

探索性空间数据分析在中国北方 6 省(区)布鲁氏菌病地区分布研究中的应用

张俊辉 冯子健 蒋敏 李晓松 马家奇

【导读】 以 2004—2007 年中国北方 6 省(区)(内蒙古、山西、黑龙江、陕西、吉林和辽宁)布鲁氏菌病(布病)疫情数据为例,探讨探索性空间数据分析方法在疾病空间分布中的应用价值。文中以校正年龄和性别的标准化发病比(SMR)作为布病发病危险指标,采用直方图、箱式图和箱式地图,以及全局和局域 Moran's I 统计量等方法,在县级空间尺度下,对该数据进行探索性空间数据分析。结果表明,2004—2007 年全局 Moran's I 值分别为 0.2581、0.4574、0.4457 和 0.4841,且均有统计学意义。局域 Moran's I 空间自相关分析结果显示:2004—2007 年北方 6 省(区)县级布病 SMR 主要表现为空间正相关。高高聚集区主要在东北部,地区类型主要是牧区,但半农半牧区、农区/城镇区县逐渐增加。低低聚集区主要在西部和南部,大部分区县为农区/城镇。低高聚集区很少,主要分布在布病 SMR 高发区县周围,地区类型主要是农区/城镇。2004—2007 年中国北方 6 省(区)县级布病疫情呈扩散趋势,具体表现为自东向西、自南向北的扩散趋势,且正由牧区向半农半牧区、农区/城镇扩散。

【关键词】 布鲁氏菌病;探索性空间数据分析;空间自相关

Using exploratory spatial data analysis (ESDA) on the regional distribution of human brucellosis in six provinces of north China: 2004—2007 ZHANG Jun-hui^{1,2}, FENG Zi-jian³, JIANG Min¹, LI Xiao-song¹, MA Jia-qi³. 1 West China School of Public Health, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2 Department of Public Health, Luzhou Medical College; 3 Chinese Center for Disease Control and Prevention

Corresponding author: LI Xiao-song, Email: lixiaosong1101@126.com

This work was supported by grants from the National Special Foundation for Health Research of China (No. 200802133), Science and Technology Key Project from Ministry of Education of China (No. 109135) and National Major Special Science and Technology Project of China (No. 2009ZX10004-201).

【Introduction】 Based on data related to human brucellosis which was collected from the national notifiable infectious disease reporting system in the 6 provinces (Inner Mongolia, Shanxi, Heilongjiang, Shaanxi, Jilin and Liaoning) of north China from 2004 to 2007, at the county scale. Data would include age and gender standardized mortality ratios (SMRs) while ESDA was including histograms, box plots and box maps, global and local Moran's I statistics, etc. The global Moran's I values from 2004 to 2007 were 0.2581, 0.4574, 0.4457, 0.4841, respectively and all with statistically significant differences. Most of local Moran's I values were significant positive statistically. High-high counties were mainly in the northeast, most of which were pastoral areas, but the farming-pastoral areas and agricultural areas/town had an increasing trend over time. Low-low counties were mainly in the western and southern areas and most of which were agricultural areas/towns. Low-high counties appeared to be rare, mainly around the counties with high incidence, mainly belonged to agricultural areas/towns. The incidence rates of brucellosis in the six provinces of north China had a trend of increase from 2004 to 2007, namely spreading from east to west, from south to north, and from pastoral areas to farming-pastoral areas and agricultural areas/towns. ESDA could be used to develop effective measures for prevention and control of brucellosis.

【Key words】 Brucellosis; Exploratory spatial data analysis; Spatial autocorrelation

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.12.022

基金项目:国家卫生公益性行业科研专项(200802133);教育部科学技术研究重点项目(109135);国家科技重大专项(2009ZX10004-201)

作者单位:610041 成都,四川大学华西公共卫生学院卫生统计学教研室(张俊辉、蒋敏、李晓松);泸州医学院公共卫生系(张俊辉);中国疾病预防控制中心(冯子健、马家奇)

通信作者:李晓松, Email: lixiaosong1101@126.com

在流行病学研究中,疾病的空间分布特点体现了疾病的病因分布特点,因此疾病的空间分布规律一直是流行病学关注的重点^[1]。探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ESDA)^[2]属于探索性数据分析的扩展,是对空间数据分布的描述和可视化的技术,可以识别异常位置或空间离群值(outlier),揭示疾病的空间关联类型,聚集区或热点,展示数据的空间结构(spatial regimes)或其他形式的空间异质性,进而提示疾病的病因或影响因素,已在疾病的空间分布规律研究中得到广泛的应用。布鲁氏菌病(布病)是目前世界上危害最大的人畜共患病之一^[1]。近年来,我国已经得到控制的人间布病疫情开始回升,至2007年已经波及全国25个省(区),其中疫情较严重的内蒙古、山西、河北、辽宁、吉林、黑龙江6省(区)2007年的病例数占全国病例数的90%以上^[3],已成为我国严重的公共卫生问题之一^[4]。充分了解布病在时间空间上的分布模式,对该病的防治有重要意义。因此,本研究以2004—2007年我国北方6省区(内蒙古、山西、黑龙江、陕西、吉林和辽宁)布病疫情数据为例,探讨ESDA在疾病空间分布规律中的应用价值。

基本原理

ESDA的核心概念是空间自相关(spatial autocorrelation)^[2],即空间越临近(location proximity)彼此相似性越大。空间自相关分析用于研究空间中某空间单元与其周围单元间某属性值是否存在相关以及空间相关的程度,以分析这些空间单元在空间上的分布特性^[5]。据其功用可分为两类:全局空间自相关分析和局域空间自相关分析。

全局空间自相关分析的功能在于描述某属性值的整体分布状况,判断此属性值在空间是否有聚集性^[6]。常用的全局空间自相关分析指标是全局Moran's *I*(Moran, 1948年)和全局Geary's *C*(Geary, 1954年)两个统计量,其中又以全局Moran's *I*统计量最为常用。局域空间自相关分析用于反映某个空间单元与其相邻空间单元同一属性值的相关程度。1995年,Anselin^[7]将全局Moran's *I*统计量分解到局域空间上,提出了空间关联局域指示指标(local indicators of spatial association, LISA)的定义,该指标需要满足两个条件:第一,每个属性值的LISA给出有统计学意义的空间聚集;第二,所有属性值的LISA之和与全局空间自相关统计量成比例。并不是所有的统计量都满足这两个条件。常用的LISA

包括局域Moran's *I*统计量、局域Geary's *C*和局域Getis's *G*统计量,其中又以局域Moran's *I*统计量最常用。局域Moran's *I*统计量的可视化通过LISA显著性地图(LISA significance map)和LISA聚集地图(LISA cluster map)来实现。

本研究的全局空间自相关分析指标采用的是全局Moran's *I*统计量,局域空间自相关分析采用局域Moran's *I*统计量,并用LISA显著性地图和LISA聚集地图将有统计学意义的局域Moran's *I*统计量可视化,空间分析软件采用Geoda0.9.5-*i*^[8]。此外,还采用了描述数据空间分布的图形工具,包括直方图、箱式图、箱式地图等。

1. 全局Moran's *I*统计量^[9]:其公式

$$I = \frac{n \bar{y} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

其中 n 为样本例数; y_i 与 y_j 为 i 与 j 点或区域的属性值; \bar{y} 为所有点或区域的均值; w_{ij} 为空间权重矩阵。全局Moran's *I*统计量的取值在-1~1之间, $I > 0$ 时表示空间正相关,其值越大,则说明空间聚集程度越明显; $I < 0$ 时表示空间负相关,其值越小,空间差异越大; $I = 0$ 表示空间不相关,即空间随机分布^[10]。

2. 局域Moran's *I*空间自相关统计量:第 i 个空间单元(也即本研究中的第 i 个区县)的局域Moran's *I*统计量计算公式^[7]:

$$I_i = \frac{y_i - \bar{y}}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})$$

其中,

$$S^2 = \sum_{j=1, j \neq i}^n (y_j - \bar{y})^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n y_j^2}{n-1} - \bar{y}^2$$

局域Moran's *I*的取值范围不局限于-1~+1之间^[10],而是与全局Moran's *I*的值成比例。 $I > 0$ 时表示空间正相关,即某空间单元的属性值与相邻空间单元的属性值具有正相关性(“高高”或“低低”); $I < 0$ 时表示空间负相关,即某空间单元的属性值与相邻空间单元的属性值有负相关性(“高低”或“低高”); $I = 0$ 表示空间不相关,即空间随机分布。

全局和局域Moran's *I*统计量均需做假设检验,包括正态分布假设和随机分布假设,如果不能保证总体的正态分布特性,使用随机分布假设比较合适,该分布假设常用于疾病发生率的假设^[11]。

3. LISA显著性地图和LISA聚集地图:LISA显

著性地图和 LISA 聚集地图是 Moran 散点图与 LISA 显著性水平相结合的产物。在 Geoda0.9.5-*i* 软件中,提供了 LISA(即局域 Moran's *I*)显著性地图和 LISA 聚集地图^[12]。LISA 显著性地图用不同的绿色阴影(在图例中给出了相应的 *P* 值)显示了有统计学意义的局部 Moran's *I* 统计的位置。LISA 聚集地图用不同的颜色表示不同的空间自相关类型,如本研究中深红色表示“高高”(high-high),即本区域属性值高,相邻区域属性值也高;深绿色表示“低低”(low-low),即本区域属性值低,相邻区域属性值也低;品红色表示“高低”(high-low),即本区域属性值高,但相邻区域属性值低;浅绿色表示“低高”(low-high),即本区域属性值低,但相邻区域属性值高。“高高”和“低低”对应空间正相关,表示有相似的空间聚集,此时局域 Moran's *I* 值为正,“高高”即通常所说的热点区,“低低”即盲点区;“高低”和“低高”对应空间负相关,表示不相似的空间聚集,即空间离群,此时局域 Moran's *I* 值为负,提示区域有异质性。这四种类型对应于 Moran 散点图中的 4 个象限(其原理见文献[8, 13, 14])。与 Moran 散点图相比, LISA 聚集地图仅显示那些局域 Moran's *I* 有统计学意义的空间单元,并标示出这些地区的局域空间相关类型。

4. 空间权重矩阵:空间权重矩阵表用于定义空间对象的相互邻接关系,全局和局域 Moran's *I* 统计量的计算均涉及空间权重矩阵。空间权重矩阵的建立有多种规则,常用的包括邻接规则和距离规则^[15-17]。本研究采用 Geoda0.9.5-*i* 空间统计分析软件,直接生成一阶 Queen 邻接矩阵(除共有边界的邻接外还包括有共同顶点的邻接)。

实例分析

1. 研究区域:包括内蒙古、山西、黑龙江、陕西、吉林和辽宁共 6 个相邻的布病高发省(区)。由于辽宁省的金州和长海两县与其他区县均不相邻,因此在本研究中剔除。6 省(区)共 680 个区县。

2. 资料来源:从“全国传染病疫情信息网络直报系统”数据库中截取 2004—2007 年上述 6 省(区)的布病数据,删除出生日期、现住址和现住址编码均不详的病例,港澳台地区和外籍病例及疑似病例均不予分析,以终审发病日期为标准日期,计算各市相应的发病数和发病率。分性别和年龄的人口数据来源于国家统计局。地理信息数据来自于中国电子地图和行政区划网。

3. 标准化发病比:本研究采用外部间接标准化法对区县尺度下的布病发病率进行标准化,即以 2004—2007 年全国分性别、年龄的布病年平均发病率为标准发病率,每年各地区平均人口数为基数,计算各地区的布病期望发生数,实际发病数与期望发病数的比值即为标准化发病比(SMR)。SMR 是疾病发病相对危险度(RR)的极大似然估计值^[18],因此可用于对布病发病危险进行统计推断,其公式:

$$SMR = \sum d_i / \sum n_i P_i$$

式中, d_i 为某年某区县第 i 个性别、年龄组的实际发病数, n_i 为某年某区县第 i 个性别年龄组的平均人口数, P_i 为标准组第 i 个性别、年龄组的发病率。SMR > 1 时,表示某年该区县的布病发病危险高于全国平均水平;SMR = 1 时,表示某年该区县的布病发病危险等于全国平均水平;SMR < 1 时,表示某年该区县的布病发病危险低于全国平均水平。

4. ESDA:

(1) 布病的 SMR 分布:2004—2007 年 6 省(区)的区县尺度下每年布病 SMR 呈明显的偏态分布,各区县布病发病危险逐年增加且变异程度增大,有明显的空间关联(图 1)。

(2) 全局 Moran's *I* 空间自相关分析:对 2004—2007 年每年的全局 Moran's *I* 统计量进行随机分布假设检验,结果显示区县布病 SMR 全局 Moran's *I* 空间自相关系数为正值,均有统计学意义,表明 2004—2007 年区县布病 SMR 均存在空间正相关(不是随机分布),即相邻区县有相似的布病发病危险(“高高”或“低低”聚集)。尽管 2006 年的 Moran's *I* 值稍微低于 2005 年,但总体而言,2004—2007 年全局 Moran's *I* 值呈逐年升高趋势(表 1)。

表 1 2004—2007 年我国北方 6 省(区)680 个区县布病 SMR 全局空间自相关分析

年份	Moran's <i>I</i>	E(<i>I</i>)	Var(<i>I</i>)	Z-score	<i>P</i> 值
2004	0.2581	-0.0015	0.0148	17.5405	0.0002
2005	0.4574	-0.0015	0.0222	20.6712	0.0001
2006	0.4457	-0.0015	0.0209	21.3971	0.0010
2007	0.4841	-0.0015	0.0213	22.7981	0.0001

(3) 局域 Moran's *I* 空间自相关分析:2004—2007 年 6 省(区)的区县 SMR 局域空间自相关主要表现为空间正相关(“高高”或“低低”聚集),且只有“高高”、“低低”和“低高”3 种局域相关类型,无“高低”聚集区域,局域 Moran's *I* 值呈极度偏态分布,最小值为 -0.6537,最大值为 84.4921。布病发病危险“高高”聚集区主要在东北部(主要是内蒙古中、东部以

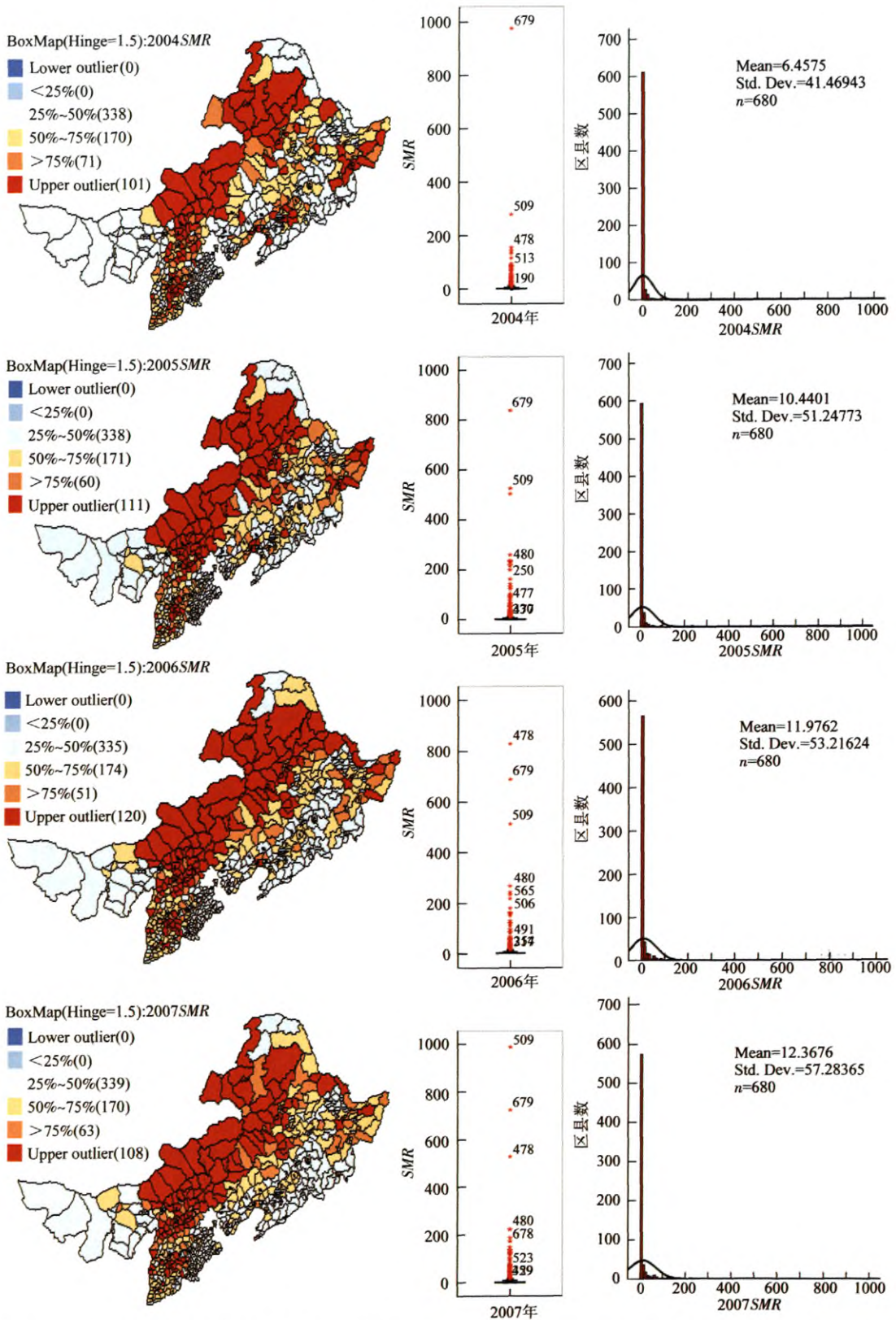


图1 2004—2007年我国北方6省(区)区县尺度下每年布病SMR的箱式地图(左)、箱式图(中)和直方图(右)

及与布病高发区县相邻的区县),但发病危险有从北部地区向西南蔓延趋势,东部地区的发病危险有所下降;区县类型主要是牧区(全国共计120个牧区县

和143个半农半牧区县,其中北方6省有41个牧区县和48个半农半牧区县,约占1/3),但半农半牧区、农区/城镇区县逐渐增加(图2)。“低低”聚集区主要

表 2 2004—2007 年我国北方 6 省(区)680 个区县布病 SMR 局域 Moran's I 空间自相关分析

省(区)	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
内蒙古	克什克腾旗 ¹ 、林西县 ² 、海拉尔区 ³ 、阿荣旗 ² 、莫力达瓦达斡尔族自治旗 ² 、鄂温克族自治旗 ¹ 、陈巴尔虎旗 ¹ 、新巴尔虎左旗 ¹ 、牙克石市 ³ 、扎兰屯市 ² 、阿尔山市 ³ 、扎赉特旗 ² 、锡林浩特市 ¹ 、阿巴嘎旗 ¹ 、苏尼特左旗 ¹ 、苏尼特右旗 ¹ 、东乌珠穆沁旗 ¹ 、西乌珠穆沁旗 ¹ 、太仆寺旗 ² 、镶黄旗 ¹ 、正镶白旗 ¹ 、正蓝旗 ¹ 、多伦县 ³ 、卓资县 ³ 、化德县 ³ 、商都县 ³ 、兴和县 ³ 、察哈尔右翼前旗 ³ 、察哈尔右翼中旗 ² 、察哈尔右翼后旗 ² 、四子王旗 ¹	克什克腾旗 ¹ 、林西县 ² 、海拉尔区 ³ 、阿荣旗 ² 、莫力达瓦达斡尔族自治旗 ² 、鄂伦春自治旗 ² 、鄂温克族自治旗 ¹ 、陈巴尔虎旗 ¹ 、牙克石市 ³ 、锡林浩特市 ¹ 、阿巴嘎旗 ¹ 、苏尼特左旗 ¹ 、苏尼特右旗 ¹ 、东乌珠穆沁旗 ¹ 、西乌珠穆沁旗 ¹ 、太仆寺旗 ² 、镶黄旗 ¹ 、正镶白旗 ¹ 、正蓝旗 ¹ 、多伦县 ³ 、卓资县 ³ 、化德县 ³ 、商都县 ³ 、兴和县 ³ 、察哈尔右翼前旗 ³ 、察哈尔右翼中旗 ² 、察哈尔右翼后旗 ² 、四子王旗 ¹	达尔罕茂明安联合旗 ¹ 、林西县 ² 、克什克腾旗 ¹ 、扎鲁特旗 ¹ 、霍林郭勒市 ³ 、阿荣旗 ² 、鄂温克族自治旗 ¹ 、新巴尔虎左旗 ¹ 、新巴尔虎右旗 ¹ 、阿尔山市 ³ 、锡林浩特市 ¹ 、阿巴嘎旗 ¹ 、苏尼特左旗 ¹ 、苏尼特右旗 ¹ 、东乌珠穆沁旗 ¹ 、西乌珠穆沁旗 ¹ 、太仆寺旗 ² 、镶黄旗 ¹ 、正镶白旗 ¹ 、正蓝旗 ¹ 、多伦县 ³ 、卓资县 ³ 、化德县 ³ 、商都县 ³ 、察哈尔右翼中旗 ² 、察哈尔右翼后旗 ² 、碾子山区 ³	达尔罕茂明安联合旗 ¹ 、林西县 ² 、克什克腾旗 ¹ 、扎鲁特旗 ¹ 、霍林郭勒市 ³ 、阿荣旗 ² 、鄂温克族自治旗 ¹ 、陈巴尔虎旗 ¹ 、新巴尔虎左旗 ¹ 、新巴尔虎右旗 ¹ 、科尔沁右翼中旗 ¹ 、锡林浩特市 ¹ 、阿巴嘎旗 ¹ 、苏尼特左旗 ¹ 、苏尼特右旗 ¹ 、东乌珠穆沁旗 ¹ 、西乌珠穆沁旗 ¹ 、太仆寺旗 ² 、镶黄旗 ¹ 、正镶白旗 ¹ 、正蓝旗 ¹ 、多伦县 ³ 、卓资县 ³ 、化德县 ³ 、商都县 ³ 、察哈尔右翼中旗 ² 、察哈尔右翼后旗 ² 、四子王旗 ¹
山西	-	-	阳高县 ³ 、浑源县 ³	阳高县 ³ 、浑源县 ³ 、朔城区 ³ 、平鲁区 ³ 、五寨县 ³ 、偏关县 ³
河北	-	张北县 ² 、康保县 ² 、沽源县 ² 、尚义县 ² 、阳原县 ³ 、围场满族蒙古族自治县 ²	张北县 ² 、康保县 ² 、沽源县 ² 、蔚县 ³ 、阳原县 ³ 、怀安县 ³ 、崇礼县 ³ 、丰宁满族自治县 ² 、围场满族蒙古族自治县 ²	张北县 ² 、康保县 ² 、沽源县 ² 、阳原县 ³ 、崇礼县 ³ 、丰宁满族自治县 ² 、围场满族蒙古族自治县 ²
黑龙江	甘南县 ¹	甘南县 ¹ 、抚远县 ³	-	-

注:仅列出“高高”聚集区;¹牧区,²半农半牧区,³农区/城镇;-无数据

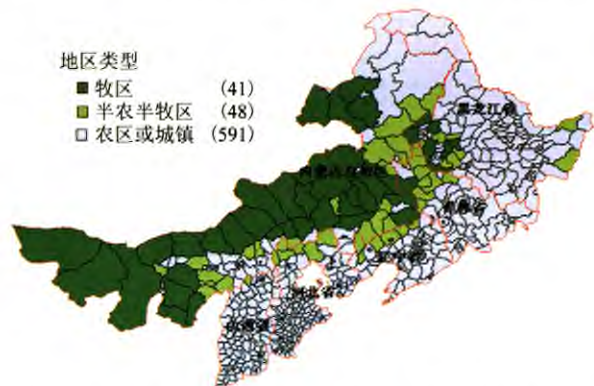


图 2 2004—2007 年我国北方 6 省(区)680 个区县地区类型分布

在西部和南部,且大部分区县为农区/城镇。“低高”聚集区很少,主要分布在布病 SMR 高发区县周围,其类型主要是农区/城镇。结果提示,2004—2007 年我国北方 6 省(区)布病疫情呈扩散趋势,具体表现为自东向西、自南向北的扩散趋势,且正由牧区向半农半牧区、农区/城镇扩散。局域 Moran's I 统计量见表 2 (本文仅给出有统计学意义的“高高”聚集区县名称及其地区类型),区县 LISA 显著性地图和 LISA 聚集地图见图 3、4。

讨 论

ESDA 通过直方图、箱式图和箱式地图可初步探索数据的分布类型(是否正态分布)以及是否有极高或极低值,是否存在空间聚集性。空间自相关分

析则定量地揭示了空间数据的空间关联类型和高危聚集地区,以及随时间变化的空间格局的演变过程,可为特定地理区域寻求疾病影响因素提供线索。本研究直方图、箱式图和箱式地图结果显示各区县布病可能存在空间聚集现象,因此进一步采用全局和局域 Moran's I 统计量进行定量化分析,判定是否存在空间自相关。LISA 显著性地图和 LISA 聚集地图是将局域空间自相关分析可视化的有效手段,在研究中较清晰地揭示了区县尺度布病 SMR “高高”和“低低”聚集区域。

局域空间自相关分为“高高”、“低低”、“高低”、“低高”4 种类型。针对某种疾病,“高高”聚集区域可作为高危地区,进一步探索疾病发病病因或影响因素,同时应加强监测工作,加大防控力度;“低低”聚集区域可能存在某些防控疾病的有利因素;“高低”或“低高”聚集区域提示可能有低或高的离群值^[13]。本研究中区县尺度布病 SMR 均主要表现为“高高”或“低低”聚集(空间正相关),“低高”或“高低”很少(空间负相关)。其可能为:布病是自然疫源性疾,相邻地区有相似的自然和社会环境,导致发病地区分布呈较高聚集性。“高高”聚集区主要在牧区,但半农半牧区、农区/城镇区县逐渐增加,“低低”聚集区主要在农区/城镇,提示牧区可能有导致布病发病升高的自然或社会因素,农区/城镇可能存在有利于疾病防控的因素,且半农半牧区、农区/城镇不利于布病防控的危险因素增加,因此还需进一步探索影响

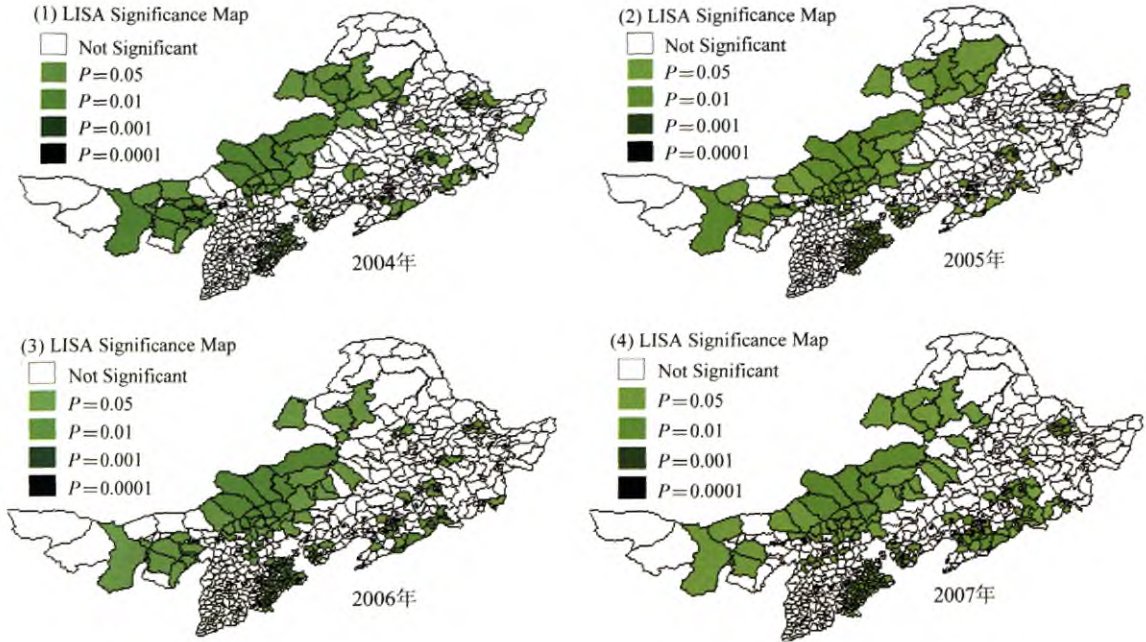


图3 2004—2007年我国北方6省(区)区县布病SMR的LISA显著性地图

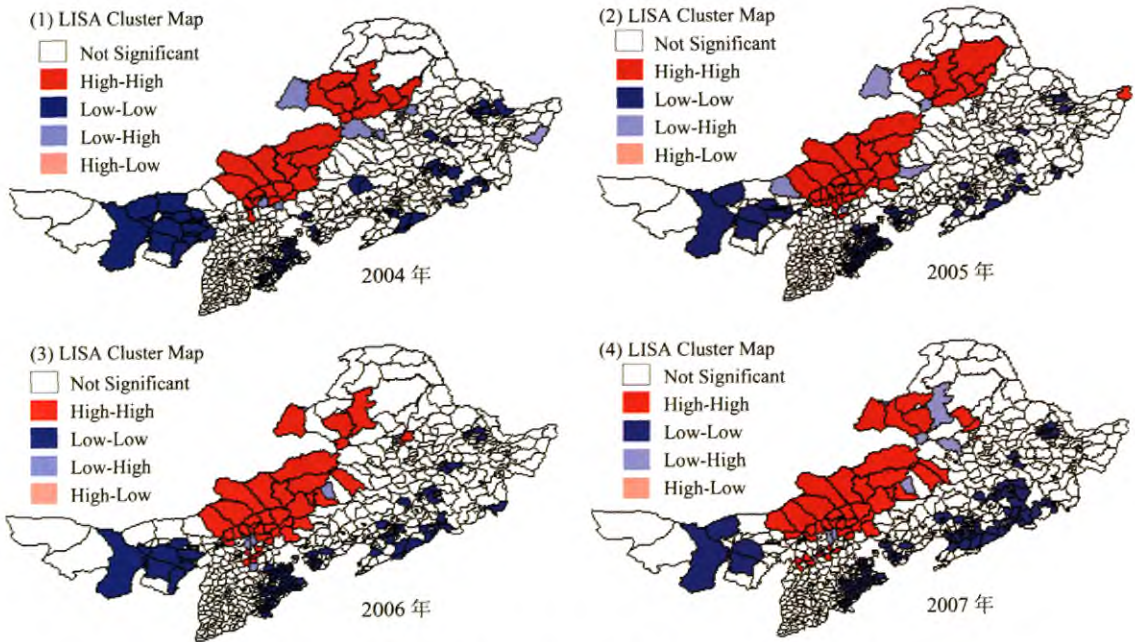


图4 2004—2007年我国北方6省(区)区县布病SMR的LISA聚集地图

布病发病危险的自然或社会因素,如牛羊存栏数、人畜布病免疫率及放牧方式等。

如何选择空间权重矩阵一直是ESDA的重点和难点问题。仅以区域间的地理毗邻关系定义空间权重可能并不准确,如以河流、山脉、沙漠等自然阻隔来定义地理毗邻关系,建立空间权重矩阵可能更符合实际^[14]。但由于这类自然阻隔的资料不易收集,因此本研究通过地图行政区域边界判断是否毗邻,采用Geoda软件自动产生基于邻接的一阶Queen空

间权重矩阵,该矩阵可能显粗糙,但其他基于邻接关系或基于距离的空间权重能否有效揭示布病发病危险的空间分布,尚待进一步研究。

SMR可以消除不同人口特征(性别、年龄等)对地区发病率的影响,反映出某区域“危险”人群相对于基线区域人群的超额发病危险,较适用于不同区域发病危险的比较,因此将SMR作为发病危险指标用于描述疾病的空间分布具有一定优势^[14]。

总之,ESDA可较好地揭示我国北方6省(区)布

病的地区分布,对其高风险地区,应加强监测,加大防控力度。同时,空间分布聚集性也提示,布病发病可能与相应的自然和社会环境有关,需进一步分析这些因素对发病地区分布的影响。

参 考 文 献

- [1] Tang XY, Huang TR, Zhu XD, et al. Using spatial autocorrelation analysis to study spatial heterogeneity of liver canoer in Guangxi. *Chin J Epidemiol*, 2009, 30(2): 167-170. (in Chinese)
唐咸艳, 黄天千, 朱小东, 等. 应用空间自相关分析研究广西壮族自治区肝癌的空间异质性分布特征. *中华流行病学杂志*, 2009, 30(2): 167-170.
- [2] Anselin L, Bacr S. Exploratory spatial data analysis linking Space stat and arc view. *Recent developments in spatial analysis: spatial statistics, behavioral modeling and computational intelligence*. Springer-Verlag, 1997: 37-38.
- [3] Wang DL, Li TF, Jiang SL, et al. Analysis of the surveillance results of the national monitoring station of the brucellosis in 2007. *Chin J Ctrl Endem Dis*, 2008, 23(6): 443-445. (in Chinese)
王大力, 李铁锋, 江森林, 等. 2007年全国布氏菌病监测结果分析. *中国地方病防治杂志*, 2008, 23(6): 443-445.
- [4] Cui BY. Epidemic surveillance and control of brucellosis in China. *Dis Surveil*, 2007, 22(10): 649-651. (in Chinese)
崔步云. 中国布鲁氏菌病疫情监测与控制. *疾病监测*, 2007, 22(10): 649-651.
- [5] Zhang ZJ, Peng WX, Zhou YB, et al. Spatial autocorrelation analysis of the small-scale distribution of *Oncomelania hupensis* in 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.
- [6] Jiang GF. Discussion on the spatial differential features of peasant income in Henan province on the basis of GIS. *J Anhui Agr Sci*, 2008, 36(18): 7816-7817. (in Chinese)
蒋国富. 基于GIS的河南省农民收入空间分异特征探讨. *安徽农业科学*, 2008, 36(18): 7816-7817.
- [7] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA. *Geograph Anal*, 1995, 27(2): 93-115.
- [8] Anselin L. Exploring spatial data with GeoDa™: a workbook. *Urbana*, 2004: 1-223.
- [9] Jiang M. Spatial autocorrelation analysis of HIV/AIDS epidemic in Southwest China. Chengdu: Sichuan University, 2008: 23-24. (in Chinese)
蒋敏. 我国西南地区HIV/AIDS的空间自相关分析. 成都: 四川大学, 2008: 23-24.
- [10] Guo PB, Zhao H. Spatial-temporal evolution analysis of Per Capita Net income of rural residents in Shandong province on the basis of GeoDa-GIS. *Stat Deci*, 2009(4): 88-91. (in Chinese)
郭平波, 赵华. 基于GeoDa-GIS的山东省农民人均收入水平时空分异研究. *统计与决策*, 2009(4): 88-91.
- [11] Wang JF. Spatial analysis. Beijing: Science Press, 2006: 77-84. (in Chinese)
王劲峰. 空间分析. 北京: 科学出版社, 2006: 77-84.
- [12] He J, Zhang XZ. Exploratory spatial data analysis of regional per capita GDP growth rate in China. *Stat Deci*, 2006(22): 72-74. (in Chinese)
何江, 张馨之. 中国区域人均GDP增长速度的探索性空间数据分析. *统计与决策*, 2006(22): 72-74.
- [13] Cao MQ. A study on the multiple membership multiple classification models and disease mapping for analyzing spatial dependence and heterogeneity of regional distribution of Japanese encephalitis in southwestern China. Chengdu: Sichuan University, 2010: 44. (in Chinese)
曹明芹. 我国西南地区乙脑分布空间相关性和异质性的多水平多成员多分类统计建模及制图研究. 成都: 四川大学, 2010: 44.
- [14] Ji YL, Zhou MX, Xie YS. Spatial analysis of foreign brides in Taiwan. *J Populat Stud*, 2009(38): 67-113. (in Chinese)
纪玉临, 周孟娴, 谢雨生. 台湾外籍新娘之空间分析. *人口学刊*, 2009(38): 67-113.
- [15] Liu CF, Ke DG, Zhang RR. A spatial statistical analysis on population distribution of Shaanxi province with Geoda095i. *Northwest Populat*, 2008, 29(6): 7-11. (in Chinese)
刘聪粉, 柯大钢, 张瑞荣. 基于Geoda095i的陕西省人口分布空间统计分析. *西北人口*, 2008, 29(6): 7-11.
- [16] Xu B. Simulation analysis of the influence spatial weight matrix on Moran's I. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007: 11-19. (in Chinese)
徐彬. 空间权重矩阵对Moran's I指数影响的模拟分析. 南京: 南京师范大学硕士学位论文, 2007: 11-19.
- [17] Zhang HJ. Spatial autocorrelation analysis of farmers' per capita income at the city level in Henan province. *J Nanyang Normal University*, 2009(9): 57-61. (in Chinese)
张海军. 河南省市域农民人均收入空间自相关分析. *南阳师范学院学报*, 2009(9): 57-61.
- [18] Pascutto C, Wakefield JC, Best NG, et al. Statistical issues in the analysis of disease mapping data. *Stat Med*, 2000(19): 2493-2519.

(收稿日期: 2011-05-17)

(本文编辑: 张林东)

探索性空间数据分析在中国北方6省(区)布鲁氏菌病地区分布研究中的应用

作者: [张俊辉](#), [冯子健](#), [蒋敏](#), [李晓松](#), [马家奇](#), [ZHANG Jun-hui](#), [FENG Zi-jian](#), [JIANG Min](#), [LI Xiao-song](#), [MA Jia-qi](#)

作者单位: [张俊辉, ZHANG Jun-hui \(610041成都, 四川大学华西公共卫生学院卫生统计学教研室; 泸州医学院公共卫生系\)](#), [冯子健, 马家奇, FENG Zi-jian, MA Jia-qi \(中国疾病预防控制中心\)](#), [蒋敏, 李晓松, JIANG Min, LI Xiao-song \(四川大学华西公共卫生学院卫生统计学教研室, 成都, 610041\)](#)

刊名: [中华流行病学杂志](#) ISTIC PKU

英文刊名: [Chinese Journal of Epidemiology](#)

年, 卷(期): 2011, 32(12)

被引用次数: 2次

参考文献(18条)

1. [唐咸艳; 黄天壬; 朱小东](#) 应用空间自相关分析研究广西壮族自治区肝癌的空间异质性分布特征[期刊论文]-[中华流行病学杂志](#) 2009(02)
2. [Anselin L; Baer S](#) Exploratory spatial data analysis linking Space stat and arc view. Recent developments in spatial analysis: spatial statistics, behavioral modeling and computational intelligence 1997
3. [王大力; 李铁锋; 江森林](#) 2007年全国布氏菌病监测结果分析[期刊论文]-[中国地方病防治杂志](#) 2008(06)
4. [崔步云](#) 中国布鲁氏菌病疫情监测与控制[期刊论文]-[疾病监测](#) 2007(10)
5. [张志杰; 彭文祥; 周艺彪](#) 湖沼地区湖北钉螺小尺度分布的空间自相关分析[期刊论文]-[中国血吸虫病防治杂志](#) 2007(06)
6. [蒋国富](#) 基于GIS的河南省农民收入空间分异特征探讨[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2008(18)
7. [Anselin L](#) Local indicators of spatial association-LISA 1995(02)
8. [Anselin L](#) Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook 2004
9. [蒋敏](#) 我国西南地区HIV/AIDS的空间自相关分析 2008
10. [郭平波; 赵华](#) 基于GeoDa-GIS的山东省农民人均收入平时空分异研究[期刊论文]-[统计与决策](#) 2009(04)
11. [王劲峰](#) 空间分析 2006
12. [何江; 张馨之](#) 中国区域人均GDP增长速度的探索性空间数据分析[期刊论文]-[统计与决策](#) 2006(22)
13. [曹明芹](#) 我国西南地区乙脑分布空间相关性和异质性的多水平多成员多分类统计建模及制图研究 2010
14. [纪玉临; 周孟娴; 谢雨生](#) 台湾外籍新娘之空间分析 2009(38)
15. [刘聪粉; 柯大钢; 张瑞荣](#) 基于GeoDa095i的陕西省人口分布空间统计分析[期刊论文]-[西北人口](#) 2008(06)
16. [徐彬](#) 空间权重矩阵对Moran's I指数影响的模拟分析[学位论文] 2007
17. [张海军](#) 河南省市域农民人均收入空间自相关分析[期刊论文]-[南阳师范学院学报](#) 2009(09)
18. [Pascutto C; Wakefield JC; Best NG](#) Statistical issues in the analysis of disease mapping data 2000(19)

引证文献(2条)

1. [肖革新; 胡跃华; 马家奇; 郝元涛; 王晓风; 张英杰; 于石成](#) 中国2008-2011年手足口病空间聚集性及变化趋势研究[期刊论文]-[中华流行病学杂志](#) 2012(8)
2. [丁磊; 李忠; 王显军; 丁淑军; 张萌; 赵仲堂](#) 2006-2010年山东省恙虫病流行特征分析[期刊论文]-[中华预防医学杂志](#) 2012(4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zhllxbx201112022.aspx