重[1]。1949 年到 1977 年, 登革热在中国鲜有发生, 仅在云南省与北京市有过登革热病例的报道。此后, 在 1978 年, 广东省佛山市发生了登革 4 型引起的登革热流行, 1979 年中山市出现了登革 1 型引发的登革热流行。21 世纪以来, 广东省几乎每年均有登革热病例的发生, 并且病例数量呈现明显上升趋势[2]。2014 年, 广东省广州市爆发了十年来最重的登革热疫情, 累计报告病例 36,934 例。

研究登革热疫情的发生、扩散, 发现其时空扩散趋势是控制疫情的有效方法, 也是目前登革热疫情控制研究重点和热点。国内外有关登革热疫情时空扩散趋势研究的方法, 主要从病理学、流行病学、统计分析等角度出发进行探索。如国外 Cory W. Morin [3]等通过统计学方法分析气候对登革热病毒生态学的主要影响, 并且确定气候与登革热传播之间的关联关系; 国内方面张海林[4]等对登革热病原学、血清学和蚊媒资料进行整理分析, 研究登革热的流行病学特征; 而王怡东[5]等则从统计学角度出发, 在一部分假设条件的前提下, 运用偏微分方程理论对登革热的传染病模型进行研究。

本研究以 2014 年广州市登革热疫情发生、扩散、控制、消亡阶段的时空疫情数据为基础, 采用趋势

拟合方法, 确定广州市中心各区县的登革热时空扩散趋势, 并且采用一阶导数、二阶导数方法, 确定登革热变化趋势中的变化最剧烈时间点(突变点)、爆发转折点(爆发阶段与疫情消亡阶段的交界点)。分析影响登革热发展变化的因素及登革热发展的各个阶段之间的相关关系。

2. 研究区域与数据

2.1. 研究区域概况

广州市位于 $22^{\circ}26' \sim 23^{\circ}56'N$, $112^{\circ}57' \sim 114^{\circ}03'E$, 属典型的南亚热带季风气候, 温暖多雨、温差较小, 年平均气温为 $22.8^{\circ}C$, 平均年降水量在 1800 毫米左右; 地势东北高、西南低, 北部和东北部是山区, 南部是珠三角冲击平原, 是广东省政治、经济和文化中心[6]。

研究区位于东经 $113^{\circ}8'42'' \sim 113^{\circ}35'50''$, 北纬 $23^{\circ}1'52'' \sim 23^{\circ}26'6''$, 包含了白云区、海珠区、越秀区、荔湾区、天河区、黄埔区、萝岗区共 7 个区县(以下简称主城区)。2014 年, 广东省爆发了感染登革热病例的疫情, 此次疫情广州市受灾最为严重。截至 2014 年 11 月, 广州市累计报告登革热病例达 36,934 例, 其中主城区 7 个区县累计报告病例 31,981 例, 占全广州市的 86.6%。因此取白云区等 7 个区县作为分析登革热时空扩散趋势的研究对象(见图 1)。

2.2. 研究数据

2.2.1. 研究区人口数据

研究区人口数据来源于广州市 2014 年统计年鉴, 人口数据统计表如表 1 所示。

2.2.2. 研究区病例数据

登革热病例数据为广东省疾病预防控制中心所提供的 2014 年全广州市登革热病例数据, 时间从 2014 年 1 月 1 日到 2014 年 11 月 11 日。从登革热数据中可以发现, 广州市登革热病例主要集中在人口密度高商业发达的主城区, 包括白云区、海珠区、越秀区、荔湾区、天河区、黄埔区、萝岗区等 7 个区县。主城区累计报告的病例占全广州市的 86.6%。因此选取白云区等 7 个区县作为研究对象, 对登革热疫情的发展变化趋势及其影响因子进行分析研究, 疫情统计数据表如表 2 所示, 将登革热病例数据进行空间化处理, 生成登革热疫情分布图(见图 2)。

从登革热变化趋势图中(图 3)可以发现, 登革热的发展变化趋势共经历了 4 个阶段, 分别是: 从 1 月到 6 月的偶然出现阶段: 在该阶段中登革热病例具有出现次数稀少, 相邻两个病例出现的时间间隔长, 病例具有随机分布的特点; 6 月到 7 月的初期发展阶段: 该阶段中每天新增登革热病例数有限, 整体呈现缓慢增长趋势; 7 月到 10 月的疫情爆发阶段: 该阶段中新增登革热病例开始急剧增加, 疫情全面爆发; 10 月到 12 月的疫情消亡阶段: 该阶段在人工的干预下, 每天新增病例呈现减少, 总体呈现消亡趋势。

1) 偶然出现阶段

偶然出现阶段, 在指登革热病例出现次数稀少, 相邻两个病例出现的时间间隔长, 病例具有随机分布的特点的阶段。

2) 初期发展阶段及其开始时刻

一般认为, 登革热的潜伏期为 5~7 天, 因此本文以 7 天(即一周)为临界线, 对登革热初期发展阶段给出如下定义: 登革热初期发展阶段是指在同一区县内, 在小于或者等于 7 天的时间内, 开始连续出现登革热病例的阶段。按照该定义, 对主城区等 7 个区县数据进行整理, 可以确定登革热初期发展阶段的开始时间表及其与该区县登革热总量之间的关系(表 3)。

从图 4 中可以发现, 各区县登革热初始发展阶段的开始时间与登革热病例总量呈现明显的负相关关系, 即初始发展阶段的开始时间越早, 登革热爆发的严重程度越高。

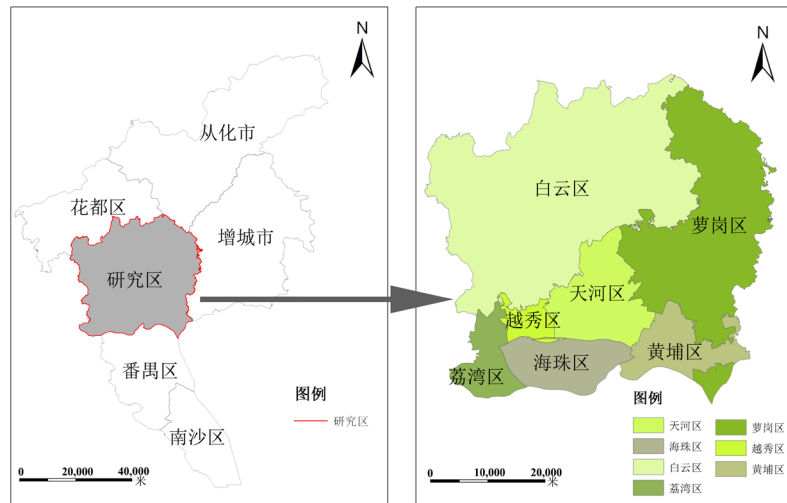


Figure 1. Study area
图 1. 研究区域

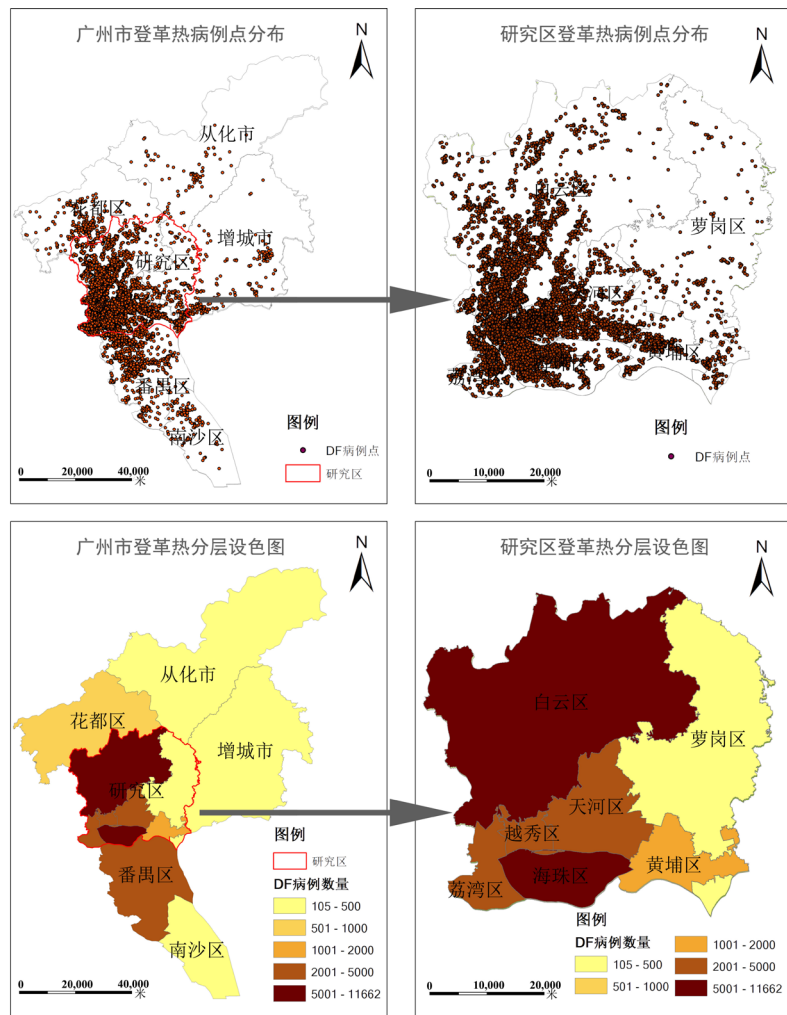


Figure 2. Distribution map of DF cases
图 2. 登革热疫情分布图

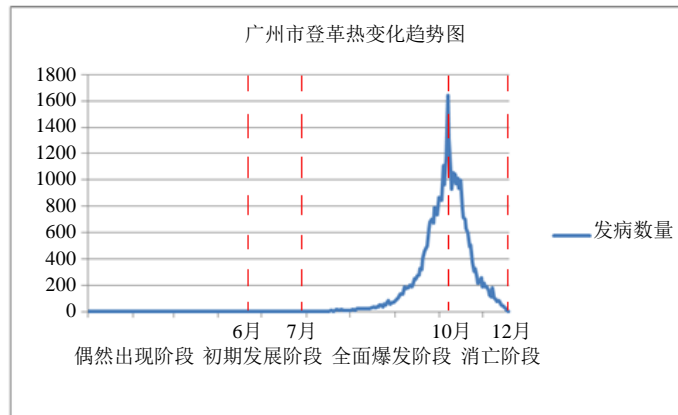


Figure 3. DF trend curve
图 3. 登革热变化趋势图

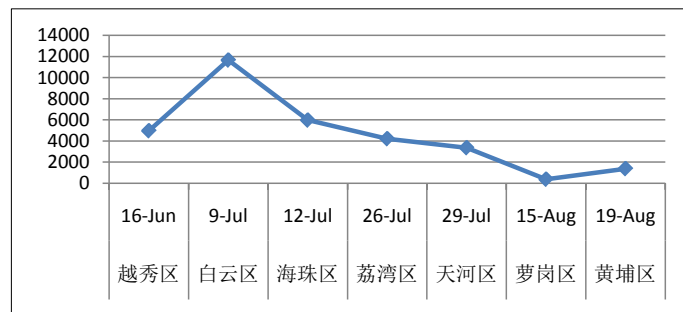


Figure 4. The relationship between start time of dengue development stage and DF case numbers
图 4. 登革热病例总量与初期发展阶段开始时间关系图

Table 1. Population statistical table
表 1. 人口统计数据表

地区	白云区	萝岗区	黄埔区	海珠区	荔湾区	越秀区	天河区
数量(万人)	225.2	38.67	46.47	157.58	89.31	114.95	144.66

Table 2. DF cases statistical table
表 2. 疫情统计数据表

地区	白云区	萝岗区	黄埔区	海珠区	荔湾区	越秀区	天河区
数量	11662	387	1388	5981	4220	4975	3368

Table 3. The start time of DF development stage
表 3. 登革热初期发展阶段开始时间表

区县	白云区	萝岗区	黄埔区	海珠区	荔湾区	越秀区	天河区
时间	2014/7/9	2014/8/15	2014/8/19	2014/7/12	2014/7/26	2014/6/16	2014/7/29
病例总量	11662	387	1388	5981	4220	4975	3368

3) 疫情爆发阶段及其突变时刻

登革热全面爆发阶段是指在无人工干预的前提下，受温度与降雨等气候条件的影响，登革热病例呈

现快速增长的阶段。以白云区为例，从图 5 中可以看出，在 2014 年 7 月 31 号到 2014 年 9 月 30 号之间登革热呈现出明显的增长趋势，且在全面爆发阶段的后半阶段，病例发展变化趋势显著。

登革热发展变化的突变时刻，是指在整个登革热疫情爆发阶段中，登革热病例数量增长的加速度最大的时间节点。突变时刻，是表示登革热增长变化最为迅速的时期。从突变时刻起，登革热疫情开始全面爆发。

4) 疫情消亡阶段及其转折点

疫情消亡阶段是指在人工干预及环境影响下，每天新增病例呈现减少，总体呈现消亡趋势的阶段。以白云区为例，从图 6 中可以看出，在 2014 年 10 月 1 号之后登革热呈现出明显的下降趋势。

转折点是指登革热疫情全面爆发阶段与疫情消亡阶段的接触时间点，表明登革热病例开始逐步减少。

3. 研究方法

3.1. 研究方法流程图

研究方法流程图，如图 7 所示。

3.2. 趋势拟合

拟合是逼近数据的基本方法，其中最常用的是最小二乘法拟合。最小二乘法的基本思想是对一组给定的数据 (x_k, y_k) ，设计和确定一个函数模型，即 $y = f(x)$ ，使得函数 $f(x)$ 在某种误差函数标准下与左右数据点 (x_k, y_k) 之间的距离最近，即寻求一个最佳拟合函数。最小误差原则保证了 y_k 和 $f(x_k)$ 之间距离的平方和最小[7]。

登革热的变化趋势是非线性，因此本文利用最小二乘法，采用多项式拟合来确定登革热的变化趋势。随着拟合多项式次数的增大，RMSE 会迅速减小，当多项式次数减小到第 k 次时，RMSE 的变化量趋于稳定，则此时确定 k 次多项式为登革热的最佳拟合曲线，如图 8 所示。

3.3. 一阶导数

一阶导数，是表征函数变化率的数学量。在几何上，可以用来表示一条连续变化的曲线在某一点上切线的斜率。

设函数 $y = f(x)$ 在点 x_0 的某个邻域内有定义，当自变量 x 在 x_0 处取得增量 Δx (点 $x_0 + \Delta x$ 仍在该邻域内)时，相应的函数取得增量 $\Delta y = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$ ；如果 Δy 与 Δx 之比当 $\Delta x \rightarrow 0$ 时的极限存在，则称函数 $y = f(x)$ 在点 x_0 处可导，并称这个极限为函数 $y = f(x)$ 在点 x_0 处的导数，记为 $f'(x_0)$ [8]，即

$$f'(x_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$$

3.4. 二阶导数

二阶导数，是原函数导数的导数，即对原函数进行二次求导，它描述的是切线斜率变化的速度，表示一阶导数的变化率[9]。

在物理学上，速度 $v(t)$ 是位置函数 $s(t)$ 表示对时间 t 的一阶导数，即

$$v = \frac{ds}{dt} \text{ 或 } v = s';$$

则加速度可表示为：

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{ds}{dt} \right) \text{ 或 } a = (s')';$$

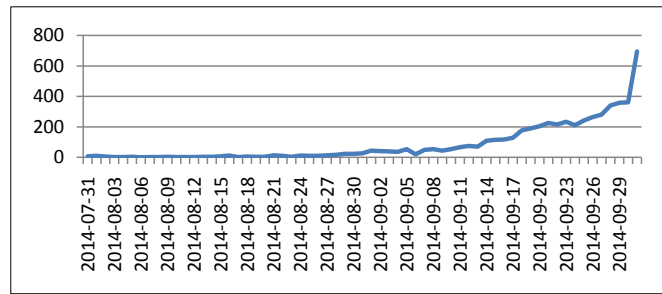


Figure 5. Trend chart of epidemic stage

图 5. 疫情爆发阶段趋势图

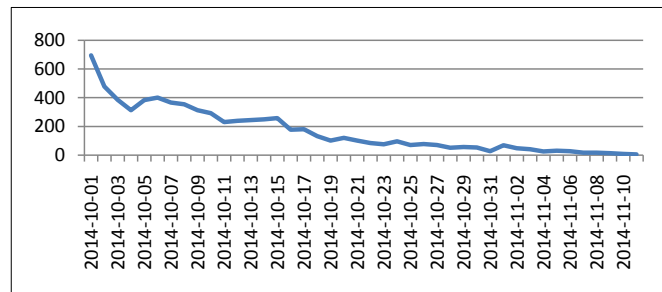


Figure 6. Dying stage trend

图 6. 疫情消亡阶段趋势图

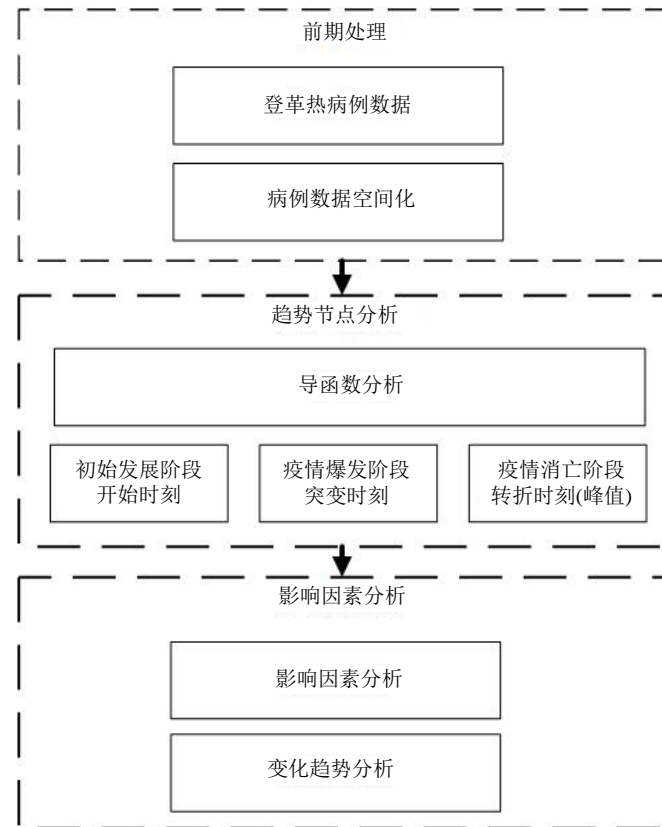


Figure 7. Flowchart of research method

图 7. 研究方法流程

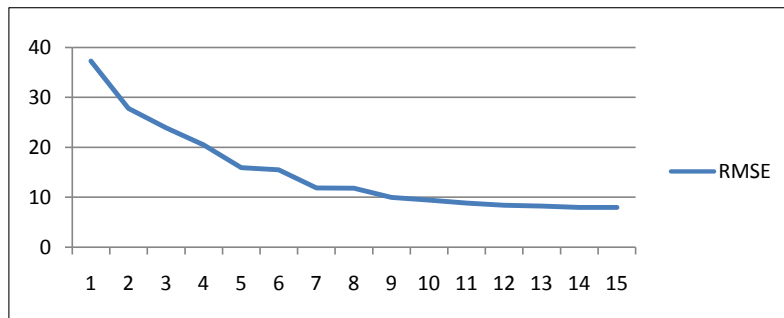


Figure 8. RMSE trend curve

图 8. RMSE 变化趋势曲线

3.5. Spearman 相关检验

Spearman 相关从两个变量之间的同步性来检验变量之间的相关性，对于 n 对观察数据 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$ ，按照每个变量的 n 个数据的大小次数，分别由小到大编上等级(秩)，对于重复数据则取平均等级，再检验两个变量的等级或秩之间的相关性。其结果在 $[-1, 1]$ 之间，相关系数 r_i 为正，则表示正相关； r_i 为负，则表示负相关； r_i 为零，则表示零相关。其公式定义如下[10] [11]:

$$r_i = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n (R_i - Q_i)^2$$

上式中： r_i 为相关系数， n 为样本量， $R_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为变量 X_1 的秩次， $Q_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为变量 X_2 的秩次。

4. 结果

利用趋势拟合方法确定白云区等 7 个区县的登革热变化趋势变化曲线，并采用一阶导数、二阶导数方法，确定登革热疫情变化的临界点，分析整理结果如登革热疫情变化时间点所示(见表 4)。

对登革热变化趋势中的各个重要临界点的登革热病例数量进行整理，结果如趋势节点病例总量表所示(见表 5)。

令初期发展阶段的开始时刻的时间为 1，对突变时刻及转折时刻的日期作数量化(如：白云区的初始阶段开始时刻为 2014/7/9，则白云区疫情爆发阶段突变时刻经过数量化后为：2014/9/12~2014/7/9 + 1 = 66。即白云区从初始发展阶段开始时刻起，到达疫情爆发阶段突变时刻，共需经历 66 天)。分析登革热病例总量与变化趋势结点以及影响因素的关系(见表 6)。

为进一步探究登革热发展趋势中的重要临界点之间的关系以及人口因素对登革热发展变化的影响，采用 Spearman 相关性分析方法进行研究，确定它们之间的相关关系，分析结果如 Spearman 相关关系表所示(见表 7)。

为确定登革热发展变化的各个重要临界点及其数量之间的关系，以及人口因素对登革热发展变化趋势的影响，采用折线图方法，对结果进行直观展示。结果如趋势节点及其数量相关关系图(见图 9)、人口与趋势节点及其数量关系图(见图 10)所示。

5. 讨论

5.1. 登革热生命周期规律

研究表明，白云区等 7 个区县的登革热发展共经历了 4 个阶段，分别是：1~6 月的偶然出现阶

Table 4. Node time of DF trend
表 4. 登革热疫情变化时间点

区县	初始发展阶段开始时刻	疫情爆发阶段突变时刻	登革热疫情转折时刻
白云区	2014/7/9	2014/9/12	2014/10/3
萝岗区	2014/8/15	2014/9/7	2014/10/8
黄埔区	2014/8/19	2014/9/14	2014/10/4
海珠区	2014/7/12	2014/9/7	2014/9/30
荔湾区	2014/7/26	2014/9/11	2014/10/2
越秀区	2014/6/16	2014/9/9	2014/10/1
天河区	2014/7/29	2014/9/13	2014/9/30

Table 5. Total case of trend node time
表 5. 各个时间点的病例总量

区县	初始发展阶段开始时刻	疫情爆发阶段突变时刻	登革热疫情转折时刻	2014 年病例总量
白云区	8	829	6226	11662
萝岗区	2	9	203	387
黄埔区	1	148	1128	1388
海珠区	6	507	3127	5981
荔湾区	2	524	2267	4220
越秀区	2	1092	3131	4975
天河区	1	424	1828	3368

Table 6. The relationship between DF cases and critical factors
表 6. 登革热病例总量与各影响因子之间的关系

	Spearman 相关系数	显著性
人口数量	0.893**	0.007
开始时刻总数量	0.767**	0.044
疫情爆发阶段突变时刻	0.893**	0.007
突变时刻总数量	0.821*	0.023
登革热疫情转折时刻	0.857*	0.014
转折时刻总数量	0.964**	0.000

段；6~7 月的初期发展阶段；7~10 月的疫情爆发阶段；10 月以后的疫情消亡阶段。该结论与毛祥华[2]对广东省登革热病例流行区间三间分布的划分一致。

广州市属于亚热带季风气候，平均年降水量在 1800 毫米左右，年平均气温在 21.5℃~22.2℃之间。夏季高温多雨，闷热潮湿[12]，这给登革热的传播媒介(伊蚊)提供了良好的孳生环境，直接影响伊蚊生长繁殖及病毒在蚊体内的复制[13] [14]。有研究表明，在夏季气温高降雨多时，蚊虫密度会随孳生地数量增加而急剧上升，促使流行区病发率直线上升[13]。因此，在夏季应及时清理周边环境的中积聚的雨水，防止伊蚊的滋生。

Table 7. Spearman correlation table
表 7. Spearman 相关关系表

		总体数量	开始时刻数量	突变时刻	突变时刻数量	转折时刻	转折时刻数量	人口
总体数量	系数	1	0.767 [*]	0.893 ^{**}	0.821 [*]	0.857 [*]	0.964 ^{**}	0.893 ^{**}
	显著性		0.044	0.007	0.023	0.014	0.000	0.007
开始时刻数量	系数	0.767 [*]	1	0.580	0.505	0.674	0.692	0.580
	显著性	0.044		0.172	0.247	0.097	0.085	0.172
突变时刻	系数	0.893 ^{**}	0.580	1	0.964 ^{**}	0.964 ^{**}	0.964 ^{**}	0.714
	显著性	0.007	0.172		0.000	0.000	0.000	0.071
突变时刻数量	系数	0.821 [*]	0.505	0.964 ^{**}	1	0.929 ^{**}	0.929 ^{**}	0.607
	显著性	0.023	0.247	0.000		0.003	0.003	0.148
转折时刻	系数	0.857 [*]	0.674	0.964 ^{**}	0.929 ^{**}	1	0.929 ^{**}	0.679
	显著性	0.014	0.097	0.000	0.003		0.003	0.094
转折时刻数量	系数	0.964 ^{**}	0.692	0.964 ^{**}	0.929 ^{**}	0.929 ^{**}	1	0.821 [*]
	显著性	0.000	0.085	0.000	0.003	0.003		0.023
人口	系数	0.893 [*]	0.580	0.714	0.607	0.679	0.821 [*]	1
	显著性	0.007	0.172	0.071	0.148	0.094	0.023	

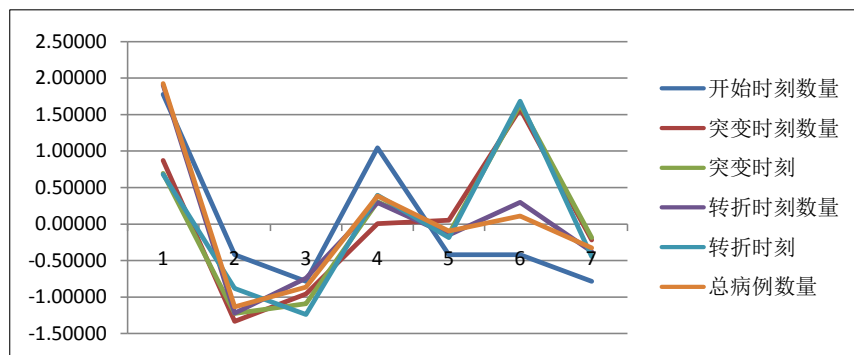


Figure 9. The relationship between DF trend node and case number
图 9. 各时间节点及其数量相关关系图

5.2. 登革热的区域传播规律

研究表明，白云区等 7 个区县的登革热突变时刻均处于 9 月上旬，登革热疫情的转折时刻基本处在 10 月上旬。这与毛祥华[2]等广东省登革热爆发的高峰期处于 8~10 月保持一致。因此表明登革热的流行与爆发存在着区域效应，登革热疫情会受到周边地区登革热疫情的影响，所以在加强对登革热的防控时，应该随时考虑周边城区对本地的影响。

5.3. 登革热时空扩散规律

研究表明，登革热病例总量与传播趋势中各关键时间节点以及该节点的登革热病例数量呈现明显的正相关关系。从表 5、表 6 以及图 9 中可以发现，登革热病例总量与初期发展阶段开始时刻数量、突变

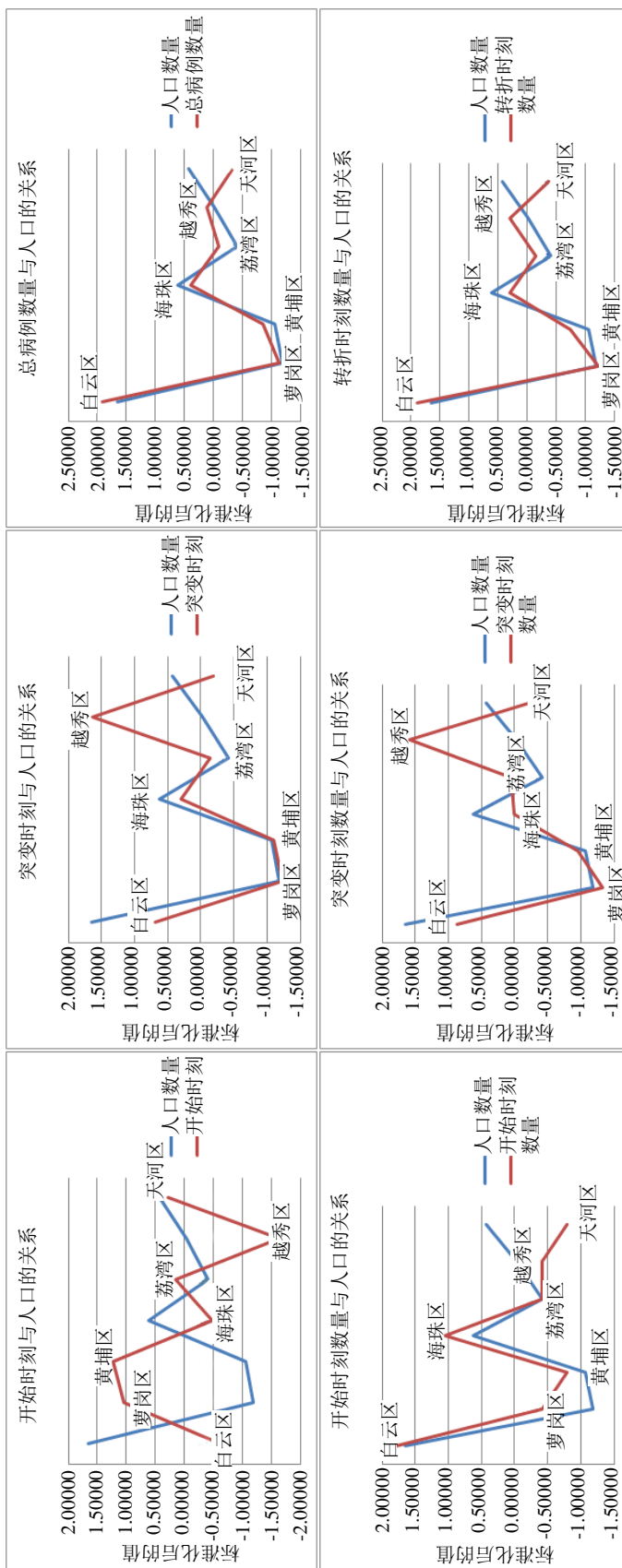


Figure 10. The relationship between population and DF trend nodes
图 10. 人口与各时间节点及其数量关系图

时刻、突变时刻数量、转折时刻以及转折时刻数量均呈现出明显的正相关关系,并且其显著性均小于 0.05,具备统计学意义。

由此可见,登革热的初期发展阶段开始时刻数量越大,登革热发展到达突变时刻以及转折时刻所需经历的时间就越长,但是同时登革热发展到达突变时刻以及转折时刻(峰值)时的严重程度也就越强,爆发的严重程度越大。因此在针对登革热疫情进行防控时,应该重视登革热变化趋势的前期阶段,对每个出现的登革热病例进行有效隔离,控制登革热的蔓延传播趋势。

5.4. 登革热爆发扩散影响因素

研究表明,人口总量对登革热的发展趋势具有显著的影响。从表 7 与图 10 中可以发现,地区登革热初期发展阶段的开始时刻出现的时间节点与当地的人口总量呈现明显的负相关关系,即:地区人口总量越大,则登革热初期发展阶段开始时刻会越早。

另一方面,人口数量也与登革热发展趋势中的突变时刻、转折时刻、开始时刻数量、突变时刻数量、转折时刻数量呈现大体相同的趋势。

登革热病例总量与人口的相关程度高达 0.893,且具备统计学意义。表明人口密度的大小对登革热传播具备显著影响。人口密度越高,易感者也愈多,既增加了传播机会,又增加带病毒者,因此发病率也愈高[12][15],因此在登革热防控过程中应当重点监控人员密集地区。

6. 结论

- 1) 登革热的流行发展趋势具有明显的季节性,夏季高温多雨,容易引发登革热的流行爆发;
- 2) 登革热的流行趋势具备明显的区域性,不同时间出现登革热病例的地区,受相邻区域的影响,会在大致相同的时间段内进入爆发高峰期;
- 3) 登革热的扩散规律如下:地区进入初期发展阶段的时间越早,则突变时刻以及转折时刻所需经历的时间越长,爆发的严重程度越大。

人口密度对登革热传播具有显著的影响。

参考文献 (References)

- [1] 张海林,张云智,冯云,等 (2006) 云南省 2005 年登革热监测分析. *中国热带医学*, **7**, 1162-1163.
- [2] 毛祥华,张再兴 (2007) 中国登革热的流行现状. *中国病原生物学杂志*, **5**, 385-388.
- [3] Morin, C.W., Comrie, A.C. and Ernst, K. (2013) Climate and dengue transmission: Evidence and implications. *Environmental Health Perspectives*, **121**, 1264-1272.
- [4] 张海林,自登云,龚正达 (1999) 云南省登革热流行病学调查分析. *地方病通报*, **3**, 50-54.
- [5] 王怡东 (2014) 两类登革热传染病模型的全局稳定性. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨.
- [6] 封静,潘安定 (2011) 广州气温变化特征及其与城市化进程的关系. *广州大学学报(自然科学版)*, **6**, 89-94.
- [7] 刘正君 (2012) MATLAB 科学计算宝典. 电子工业出版社, 北京, 133-141.
- [8] 同济大学数学系 (2006) 高等数学(第六版上册). 高等教育出版社, 77-84.
- [9] 同济大学数学系 (2006) 高等数学(第六版上册). 高等教育出版社, 99-100.
- [10] 王开军,黄添强 (2010) 基于趋势秩的 Spearman 相关方法. *福建师范大学学报(自然科学版)*, **1**, 38-41.
- [11] 徐潇源,严正,冯冬涵,等 (2014) 基于输入变量秩相关系数的概率潮流计算方法. *电力系统自动化*, **12**, 54-61.
- [12] 陈新光,潘蔚娟,张江勇,等 (2007) 气候显著变暖使广州极端气候事件增多. *广东气象*, **2**, 24-25.
- [13] 易彬樨,张治英 (2002) 中国登革热流行及控制概况. *中国公共卫生*, **9**, 1128-1130.
- [14] 马秀芝,周红宁 (2011) 越南登革热流行特征概述. *中国病原生物学杂志*, **11**, 865-867.
- [15] 林岩,张山鹰,许龙善,等 (2009) 福建省登革热流行影响因素的 logistic 回归分析. *海峡预防医学杂志*, **5**, 4-5.