

文章编号: 1002-1566(2018)01-0025-11
DOI: 10.13860/j.cnki.sltj.20170517-002

时空统计在食源性疾病中的应用

卢丹丹^{1,3} 程维虎^{1,3} 梅树江² 肖革新³

(1. 北京工业大学 应用数理学院, 北京 100124; 2. 深圳市疾病预防控制中心, 广东 深圳 518055;
3. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

摘要: 基于空间统计分析方法, 探究其在食源性疾病中的应用, 以肝吸虫病为例, 利用空间自相关分析、时空扫描、空间面板分析探讨肝吸虫病的空间分布特征及影响因素, 为肝吸虫病的有效防控提供科学的依据。研究表明: 男性人群肝吸虫病发病率高于女性人群; 发病最高的年龄组为 50-59 岁, 主要以成年人感染为主; 农民与农民工为主要的高发群体; 肝吸虫病发病率具有空间正相关性, 空间聚集主要表现为“高-高”聚集、“低-低”聚集、“低-高”聚集; 3-10 月份为肝吸虫病的发病时期, 并且中部沿海地区为重灾区; 平均温度与人均 GDP 为影响肝吸虫病发病率的潜在危险因素。

关键词: 肝吸虫病; 空间自相关; 时空扫描; 空间面板模型

中图分类号: C812, O212

文献标识码: A

The Applications of Space-time Statistical in the Field of Foodborne Disease

LU Dan-dan^{1,3} CHENG Wei-hu^{1,3} MEI Shu-jiang² XIAO Ge-xin³

(1. College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China, 2. Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518055, China, 3. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Based on spatial statistical analysis method (SSAM), the applications of SSAM in the field of foodborne disease were studied in this paper. With liver fluke disease as examples, using spatial autocorrelation analysis, space-time scanning, spatial panel model, a discussion about liver fluke disease distribution characteristics and influencing factors was taken, and give a scientific basis for prevention and control of liver fluke disease. The results show that: The infection rate of liver fluke disease among male is higher than that among female, the highest incidence age group is 40 to 59 years old, mainly in the elderly; farmers and migrant workers is a major high-risk group; the incidence of liver fluke disease with a positive correlation between spatial, spatial aggregation mainly for “high-high” gather, “low-low” gather, “Low-High” aggregation; liver fluke disease onset period is march to October, the outbreak area of liver fluke disease is located in the central. The main factor is the average temperature and GDP about the incidence of liver fluke disease.

Key words: liver fluke disease, spatial autocorrelation, space-time scanning, spatial panel model

收稿日期: 2016 年 4 月 15 日

0 引言

华支睾吸虫病近几年来一直在我国盛行传播,它是一种与饮食相关的食源性寄生虫病,因为主要寄生在人的肝胆管内,故而又称之为肝吸虫病,未经煮熟的或生的淡水鱼虾、生鱼片、鱼生粥等食物常常寄生有华支睾吸虫的囊蚴,人们主要由于食用了这些食物而被感染。肝吸虫病能够引起一系列与人体肝脏、胆道相关的疾病,患病病人主要是肝受到损伤,轻度患者在感染后并不会出现明显的症状,5%–10% 的重度患者在感染较为严重时会出现消化不良、上腹隐痛、腹泻、精神不振、肝大等一些不典型的临床症状和体征,少数严重的患者则会发生肝胆道阻塞、肝硬化等并发症,甚至死亡^[1]。1874 年 McConnell 在人体胆道内第一次发现了肝吸虫,而 1908 年我国才陆续发现该病存在,但是从 1975 年湖北省江陵县出土的古尸相关研究中表明,该病在我国大约有 2300 年的历史^[2]。目前我国除了青海、宁夏、新疆、西藏、内蒙古以外,大约有 25 个省、市、自治区流行此病,涉及到 200 多个区县,并且各区县人群的平均感染率高低不一。据报道,全球 3500 万感染人群中我国感染人群将近占到 1/3 (超过 1500 万)^[3]。本文基于空间统计分析方法,探讨肝吸虫病的空间分布特征及影响因素,一方面为肝吸虫病的有效防控提供理论依据;另一方面为相关部门开展食源性疾病的研究提供新的方法思路借鉴。

1 资料与方法

1.1 资料来源

2012 年肝吸虫病数据来源于广东省珠三角地区疾病监测报告;人口数据、人均 GDP、人口密度、性别比、水产总量来源于 2013 年统计年鉴。降水量、平均温度、高温日照数、暴雨日数等气象数据分别来源于 2013 年气象统计年鉴。

1.2 分析方法

利用描述性统计分析方法对 2012 年肝吸虫发病数据进行描述性分析,然后利用 ArcGIS 软件将肝吸虫发病率数据进行空间可视化展示,利用 OpenGeoDa 软件进行空间自相关分析;利用 SaTScan 软件对发病数据进行时空扫描,揭示肝吸虫病空间聚集区域随时间动态变化的趋势及相对危险度;利用 R-3.1.3 软件对肝吸虫疾病数据进行空间面板模型分析。

1.3 空间自相关理论

空间自相关分析主要指在地理空间区域上的某种属性值与其相邻近的空间区域上的同一属性值之间的相关程度,通常利用空间自相关系数作为基本的度量指标,主要用来检验单位区域内某一属性值在地理空间上是否具有高高相邻、低低相邻或高低相邻,也即是在地理空间上是否存在聚集性^[5]。

空间自相关分析主要分为全局空间自相关分析和局部空间自相关分析,常用的空间自相关分析方法有: Moran's I、Geary's C、Getis、Moran 散点图以及空间自相关系数图^[6]。本研究主要利用 Moran's I 与 Local Moran's I 对广东省珠三角地区肝吸虫病进行全局与局域自相关分析。

1.3.1 全局空间自相关分析

全局空间自相关分析主要是从整个研究区域范围内来分析属性变量是否具有聚集性,其

公式如下^[7]：

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

其中， n 表示研究属性变量空间的区域数； x_i 表示第 i 个区域内的属性变量值（如疾病发病率）， x_j 表示第 j 个区域内的属性变量值， \bar{x} 表示所研究区域的属性变量平均值； w_{ij} 表示空间权重矩阵，确定方法如下：

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当区域 } i \text{ 与区域 } j \text{ 相邻时,} \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

在零假设条件下，Moran's I 的期望值为：

$$E(I) = \frac{-1}{n-1}. \quad (2)$$

在空间对象正太分布假设条件下，Moran's I 的方差为：

$$\text{Var}(I) = \frac{1}{s_0^2(n-1)(n+1)}(n^2 s_1 - n s_2 + 3 s_0^2) - E(I)^2. \quad (3)$$

在空间对象随机分布假设条件下，Moran's I 的方差为：

$$\text{Var}(I) = \frac{n((n^2 - 3n + 3)s_1 - n s_2 + 3 s_0^2) - k((n^2 - n)s_1 - 2n s_2 + 6 s_0^2)}{s_0^2(n-1)(n-2)(n-3)} - E(I)^2, \quad (4)$$

其中：

$$s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} s_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n (w_{ij} + w_{ji})^2, \\ s_2 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji} \right), \quad k = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^2}.$$

同时得到 Moran's I 的 Z-score 得分统计量为：

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}}. \quad (5)$$

若 $|Z| > 1.96$, $p < 0.05$, 则拒绝零假设，总体空间自相关系数不为零，认为属性变量之间具有空间自相关性^[8]。Moran's I 系数的取值为 $[-1, 1]$ 。存在空间正相关性时其取值大于 0，并且越接近 1 正相关性就越强，也即是研究对象空间聚集性越强；存在空间负相关性时其取值小于 0，并且越接近 -1 负相关性就越强，也即是研究对象空间差异性越大；当呈现随机分布时其取值接近于 0，也即是不存在自相关性^[7]。

1.3.2 局部空间自相关分析

局部空间自相关分析是从整体地理空间范围内的特定局部区域分析属性变量之间在空间分布上是否具有聚集性，根据分析结果可以解释和探测属性变量空间聚集性的“热点”或“冷点”区域。仍用 Moran's I 系数值进行评价。Moran's I > 0 时表明局部空间单元与相邻空间单元之间存在空间正相关性，表现为“高-高”、“低-低”聚集，Moran's I < 0 时表明局部空间单元与相邻空间单元之间存在空间负相关性，表现为“低-高”和“高-低”聚集。同时将局域空

间自相关结果进行可视化地图展示，不同颜色的空间单元代表了不同的局域空间自相关类型，局域空间自相关“高 - 高”聚集区域，表示邻近空间单元的某种属性值随着本空间单元某种属性值的升高而升高；“低 - 低”聚集区域表示邻近空间单元的某种属性值随着本空间单元某种属性值的降低而降低；同理，“高 - 低”聚集区域表示邻近空间单元的某种属性值随着本空间单元某种属性值的升高而降低；“低 - 高”聚集区域表示邻近空间单元的某种属性值随着本空间单元某种属性值的降低而升高^[9]。

1.3.3 时空扫描

空间自相关分析具有一定的局限性，其没有纳入时间因素故而不能判断地理空间上聚集区域随时间变化的趋势。而时空扫描分析很好的解决了这一难题，不仅能够揭示地理空间上聚集区域随时间变化的规律，同时还能得出聚集区域的相对危险度，更加精确的对空间聚集区域位置进行了定位^[10]。

时空扫描分析同时考虑了时间和空间两个因素，主要采用移动窗口法 (moving winddows)，如图 1 所示，在地理空间上创建扫描窗口 (圆柱体)，圆柱体的底面对应研究的地理区域，圆柱体的高对应扫描时间间隔，圆柱体的半径对应扫描的风险人口。对每一个扫描窗口，由实际的发病数和人口数可以计算出预期的发病数，然后根据扫描窗口内外的实际发病数和预期发病数构造检验统计量：对数似然比 (log likelihood ratio, LLR)。最后选取 LLR 值最大的窗口作为高发病聚集窗口，也即是该区域最不可能由随机变异造成^[11]。

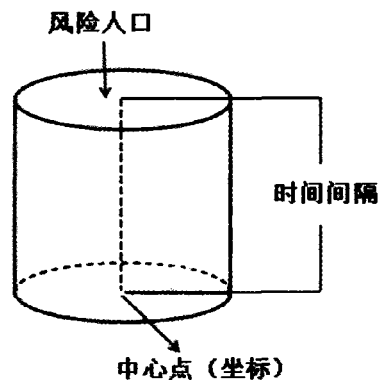


图 1 时空扫描原理示意图

1.3.4 空间面板模型

与传统面板模型相比，空间面板模型使用的数据比较丰富，包含的变量之间有更多的变化，且具有少共线性的特征。模型的结果具有更大的自由度，从而提高了估计的效率。空间面板模型还考虑了空间单元之间的互动即自相关性，它假定因变量取决于相邻的空间单元变量的值^[12-14]。空间面板模型表示为：

$$y_{it} = \delta \sum_{j=1}^N W_{ij} y_{jt} + \beta X'_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it},$$

(6)

其中 i 和 t 是数据的空间与时间维度， y_{it} 是在空间单元 i 和时间 t 上的因变量； X_{it} 是在空间单元 i 与时间 t 上的自变量； μ_i 是空间的个体的效应，反映不受时间影响的空间特质； β 是空间回归系数，它主要反映了空间独立自变量与因变量之间的关系； W_{ij} 是空间权重矩阵，它表

明区域数据集之间的空间相邻关系，其中一种确定方法为在一个邻居矩阵的顺序中，若区域 i 与区域 j 是直接相邻的关系， $W_{ij} = 1$ ，否则 $W_{ij} = 0$ ； δ 是空间自回归系数，其反映了空间领域的影响。 ε_{it} 是与空间和时间都有关系的随机误差项，其服从均值为 0，方差为 σ^2 的正态分布且独立同分布。

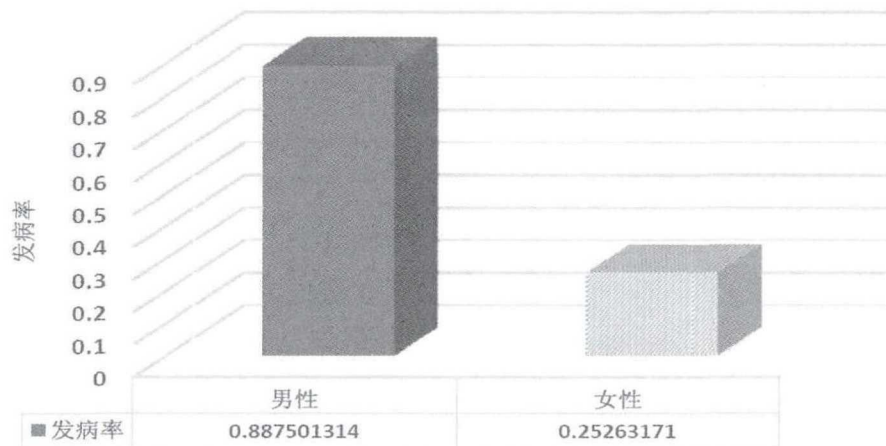


图 2 2012 年肝吸虫病发病率性别构成

2 结果

2.1 流行病学描述性特征

由图 2 可以看出，男性人群肝吸虫病发病率明显高于女性人群，并且男性人群发病率大约为女性人群的 4 倍，可以看出男性人群与女性人群发病率存在明显差异。

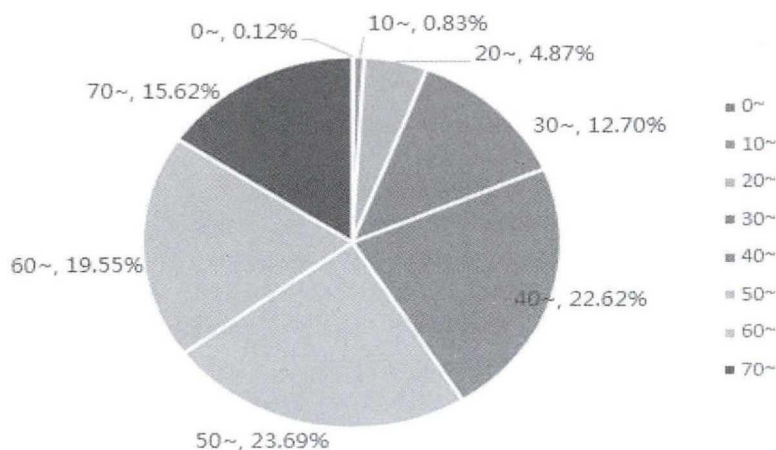


图 3 2012 年肝吸虫病不同年龄组构成比

将肝吸虫病各年龄患病病人以 10 岁为间隔分为 8 个年龄组，分别计算各年龄组的发病数构成比，从各年龄组构成比饼图 (图 3) 可以看出，肝吸虫病发病人群主要分布在 40-50 岁、50-60 岁人群，其发病构成比均超过了 22%；其次主要分布在 30-40 岁、60-70 岁及 70 岁以上人群，其发病构成比均超过了 12%；在低年龄段除 20-30 岁人群发病构成比相对较高 (4.87%) 外，儿童青少年阶段发病相当低，发病构成比均不足 0.5%。从总体上看，肝吸虫病发病人群主要

以 30 岁以上中青年、中老年人为主, 占总发病数的 94.18%。30 岁以下发病人群中, 主要分布在 20-30 岁青年人群中, 占总发病数的 4.87%, 而 20 岁以下青少年儿童群体发病比例最低只占总发病数的 0.95%。

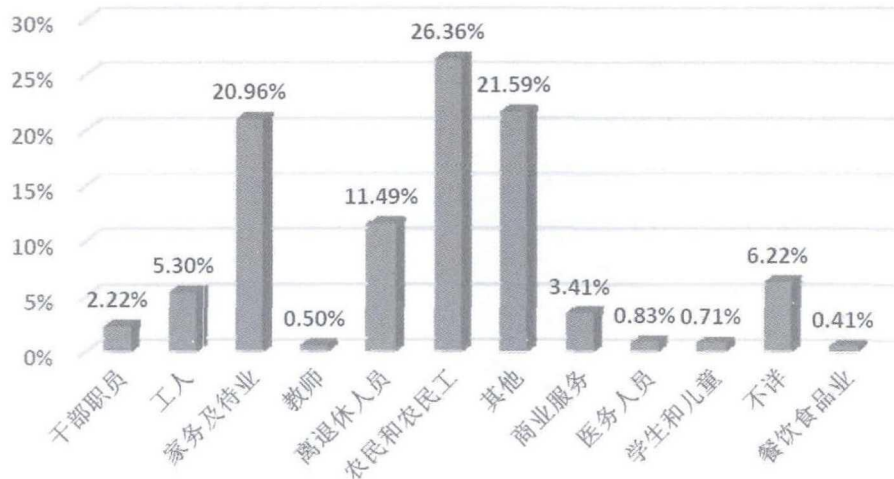


图 4 2012 年肝吸虫病不同职业发病构成比

从不同职业发病构成比柱状图 (图 4) 可以看出, 肝吸虫病发病人群主要以农民与民工为主, 占总发病例数的 26.36%; 其次超过总发病人数 10% 的依次为其他、家务及待业、离退休人员等职业, 分别占总发病人数的 21.59%、20.96%、11.49%。而干部职员、工人、商业服务及不详职业所占比例较低, 均不超过 7%。教师、医务人员、学生和儿童、餐饮食品业所占比例均不超过 1%。

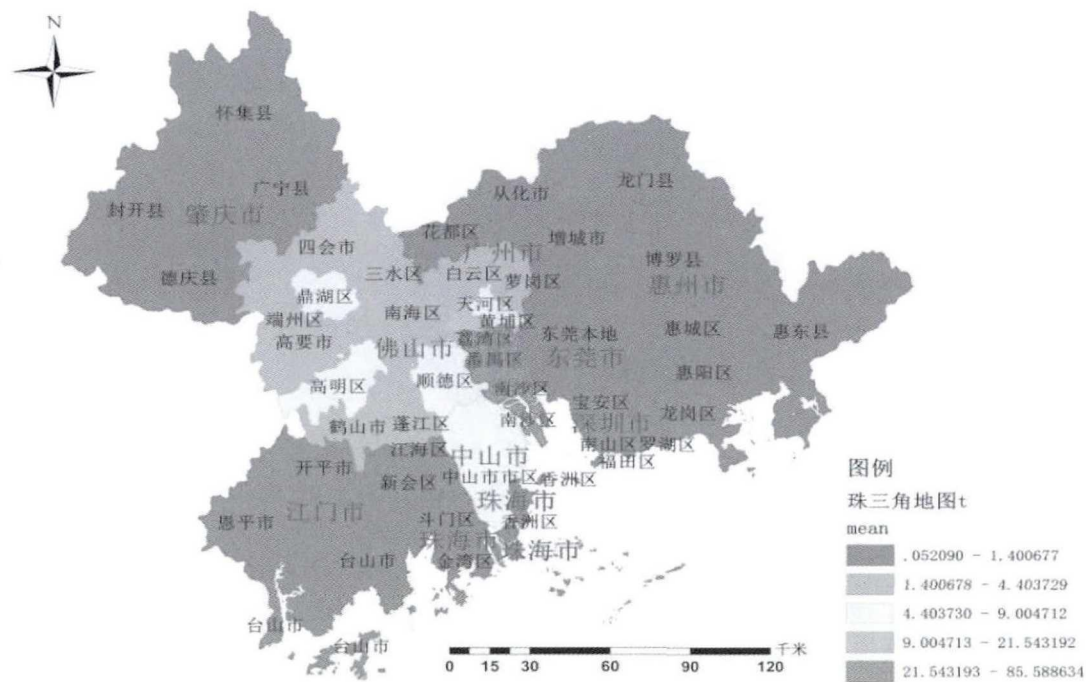


图 5 2012 年肝吸虫病发病率空间分布图

2.2 肝吸虫病发病率空间分布

从图 5 可以看出, 2012 年肝吸虫病的发病率由低到高划分成了 5 个等级, 暖色代表肝吸虫病发病率较高, 冷色代表肝吸虫病发病率较低, 因此可以看出 2012 年广东省珠三角地区肝吸虫病的高发地区主要分布在荔湾区、番禺区、南沙区、黄埔区、天河区、顺德区、中山市、鼎湖区、高明区等地, 且荔湾区、番禺区、南沙区发病率最高, 均超过 21.54319/10000。

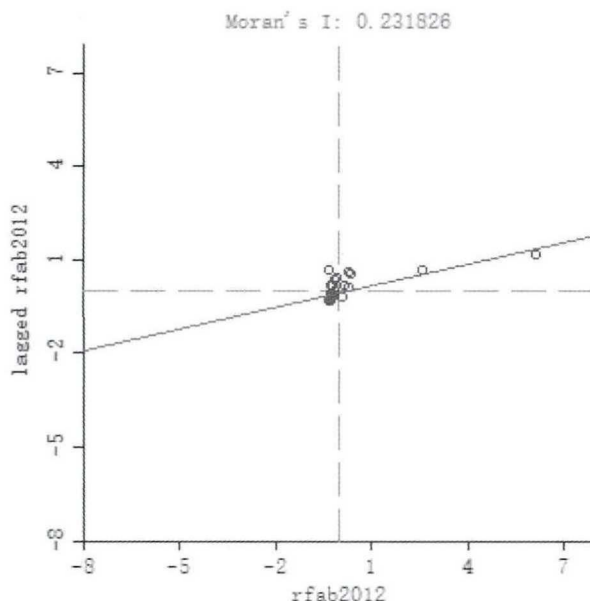


图 6 2012 年肝吸虫病发病率全局 Moran's I 散点图

permutations: 999
pseudo p-value: 0.012000

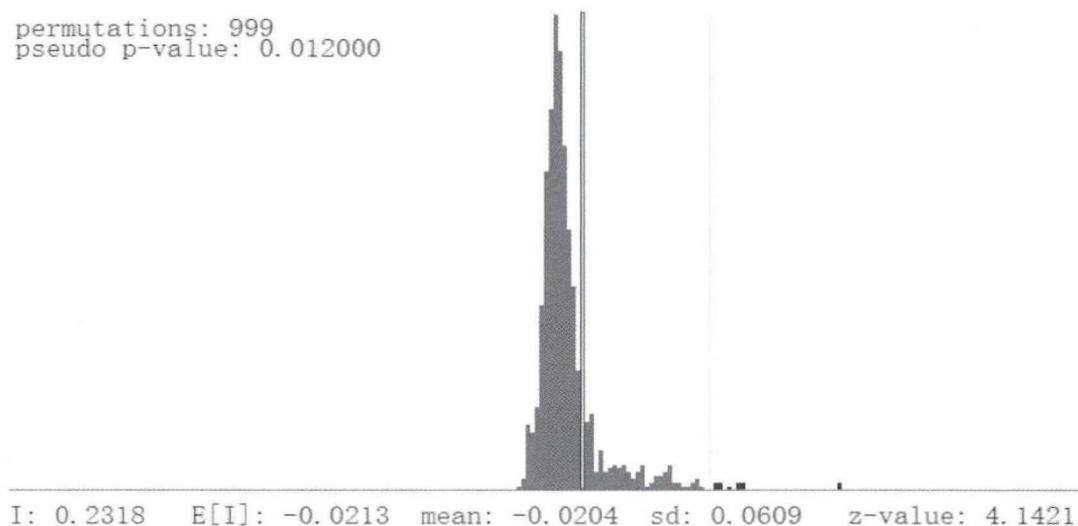


图 7 2012 年肝吸虫病发病率全局 Moran's I 指数与 Z-score 得分图

2.3 全局空间自相关分析结果

由图 6、图 7 可知, 在 0.05 显著性水平下, 2012 年广东省珠三角地区肝吸虫病局域 Moran's I 系数约为 0.23, 并且 $Z = 4.14$, $Z > 1.96$, $P = 0.012$, $P < 0.05$, 具有统计学意义, 说明研究区域间存在空间正自相关性, 整体表现为中低程度的空间聚集性。

2.4 局域空间自相关分析结果

从图 8 和表 1 可以看出, 2012 年广东省珠三角地区肝吸虫病发病的局域自相关结果主要表现为空间正相关, 主要为 2 种聚集形式: 红色部分的“高 - 高”聚集、蓝色部分的“低 - 低”聚集。其中“高 - 高”聚集区域主要分布在中部的南沙区与番禺区; “低 - 低”聚集区域主要分布在东部地区, 以罗湖区、龙岗区、宝安区、惠城区、惠阳区及惠东区为主。

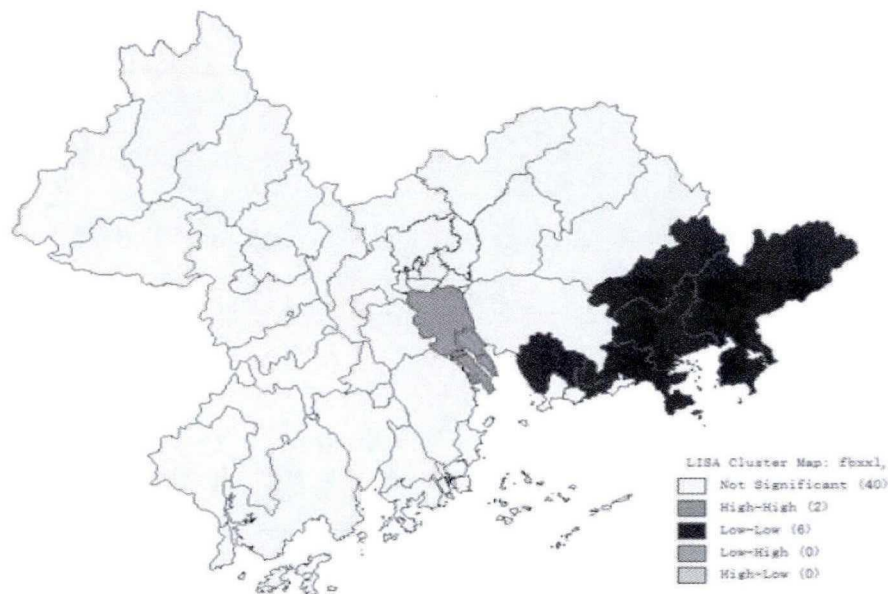


图 8 2012 年肝吸虫病发病率的局域空间自相关聚集性地图

表 1 2012 年肝吸虫病局域空间自相关分析

聚集类型	高 - 高	低 - 低
聚集地区	南沙区、番禺区	罗湖区、龙岗区、宝安区、惠城区、惠阳区、惠东区

2.5 时空扫描结果

时空扫描分析用于定位肝吸虫病爆发地区随着时间空间的推移其大小与位置的变化情况, 它调节了纯粹的时间或空间上危险性的变化。为了探测珠三角地区肝吸虫病在不同时间 - 空间尺度上爆发的特性, 设置总人口的 10% 为危险人群, 3 个月为扫描最长时间长度, 以反映季节性因素。

表 2 时空扫描聚类结果

类型	中心坐标	发病时间	病例数	期望值	似然比	相对危险度	P-value
1	(22.73N, 113.57E)	2012/3/1 - 2012/5/31	501	30.49	967.25	19.17	0.000
2	(23.09N, 113.22E)	2012/7/1 - 2012/9/30	183	54.77	95.08	3.48	0.000
3	(22.55N, 113.13E)	2012/8/1 - 2012/10/31	142	74.8	24.53	1.94	0.000

由时空扫描结果来看 (表 2、图 9), 珠三角地区有 3 个聚类, 第一个聚类发生在 3 月份到 5 月份, 中心坐标为 (22.72N,113.57E), 半径为 27.94km, 其 LLR 值最大 ($LLR = 967.25$) 表明 3 月份到 5 月份为发病高峰期, 相对危险度 $RR = 19.17$ 为主要重灾区, 主要聚集区域为番禺区和南沙区, 这与空间自相关分析结果一致。并且其 P 值非常小, 具有统计学意义, 这说明这种

现象不太可能由随机变异引起。第二个聚类发生在 7 月份到 9 月份, 对数似然比 $LLR = 95.08$, 相对危险度 $RR = 3.48$, 属于发病较重区, 主要聚集区域为荔湾区、越秀区和海珠区; 第三个聚类发生在 8 月份到 10 月份, 对数似然比 $LLR = 24.523$, 相对危险度 $RR = 1.94$, 与前两类相比属于发病较轻微区, 主要聚集区域为蓬江区、江海区、新会区和中山市。

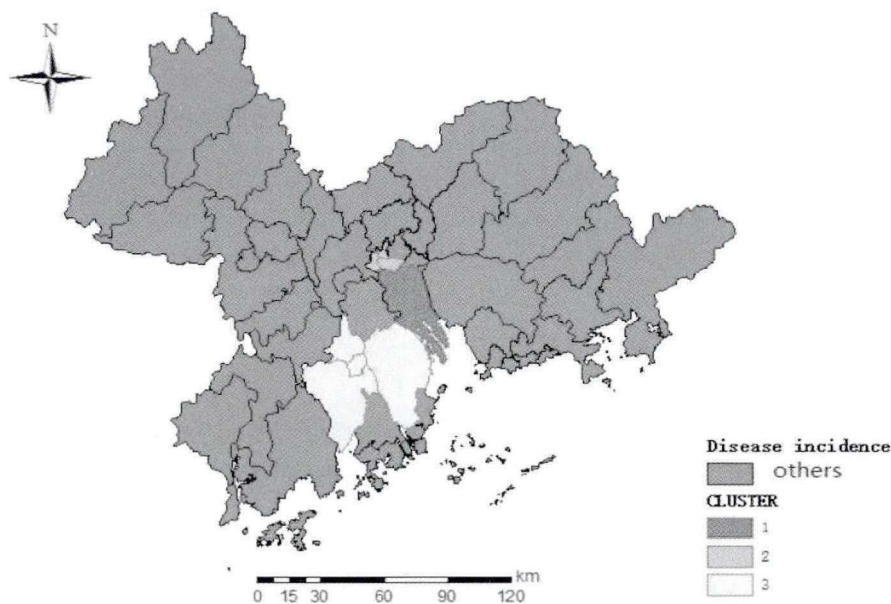


图 9 时空扫描聚类可视化

2.6 空间面板模型结果

在空间面板模型中, 以各地区每个月的发病率作为因变量, 各月份降水量 (X_1)、月平均气温 (X_2)、高温日照数 (X_3) 等气象因素作为自变量进行空间面板模型的建立, 结果如表 3 所示。

表 3 空间面板模型探测气象风险因素结果

变量	系数	标准差	t	p
空间权重	1.82	1.96	0.93	0.00
X_1	-0.01	0.01	-1.16	0.25
X_2	0.11	0.04	2.75	0.001
X_3	-0.02	0.07	-0.24	0.81

从空间面板模型结果中可以看出, 空间权重即空间依赖性的系数为 1.82, P 值小于 0.05 表示有附近效应的存在且高度显著, 风险因素分析表明月平均温度与肝吸虫病存在正相关, 且 P 值小于 0.05 高度显著, 这表明月平均温度每增加一个单位, 肝吸虫病发病率相应的增加 0.11 个单位。降水量、高温日照数与肝吸虫病之间存在负相关, 其 P 值均大于 0.05 表明这种负相关关系不是静态显著的。

人均生产总值 GDP (Y_1)、人口密度 (Y_2)、水产总量 (Y_3)、性别比 (Y_4) 等社会经济因素也可能促成疾病的空间分布, 但是这些因素难以找到其月变化的数据, 因此应用空间面板模型不能对其分析, 这里采用 OpenGeoDa 软件中空间滞后模型对其分析, 空间滞后模型结果如表 4。

从空间滞后模型结果中可以看到，空间权重即空间依赖性的系数为 0.59，P 值小于 0.05 表示有附近效应的存在且高度显著，风险因素分析表明人均 GDP 与肝吸虫发病率存在正相关关系，且 P 值小于 0.05 高度显著，这表明人均 GDP 每增加一个单位，肝吸虫病发病率相应的增加 0.41 个单位。而水产总量与肝吸虫发病率存在正相关关系，人口密度、性别比与肝吸虫发病率呈负相关关系，但是它们的 P 值均大于 0.05 说明这种正相关关系与负相关关系不是静态显著的。

表 4 空间滞后模型探测气象风险因素结果

变量	空间权重	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
系数	0.59	0.41	-0.00	-101.59	0.32
标准差	0.12	0.47	0.00	86.37	0.40
z	4.72	0.87	-0.33	-1.18	0.80
p	0.00	0.04	0.74	0.24	0.42

3 讨论

通过对 2012 年广东省珠三角地区肝吸虫病发病数据进行描述性统计分析、空间自相关分析、时空扫描分析、建立空间面板和空间自回归模型探测影响其发病的潜在影响因素，本研究所得结论如下：

- ① 男性人群肝吸虫病发病率高于女性人群，主要以中老年人为主，这与方悦怡等人研究结果一致^[15]；农民为发病较高的低收入职业群体。
- ② 肝吸虫病在空间分布上具有显著的中低程度空间聚集性，爆发热点区域为位于中部地区的番禺区和南沙区，整体在时间分布上没有表现出季节性。
- ③ 影响肝吸虫病发病率的主要气象因素为平均温度，主要经济因素为人均 GDP，且具有统计学意义，这提示肝吸虫病的发病可能跟温度有关，温度较高的地区发病相对严重，而社会经济影响因素复杂多样，不能用单一的人均 GDP 变量做解释，所以在未来实际的肝吸虫病预防控制工作中应该根据各因素影响大小实施针对性的预防防控策略。

本研究涉及到各区县数据及月份数据，因此数据获取难度较大，在对气象环境和经济影响因素分析时没有展开全面的研究，只选取了一些容易获得的因素指标，如月平均气温、降水量、人均 GDP、水产总量等，这只能从初步层面探测肝吸虫病在气象及经济层面的潜在影响风险因素。其次在探测潜在经济影响时利用的空间自回归分析模型没有将时间变量考虑在内，分析结果还存在偏倚。最后社会经济影响复杂多变，应该多学科交叉进行研究。另外也进一步通过肝吸虫病的实证分析体现了时空统计在食源性疾病中的应用，为今后相关部门开展食源性疾病的研究提供了新的方法思路借鉴。

[参考文献]

[1] LUO Jing-xia, LI Jian. Explore on the high prevalence epidemic characteristics of clonorchiasis in Guangxi Zhuang Autonomous Region and the ultrasound diagnostic value [J]. China Medical Herald, 2014, 11(5): 109-111.

[2] Yangjing. Studies on the distribution and examination methods of clonorchis sinensis in Hubei province [D]. Central China Normal University, 2002.

[3] 郑南才, 刘鹰航, 梁柏年, 许坚锋, 方悦怡, 杨杨, 梁松. 广东省江门市华支睾吸虫病流行现状的调查与分析 [J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2014, 32(6): 441-445.

- [4] 唐阳. 湖南省华支睾吸虫病高发区人群感染现状及影响因素分析 [D]. 中南大学, 2010.
- [5] Rosenberg M S, Sokal R R, Oden N L, et al. Spatial autocorrelation of cancer in western Europe [J]. *European Journal of Epidemiology*, 1999, 15(1): 15–22.
- [6] Kitron U, Michael J, Swanson J, et al. Spatial analysis of the distribution of lacrosse encephalitis in Illinois, using a geographic information system and local and global spatial statistics [J]. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 1997, 57(4): 469–475.
- [7] 王劲峰. 空间分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] David Wing-Shun Wong, Jay Lee. Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and Arcgis [M]. John Wiley & Sons, Inc., 2005: 10–20.
- [9] 吴田勇, 曾庆, 刘世伟, 等. 重庆市 2008–2011 年结核病疾病空间分布及影响因素分析 [J]. *上海交通大学学报 (医学版)*, 2013, 33(4): 489–492.
- [10] Odoi A, Martin S, Michel P, et al. Investigation of clusters of giardiasis using GIS and a spatial scan statistic [J]. *International Journal of Health Geographics*, 2004, (3): 11–21.
- [11] Pearl D L, Louie M, Chui L, et al. The use of outbreak information in the interpretation of clustering of reported cases of *Escherichia coli* 0157 in space and time in Alberta, Canada, 2000–2002 [J]. *Epidemiology & Infection*, 2006, 14: 699–711.
- [12] 季民河, 武占云, 姜磊. 空间面板模型设定问题分析 [J]. *统计与信息论坛*, 2011, 26(6): 3–9.
- [13] 黄勇, 邓特, 于石成, 等. 空间面板数据模型在传染病监测数据分析中的应用 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2013, 17(4): 277–281.
- [14] Xiao G X, Xu C D, Wang J F, et al. Spatial-temporal pattern and risk factor analysis of bacillary dysentery in the Beijing-Tianjin-Tangshan urban region of China [J]. *BMC Public Health*, 2014, 14(1): 998.
- [15] FANG Yue-yi, WU Jun, LI U Qing, et al. Investigation and analysis on epidemic status of clonorchiasis in Guangdong Province, China [J]. *Journal of Pathogen Biology*, 2007, (1): 54–56.