

广州 SARS 流行过程的空间模式与分异特征

曹志冬^{1,2}, 王劲峰^{1*}, 高一鸽¹, 韩卫国³, 冯晓磊⁴, 曾 光⁵

(1 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2 中国科学院自动化研究所, 北京 100080; 3 Center for Spatial Information Science and System, George Mason University;
4 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016; 5 中国疾病预防控制中心, 北京 100050)

摘要: 根据广州市 SARS 感染者的家庭住址信息进行空间化处理, 得到了不同 SARS 感染人群在空间上的分布, 并用数据模型定量表达了广州市 SARS 疫区的传播中心及其置信范围, 结合 SARS 接收医院中心点的分布及其变化规律, 对不同感染人群传播中心的异质性及其变化规律进行了分析, 结果表明: 随着疫情的发展, 广州市 SARS 传播中心具有明显的向 SARS 接收医院中心点接近的趋势, 且变化规律与 SARS 接收医院中心点的迁移规律大致相同, 医院传播对广州市 SARS 传播过程有重要影响, 且经历了由强到弱再到强的变化过程。本文研究有助于更好地了解 SARS 及其他新型传染病在都市区的空间传播扩散过程, 并为公共卫生应急预案提供科学依据。

关键词: 严重急性呼吸系统综合症; 广州 SARS 流行; 空间模式; 医院传播

文章编号: 1000-0585(2008)05-1139-12

1 引言

严重急性呼吸系统综合症 (Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS) 是 21 世纪新出现的具有广泛传播能力的致命传染病, 2003 年突发的 SARS 事件共造成全球 8000 多人受感染, 近 800 人因感染死亡, 扩散范围遍及全球 32 个国家和地区^[1]。中国是 SARS 危害最严重的国家, 作为 SARS 传播扩散的起源地和第一个形成的疫区, 广州市突发的 SARS 流行过程具有很高的研究价值, 它是突发新型传染病在都市区暴发的典型案例。经验表明, 在治疗传染病的特效药面世前, 有效防控传染病的方法仍然是基于隔离感染者、追踪密切接触者、限制人群活动等传统措施, 突发 SARS 事件时, 人们迫切需要了解 SARS 传染病的危害潜力、传播特性、传播途径及风险影响因子等方面的信息, 以便制定更具针对性的防控措施并优化资源配置。揭示广州市 SARS 流行过程中的时空传播模式、传播中心的时空转移及其分异规律具有很强的实际意义, 可以为未来可能再次出现的 SARS 或其他新型传染病在大都市区突然暴发的应急预案提供科学依据。

SARS 事件是 21 世纪中国和世界面临的第一次公共卫生方面的重大挑战, 传染病危

收稿日期: 2007-12-26; 修订日期: 2008-07-22

基金项目: 国家 863 课题 (2006AA12Z215, 2007AA12Z241); 国际科技合作项目 (2007DFC20180); 国家自然科学基金课题 (70571076, 40471111); 中科院方向性课题 (KZCX2-YW-308); 国家科技支撑计划课题 (2006BAK01A13)

作者简介: 曹志冬(1978-), 男, 湖南益阳人, 博士。主要从事 GIS 空间分析、空间抽样和传染病时空建模方面的研究。Email: caozd@reis.ac.cn

* 通讯作者: 王劲峰, 研究员, 博士生导师。Email: wangjf@reis.ac.cn

害极大,历史上曾多次构成对人类生存的重大威胁^[2,3]。SARS 出现以后,世界各国的研究人员从分子生物学、病理学、流行病学等各个角度展开了对 SARS 的研究。受数据条件限制,SARS 研究形成了一个显著特点——国内外学者研究的对象截然不同,国外学者主要基于中国大陆以外(香港、台湾、新加坡、加拿大、越南等)的 SARS 流行展开研究,而国内学者主要针对中国大陆的 SARS 流行过程。

SARS 传染病最先出现在中国大陆,然而,最先公布 SARS 研究成果并展开深入研究的是国外的科学家,原因有很多,其中主要一条是受国内公共卫生保密政策的限制。Lipsitch 等和 Ripley 等分别基于新加坡和香港的 SARS 感染者数据建立了 SARS 的时空传播模型,并对 SARS 流行的传播扩散特征进行了深入分析^[4,5];Hsueh 等对 SARS 事件中的医院传播途径进行了讨论^[6],认为有效防控未来可能重新出现的 SARS 流行的关键是快速有效的诊断方法、抗 SARS 病毒的血清与接种疫苗;Peng 等对 SARS 在多伦多流行期间医院采取的戴护目镜、手套、面罩、穿医用长袍、消毒等隔离防护措施进行了讨论^[7],研究结果肯定了预警性的防护与严格的隔离措施在控制 SARS 传播中的重要性;Twu 等对台湾 SARS 流行中的控制措施进行了分析^[8],同样肯定了政府部门采取的隔离、预警等干预措施的有效性;Hufnagel 等则利用 2003 年全球 500 多个最大的国际航空线路构建了城市间传染病交叉传播网络,并结合传染病随机模型对 2003 年 SARS 传染病在全球的扩散蔓延进行了模拟^[9]。

国内的 SARS 研究具有先天优势,因为中国拥有最多的 SARS 感染者样本数据。在政府号召下国内学者对 SARS 投入了极大关注,并取得了大量优秀成果。总体而言,多数成果均是基于传统的流行病学调查进行的分析^[10~13],或根据政府公开发布的 SARS 疫情数据进行的数学建模分析^[14~18]、仿真模拟计算和预测^[19~21],也有学者研究了 SARS 流行对中国入境旅游人数的影响^[22],相对而言,对 SARS 空间传播模式与时空传播特征等方面的研究较少。SARS 的流行过程是一个典型的时空扩散过程,它由时间、空间与属性三方面的基本要素组成,充分挖掘感染者空间方面的信息将更有助于有限资源(人力、物力和财力)的优化配置。王劲峰及其空间分析研究小组自 SARS 暴发后即积极开展了北京 SARS 空间传播特征方面的研究^[23~25],揭示了 SARS 在北京的扩散模式、聚类特征及时空变化规律;刘民等对 2003 年北京市 8 个城区和周边郊区 SARS 流行的特征进行了对比分析^[26],并探讨了两者存在差异的原因。广州市作为 SARS 正式形成的第一个疫区,感染人群的空间分布特征、分异模式及传播扩散规律的研究意义重大,然而,目前尚无这方面的研究成果发表,在广州市的 SARS 研究中,大多集中在基于流行病学调查基础上的流行病学统计分析^[27~29]、传染病预测模型^[30]及影响传播的相关风险因子分析^[31~34],这些研究成果很好地反映了广州 SARS 流行的人群传播、时序变化特征及相关影响因子的内容,不足的是未能揭示 SARS 流行中空间方面的特征信息。本文基于广州市 SARS 感染者的空间分布信息,对 2003 年广州市 SARS 感染者在时空上的分布特征、传播中心随时间的转移规律及不同感染人群的分布和变化差异等进行探讨。

2 数据的空间化处理

本文数据是中国疾病预防控制中心提供的 2003 年在广州出现的 1277 例 SARS 感染者信息,时间范围从 2003 年 1 月 2 日到 2003 年 5 月 9 日,覆盖广州 SARS 流行的整个过程,由图 1(a)中可以看出 SARS 疫情经历了三个明显的传播阶段:1~2 月的初级传播、2

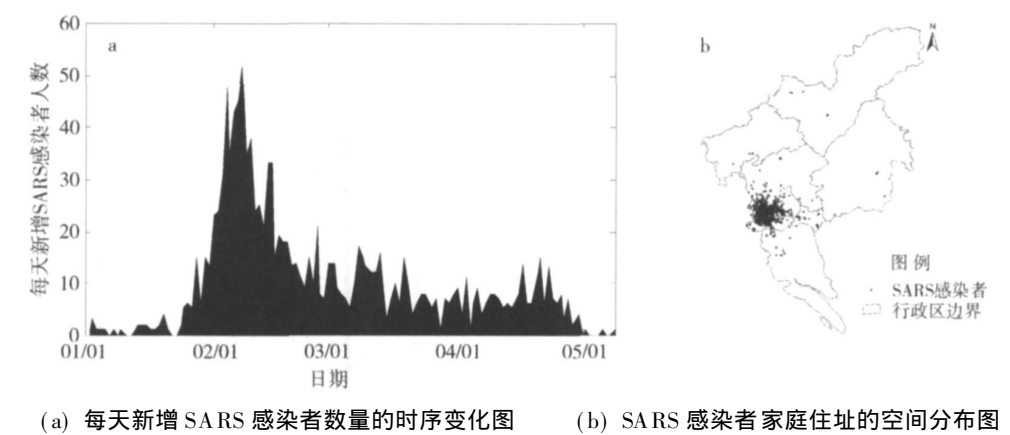


图 1 2003 年广州市的 SARS 流行

Fig 1 SARS epidemic in Guangzhou in 2003

~ 3 月的传播高峰及 3~ 5 月的平稳传播。

为了分析 SARS 的时空分布特征与传播模式，需要对 SARS 感染者进行空间化处理，即把感染者表示成具有特定空间位置的点，有两种方法可以实现对感染者信息的空间化处理：一是用感染者的家庭住址表示其空间位置，二是用感染者的工作单位地址表示其空间位置，选用哪种方法需要根据传染病的主要传播途径及研究目的决定。SARS 的主要传播方式是人与人的近距离接触及近距离飞沫传播，医院和家庭传播是已知的两个主要传播途径，另外，考虑到广州市 SARS 感染者信息中单位地址信息缺失严重，本文选用家庭住址信息作为 SARS 感染者的空间定位点。

SARS 感染者的空间化处理方法主要是将调查获取的 SARS 感染者的家庭住址信息与 2003 年 12 月底更新的广州市电子地图底层信息逐项进行人工匹配，电子底图中含有约 25110 个单位（如村、镇、街道办、社区、住宅小区等）和 1751 条主要街道的空间信息，并以网络上各类商业门户服务商提供的电子地图（如 Google Map, Baidu Map 等）中提供大量空间信息作为补充，工作量非常大。由于在采集、录入和隐私等方面原因使调查获取的原始数据中存在一些缺失、遗漏与错误，这会使 SARS 感染者信息的空间化处理中出现各种问题，各种情况的处理方法见表 1。采用表 1 方法进行空间化处理后共得到 1254 例 SARS 感染者的空间点，其空间分布如图 1(b) 所示，空间化率为 $1254/1277=98.2\%$ ，本文的研究以此数据为基础。感染者为广州本地且家庭住址信息和工作单位信息均不可用的为 23 例，约占 1.8%，损失比例非常小，对研究影响不大。

表 1 SARS 感染者信息的空间化处理方法

Tab 1 Spatialization method of SARS infections

SARS 感染者	家庭住址信息	单位地址信息	收治医院地址信息	空间化处理方法
广州本地	✓	✓	✓	采用家庭住址信息
	✓	×	✓	采用家庭住址信息
	×	✓	✓	采用单位地址信息
	×	×	✓	弃之不用
非广州本地			✓	采用收治医院地址信息

说明：✓表示信息完整，可以进行空间定位；×表示信息缺失、太泛或错误，无法进行空间定位；收治医院地址信息都很完整，因此全部是✓。

3 广州市 SARS 感染者的空间分布

由图2可以看出,广州市SARS感染者在空间上的分布具有明显的聚集性,主要集中在广州市老八区——东山、荔湾、越秀、海珠、天河、芳村、白云、黄埔,2002年底老八区的人口数只占广州市总人口数的59.1%,而其SARS感染者为1214人,占感染总数的96.7%。老八区的平均发病率为29/100000,远远高于其他四个边远区的平均值1.4/100000,图2为广州市12个区的发病率图。

4 SARS 疫区传播中心与置信范围的定量表达

4.1 广州市 SARS 疫区的传播中心

疫区是指由于病原微生物原因而导致发生传染病的地区,它主要指疾病患者在发病前后居住和活动的场所。疫区是具有一定几何形状的区域,疫区通常根据包含感染者居住和活动区域的最大行政区域进行划定,如2003年SARS暴发时世界卫生组织(WHO)划定的广州、北京、香港等疫区。这种划分方式比较简单,易于理解,便于管理,然而,传染病在空间上的传播扩散并不受行政边界约束,疫区的传播中心及其边界应该按传染病在空间实际的传播扩散情况进行划分。疫区传播中心及其置信区域的定量划分不仅有助于了解传染病真实的扩散情况,而且可以为制定优化防控措施提供科学依据。

疫区内的易感人群受感染的风险是有差异的,它是多种影响因子(如人口密度、人群居住与生活习性等)综合作用下的结果。空间距离是非常重要的一种影响因子,距离作用是一种多影响因子复合影响下的综合作用,距离疫区传播中心越近,受传染的风险越高,传播中心的识别对于有效控制传染源、切断传播途径及防控措施的制定具有重要意义。如果把所有离散分布的SARS感染者的空间点集作为一个物理组合体,则传播中心可采用其质心或中心进行定量表达,定量表达指标主要有空间点的平均值(Mean Center)、中间值(Median Center)和最小距离中心值(Center of Minimum Distance)。

设疫区内所有感染者为 $S_i(x, y) (i = 1, 2, \dots, N)$, S 表示空间位置, N 为所有感染者的总数,用平均值表示的传播中心为 $S_{\text{mean}}(\bar{x}, \bar{y})$,用中间值表示的传播中心为 $S_{\text{median}}(x', y')$,用最小距离中心值表示的传播中心为 $S_{\text{min}}(x'', y'')$ 。

$S_{\text{mean}}(\bar{x}, \bar{y})$ 的计算公式为^[35]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (1)$$

$S_{\text{median}}(x', y')$ 的计算公式为^[35]:

$$x' = \text{median}(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad y' = \text{median}(y_1, y_2, \dots, y_N) \quad (2)$$

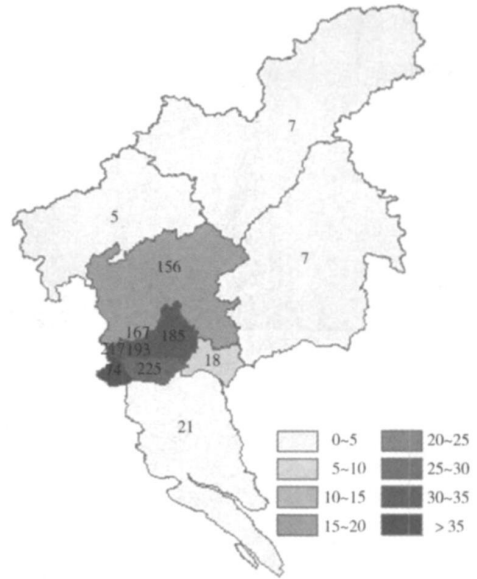


图2 广州市12个行政区平均SARS感染率
(图中数字为各区SARS的感染人数)

Fig. 2 Incidence rate of 12 districts in Guangzhou
(Map shows the number of cases)

$S_{\min}(x'', y'')$ 的计算公式为^[35]:

$$S_{\min}(x'', y'') = \text{minimize}(\sum_{i=1}^N d_i, S_{\min})$$

(3)

图 3 是采用平均值、中间值及距离最小中心值表达的广州市 SARS 疫区的传播中心, 由图可知, SARS 疫区的传播中心主要在越秀和东山区交界的地带, S_{mean} 在 S_{median} 的东边偏北方向, 相距约 1.145km, S_{\min} 在 S_{median} 西南方向, 相距不到 200m, 非常接近。由图 1 (b) 知, 广州市 SARS 感染者的空间分布除在荔湾、越秀周边有聚集性暴发外, 仍有部分零散的感染者出现在增城、从化等远离市中心的地方, 这三个量对数据异常值的敏感性为 $S_{\text{mean}} > S_{\min} > S_{\text{median}}$, S_{median} 仅能反映空间点离传播中心的相对距离大小, 对实际的距离值不敏感, 采用 S_{median} 能更稳定地表达广州市 SARS 疫区的传播中心, 而采用 S_{mean} 则更能体现疫区感染者的均衡点——物理中心。

4.2 广州市 SARS 疫区的置信区间

疫区范围的定量划分方法主要有标准离差法 (Standard Distance Deviation, SDD)、标准离差椭圆法 (Standard Deviation Ellipse) 和最小多边形法 (Convex Hull, CH)

标准离差法和标准离差椭圆法主要是借鉴统计学上的置信区间的概念, 把传染病在时空上的传播扩散过程视为感染者按一定概率分布在空间上出现的随机过程, 空间上的每个点都有可能出现感染者, 差别在于出现的机率大小, 点到传播中心的距离 d 与受感染的概率 f 存在一定的概率分布关系 $f(d)$ 。从概率论的角度看, 处于一定空间位置的人是否会受到传染病感染由概率分布 $f(d)$ 决定, 整个传染病传播过程中感染者出现的空间分布状况应该是在概率分布 $f(d)$ 规律作用下的结果, 每个感染者出现的空间位置均可看成是受概率分布 $f(d)$ 支配的样本点, 如果已知 $f(d)$, 便可根据人们所处空间位置得到其受感染的风险, $f(d)$ 可由统计得到的感染者在空间位置上出现的频率来估计。

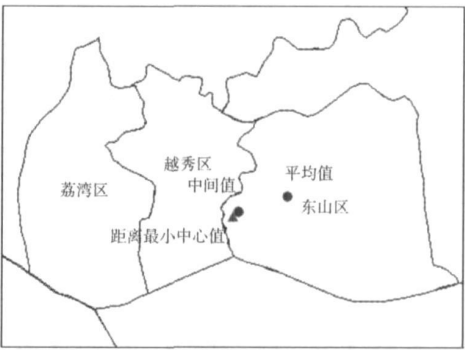


图 3 广州市 SARS 疫区的传播中心
Fig. 3 Transmission center of SARS epidemic in Guangzhou

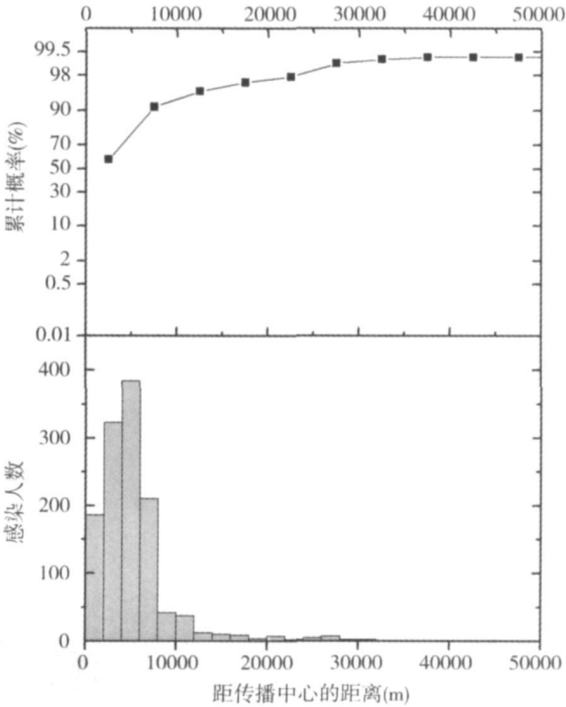


图 4 SARS 感染者的频率分布图
Fig 4 Frequency distribution of SARS infections

图 4 是由 1254 例广州市 SARS 感染者的空间分布点统计得到的 SARS 感染者距传播中心距离的频率分布图。由图 4 易知, 易感人群受感染的风险随到传播中心的距离变化呈现出明显的规律。以感染中心为圆心半径为 2.5km 的核心范围内的感染者数约占总数的 60%, 半径为 7.5km 的圆形范围内包含了 90% 以上的 SARS 感染者。

当不考虑传播扩散的方向性差异时, 即传染病在空间上的传播是各向同性的(Isotropic), 可以直接由所有的感染者与传播中心(采用平均值)的距离 $d_{i,mc}$ ($i = 1, 2, \dots, N$) 计算得到标准离差^[35]:

$$S_{SDD} = \left[\sum_{i=1}^N d_{i,mc}^2 / (N - 2) \right]^{1/2} \quad (4)$$

标准离差是概率统计理论中一个非常重要的指标, 它能够很好地表达随机变量的离散程度。由 2003 年广州市 SARS 感染者的空间分布数据计算得到其标准离差为 8428.68m, 取显著性水平为 0.05, 则可得到置信水平为 95% 的疫区范围, 如图版 2 图 6 中的红色圆圈(实线), 疫区面积约为 223km²。

当考虑传染病在空间上的传播是各向异性的(Anisotropic), 可以采用标准离差椭圆方法进行疫区划分, 它主要计算两个差异最大的正交方向的标准离差, 标准离差椭圆的计算过程如下^[35]。

标准离差椭圆的形状主要由三部分决定: 长轴长度、短轴长度和旋转角度, 如图 5 所示, 旋转角度 θ 是指 y 轴与 Y 轴顺时针方向偏离的角度, 计算式为:

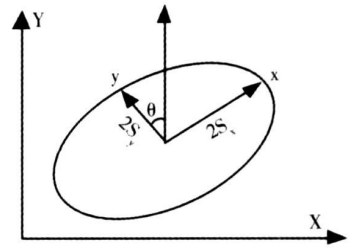


图 5 标准离差椭圆示意图

Fig. 5 Sketch map of standard deviation ellipse

$$\theta = \arctan \left\{ \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] + \left[\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right)^2 \right]^{1/2} \right\} / \left(2 \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right) \quad (5)$$

长短轴方向的标准离差计算式为:

$$S_x = \left[2 \times \frac{\sum_{i=1}^N \left((x_i - \bar{x}) \cos \theta - \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \sin \theta \right)^2}{N - 2} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$S_y = \left[2 \times \frac{\sum_{i=1}^N \left((x_i - \bar{x}) \sin \theta - \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cos \theta \right)^2}{N - 2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

由 2003 年广州市 SARS 感染者的空间点分布计算得到的 θ 为 49.65 度, $S_x = 7693\text{m}$, $S_y = 9092\text{m}$, 两轴长度的比值为 0.846, 这表明广州市 SARS 传染病的方向性差异不大, 取显著性水平为 0.05, 则可得到置信水平为 95% 的疫区范围, 如图版 2 图 6 中的绿色椭圆圈(虚线), 疫区面积约为 220km²。

疫区划分最直接的方式是求所有感染者外包多边形, 即能把所有感染者空间点包含在内的最小凸多边形, 如图版 2 图 6 中的蓝色多边形(实线)是根据 2003 年广州市 SARS 感染者的空间分布得到的外包凸多边形, 如果考虑一定的安全系数, 可以将外包多边形进行一定距离的扩展, 扩展距离越长, 疫区外会越安全, 但疫区范围也会随之增大, 所需投

入的资源也会更多, 实际中需要根据政策制定者的主观判断确定, 在有限资源与安全性之间取得最佳平衡。图版 2 图 6 中浅绿色填充的多边形是将外包多边形扩展 5km 后的结果, 用外包多边形表示的广州市 SARS 的疫区面积为 3676km^2 , 扩展 5km 后的面积为 4918km^2 。

5 不同感染人群的空间分异与迁移规律

5.1 空间分异规律

不同人群受 SARS 感染的风险是不同的, 它在空间上的分布与传播扩散规律也会有差异。广州市 SARS 感染者中有过接触的人群与没有接触的人群的流行病学特征是不同的, 有过接触史的感染者的死亡率要大大高于无接触史的感染者^[30]。2003 年的 SARS 事件最突出的一个特征是医院传播途径与医务人员的大量感染, 为考查有过接触史的感染者、无接触史的感染者及医务人员感染者在空间分布上的差异, 本文采用距离平均值作为各自群体的传播中心对其空间分布特征及、分布的差异性及随时间变化的迁移规律进行分析。

增城市、从化市等远离传播中心的少数感染者的空间分布会对以平均值作为传播中心的分析产生较大影响, 为排除其影响使研究结果更稳定, 以 2 倍标准离差范围内的感染者的空间分布作为研究对象进行分析 (见图版 2 图 6), 感染者数量为 1209, 占有所有定位空间点总量的 96.4%。

1209 例感染者中, 有过接触史的感染者为 391 例, 占总数的 32.3%, 无接触史的感染者为 818 例, 占总数的 67.7%, 医务人员的感染者为 284 例, 占总数的 23.5%, 这三类 SARS 感染人群的传播中心如图版 2 图 7(a)。有过接触史感染者传播中心在无接触史感染者传播中心的南边, 相距约 1.15km, 与医务人员传播中心非常接近, 这一方面是由于有过接触史的感染者中大部分为医务人员: 391 例有过接触史的感染者中医务人员有 245 例, 医务人员占有接触史的感染者总数的 62.6%; 另一方面也说明有过接触史且不为医务人员的其余的 146 例感染者的空间分布模式与医务人员类似, 表明这 146 例感染者受感染的途径与医务人员类似, 大多来自于医院或与医务人员密切接触导致的感染。

为分析接收 SARS 感染者的医院与不同感染人群的空间分布之间的关系, 根据研究区域内的 45 个 SARS 接收医院的空间分布计算了 SARS 接收医院的中心点 (采用距离平均值), 如图版 2 图 7(a) 所示, 黄色圆圈是直接采用 SARS 接收医院的空间位置进行的距离平均值的计算结果, 绿色圆圈是用 SARS 接收医院在 SARS 疫情期间所接收的感染者数量作为权重得到的加权距离平均值的计算结果。

由图版 2 图 7(a) 可知, 加权后的 SARS 接收医院的中心点比没有加权的中心点更接近 SARS 感染者的传播中心, 且与有过接触和未有接触的感染者传播中心的距离均相差不大 (距离约为 1km 左右), 这表明 SARS 医院接收的 SARS 感染者数量对 SARS 感染者的空间分布有较大影响, 且对医务人员 (及其相关人员) 和其他非医务人员的空间分布状况的影响性无显著差异, 表明医院传播途径已成为广州市 SARS 流行过程的重要驱动力。大量针对广州市 SARS 的流行病学调查分析表明, 广州市 SARS 传播的主要途径是医院和家庭, 而家庭传播模式并不会明显地改变感染者空间分布的平衡点——传播中心, 而医院传播则不然, 医院的空间分布及其接收 SARS 感染者的数量会对由医院途径传播的感染者的空间分布造成很大影响, 因为人们通常习惯就近医治, 如果医院是高危的传播途

径, 则医院的空间布局会很大程度上影响 SARS 感染者的空间布局。对于未有接触史的感染者来说, 虽然无法判断个体的感染途径, 但总体来说, 应该与医院有一定关系, 因为只有这样才能使 SARS 接收医院的 (加权的) 均衡点与有接触史和未有接触史感染者传播中心的距离接近, 如果还存在其他重要的传播途径 (如污水、某个公共场所等), 则未有接触史感染者的空间分布因受到其他传播途径的影响, 而使未有接触感染者的均衡点比有接触史的感染者的均衡点更显著地偏离 SARS 接收医院的中心点。

有接触史感染者的标准离差为 5199m, 未有触史感染者的标准离差为 5469m, 两者相差不大, 相对误差约为 5%, 具体见图版 2 图 7(b), 这进一步表明医院对两类感染人群的空间布局所起的同样的重要影响作用。

5 2 迁移规律

广州市 SARS 传播在时间上具有明显的阶段性, 初期缓慢增长, 中期迅速攀升又快速回落, 后期长时间稳定的波动变化。为研究广州市 SARS 不同感染人群 (医务人员与非医务人员) 的传播中心随时间变化的迁移特征, 本文将整个广州市 SARS 传播时间分为四个时间段, 各时间段的划分及其传播情况如表 2, 各时间段医务人员与非医务人员感染者的传播中心的分布及随时间的迁移情况如图版 2 图 8, 为考查不同感染人群传播中心的迁移特征与 SARS 医院收治 SARS 感染者数量的关系, 以各时间段内各医院收治的 SARS 感染人数作为权重计算得到不同时间段 SARS 收治医院的分布中心, 如图 8 中红色图例所示。

表 2 广州市 SARS 传播的四个阶段

Tab 2 Four stages of SARS epidemic in Guangzhou

时间段	所有 SARS 感染者	医务人员	非医务人员
2003 1 2~ 2003 1 31	88	40	48
2003 2 1~ 2003 2 28	662	182	480
2003 3 1~ 2003 3 31	260	51	209
2003 4 1~ 2003 5 9	199	11	188

由图版 2 图 8 易知, 所有 SARS 感染者的传播中心在时间上的转移规律是由西南向东北方向迁移, 传播中心越来越接近 SARS 接收医院的中心 (图 8 中的红色五星), 且与 SARS 接收医院的分布中心的总体迁移趋势较为一致, 这进一步表明了广州市 SARS 传播过程中医院传播途径对 SARS 传播的重要影响作用。医院接收了几乎所有出现症状的 SARS 感染者, 使 SARS 病毒在社会上传播的风险转移到了医院, 由于对 SARS 传染病认识的不足及资源短缺 (许多接收 SARS 感染者的医院不具备对 SARS 病毒进行有效隔离的医疗设备), 因而使医院传播成为对 SARS 传播过程的影响最大的途径之一, 如果没有医院承担 SARS 传播风险, 任由 SARS 感染者在社会上自由传播, 那后果将不可想象, 受感染的绝不仅这一千多人, 而可能是几十万甚至上百万, 历史上的黑死病 (鼠疫)、西班牙流感、天花就曾多次毁灭大量人口, 对人类文明造成了巨大伤害。

从总体来看, 所有 SARS 感染者传播中心由第二阶段向第三阶段的转移趋势 (向北) 与 SARS 接收医院分布中心的转移趋势 (向南) 相背, 而其他两个阶段的转移趋势比较一致, 表明在整个广州市 SARS 传播过程中医院传播途径的影响经历了一个由强到弱再到强的变化过程, 这可以解释为: 广州市 SARS 初期的传播扩散主要源自医院内的少数几例感染者, 早期受感染的人中有很大大比例是医务人员, 其余的也都主要是到 SARS 接

收医院就诊的病人及家属, 早期传播途径主要是医院, 由于不同医院之间没有形成很好的信息共享, SARS 病人多次转院并在医院间形成交叉传染, 最终导致大规模的暴发; 随后, 政府及卫生防疫部门对 SARS 的医院传播途径有了明确认识, 医院采取了严格的隔离、消毒、戴口罩、穿防护服等防控措施, 医务人员受感染的比例显著下降, 但由于 SARS 传染病已呈扩散趋势, 因此, 当 SARS 在医院的传播得到有效控制后, SARS 传播的主导因素逐步向家庭传播和其他未知传播途径转化; 4 月初, 由于 SARS 已在中国及世界范围内形成广泛传染的严峻形势, 国家在全国范围内启动了严格限制人群活动的防控措施, 这一措施大大降低了广州市内 SARS 传播的家庭及其他途径的可能性, 虽然此时医院传播已得到很好控制, 但相对其他传播途径而言, 医院传播所起的作用仍然很强 (医院作为 SARS 感染者的汇集地, 很难完全杜绝医院传播, 只能在一定范围内使其得到控制), 并一直持续到 SARS 疫情的结束。

6 总结与讨论

本文利用对广州市 SARS 感染者进行空间化处理后的时空数据, 定量分析了广州市 SARS 疫区的传播中心与疫区的置信区间, 并对不同感染人群传播中心的空间分异及其迁移规律进行了分析, 讨论了 SARS 接收医院对 SARS 传播扩散的影响作用。研究结果表明, SARS 传播中心和疫区范围主要位于广州市人口稠密的城市中心, SARS 传播中心具有向 SARS 接收医院分布中心接近的明显趋势, 其时间上的迁移规律与 SARS 接收医院分布中心的迁移规律比较一致, SARS 接收医院的空间分布及其接收的感染者数量对广州市 SARS 的扩散传播有重要影响作用, 且经历了由强到弱再到强的变化过程。

传染病的流行病学分析是广受关注的重要研究方向, 对传染病的空间分布与时空扩散规律的研究能够大大拓展传统的流行病研究方法, 发现和挖掘更多潜在价值信息。2003 年的 SARS 流行中, 医院传播是重要的传播途径之一, 早期采取的对 SARS 感染者进行就近医治的传统方法错失了将 SARS 流行扼杀在摇篮之中的机会, 大量不具备 SARS 隔离条件的医院使医务人员和到医院就医的人群承受了巨大感染风险, 北京 SARS 防控的经验表明, 设立具备隔离条件的定点医院统一接收 SARS 感染者对于有效防控 SARS 流行具有重要的积极作用。

历史是一面镜子, 它能照耀前方的道路, 忘却历史不仅是背叛, 而且也意味着在未来会经历同样的教训。恩格斯曾经说过, “一个聪明的民族, 在灾难和错误中学到的东西会比平时多得多”。突如其来的 SARS 危机给中国公共卫生安全上了重要一课, 历史经验能够为未来可能重现的危机提供有价值的借鉴, 广州 SARS 流行是新型传染病在都市区突发的典型标本, 深入挖掘广州 SARS 流行中各个层面的有价值的信息对于科学应对未来重现的 SARS 或其他急性传染病有重要意义。如何对在都市地区突发的传染病流行进行科学有效的应急是一个复杂的系统难题, 它需要掌握传染病源、传播途径、人口分布与活动状况、高风险人群、高风险区域、传染病危害潜力、时空传播的演化过程、不同人群的差异性等各类方面的知识。现在有很多人认为 SARS 研究已够多够全了, 继续从事 SARS 研究只是“炒冷饭”而已, 这种认识是危险的, 我们对 SARS 的本质真正了解多少呢? 有把握能够以很小代价应对再次重现的 SARS 危机吗? SARS 研究的路还很长, 它将是一种长期持续的探索过程。

参考文献:

- [1] WHO http://www.who.int/csr/sars/country/2003_05_31/en/index.html. 2003
- [2] Ari s P. The Hour of Our Death New York, Knopf, 1981.
- [3] Crosby A. America's Forgotten Pandemic. Cambridge, Cambridge University Press, 1989
- [4] Lipsitch M, *et al.* Transmission dynamics and control of severe acute respiratory syndrome. *Science*, 2003, 300 (5627): 1966~ 1970
- [5] Riley S, *et al.* Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: Impact of public health interventions. *Science*, 2003, 300 (5627): 1961~ 1966
- [6] Hsueh P R, Yang P C. Severe acute respiratory syndrome (SARS): an emerging infection of the 21st century. *Journal of the Formosan Medical Association*, 2003, 102 (12): 825~ 839
- [7] Peng P W H, Wong D T, Bevan D. Infection control and anesthesia: Lessons learned from the Toronto SARS outbreak. *Canadian Journal of Anaesthesia*, 2003, 50 (10): 989~ 997.
- [8] Twu S J, Chen T, Chen C J. Control measures for severe acute respiratory syndrome (SARS) in Taiwan. *Emerging Infectious Diseases*, 2003, 9 (6): 718~ 720
- [9] Hufnagel L, Brockmann D, Geisel T. Forecast and control of epidemics in a globalized world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(42): 15124~ 15129.
- [10] 曾光. 传染性非典型肺炎防治工作中的几个问题. *中华流行病学杂志*, 2003, 24 (6): 429~ 451.
- [11] 梁万年, 刘民, 陈琦. SARS 患者发病及病例报告时间干预效果分析. *中国公共卫生*, 2004, 20(2): 129~ 130
- [12] 栾荣生, 刘玉萍, 刘刚. 88 例 SARS 密切接触者流行病学调查. *中国公共卫生*, 2004, 20(6): 642~ 644
- [13] 陈青山, 王声, 荆春霞. 高校严重急性呼吸综合征监测系统和控制措施效果评价. *中华预防医学杂志*, 2003, 37 (4): 240~ 243
- [14] 蔡全才, 姜庆五, 徐勤丰. 定量评价 SARS 干预措施效果的传播动力学模型. *中华流行病学杂志*, 2005, 26 (3): 153~ 158
- [15] 韩卫国, 王劲峰, 刘旭华. SARS 传播时间过程的参数反演和趋势预测. *地球科学进展*, 2004, 19(6): 925~ 930
- [16] 韩晓娜, 李承毅, 方立群. SARS 传播动力学及预测模型效果初评. *中国人兽共患病学报*, 2006, 22(6): 522 ~ 525
- [17] 李铮, 陈曦, 滕虎. SARS 流行病传染动力学研究. *生物化学与生物物理进展*, 2004, 31(2): 167~ 171.
- [18] 刘畅, 丁光宏, 龚剑秋. SARS 爆发预测和预警的数学模型研究. *科学通报*, 2004, 49(21): 2245~ 2251.
- [19] 石耀霖. SARS 传染扩散的动力学随机模型. *科学通报*, 2003, 13: 1373~ 1377.
- [20] 陈奇志. 随机模型在非典型肺炎预测及疫情分析中的应用. *北京大学学报(医学版)*, 2003, 35: 75~ 80
- [21] 宗跃光, 王莉, 曲秀丽. 基于蒙特卡罗模拟法的北京地区非典时空变化特征. *地理研究*, 2004, 23(6): 815~ 824
- [22] 朱迎波, 葛全胜, 魏小安, 等. SARS 对中国入境旅游人数影响的研究. *地理研究*, 2003, 22(5): 551~ 559
- [23] Wang J F, *et al.* Spatial dynamics of an epidemic of severe acute respiratory syndrome in an urban area. *Bulletin of the World Health Organization*, 2006, 84 (12): 965~ 968
- [24] Meng B, *et al.* Understanding the spatial diffusion process of severe acute respiratory syndrome in Beijing. *Public Health*, 2005, 119 (12): 1080~ 1087.
- [25] 武继磊, 王劲峰, 孟斌, 刘旭华. 2003 年北京市 SARS 疫情空间相关性分析. *浙江大学学报(农生版)*, 2005, 31 (1): 97~ 101.
- [26] Liu M, *et al.* Epidemiological features of severe acute respiratory syndrome in Beijing urban and suburb areas in 2003. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2005 18 (4): 227~ 232
- [27] 何剑峰, 许锐恒, 余德文, 等. 广东省严重急性呼吸综合征的流行与控制. *中华预防医学杂志*, 2003, 37 (4): 227 ~ 231.
- [28] 王鸣, 杜琳, 周端华, 等. 广州市传染性非典型肺炎流行病学分析. *中国公共卫生*, 2004 20 (2): 131~ 133
- [29] 王鸣, 杜琳, 周端华, 等. 广州市传染性非典型肺炎流行病学及预防控制效果的初步研究. *中华流行病学杂志*, 2003, 24 (5): 353~ 357.
- [30] 何剑峰, 彭国文, 郑慧贞, 等. 广东省 13 市传染性非典型肺炎首发病例流行病学分析. *中华流行病学杂志*, 24(5): 347~ 349

- [31] 谭旭辉, 柳青, 何剑锋, 等. 广东省 SARS 传播趋势的预测模型研究. 中国卫生统计, 2006, 23 (3): 258~ 263.
- [32] 杨智聪, 杜琳, 王鸣, 等. 气压与气温对 SARS 发病流行的影响分析. 中国公共卫生, 2003, 19 (9): 1028~ 1030.
- [33] 冯业荣, 朱科伦, 纪忠萍, 等. 广州大气环境因素与 SARS 疫情短期变化关系的研究. 热带气象学报, 2005, 21(2): 91~ 197.
- [34] 王铮, 蔡砥, 李山, 等. 中国 SARS 流行的季节性风险探讨. 地理研究, 2003, 22(5): 541~ 550.
- [35] Ebdon D. Statistics in Geography (second edition with corrections). Oxford: Blackwell 1988.

Spatial pattern and heterogeneity risk of severe acute respiratory syndrome epidemic in Guangzhou

CAO Zhi-dong^{1,2}, WANG Jin-feng¹, GAO Yi-ge^{1,2}, HAN Wei-guo³,
Feng Xiao-lei⁴, ZENG Guang⁵

- (1 State Key Laboratory of Resources & Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences & Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China ;
2 Institute of Automation, CAS, Beijing 100080, China; 3 Center for Spatial Information Science and System, George Mason University; 4 Resources and Environment Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China;
5 Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

Abstract: Hospital infection has proved to be one of the most important routes of SARS transmission, and nearly a quarter of those infected are medical staff in Guangzhou in South China. However, its potential to control epidemic of SARS is unclear. Detailed records of this epidemic have allowed the development of spatial analysis methods that capture the main features of epidemic spread in space, and the impact of SARS accepting hospitals. SARS epidemic comes from Guangzhou City in South China. SARS epidemic in Guangzhou is a sample to study epidemic's sudden outbreak in urban areas, which can help us to understand which is the risk factor that affects epidemic process and how epidemic spreads. Spatial points are gained according to the family addresses of SARS infectors. Mathematical models are used to express quantitatively the transmission center and confidence interval of epidemic areas. Spatial pattern of different SARS infection groups and their change are analyzed compared with that of SARS accepting hospital weighted with the number of accepted SARS patients. The result shows that there is a clear trend for the transmission center to approach the center of SARS accepting hospital, and their patterns are consistent with that of SARS accepting hospitals. Medical personnel and the other infectors are affected equally by SARS accepting hospitals. SARS accepting hospitals have an impact on the SARS epidemic in Guangzhou, which experiences a strong-weak-strong process. This paper contributes to a better understanding of the spatial spread for SARS and other new infectious diseases in urban areas, and provides a support for public health contingency plans.

Key words: severe acute respiratory syndrome; SARS epidemic in Guangzhou; spatial pattern; hospital infection



图 6 广州市 SARS 疫区的置信范围
Fig.6 Confidence area of SARS epidemic in Guangzhou

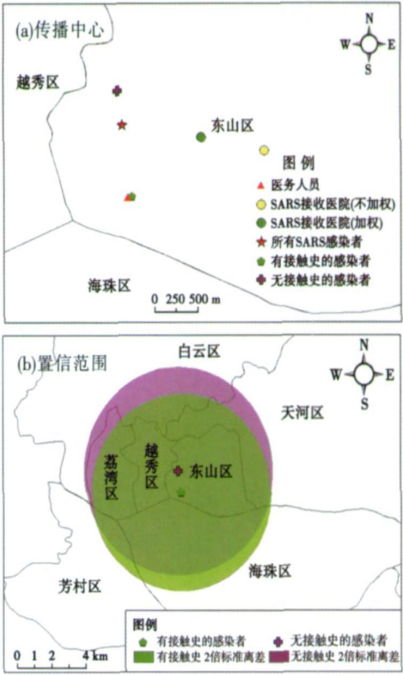


图 7 不同 SARS 感染人群的传播中心和置信范围
Fig.7 Transmission center and confidence area of various SARS infection groups

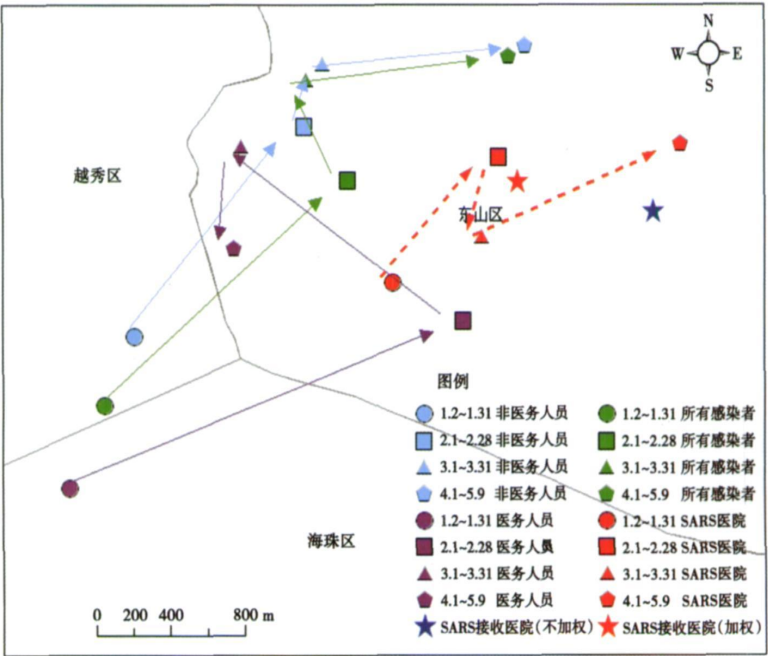


图 8 不同 SARS 感染人群的传播中心的分布及随时间的迁移规律
Fig.8 Spatial distribution and pattern of transmission center of various SARS infection groups