

# 基于GIS的南宁市城市内部人口时空分布特征研究\*

李其海<sup>1,2,3</sup>, 刘蒙蒙<sup>1,2,3</sup>, 胡宝清<sup>1,2,3\*\*</sup>

(1. 南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 2. 南宁师范大学, 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001; 3. 南宁师范大学地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

**摘要:** 为了解21世纪近10年南宁市城市人口空间结构的变化和发展, 借助Geographic Information System (GIS)技术和SPSS统计分析软件, 对2000年和2010年南宁市城市内部人口分布进行分析。结果表明, 南宁市城市内部人口空间结构总体表现为集聚。2000年和2010年南宁市人口密度均以西乡塘街道办事处范围内最高, 兴宁区内各街道人口密度增长较快; 2000—2010年人口重心向西北移动约1.2 km; 2000年人口密度函数和2010年人口密度函数分别以反函数模型和二次函数模型拟合最优。随着距市中心的距离增加, 人口密度递减; 在市中心附近具有较大的向心效应, 带来周边邻近区域人口的增长。

**关键词:** GIS 人口分布 城市内部结构 南宁市

中图分类号: C922 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2019)04-0337-08

## 0 引言

城市内部空间结构是在一定的经济、社会背景和基本发展动力下, 综合了人口变化、经济职能分布变化以及社会空间类型等要素而形成的复合性城市地域形式<sup>[1]</sup>。国外学者对城市内部结构的研究强调组织规则和子系统的相互作用<sup>[2]</sup>, 运行方式与土地利用的关系, 融合了新技术以及与当今人文地理学相关的新视觉和主题特征<sup>[3]</sup>, 以及和政治、公共政策的关系。1978年后的经济改革给中国城市带来了市场机制, 城市内部结构发生了快速变化<sup>[4]</sup>。随着第五次人口普查数据面世和对郊区化研究的重视, 国内学者在城市人口与空间的关系<sup>[5-9]</sup>、城市社会区与社会空间分

异<sup>[10-15]</sup>、城市产业的空间力量<sup>[16-18]</sup>等与城市内部空间重构相关方面也取得了新的研究进展。人口是城市化过程中城市内部空间结构最活跃的因素之一, 是衡量城市内部空间结构的重要指标。美国已经运用地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 来分析人口数据, 现今国内不少学者如闫庆武等<sup>[19]</sup>、朱瑜馨等<sup>[20]</sup>、匡文慧等<sup>[21]</sup>、宋洁华等<sup>[22]</sup>也已经将地理信息系统的空间分析方法成功应用到人口分析中。

近年来, 随着统计和信息等新技术运用, 许多社会和行为科学的研究开始借助于地理信息系统的空间统计分析方法, 来研究社会现象的空间模式和非常态分布, 研究社会科学和网络空间结构问题<sup>[23-26]</sup>。刘

\* 国家重点研发计划项目(2016YFC0502401), 国家自然科学基金项目(41661021)和广西自然科学基金项目(2016JJF15001)资助。

### 【作者简介】

李其海(1992—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事城市发展与人口空间结构研究。

### 【\*\*通信作者】

胡宝清(1966—), 男, 教授, 博士, 主要从事流域脆弱环境演变与整治研究, E-mail: h bq1230@gxtc.edu.cn。

### 【引用本文】

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20191225.001

李其海, 刘蒙蒙, 胡宝清. 基于GIS的南宁市城市内部人口时空分布特征研究[J]. 广西科学院学报, 2019, 35(4): 337-344.

LI Q H, LIU M M, HU B Q. Study on temporal and spatial distribution characteristics of urban internal population in Nanning based on GIS [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2019, 35(4): 337-344.

颖等<sup>[27]</sup>用空间计量模型,阐释综合城镇化及各城镇化分量值对省际人口迁移影响的空间效应。钟易霖等<sup>[28]</sup>运用人口结构指数和相关统计分析方法,从空间属性和社会属性两个层面对成都市人口空间分布特征进行分析。黄殿波等<sup>[29]</sup>运用空间分析方法研究2000—2010年北京市乡镇单元人口空间格局演化规律。徐怡珊等<sup>[30]</sup>运用圈层分析方法和统计相关分析方法对老年人口密度和老龄化率进行地理信息系统空间化处理,从城区、街道两个尺度揭示老年人口空间分布特征。李小强<sup>[31]</sup>采用空间统计分析的方法,分析安徽省人口分布与演化特征。南宁市作为广西壮族自治区首府,面向东南亚多个国家交流合作,近年来集结越来越多人口,城市内部经济和人口发展迅速,逐渐上升为西部地区的二线城市。21世纪以来,南宁市的人口数量有一定的变化,人口分布和结构也发生变化。在此背景下,本研究以南宁市2000年的第五次人口普查数据和2010年的第六次人口普查数据为主要数据,侧重从人口密度和人口重心两大指标方面,运用GIS的空间统计分析技术和统计分析软件,从时间维度和空间维度相结合的角度对南宁市内部人口分布进行分析,同时拟合人口密度模型,试图找出符合南宁市人口分布特征的最优人口密度模型,从而探讨21世纪以来南宁市的城市人口空间结构的变化特点和发展规律,以期能为相关部门预测城市发展变化趋势、合理规划城市人口布局提供理论依据及参考。本研究同以往用大量文字描述人口分布变化规律的相关研究相比,最大的不同在于,运用了GIS的统计分析软件建立数学模型,进行人口变化的模拟,以图像、图形形式分析人口空间分布和结构变化特征,给人更为直观和精确的表达。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

南宁市位于广西南部,东经 $107^{\circ}45' \sim 108^{\circ}51'$ ,北纬 $22^{\circ}45' \sim 108^{\circ}5'$ 。处于北回归线以南,受海洋气候调节,属于亚热带季风区,阳光充足,雨量充沛,霜少无雪,年平均气温 $21.4^{\circ}\text{C}$ ,气候宜人。全市市区面积 $6\,647\text{ km}^2$ ,2016年末,全市户籍总户数224.96万户,总人口751.74万人。南宁市面向东南亚、背靠大西南,东邻粤港澳琼、西接印度半岛,是华南沿海和西南腹地两大经济区的结合部以及东南亚经济圈的连接点,是新崛起的大西南出海通道枢纽城市,是环北部湾沿岸重要经济中心。本研究以广西南宁市为例,

研究区域不包括其管辖区6个县。

### 1.2 数据来源及预处理

主要数据包括南宁市2000年的第五次人口普查数据和2010年的第六次人口普查数据,来自广西壮族自治区统计局官网;其他数据来自1984—2010年广西统计年鉴、2008—2010年南宁市统计年鉴以及计划生育管理部门。

本研究以南宁市2010年行政区划为基础,将南宁市2010年第六次人口普查行政区划的73个街道和镇一级单位,与2000年行政区划的68个街道和镇一级单位对应并做适当调整,假设街道和镇一级单位内人口均一分布,将行政区合并或拆分,行政单元内人口数也做相应调整。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 人口密度计算

人口密度是研究区域人口空间分布的重要指标之一,也是某一区域内人口密集程度的反映,指的是单位面积土地上所居住的人口数,通常用每平方千米常住的平均人口数量来表示<sup>[32]</sup>:

$$D = P/S, \quad (1)$$

式中, $D$ 为人口密度; $P$ 为人口数量(万人); $S$ 为土地面积( $\text{km}^2$ )。

#### 1.3.2 人口重心测度

1874年美国著名学者沃尔克(F. Walker)最先使用人口重心这个概念<sup>[33-34]</sup>,既可以让某地区人口分布以概括、简明和精确的印象展现,又可表示地区人口分布变化的总体趋势或中心区位。人口重心的计算完全仿照重力的分解与合成法则进行。在实际计算中,常运用以下公式计算:

$$\bar{x} = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i}, \bar{y} = \frac{\sum y_i P_i}{\sum P_i}, \quad (2)$$

式中, $x_i$ 和 $y_i$ 为第 $i$ 个街道几何中心的坐标值, $w_i$ 为加在第 $i$ 个街道的权值。这里采用就是第 $i$ 个街道的人口数。

在本研究中,运用ArcGIS软件,用分街道的人口数据分别计算2000年人口重心和2010年人口重心。

#### 1.3.3 人口时空分布模型

克拉克(Clark)于1951年对若干大城市的人口密度分布做出了模拟,提出了著名的人口密度距离衰减模型<sup>[33-35]</sup>:

$$d_x = d_0 e^{-bx}, \quad (3)$$

式中  $d_x$  为距离市中心  $x$  处的人口密度;  $d_0$  为市中心区域的人口密度;  $b$  为常数,  $x$  为距离市中心的距离。  $d$  越大, 说明城市特别是市中心人口密度越高, 人口分布越拥挤; 如果  $d$  趋向减小, 说明城市特别是市中心人口密度逐渐降低, 人口分布趋向合理。  $b$  值越大说明人口越趋向于分布在城市中心。随着城市的发展, 人口郊区化现象日益明显, 人口分布也发生新的变化, 人口密度最高点向外移动, 市中心人口密度缺口出现。纽林(Mewling)于1969年提出了二次指数模型<sup>[29-31]</sup>, 其数学表达式为

$$d_x = d_0 e^{bx - cx^2}, \quad (4)$$

式中,  $b$ 、 $c$  为常数, 其他符号含义同 Clark 模型参数含义。当  $b$  为负值,  $c$  为 0 时, 二次指数模型就转化成负指数模型, 因此可以说负指数模型是二次指数模型的一个特例。

#### 1.3.4 数据转换

人口密度函数的建立是基于圈层距离法来获得距离和人口密度数据的, 具体的步骤如下: (1) 确定市中心的位置; (2) 建立不同半径的缓冲区。使用 ArcGIS 软件中的命令“Multiple ring buffer”输入不同的

半径值; (3) 用不同半径的缓冲区来切割南宁市的街道行政区划图; (4) 对切割出来的不同范围图的属性表进行计算, 确定切割出来的新斑块的面积; (5) 将每个环带重新切割之后的各个斑块的面积乘以原来所在街道的人口密度, 得到各个环带的人口数量, 然后计算各环带的面积, 最终计算出南宁市人口密度。

## 2 结果与分析

### 2.1 城市人口密度

根据人口密度计算结果, 2000年南宁市街区人口密度密集区分布分散, 2010年南宁市街区人口密度密集区分布集中且靠近市中心。2000年南宁市人口密度以西乡塘街道为最高, 其次是北湖街道和新竹、建政和中山街道等地区人口密度较大, 位于南宁市城区内的津头街道、南湖街道人口密度较小。2010年人口密度仍然以西乡塘街道人口密度为最高, 其次是良庆区的大沙田街道, 兴宁区的各个街道人口密度增长均较快, 民生街道和江南街道等街道人口密度较大, 但是石埠街道、沙井街道和仙葫经济开发区等远离城市中心的街道人口密度仍然较小(图1~2)。

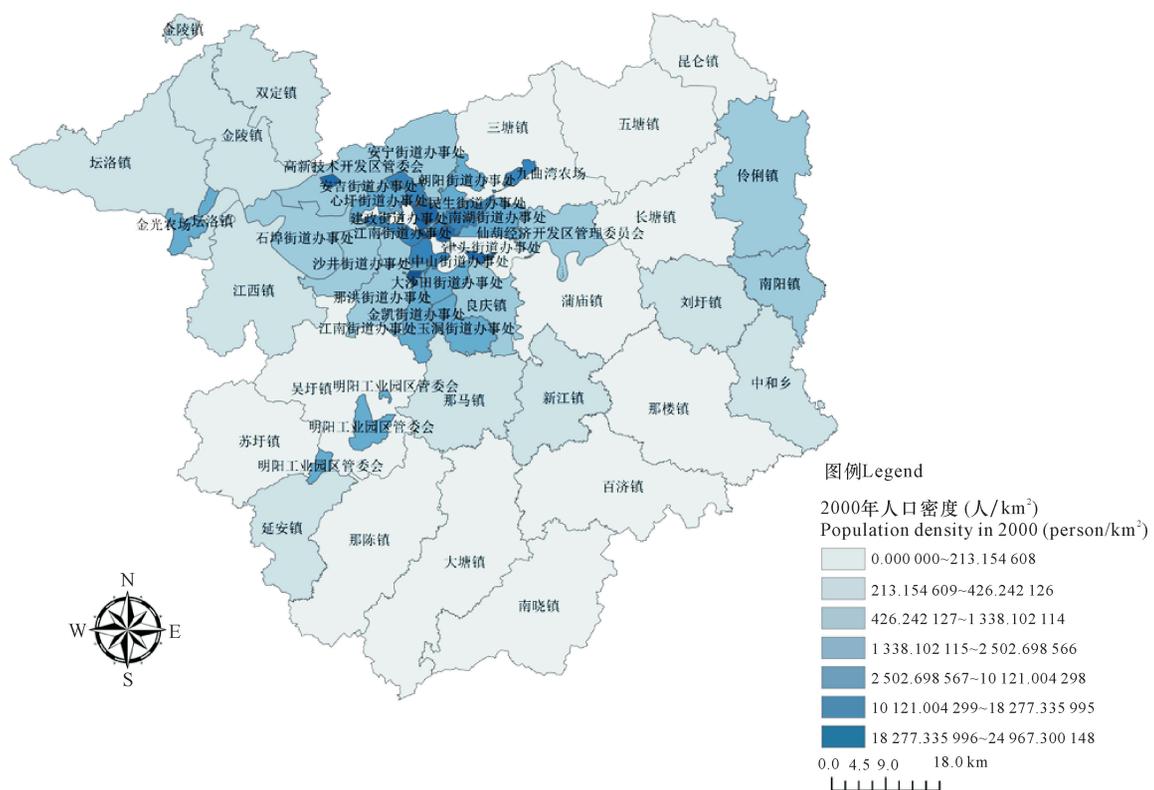


图1 南宁市2000年人口密度分级

Fig. 1 Classification of population density in Nanning in 2000

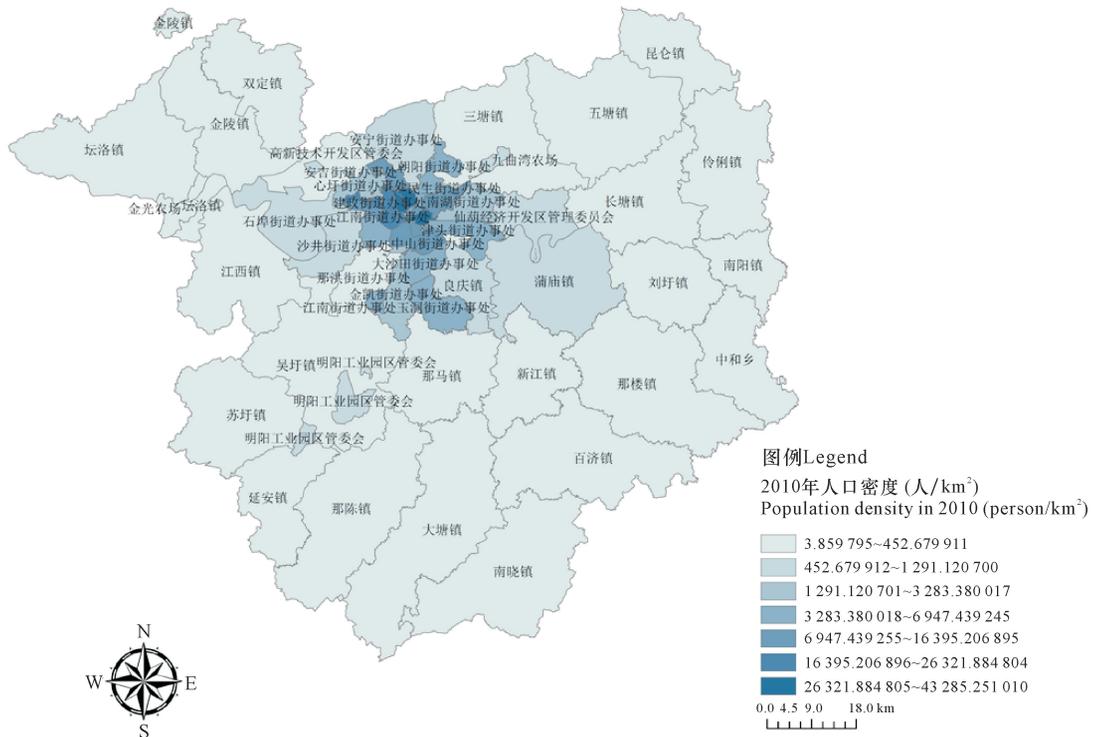


图2 南宁市2010年人口密度分级

Fig. 2 Classification of population density in Nanning in 2010

### 2.2 人口重心变化

10年时间,全市的人口重心从2000年的中山街道地区,2010年移动到福建园街道地区,向西北移动约1.2 km(图3)。反映了南宁市城市人口发展趋势由中山街道往福建园街道迁移和集聚,经济发展重心也逐渐随人口重心发生变化而向周边区域转移。

### 2.3 人口密度模型拟合

按1.3.4节的步骤,本研究以南宁市2010年人口密度最大的西乡塘街道的几何中心点为中心,从距离中心2.5 km处开始,以5 km为半径对南宁市的街道行政区划图进行切割。最终得到南宁市人口密度与距离数据矩阵(表1)。

根据表1,在SPSS软件中运用曲线分别拟合了10种常见曲线函数,分别得到2000年和2010年南宁市人口密度拟合函数。拟合结果见表2~3。

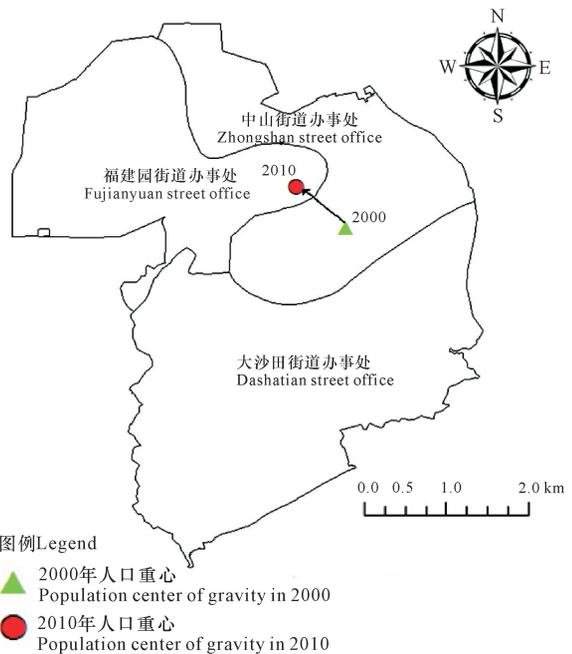


图3 2000—2010年南宁市人口重心变化

Fig. 3 Changes in population center of gravity in Nanning from 2000 to 2010

表1 南宁市2000年和2010年人口密度与距离数据矩阵  
Table 1 Population density and distance data matrix of Nanning city in 2000 and 2010

序号 No.	距离 Distance (km)	人口密度(人/km <sup>2</sup> ) Population density (person/km <sup>2</sup> )	
		2000	2010
1	0~2.5	16 928	30 126
2	2.5~7.5	6 964	8 984
3	7.5~12.5	1 216	2 210
4	12.5~17.5	394	1 041
5	17.5~22.5	282	580
6	22.5~27.5	269	291
7	27.5~32.5	245	266
8	32.5~37.5	205	228
9	37.5~42.5	188	205
10	42.5~47.5	178	184
11	47.5~52.5	173	168
12	52.5~57.5	164	156
13	57.5~62.5	142	126
14	62.5~67.5	135	115
15	67.5~72.5	134	115

表2 2000年人口密度不同模型分析结果

Table 2 Analysis results of different models of population density in 2000

模型名称 Model name	常数项 Constant term $b_0$	回归系数 Regression coefficient			判定系数 Coefficient of determination $R^2$	方差分析值 $F$ ANOVA $F$ value
		$b_1$	$b_2$	$b_3$		
直线方程 Linear equation (LIN)	6 271.154	-118.133			0.341	6.734
对数 Logarithmic (LOG)	15 615.731	-4 123.619			0.730	35.130
反函数 Inverse function (INY)	-967.078	45 083.377			0.969	410.319
二次方 Quadratic equation (QUA)	11 967.557	-572.835	6.063		0.672	12.308
三次方 Cubic equation (CUB)	17 544.980	-1 453.832	35.353	-0.260	0.884	27.998
复合曲线 Compound curve (COM)	2 792.592	0.948			0.646	23.756
幂函数 Power function (POW)	60 152.168	-1.515			0.924	158.084
S曲线方程 S curve equation (S)	5.107	13.438			0.808	54.603
指数方程 Index equation (EXP)	2 792.592	-0.053			0.646	23.756
Logistic	0.000	1.055			0.646	23.756

表3 2010年人口密度不同模型分析结果

Table 3 Analysis results of different models of population density in 2010

模型名称 Model name	常数项 Constant term $b_0$	回归系数 Regression coefficient			判定系数 Coefficient of determination $R^2$	方差分析值 $F$ ANOVA $F$ value
		$b_1$	$b_2$	$b_3$		
直线方程 Linear equation (LIN)	10 453.207	-199.117			0.652	39.413
对数 Logarithmic (LOG)	26 518.637	-7 044.741			0.322	6.181
反函数 Inverse function (INY)	-1 925.130	78 848.335			0.708	31.543
二次方 Quadratic equation (QUA)	20 108.845	-969.855	10.277		0.986	888.909
三次方 Cubic equation (CUB)	29 766.299	-2 495.324	60.994	-0.451	0.638	10.595
复合曲线 Compound curve (COM)	5 465.687	0.936			0.850	20.723
幂函数 Power function (POW)	174 963.935	-1.775			0.760	41.261
S曲线方程 S curve equation (S)	5.207	15.025			0.975	506.388
指数方程 Index equation (EXP)	5 465.687	-0.066			0.776	45.087
Logistic	0.000	1.068			0.760	41.261

拟合发现, 无论2000年人口密度模型拟合还是2010年人口密度模型拟合, 总的来说符合“随着距离增加, 密度递减”的原则, 拟合的函数中, 根据 $R^2$ 最大的原则, 最优模型分别为反函数 Inverse 模型和二次方程模型, 即  $Y = B_0 + B_1/X$  模型和  $Y = B_0 - B_1X + BX^2$  模型最能反映南宁市不同时间段人口密度分布趋势。其中, 南宁市2000年人口密度函数为

$$Y = -967.078 + 45083.377/X, \quad (5)$$

式中  $Y$  为人口密度,  $X$  为距市中心的距离。2010年人口密度函数为

$$Y = 20108.845 - 969.855X + 10.277X^2, \quad (6)$$

式中  $Y$  为人口密度,  $X$  为距市中心的距离。不难发现, 两个模型均反映出随着距市中心距离的增加, 人口密度递减, 但是在同样的距离下, 2010年人口密度大于2000年人口密度, 这是与现实情况相符的。

### 3 讨论

在一定地域环境下,城市人口不是随机分布的,而是呈现一定的空间分布形态。本研究表明,2010年后南宁市城市人口主要集中在经济发展较快的西乡塘区,符合城市化进程时人向经济发达区流动的规律,也表明人口流动与城市的经济发展程度存在密切关联。运用 ArcGIS 进行统计分析,以图像和图形形式展现 2000 年和 2010 年南宁市人口分布,从图中可以观察到,城市人口的变化特征为人口由城市边缘逐渐向市中心聚集。其原因主要是城市化的快速发展,使南宁市市中心的经济发展、就业机会、工资待遇、教育医疗等与周边乡镇的形成巨大差距,导致周边乡镇人口向城市内部迁移。

经研究发现,南宁市城市内部人口重心往中心偏西北方向偏移。借助 ArcGIS 软件计算南宁市 2000 年和 2010 年人口重心的变化,分析人口集中分布程度,反映出 10 年间南宁市城市内部人口主要集中在城市中心偏西北方向的福建园街道区域,离城市中心较近,靠近经济发达区。从 2000—2010 年人口重心变化图可以观察到,随着时间的变化,城市人口重心发生了偏移,这同其他学者相关研究结果基本一致。

根据冯健等<sup>[36]</sup>和陈彦光<sup>[37]</sup>对中国其他城市的研究,北京、上海、杭州等城市人口密度的空间分布符合负指数模型(Clark 模型)。但是本研究表明,南宁市人口密度分布的最优模型为反函数 Inverse 模型和二次方程模型,一方面说明不存在普适性的理论和通用的模型,不同地区存在不同的模型,同一区域不同时间选取模型也不同;另一方面,南宁市人口在不同时间段人口密度分布形态不一,说明南宁市人口发展迅速,南宁的人口发展模式发生转变。因此,南宁的人口发展模式是不同于上海、北京、广州等老城市的郊区化现象,而是一种新型的快速城市化模式。

本研究主要分析南宁市 21 世纪初近 10 年的城市人口变化,在时间及地域的选取上范围相对较小,只在一定程度上反映现阶段的人口变化特征,以及初步判断、预测未来人口发展趋势。随着城镇化的继续推进,城市人口迁移变化规律逐渐形成各自的特色,城市与乡村之间的人口流动主要受经济因素和自然因素的影响,人口流动随时间发生区域性转移显著。因此,未来将会有更大时间跨度和地域范围的城市内部人口变化研究受到越来越多学者的关注。进一步

深入了解城市内部人口时间与空间发展变化的联系,对探索未来城市人口变化非常重要。

当然,有一些影响因素可能导致研究存在一些局限性,研究区域行政区划多次变化,所辖范围不一,本研究所采用的是按照面积等比折算的做法,而实际中人口分布并非均匀,因此调整后各街道(镇)的数据可能与实际人口数有出入。此外,人口密度函数的模拟中,采用不同的切割方式和切割半径使得拟合的最优函数可能也不同。这些都有待在未来的研究中深入探讨。

### 4 结论

总的来说,基于 GIS 的人口空间结构研究能够较全面地反映城市内部人口空间结构。虽然 2000—2010 年这 10 年内南宁市城区周边各街道人口密度增长加快,但由于其人口数量少于城区内,总体上仍然呈现向心的特点,人口密度仍然体现从市中心向外递减的规律,人口分布仍然体现为集聚。

本研究利用 ArcGIS 和 SPSS 等软件进行综合分析,一定程度上反映了现阶段南宁市城市内部人口时空分布特征,具有重要的理论与现实意义。本研究探讨了 2000 年和 2010 年人口重心的变化,说明靠近市中心区域人口密度大而且集中,对预测城市未来发展趋势和方向有一定的参考价值,同时为市中心区域提供更多商业、服务行业就业导向;探讨了南宁市城市内部人口分布,找出新的人口分布模型,为合理规划城市人口布局提供一定的理论依据,为研究人口分布的中长期发展趋势和格局,制定相关的人口分布和迁移政策提供参考。随着改革开放的深入及新型城镇化的进一步推进,区域范围发展、人口户籍调整及社会科技发展,南宁市城乡人口变化规律、人口流动和区域发展之间的联系还需要进一步深入研究,这对于探索南宁市未来人口变化规律具有重要实际意义。

#### 参考文献

- [1] 冯健. 西方城市内部空间结构研究及其启示[J]. 城市规划, 2005(8): 41-50.
- [2] BOURNE L S. Internal structure of the city: Readings on urban form, growth, and policy [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1983, 73(4): 627-629.
- [3] KNOX P L, MARSTON S A. *Human Geography: Places and regions in global context with mastering geography global edition* [M]. [S. l. : s. n. ], 1998.

- [4] YE H A G O, WU F L. Internal structure of Chinese cities in the midst of economic reform [J]. *Urban Geography*, 1995, 16(6): 521-554.
- [5] 陈刚强, 李郁, 许学强. 中国城市人口的空间集聚特征与规律分析[J]. *地理学报*, 2008, 63(10): 1045-1054.
- [6] 徐昀, 朱喜钢. 近代南京城市社会空间结构变迁——基于1929, 1947年南京城市人口数据的分析[J]. *人文地理*, 2008(6): 17-22.
- [7] 宋伟轩, 徐昀, 王丽晔, 等. 近代南京城市社会空间结构——基于1936年南京城市人口调查数据的分析[J]. *地理学报*, 2011, 66(6): 771-784.
- [8] 张志斌, 潘晶, 达福文. 兰州城市人口空间结构演变格局及调控路径[J]. *地理研究*, 2012, 31(11): 2055-2068.
- [9] 劳昕, 沈体雁. 中国地级以上城市人口流动空间模式变化——基于2000和2010年人口普查数据的分析[J]. *中国人口科学*, 2015(1): 15-28.
- [10] 冯健, 周一星. 转型期北京社会空间分异重构[J]. *地理学报*, 2008, 63(8): 829-844.
- [11] 徐昀, 朱喜钢, 李唯. 西方城市社会空间结构研究回顾及进展[J]. *地理科学进展*, 2009, 28(1): 93-102.
- [12] 张利, 雷军, 张小雷, 等. 乌鲁木齐城市社会区分析[J]. *地理学报*, 2012, 67(6): 817-828.
- [13] 田艳平. 旧城改造对城市社会空间分异的影响——以武汉市为例[J]. *人口学刊*, 2012(6): 72-80.
- [14] 吴启焰, 吴小慧, CHEN G, 等. 基于小尺度五普数据的南京旧城区社会空间分异研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(10): 1196-1205.
- [15] 雷军, 张利, 刘雅轩. 乌鲁木齐城市社会空间分异研究[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(6): 1291-1304.
- [16] 金刚, 沈坤荣. 中国工业技术创新空间扩散效应的时空演化[J]. *经济地理*, 2016, 36(5): 121-127.
- [17] 于伟, 杨帅, 郭敏, 等. 功能疏解背景下北京商业郊区化研究[J]. *地理研究*, 2012, 31(1): 123-134.
- [18] 赵仁康. 探求城市产业空间布局的“优化之略”——评《优化之道: 城市新产业空间战略》[J]. *南京社会科学*, 2009(3): 138-139.
- [19] 闫庆武, 卞正富. 基于GIS的中国省际人口迁移流的空间特征分析[J]. *人文地理*, 2015(3): 125-129.
- [20] 朱瑜馨, 张锦宗, 聂芹. 山东省人口密度分布模式的GIS空间分析[J]. *国土资源遥感*, 2011(4): 147-150.
- [21] 匡文慧, 杜国明. 北京城市人口空间分布特征的GIS分析[J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(4): 506-512.
- [22] 宋洁华, 李建松, 谢跟踪, 等. 基于GIS的海南省人口空间分布模式统计分析[J]. *测绘科学*, 2008, 33(6): 144-145.
- [23] 王永超, 王士君, 李强. 基于GIS空间统计的县级商业布局模式及形成机理研究——以吉林省乾安县城为例[J]. *经济地理*, 2011, 31(9): 1504-1510.
- [24] 张锦宗, 朱瑜馨, 周杰. 基于BP网络与空间统计分析的山东人口空间分布模式预测研究[J]. *测绘科学*, 2009, 34(6): 162-164.
- [25] 张志斌, 潘晶, 达福文. 兰州城市人口空间结构演变格局及调控路径[J]. *地理研究*, 2012, 31(11): 2055-2068.
- [26] 左永君, 何秉宇, 龙桃. 1949~2007年新疆人口的时空变化及空间结构分析[J]. *地理科学*, 2011, 31(3): 358-364.
- [27] 刘颖, 邓伟, 宋雪茜, 等. 基于综合城镇化视角的省际人口迁移格局空间分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(8): 28-35.
- [28] 钟易霖, 罗若愚. 成都市人口空间分布特征分析[J]. *电子科技大学学报: 社科版*, 2018, 20(6): 36-41.
- [29] 黄殿波, 吕晨. 北京市人口空间格局演化特征——基于2000和2010年人口普查数据的分析[J]. *科技和产业*, 2017, 17(8): 107-114, 122.
- [30] 徐怡珊, 周典, 仇志伟, 等. 基于老年人口空间分布特征的养老设施规划布局研究[J]. *建筑学报*, 2017(9): 74-77.
- [31] 李小强. 安徽省人口空间分布演变研究[D]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2018.
- [32] 薛毅, 曹蓉, 刘西金, 等. 水利划界成果与地理信息数据库相结合的应用——以苏州市七浦塘划界工程为例[J]. *浙江水利科技*, 2018(2): 68-71.
- [33] 刘铮. 人口学辞典[M]. 北京: 人民出版社, 1986.
- [34] 佟新. 人口社会学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [35] 李健, 中村良平. 城市空间人口密度模型研究综述[J]. *国际城市规划*, 2006, 21(1): 40-47.
- [36] 冯健, 叶宝源. 西方社会空间视角下的郊区化研究及其启示[J]. *人文地理*, 2013(3): 20-26.
- [37] 陈彦光. 城市人口空间分布函数的理论基础与修正形式——利用最大熵方法推导关于城市人口密度衰减的Clark模型[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2000, 34(4): 489-492.

## Study on Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Urban Internal Population in Nanning based on GIS

LI Qihai<sup>1,2,3</sup>, LIU Mengmeng<sup>1,2,3</sup>, HU Baoqing<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Environmental Change and Resource Utilization of the North Bay, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Surface Process and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. School of Geographic Science and Planning, Nanning Normal University,

Nanning, Guangxi, 530001, China)

**Abstract:** In order to understand the changes and development of the spatial structure of Nanning's urban population in the past 10 years in the 21st century, Geographic information system (GIS) technology and SPSS statistical analysis software were used to analyze the urban population distribution in Nanning in 2000 and 2010. The results showed that the overall spatial structure of Nanning's urban population was clustered. In 2000 and 2010, the population density of Nanning City was highest in the area of Xixiangtang Sub-district Office. The population density of each street in Xingning District increased rapidly. From 2000 to 2010, the population center of gravity moved about 1.2 km to the northwest. The population density function in 2000 and the 2010 population density function were best fitted with an inverse function model and a quadratic function model, respectively. As the distance from the city center increased, the population density decreased. It had a large centripetal effect near the center of the city, which brought about the increase of population in the surrounding areas.

**Key words:** GIS, population distribution, urban internal structure, Nanning City

责任编辑: 陆 雁

(上接第 336 页 Continued from page 336)

## Effects of Cadmium on Heat Shock Protein 70 Gene Expression in Different Tissues of *Crassostrea gigas* under Different Salinity

JING Yuanyuan<sup>1</sup>, ZHANG Tianwen<sup>1,2</sup>, LIU Enfu<sup>1</sup>, CHEN Qun<sup>1</sup>, SUN Ming<sup>1</sup>, GUO Wen<sup>1,2</sup>, LIU Guangbin<sup>1,3</sup>

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China; 2. Healthy Mariculture Engineering Research Center of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China; 3. Shandong Key Laboratory of Disease Control in Mariculture, Qingdao, Shandong, 266104, China)

**Abstract:** The effect of cadmium on the expression of heat shock protein 70 (*Hsp70*) in *Crassostrea gigas* under different salinity was studied to provide technical support for strengthening the safe production of shellfish from breeding sources, and provide basic data for product quality control. Oysters were acclimatized to different salinities (13 psu, 20 psu, 27 psu, and 34 psu) for 14 d, and exposed to 10  $\mu\text{g/L}$  Cd solution for 28 d for storage experiments, and then transferred to clean seawater for discharge experiment. The corresponding salinity treatment group not exposed to the cadmium solution was set as the blank group. Finally, the real-time fluorescence quantitative PCR method was used to determine the gene expression level. The results showed that the mRNA expression trend of *Hsp70* gene in the mantle was generally the same under the effect of four salinities. *Hsp70* gene was induced when the cadmium concentration in the body was low, and *Hsp70* gene was suppressed when the cadmium concentration was high. *Hsp70* expression in the digestive gland was mostly inhibited. The salinity 20 psu group was induced on day 42. The salinity 27 psu group was induced on day 28. The salinity 34 psu group was induced on days 7, 21, and 42. It shows that *Hsp70* gene has significant reactivity to heavy metal cadmium, and it is feasible as a comprehensive early warning indicator of cadmium pollution.

**Key words:** *Crassostrea gigas*, cadmium, salinity, heat shock protein 70, gene expression

责任编辑: 陆 雁