

# 高山地区钉螺分布的空间特征研究

何明祯 刘剑 依火伍力 李源培 郑会民 周艺彪 姜庆五

**【摘要】** 目的 分析山区钉螺分布的空间特征。方法 建立四川省普格县钉螺分布的地理信息系统(GIS),用空间自相关分析和空间扫描统计量法研究山区钉螺分布的空间特征。结果 普格县钉螺分布存在空间自相关,其有螺框出现率的全局Moran's I指数为0.095( $P<0.05$ ),局部空间自相关分析显示有28个钉螺孳生地的局部空间关联指数(LISA)值有统计学意义( $P<0.05$ ),这些环境又可细分为高-高、低-低、低-高和高-低四种空间关联模式。空间扫描统计量法共探测出24个钉螺孳生地聚集区,其中有14个高值聚集区,10个低值聚集区( $P<0.05$ ),与局部空间自相关的结果较为吻合。结论 普格县山区钉螺分布存在空间自相关,钉螺孳生地在空间上呈一定的聚集性,同时存在空间分布的异质性,利用这一规律可以更好地控制钉螺。

**【关键词】** 钉螺; 空间分布; 山区; 地理信息系统

**Spatial characteristic of distribution of *Oncomelania hupensis* in mountainous regions** HE Ming-zhen<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>, YIHUO Wu-li<sup>2</sup>, LI Yuan-pei<sup>1</sup>, ZHENG Hui-min<sup>1</sup>, ZHOU Yi-biao<sup>1</sup>, JIANG Qing-wu<sup>1</sup>. 1 Department of Epidemiology, School of Public Health, Fudan University, Key Laboratory on Public Health Safety, Ministry of Education, Shanghai 200032, China; 2 Puge County Center for Disease Control and Prevention, Sichuan Province

Corresponding author: JIANG Qing-wu, Email: jiangqw@fudan.edu.cn

This work was supported by grants from the National Major Projects for Science and Technology Development (No. 2008ZX10004-011), the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2006AA02Z402) and the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (No. 20070246148).

**【Abstract】** Objective To analyze the spatial characteristic on the distribution of *Oncomelania hupensis* in mountainous regions. Methods Based on the geographic database of snail distribution in Puge county, Sichuan province, spatial autocorrelation analysis and spatial scan statistics were applied to analyze the spatial characteristic of snail distribution. Results With regard to the rate of frame with snails, the global Moran's I indicator was 0.095 ( $P<0.05$ ), which indicated the spatial autocorrelation of snail distribution in Puge county. Data from the local spatial autocorrelation analysis showed that there were 28 snail habitats with statistically significant differences on local indicators of spatial autocorrelation (LISA) value ( $P<0.05$ ), among which existed high-high, low-low, low-high and high-low four types of correlation model. The Spatial Scan Statistics had in total identified 24 snail habitat clusters ( $P<0.05$ ), including 14 high rate clusters and 10 low rate clusters, and the result was similar to that of LISA analysis. Conclusion There were spatial autocorrelation and spatial aggregation of snail distribution in mountainous regions, meanwhile spatial heterogeneity of snail distribution also existed. This law could be explored for better control of snails.

**【Key words】** *Oncomelania hupensis*; Spatial distribution; Mountainous regions; Geographic information system

四川省是典型的山丘型血吸虫病流行区。钉螺是血吸虫病的惟一中间宿主,其地理分布直接影响

血吸虫病的空间分布<sup>[1]</sup>。地理信息系统(GIS)和空间分析技术的发展为开展钉螺分布空间特征及其与环境地理因素关系的研究提供了技术保障<sup>[2]</sup>。空间自相关分析可确定相邻空间单元观察变量的相关程度<sup>[3]</sup>,已经在区域经济学、人口学、景观生态学和流行病学等领域得到了广泛应用<sup>[4-7]</sup>。空间聚集性分析可以探测疾病的地域聚集性,并确定聚集区的具体位置及其范围<sup>[8]</sup>。国内外已有研究应用空间分析来探测湖区血吸虫病或钉螺分布的空间特征<sup>[9-13]</sup>。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.04.009

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX10004-011);国家高技术研究发展技术(863计划)(2006AA02Z402);高等学校博士学科点专项科研基金(20070246148)

作者单位:200032 上海,复旦大学公共卫生学院流行病学教研室(何明祯、李源培、郑会民、周艺彪、姜庆五);四川省普格县疾病预防控制中心(刘剑、依火伍力)

通信作者:姜庆五,Email: jiangqw@fudan.edu.cn

本研究采用空间分析技术研究山区钉螺分布的空间特征。

### 资料与方法

1. 基本情况:于 2010 年 5—6 月在四川省普格县血吸虫病流行区,采用系统抽样与环境抽样相结合的方式设框查螺,调查内容包括有螺面积、调查框数、活螺框数、活螺数和感染螺数等,同时用 GPS 仪测定各钉螺孳生地中心的地理位置(经纬度)。普格县属于高山峡谷型血吸虫病流行区,位于四川省西南部,海拔最低为 1040 m,最高为 4359 m。位于北纬 27.12°~27.30°,东经 102.26°~102.46°。干雨季分明,雨量充沛,日照充足。年平均气温为 16.8℃,最冷的 1 月平均为 9.4℃,最热的 7 月平均为 22.7℃,年均日照 2120.5 h,年降雨量 1494 mm,无霜期为 300 多天。

2. 空间数据库:购买四川省普格县 1:50 000 数字化地形图,以普格县 2010 年钉螺孳生地的螺情资料为属性数据,在 Arcgis 9 软件支持下,建立普格县钉螺分布的 GIS 数据库。

3. 空间自相关分析:研究同一变量在不同空间位置上的相关性,是空间单元属性值相关程度的一种度量<sup>[14]</sup>。实际分析中常用全局型和局域型的 Moran's I、Geary's S C、Getis-Ord G 等指标来反映空间自相关性<sup>[15]</sup>。本研究在 GeoDa 0.95i 软件的支持下,利用 Moran's I、Local Moran's I(LISA)分别对普格县钉螺孳生地有螺框出现率的全局和局部空间自相关性进行分析。

(1)全局空间自相关:指在一个总的空间模式中不同空间单元之间就某种特征而言的依赖程度。通过计算 Moran's I 值进行全局空间自相关分析,是最常用、效果较好的方法<sup>[16]</sup>;计算公式<sup>[14]</sup>:

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

式中  $n$  是空间单元数,  $x_i$  和  $x_j$  代表  $i$  点和  $j$  点的属性值,  $w_{ij}$  是空间权重矩阵。空间权重的定义方法有很多,包括基于邻接关系的空间权重和基于距离的空间权重,前者主要有 rook 和 queen 标准,后者包括距离束空间权重和 K 最近邻权重等。由于本研究中钉螺孳生地的分布是不规则分布,有些点聚集在一起,有些点相距较远,故采用 K 最近邻权重,以保证每个点有相同的邻居数量<sup>[14]</sup>。Moran's I 的值域为  $[-1, 1]$ ,理

论值为  $-\frac{1}{n-1}$ ,观察值大于理论值并有统计学意义时,存在空间正自相关,小于理论值存在空间负自相关,绝对值越大表示空间分布的相关性越大。

(2)局部空间自相关性:描述一个空间单元与其邻近单元观察值之间的相似程度<sup>[16]</sup>。局部空间关联指数(LISA)分析方法是常用的检验局部空间自相关的方法。计算公式<sup>[17]</sup>:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_j w_{ij} \sum_j (x_j - \bar{x})^2}$$

式中  $I_i$  是  $i$  点的 LISA 值,其余参数的定义同全局 Moran's I,空间权重也采用 K 最近邻权重。根据 LISA 值及相应的观察值可以把局部空间关联模式分为四种类型:H-H(High-High,高值被高值围绕),L-L(Low-Low,低值被低值围绕),L-H(Low-High,低值被高值围绕),H-L(High-Low,高值被低值围绕);其中 H-H、L-L 模式为空间正相关,L-H、H-L 为空间负相关。

4. 空间聚集性分析:空间扫描统计量法是常用的分析空间聚集性的方法。该方法通过建立圆形活动窗口,计算每次变动后窗口内和窗口外指标的差异,采用 Monte-Carlo 迭代模拟法检验似然比,似然比越大越有可能是聚集区域<sup>[18]</sup>。计算公式<sup>[19]</sup>:

$$L_{i,r} = \left(\frac{n_{i,r}}{\mu_{i,r}}\right)^{n_{i,r}} \left(\frac{N-n_{i,r}}{N-\mu_{i,r}}\right)^{N-n_{i,r}}$$

$i=1, \dots, p$  代表不同的圆心位置,  $r$  为半径。  $n_{i,r}$  是扫描窗口的病例数,  $\mu_{i,r}$  是扫描窗口的期望病例数,  $N$  是总病例数。它事先对聚集性的大小、位置、规模没有任何假定,避免了选择偏倚,且不受固有的地域界限的限制<sup>[20]</sup>,因而特别适合于钉螺空间聚集性的分析。本研究在 SatScan 7 软件的支持下,以调查的钉螺孳生地的空间位置及有螺框出现率为基础,用 Poisson 模型的扫描统计量法检测钉螺孳生地的空间聚集性,并确定聚集区的具体位置及其范围;同时计算各聚集区有螺框出现率相对于周围地区的相对危险度(RR),统计学意义水平为 0.05。

### 结 果

1. 螺情调查:2010 年春季共调查普格县血吸虫病流行区钉螺孳生地 248 块,总调查面积 1061.32 万  $m^2$ ,有螺面积 33.65 万  $m^2$ 。共调查钉螺 841 275 框,有螺框数为 9509 框,活螺 22 772 只,有螺框出现率为 1.13%,活螺密度为 0.027 只/0.11  $m^2$ ,

未发现阳性钉螺。图 1 是普格县血吸虫病流行区的钉螺孳生地分布图,观察可发现其在空间上的分布并不均匀,而是呈一定的区域性,且比较集中,主要沿西洛河及其支流分布。

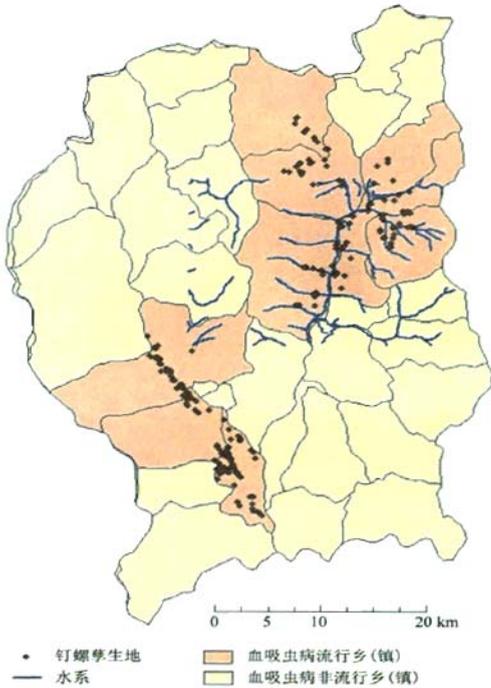


图1 普格县血吸虫病流行区钉螺孳生地分布图

2. 钉螺分布空间自相关分析:计算结果显示,普格县血吸虫病流行区有螺框出现率的全局Moran's I 指数值为0.095,理论值为-0.004( $P < 0.05$ ),表明钉螺的空间分布在整体上具有一定的正自相关。

LISA 分析显示(图 2),2010 年普格县血吸虫病流行区共有 28 个钉螺孳生地的 LISA 值有统计学意义( $P < 0.05$ ),其中 H-H、L-L、L-H、H-L 四种相关模式的钉螺孳生地分别有 8、9、8 和 3 个。普基镇顺河村 6 组和特兹乡则奎村飞石组的有螺框出现率很高,同时这两处的 LISA 值也均  $> 1$ 。提示这两处是钉螺密集分布的地区。

3. 钉螺分布空间聚集性分析:根据钉螺孳生地的有螺框出现率,SaTScan 共探测出 24 个钉螺孳生地聚集区,其中有 14 个高值聚集区,10 个低值聚集区,其有螺框出现率与周围其他地区差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表 1。以聚集区中心为圆心,每个聚集区的半径作缓冲图,与 LISA 分析的结果相叠加,发现后者有 24 个(占 85.7%)显著相关的钉螺孳生地在缓冲区范围内,说明两者的分析结果较吻合(图 3)。在

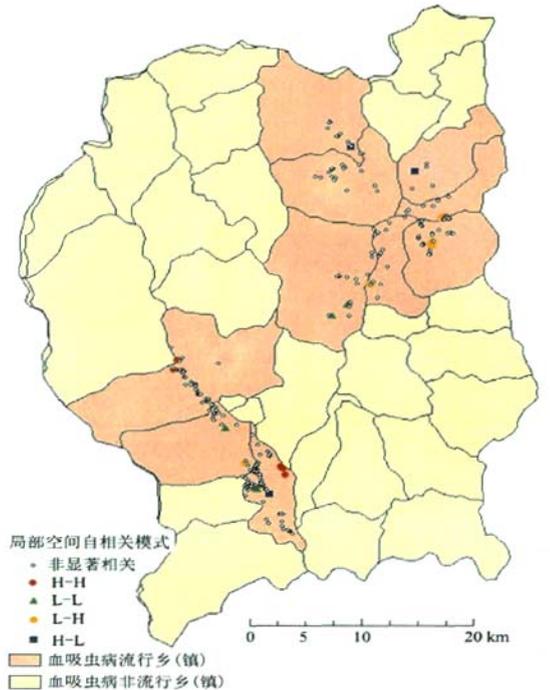


图2 普格县血吸虫病流行区钉螺孳生地的LISA分布图



图3 普格县钉螺孳生地聚集区的缓冲区与LISA分布的合成图

所有的聚集区中,有 2 个聚集区有螺框出现率的 RR 值  $> 10$ ,1 个聚集区有螺框出现率的 RR 值  $< 0.2$ ,其中

表 1 普格县钉螺孳生地的空间聚集性分析

序号	中心位置		半径 (km)	RR 值	对数 似然比	P 值
	纬度	经度				
高值聚集区						
1	27.6456	102.6682	1.62	5.16	586.43	0.001
2	27.6797	102.6614	-	11.55	297.32	0.001
3	27.5865	102.6390	1.71	2.37	119.90	0.001
4	27.3957	102.5340	2.23	1.91	108.96	0.001
5	27.5707	102.6261	0.24	2.48	64.47	0.001
6	27.4873	102.4743	1.15	4.79	50.26	0.001
7	27.3421	102.5416	1.47	2.48	46.86	0.001
8	27.5505	102.6063	-	3.47	40.38	0.001
9	27.4434	102.5068	0.66	2.24	36.98	0.001
10	27.5403	102.5949	-	1.83	33.16	0.001
11	27.5090	102.4662	-	4.41	31.24	0.001
12	27.5785	102.6003	0.62	3.01	25.16	0.001
13	27.4933	102.5037	0.01	10.12	11.30	0.002
14	27.4510	102.5012	0.28	2.07	9.65	0.007
低值聚集区						
15	27.4707	102.4853	4.55	0.53	208.37	0.001
16	27.5795	102.6231	0.98	0.29	190.70	0.001
17	27.6735	102.5814	-	0.22	121.90	0.001
18	27.6274	102.6656	1.56	0.61	114.85	0.001
19	27.6831	102.6708	-	0.16	91.51	0.001
20	27.7083	102.6071	0.33	0.32	67.06	0.001
21	27.7215	102.5911	-	0.32	30.66	0.001
22	27.6594	102.6311	0.61	0.59	26.29	0.001
23	27.6005	102.6266	-	0.34	18.74	0.001
24	27.6190	102.6314	-	0.64	7.85	0.038

第二个聚集区(即以北纬 27.6797°, 东经 102.6614° 为中心的区域)的 RR 值最高, 达 11.55 ( $P < 0.05$ )。

### 讨 论

日本血吸虫病的流行范围与中间宿主钉螺的地理分布相一致, 有严格的地方性。空间对象在空间上是相互依赖的, 空间数据一般不满足独立性假设, 用经典统计学方法分析空间数据, 结果会产生偏倚, 需要运用空间分析技术来研究空间数据<sup>[14]</sup>。空间分析能够有效检测血吸虫病或钉螺分布的自相关和聚集性等空间分布特征<sup>[21]</sup>。张志杰等<sup>[19]</sup>研究发现在湖沼地区钉螺的小尺度分布存在空间正自相关。在江宁县的研究显示钉螺分布呈现空间聚集性<sup>[11]</sup>。本研究以 2010 年普格县钉螺孳生地地为对象, 基于空间数据的特点, 用空间分析技术研究山区钉螺分布的空间特征。

空间自相关常使用全局和局部两种指标来度量, 全局指标用于探测整个研究区域的空间自相关, 局部指标则计算每一个空间单元与邻近单元就某一

属性的相关程度, 两者结合使用可以更全面地反映空间特征。本研究显示, 普格县钉螺分布的全局 Moran's I 指数为 0.095, 该值虽然较小但是有统计学意义。说明钉螺在某一地区的分布与其周围地区的分布状况有关, 在整体上有空间正自相关。由于全局指标只揭示了研究空间的总体性质, 并未给出空间关系的局域分布, 有时会掩盖局部状态的非平稳性<sup>[22]</sup>, 因此还需要采用局部指标来反映每个具体位置的空间自相关。本研究用 LISA 法分析钉螺孳生地的局部空间自相关性, 结果显示有 28 个钉螺孳生地存在局部空间自相关, 进一步可分为 H-H、L-L、L-H 和 H-L 四种关联模式, 这与在洞庭湖区钉螺分布的研究结果相一致<sup>[13]</sup>; 虽然钉螺分布在整体上是空间正相关, 但在局部也有钉螺高值与低值(有螺框出现率)相邻的负相关存在, 这客观地揭示了钉螺孳生地在全区内分布的不均匀性, 而这种空间异质性又提示钉螺分布的环境比较复杂, 特别是在山区, 地理环境复杂, 相邻区域的钉螺分布可能会有较大的差异, 因此在灭螺时要因地制宜, 加强综合治理。

疾病或媒介的空间聚集性是疾病空间分布的重要特征之一, 本研究用空间扫描统计量法分析发现, 普格县血吸虫病流行区有 24 个钉螺孳生地聚集区, 而 Zhang 等<sup>[11]</sup>在江宁县山区环境也探测出 4 个钉螺聚集区, 两者的结果较一致。另外本研究还发现, 分别存在高值和低值(有螺框出现率)的钉螺聚集区, 高值聚集区说明有适于钉螺孳生繁殖的因素存在, 而低值聚集区提示不利于钉螺孳生的因素存在; 这为进一步探索钉螺分布的影响因素提供了依据。空间聚集性分析结果与局部空间自相关分析的结果较吻合, 但是又不完全相同, 究其原因是两种方法的原理不同, LISA 法计算每个空间位置的相关指标并通过假设检验来判断聚集性, 而空间扫描统计量法则是以似然比为基础, 通过建立动态圆形窗口来探测聚集区域。

钉螺空间聚集性分布的生物学基础是其对外环境相关因素(如温度、土壤湿度、植被等)的生理反应以及受食物分布的影响<sup>[1]</sup>, 本研究结果表明, 普格县钉螺分布存在空间自相关, 在空间上呈一定的聚集性, 同时存在空间分布的异质性。在了解钉螺分布的空间规律后, 可在不同空间关联模式的钉螺聚集区做进一步研究, 发现钉螺聚集的主要因素, 从而更好地控制钉螺。

(感谢四川省普格县疾病预防控制中心地方病科对现场调查的大力支持)

## 参 考 文 献

- [1] Jiang QW. Epidemiology. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)  
姜庆五. 流行病学. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] Xu DZ, Zhang ZY. Geographic information system, remote sensing technique and epidemiology. Chin J Epidemiol, 2003, 24(4): 251-252. (in Chinese)  
徐德忠, 张治英. 地理信息系统与遥感技术和流行病学. 中华流行病学杂志, 2003, 24(4): 251-252.
- [3] Haining RP, Kerry R, Oliver MA. Geography, spatial data analysis, and geostatistics: an overview. Geogr Analysis, 2010, 42(1): 7-31.
- [4] Fan CC, Scott AJ. Industrial agglomeration and development: a survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions. Econ Geogr, 2003, 79(3): 295-319.
- [5] Michael R. Geographic information systems and spatial data processing in demography: a review. Popul Res Policy Rev, 2007, 26(5): 601-618.
- [6] Li WF, Wang YL, Peng J. Landscape spatial changes associated with rapid urbanization in Shenzhen, China. Int J Sustainable Dev World Ecol, 2005, 12(3): 314-325.
- [7] Elliott P, Wartenberg D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. Environ Health Perspect, 2004, 112(9): 998-1006.
- [8] Pfeiffer DU, Robinson TP, Stevenson M, et al. Spatial analysis in epidemiology. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- [9] Zhang ZJ, Peng WX, Zhou YB, et al. Spatial autocorrelation analysis of the small-scale distribution of *Oncomelania hupensis* marshland and lake regions. Chin J Schisto Control, 2007, 19(6): 418-423. (in Chinese)  
张志杰, 彭文祥, 周艺彪, 等. 湖沼地区湖北钉螺小尺度分布的空间自相关分析. 中国血吸虫病防治杂志, 2007, 19(6): 418-423.
- [10] Zhang ZJ, Carpenter TE, Chen Y, et al. Identifying high-risk regions for schistosomiasis in Guichi, China: a spatial analysis. Acta Trop, 2008, 107(3): 217-223.
- [11] Zhang ZY, Zhou Y, Xu DZ, et al. Spatial analysis of snail distribution in Jiangning county. J Med Coll PLA, 2002, 17(2): 88-91.
- [12] Clennon JA, King CH, Muchiri EM, et al. Spatial patterns of urinary schistosomiasis infection in a highly endemic area of coastal Kenya. Am J Trop Med Hyg, 2004, 70(4): 443-448.
- [13] Qin JX, Tan ZF. Study on the spatial characteristic of distribution of *Oncomelania snails* in marshlands of Dongting Lake Based by GIS. Chin Trop Med, 2008, 8(12): 2080-2082. (in Chinese)  
秦建新, 谭子芳. 洞庭湖区江滩钉螺分布空间特征分析. 中国热带医学, 2008, 8(12): 2080-2082.
- [14] Haining R. Spatial data analysis: theory and practice. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [15] He ZG, Han SM, Cui DY, et al. Discussion on statistic of spatial autocorrelation analysis. Chin J Schisto Control, 2008, 20(4): 315-318. (in Chinese)  
何宗贵, 韩世民, 崔道永, 等. 空间自相关分析的统计量探讨. 中国血吸虫病防治杂志, 2008, 20(4): 315-318.
- [16] Wang Y, Shen Y. The methodology and application of spatial autocorrelation. Chin J Health Stat, 2008, 25(4): 443-445. (in Chinese)  
王永, 沈毅. 空间自相关方法及其主要应用现状. 中国卫生统计, 2008, 25(4): 443-445.
- [17] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA. Geogr Analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [18] Kulldorff M. A spatial scan statistic. Communications Statistics-Theory Methods, 1997, 26(6): 1481-1496.
- [19] Abrams AM, Kleinman KP. A SaTScan macro accessory for cartography (SMAC) package implemented with SAS software. Int J Health Geogr, 2007, 6(6): 1-8.
- [20] Kulldorff M, Heffernan R, Hartman J, et al. A space-time permutation scan statistic for disease outbreak detection. PLoS Med, 2005, 2(3): 216-224.
- [21] Yang K, Wang XH, Wu XH, et al. Application of spatial epidemiology techniques in the research and prevention of schistosomiasis. Chin J Public Health, 2007, 23(8): 1017-1021. (in Chinese)  
杨坤, 王显红, 吴晓华, 等. 空间流行病学技术在血吸虫病防治研究中的应用. 中国公共卫生, 2007, 23(8): 1017-1021.
- [22] Ord JK, Getis A. Testing for local spatial autocorrelation in the presence of global autocorrelation. J Regional Sci, 2001, 41(3): 411-432.

(收稿日期: 2010-10-26)

(本文编辑: 尹廉)