

耦合视角下长三角地区城镇化协调度的时空特征 及交互机制

范擎宇^{1,2}, 杨 山^{1,2}, 胡 信^{1,2}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 随着中国城镇化发展的转型, 测度城镇化过程中人口、土地和经济三者发展的耦合协调关系, 探索其演化过程的时空动态规律, 已成为人文地理学研究新型城镇化的重要科学问题。通过构建耦合协调度模型, 在测度近16年来长三角地区城镇化进程中各子系统的协调发展水平的基础上, 运用空间变差函数, LISA时空跃迁等方法, 分析长三角地区城镇化耦合协调的交互过程, 探索其城镇化协调空间集聚的形成机制。结果表明: ① 伴随长三角地区城镇化水平的显著提升, “人口、土地和经济”总体和两两耦合协调度演化均呈稳步提升的趋同现象; ② 长三角地区城镇化耦合协调度空间集聚程度逐年增强, 空间关联作用范围不断扩大, 形成了“一极独大、三角核心、周边低平”的空间形态; ③ 从各个城市的城镇化耦合水平跃迁路径来看, 大多呈协同增长态势, 表明城市的整体耦合协调度具有明显的路径依赖和空间锁定特征; ④ 长三角地区城镇化耦合协调水平从稳定和均衡→极化集聚状态的演变动力主要来自于土地-经济的交互作用, 而从极化→均衡状态的演变动力更多地来自于人口-土地的交互作用。城镇化协调度的交互过程及机制研究为新型城镇化发展和长三角城市群构建提供了理论依据和调控方向。

关键词: 城镇化; 耦合协调度; LISA时间路径; 长三角地区

DOI: 10.11821/dljy020181167

1 引言

城镇化是城乡人口结构转变、城市土地规模扩张和经济社会发展的一个复杂过程, 也是一个国家或地区实现现代化的必由之路^[1-3]。从系统论的角度来看, 城镇化是一个地区发展进程中人口、土地和经济等多个子系统相互作用的综合性整体, 其中人口城镇化是核心, 土地城镇化是载体, 经济城镇化是动力, 这些子系统间协同演进才能实现区域城镇化的健康发展^[4-6]。随着中国新型城镇化战略的实施, 城镇化发展开始转型, 从追求规模速度转向质量发展, 如何判断城镇化过程中人口、土地、经济三者之间的协调程度, 评估新型城镇化战略下城市群构建范围的合理性, 已成为当前地理学领域亟需面对和解决的科学问题。

国内外关于城镇化的研究重点随着经济社会和科技的发展而变化。工业革命开启后的西方城镇化一直是市场经济体制背景下进行的, 城镇化经历了从集中走向分散的过

收稿日期: 2018-10-30; 修订日期: 2018-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41471135, 41771171)

作者简介: 范擎宇 (1990-), 女, 湖南衡阳人, 博士研究生, 主要研究方向为城乡发展与空间规划。

E-mail: qingyufy@126.com

通讯作者: 杨山 (1963-), 男, 江苏盐城人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为城乡发展与区域规划。

E-mail: yangshan@njnu.edu.cn

程。近几十年来,随着以美国为代表的一些西方发达国家进入逆城市化阶段^[7,8],一些学者从土地和人口因素着手,提出了城市土地再利用问题,倡导人口再城市化^[9-11];由于西方国家稳定的私有化土地制度以及相对较小的人地矛盾,学者较少关注城镇化各要素的匹配测度,主要研究城镇化的演变过程及其对经济社会和环境方面的影响^[12-16]。

中国城镇化起步晚,在近几年快速城镇化推进经济社会急剧变化过程中,出现了城乡居民不对等、城市土地资源利用不集约和经济发展不均衡等问题^[17,18]。2014年国家明确提出走新型城镇化之路后,国内学者围绕新型城镇化发展要求,从不同视角、尺度针对城镇化过程中人口、土地和经济社会等系统间交互耦合关系展开了研究^[19-21]。部分学者立足新型城镇化内涵,通过构建评价指标体系对城镇化耦合协调水平进行测度和分类,实证分析不同城市协调发展空间格局的演化特征^[22-30];另有学者在城镇化协调水平的结果上,基于协整理论和回归模型评价各个子系统耦合发展的作用关系和程度,分析其影响因素和驱动机制,进而提出优化路径^[31-35];此外,借助空间自相关模型分析城镇化协调发展水平的空间集聚特征与规律正受到了学者们更多关注^[36-38]。这些围绕城镇化进程中人口、土地和经济3个子系统关系的测度、空间演化和机理研究虽取得了许多成果,但缺少结合国家以城市群为核心的新型城镇化空间战略转型研究。因此选择中国典型城市群区域,将时间和空间要素同时纳入到其关系演变分析中,进一步从时空交互过程认识城市群区域的人口、土地和经济三者间耦合协调的空间形态以及跃迁路径和依赖性。

长三角区域是中国城镇化和经济发展水平最高的地区,为打造世界级的城市群,国家在原有“15+1”长三角范围基础上重新进行了调整,除上海外,将江苏、浙江和安徽三省的25个地级市纳入其范围。本文从系统耦合角度将城镇化的人口、土地和经济3个子系统的时间过程和空间变化紧密结合起来,借助空间变差函数,LISA(Local Indications of Spatial Association)时空跃迁等方法,探究该区域间近16年来城镇化各子系统的时空交互过程和机制,试图对长三角地区耦合协调水平的动态分异规律及长三角城市群空间形态有更为全面的认识,以期服务于长三角城市群的国家发展战略需求,为中国新型城镇化可持续发展与调控提供科学的理论依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 指标选取与数据来源

在指标选取方面,以往研究多采用单一指标法或综合指标法测度城镇化水平,综合指标法涵盖城镇化多个侧面,但可能存在多重共线性,易导致计算结果出现偏差;单一指标法则有简洁易行的优点,却只能反映城镇化水平及地区间某一方面的差异。根据多数城镇化相关研究^[22,31-34]的方法,本文选择城镇化的人口、土地和经济三个核心指标,城镇化分别采用城镇人口占比、建成区面积占比和三产占比来表征。由于长三角地区大多数城市已进入工业化中后期,上海市及大多数地级市的城镇化发展质量更多地体现在第三产业变化上。

考虑省域的完整性和研究对象的可比性,本文研究的范围包括上海市和江苏、浙江和安徽三省的41个地级市,数据主要源于2002—2017年的《中国城市统计年鉴》及各省与地级市统计年鉴^[39]。考虑行政区划的调整和数据的连续性及与当前宏观政策的衔接性,按最新行政区划进行城镇人口、三产经济和建成区面积数据分割和合并处理。

2.2 研究方法

2.2.1 耦合协调度模型 耦合主要是指2个或2个以上的系统通过各种相互作用而彼此影

响的现象。借鉴物理学关于耦合协调度的相关模型,定量分析长三角地区城镇化子系统间的耦合特征与变化趋势。耦合度模型^[22,23,40]如下:

$$C = \left[\frac{u_1 \times u_2 \times u_3}{(u_1 + u_2 + u_3/3)^3} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中: u_1 、 u_2 和 u_3 分别为人口、土地和经济城镇化子系统; C 为三者的总体耦合度。

为了更好地反映人口、土地和经济城镇化3个子系统间交互耦合的协调效应,构建三者的耦合协调度模型,公式^[22,23,40]如下:

$$D = \sqrt{CT}, T = \alpha u_1 + \beta u_2 + \varphi u_3 \quad (2)$$

式中: D 为耦合协调度; T 为人口、土地、经济城镇化的综合协调指数; α 、 β 、和 φ 为待定系数,参考已有研究^[26,34],长三角地区人口、土地和经济共同推动着十几年来中国城镇化水平的提高,故本文取 $\alpha = \varphi = \beta = 1/3$ 。

2.2.2 探索性空间数据分析 探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ES-DA)的核心是测度地理要素的空间关联性,通常可以分为全局空间自相关和局部空间自相关。全局空间自相关主要用于分析地理要素在整个区域内的关联特征,通常用Global Moran's I 指数来衡量。公式^[36]如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / s^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

局部空间自相关主要用于度量地理要素的局域空间关联特征,通常用Local Moran's I 指数来表示。

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j \quad (4)$$

式中: x_i 、 x_j 分别为城市 i 、 j 的观测值; n 为城市单元数量; \bar{x} 和 s^2 为观测值 x 的均值和标准差; w_{ij} 为基于邻近标准构建的空间权重矩阵; z_i 和 z_j 是城市 i 、 j 观测值的方差标准化值。局部Moran's I 与Moran散点图的4个象限均分别对应四种不同的局部关联类型,即HH(高-高)、HL(高-低)、LH(低-高)和LL(低-低)。其中,HH和LL表示相邻的城市具有空间正相关关系,即耦合协调度高或低的地区具有空间集聚效应;HL和LH表示与相邻的城市间具有空间负相关关系,即耦合协调度高(低)的地区被耦合协调度低(高)的市域包围。

2.2.3 空间变差函数 空间变差函数又称空间半变异函数,揭示观测变量空间相关和空间变异特征的有效方法^[41]。假设 $Y(x_i)$ 和 $Y(x_i+k)$ 为地理变量 $Y(x)$ 在点 x_i 和 x_i+k 处的观测值,则其公式^[41,42]为:

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N(k)} \sum_{i=1}^{N(k)} [Y(x_i) - Y(x_i+k)]^2 \quad (5)$$

式中: $r(k)$ 表示地理变量 $Y(x)$ 的变差函数; $N(k)$ 是分割距离 k 的样本量。变程、块金系数和分维数是空间变差函数的主要表征参数^[41,42],用于反映长三角地区城镇化耦合协调水平的作用范围、相关性强弱和空间均质性特征。

2.2.4 LISA时间路径 运用LISA坐标在Moran散点图中的时间迁移特性来反映长三角地区城镇化耦合协调度在局部范围内协调演化的时空动态性特征,从而使静态的局部空间关系转化为动态的连续特征^[43,44],其几何特征包括路径长度、弯曲度,计算公式^[43,44]为:

$$N_i = \frac{N \times \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})} \quad (6)$$

$$D_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{d(L_{i,1}, L_{i,T})} \quad (7)$$

式中： N_i 表示长三角地区的LISA时间路径长度； D_i 表示LISA时间路径弯曲度； N 为城市空间单元的数量； T 为研究时间长度； $d(L_{i,t}, L_{i,t+1})$ 为城市空间单元 i 在时间 t 到 $t+1$ 的移动距离； $d(L_{i,1}, L_{i,T})$ 为城市空间单元 i 在 T 年内总的移动距离。 N_i 越大，说明该城市的耦合协调度的动态变化程度越显著， $N_i > 1$ 表示城市 i 的跃迁长度大于所有城市跃迁长度的均值。如果城市 i 的移动路径非直线，则 $D_i > 1$ ，其值越大，城市 i 在方向上越具有更加波动的耦合协调演化过程，受局部结构的时空依赖效应（溢出/极化）的影响也就越大，局部空间结构的时间变动特征也更加曲折^[43,44]。

3 城镇化协调演进的时空特征

3.1 城镇化耦合协调水平的时间变化

“人口-土地-经济”三者间的城镇化耦合协调性反映的是长三角总体耦合协调水平，而“两两”城镇化协调关系则可进一步揭示两个子系统间的发展协调状态，更加深入认识各要素在城镇化协调发展过程中的作用^[22,29]。因此，在2001—2016年长三角地区人口城镇化、土地城镇化和经济城镇化水平测度的基础上，利用耦合协调度模型，同时计算区域城镇化3个子系统间总体和“两两”耦合协调度，并分析其变化特征（图1）。

研究期内城镇化3个子系统协调均不断提升，整体均衡性较强，显示出人口、土地和经济共同推动着长三角城镇化进程。在2001—2016年人口、土地和经济城镇化水平增长过程中，人口城镇化水平指数均值为0.286，土地城镇化水平指数均值为0.114，经济城镇化水平指数均值为0.224；经济城镇化得分介于人口城镇化和土地城镇化之间，且相对于人口和土地城镇化波动较大。此外，人口、土地、经济城镇化的历年变异系数分别稳定在0.065~0.081、0.060~0.076和0.090~0.101之间，说明长三角地区城镇化子系统的整体波幅较小，三者强度关系格局相对稳定。

从耦合协调度来看，长三角地区耦合协调度呈稳步增长态势，但整体水平偏低，这部分与长三角新的空间范围调整相关，扩大后的长三角范围一定程度上影响了城镇化整体水平。人口-土地-经济城镇化总体耦合协调度均值为0.391，从2001年的0.327增加到

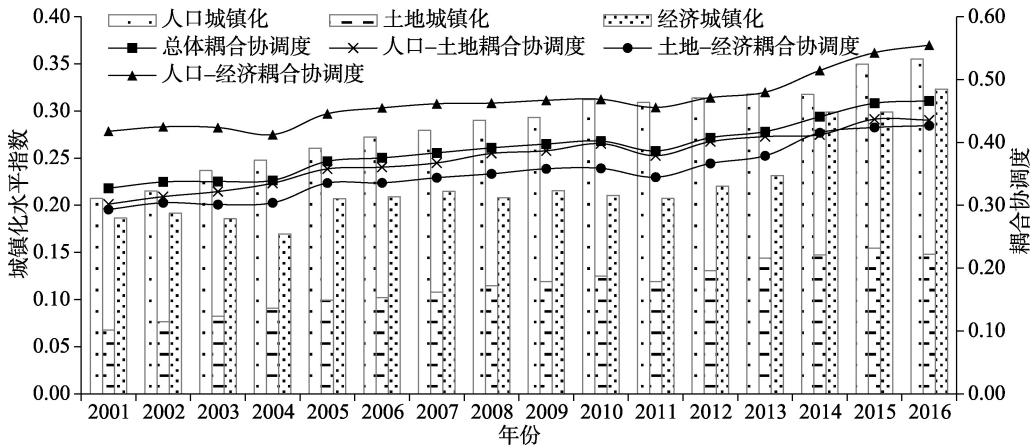


图1 人口-土地-经济城镇化及其耦合协调度

Fig. 1 The values of population-land-economy urbanization and coupling coordination degrees

研究末期的0.466, 年均增长率0.86%; 人口-土地、土地-经济、人口-经济城镇化的耦合协调度均值分别为0.374、0.352和0.467, 年增长率为0.84%、0.83%和0.86%, 反映了长三角地区人口-土地-经济总体和“两两”城镇化耦合协调度的增长态势基本同步。

3.2 城镇化耦合协调水平的空间演化

基于2001—2016年的长三角地区城镇化过程中人口、土地和经济城镇化三大子系统的总体耦合协调水平的测度, 运用ArcGIS中的Geostatistical Analyst工具, 选取2001年、2009年和2016年三个典型年份进行空间可视化表达, 得到3个年份城镇化耦合协调发展的空间变化趋势图(图2)。

长三角地区人口-土地-经济城镇化的总体和“两两”耦合协调演化趋势线整体格局稳定, 城镇化耦合协调发展态势出现趋同现象。①人口-土地-经济城镇化的总体耦合协调度在这3个时间截面上均表现出东部高于西部, 南北方向均呈中间高的倒U型分布特征。②“两两”耦合协调度的空间演化更具有阶段性特征, 相比2001年和2009年, 2016年人口-土地城镇化的耦合协调度变化主要体现在东西向的下降态势上; 土地-经济城镇化耦合协调度主要反映在南北向差异上, 南北两侧与中间相比差距增大; 人口-经济城镇化耦合协调度的空间分异特征与总体最为类似。

4 城镇化协调演进的时空格局

4.1 区域尺度的长三角空间演化格局

4.1.1 全局空间自相关分析 2001—2016年长三角地区人口-土地-经济城镇化总体耦合协调度的全局Moran's I 值均为正(表1), 从2001年的0.142波动上升到2016年的0.321, 且通过0.10的显著性检验, 说明长三角地区人口-土地-经济城镇化的总体耦合协调度空间特征呈集聚态势。

4.1.2 空间变差函数分析 将各城市的耦合协调度作为空间地理变量, 计算实验变差函数, 选取拟合度最高的模型进行估计, 通过计算不同方向上的分维数, 进行克里金插值

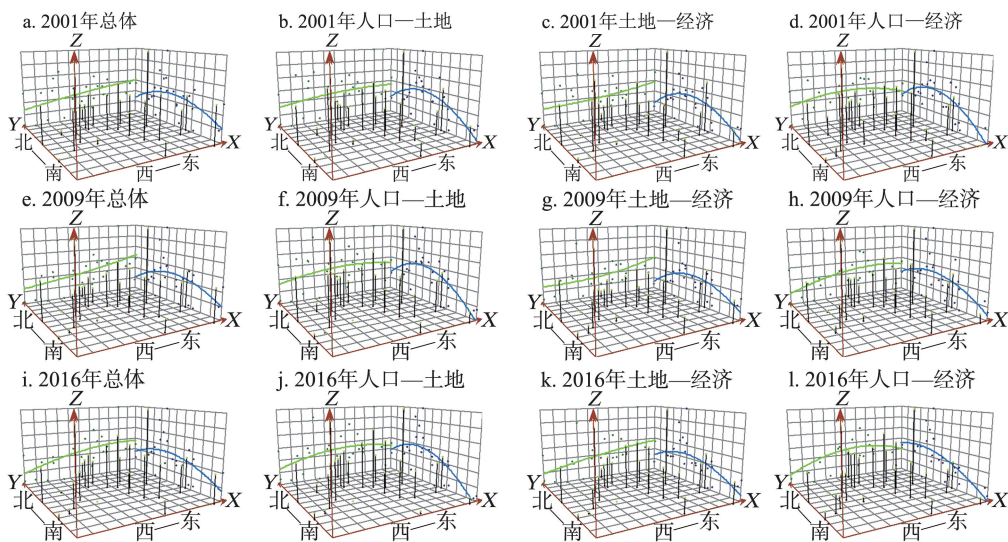


图2 人口-土地-经济城镇化耦合协调度空间格局

Fig. 2 The space patterns of coupling coordination degrees of population-land-economy urbanization

表1 人口-土地-经济城镇化耦合协调度的Moran's I值

Tab. 1 The Moran's I values of coupling coordination degrees of population-land-economy urbanization

年份	Moran's I值	Z得分	P值	年份	Moran's I值	Z得分	P值
2001	0.142	1.589	0.096	2009	0.167	1.832	0.005
2002	0.143	1.583	0.097	2010	0.226	2.384	0.001
2003	0.145	1.585	0.092	2011	0.284	2.941	0.003
2004	0.092	1.116	0.113	2012	0.289	2.974	0.002
2005	0.183	1.070	0.050	2013	0.240	2.581	0.001
2006	0.151	0.667	0.064	2014	0.196	2.094	0.003
2007	0.147	0.691	0.048	2015	0.232	2.453	0.001
2008	0.139	1.564	0.117	2016	0.321	3.304	0.001

模拟。从长三角地区的空间变差函数拟合参数可知(表2), 变程由2009年的701.40 km增加到2016年的928.50 km, 说明区域耦合协调度的结构化空间分异所引起的空间关联作用范围在不断扩大, 核心城市对周边地区的辐射作用逐渐增强, 各城市间的相互联系和作用强度不断加大; 由块金系数可知研究期间区域耦合协调度的空间相关性先上升后下降; 2001年、2009年和2016年最优拟合模型均为指数(Exponential)模型, 且决定系数都在0.7以上, 说明耦合协调度的空间结构类似, 模型拟合优度较高, 空间自组织性较强。

从长三角地区耦合协调水平的空间变差分维数可以看出(表3), 在全方向上, 分维数从2001年的1.670先升高到2009年的1.744, 进而下降到2016年的1.562, 且数值普遍较高, 说明长三角地区耦合协调度在全方向上的空间均质性相对较好, 空间差异先缩小后增大。空间差异主要体现在各方向上, 其中南-北向的变化较为明显, 分维数不断增大, 说明城镇化耦合协调水平在南-北向空间差异不断减少; 从三个年份的分维数值大小看, 东-西方向的城镇化耦合协调水平的空间格局最为均衡, 其次为东北-西南和东南-西北方向, 空间均质性最差的为南-北方向。

从Kriging插值的3D拟合图中清晰看出研究期间长三角地区城镇化耦合协调度的空间结构趋于稳定, 空间格局的演变过程具有明显的连续性(图3), 基本保持“一极大、三角核心、周边低平”的空间格局状况。2001年, 分布在长江沿线的上海、南京、无锡以及淮南等地构成城镇化耦合协调的高值极核区, 沿长江将南北两岸分化成两个相

表2 变差函数拟合参数

Tab. 2 The parameters of variogram function

	年份	变程(km)	块金系数 $C_0 / (C_0 + C)$	拟合模型	决定系数 R^2
耦合 协调度	2001	701.400	0.908	Exponential	0.7610
	2009	840.900	0.823	Exponential	0.7400
	2016	928.500	0.911	Exponential	0.7080

表3 变差函数分维数

Tab. 3 The fractal of variogram function

年份	全方向		南-北		东北-西南		东-西		东南-西北		
	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2	
耦合 协调度	2001	1.670	0.811	0.973	0.553	1.617	0.682	1.841	0.142	1.767	0.540
	2009	1.744	0.790	1.487	0.470	1.752	0.406	1.753	0.273	1.736	0.601
	2016	1.562	0.675	1.627	0.491	1.563	0.499	1.732	0.310	1.694	0.590

对独立的低值区域,并在皖北的阜阳、亳州和皖南黄山、浙南丽水等地形成城镇化耦合协调的低谷。到2009年,区域城镇化耦合协调的空间格局逐渐清晰,形成以上海核心,上海、南京和杭州三个城市构成的高值三角区,而安徽和淮南的耦合协调度明显下降,开始为合肥所取代;原本相对隔离的南北两个低值区域逐渐衔接,形成环绕上海-南京高值轴带的半环状空间结构;此外,区域西南部的低值范围也在不断扩展。2016年,长三角地区的“三角核心”城镇化耦合协调的空间格局在继续保持环绕上海-南京高值轴带的总体结构的同时;杭州得到进一步发展,已成为区域南部耦合协调中心的特征。相对而言,耦合协调低值区的空间分异现象逐步减弱,空间范围呈现缩小态势,并逐步向南部(浙西南)和西部(皖西北)转移。2001—2016年长三角区域城镇化耦合协调发展的不平衡性,在空间上突出体现在以上海为核心、上海-南京高值轴带的耦合协调度提升的速率明显快于西南、西北边缘地区的浙江丽水和安徽亳州、阜阳等城市,这在一定程度上验证了国家长三角城市群规划范围的合理性。

4.2 城市尺度的长三角空间演化格局

为了进一步探索局部空间关联演化特征,识别长三角地区不同市域单元对全局空间关联的贡献程度,采用LISA时间路径的相对长度、弯曲度和方向来反映局部空间结构的动态性、空间依赖方向上的波动性和空间整合性等特征。运用自然断裂法将长三角地区人口-土地-经济城镇化总体耦合协调度的LISA时间路径相对长度和弯曲度划分为4个等级,计算各城市LISA坐标的转移方向(图4)。

4.2.1 LISA 时间路径的空间特征 LISA时间路径的相对长度体现了各个城市城镇化耦合协调度局部空间结构的动态性特征。研究期内长三角地区的LISA时间路径的相对长度在平均值以上的城市有10个,占1/4左右,表明区域内城镇化总体耦合协调度的空间格局具有一定的平稳性,上海、江苏和安徽的相对长度大于浙江,其中江苏的镇江和安徽的淮南、淮北、马鞍山、芜湖和铜陵市的LISA时间路径相对长度较大,这些均为城镇化水平变化先慢后快型的城市,导致其耦合协调度的动态变化明显。浙江省除浙北的杭嘉湖都市圈外,其他大部分城市相对长度较小,说明浙江城镇化变化和耦合协调关系的空间格局相对稳定。

LISA时间路径弯曲度是衡量各个城市城镇化耦合协调度的局部空间结构在空间依赖方向上的动态性特性。研究期内,长三角地区的LISA时间路径弯曲度均大于1,说明长三角内部各城市城镇化的耦合协调度具有迁移变化特征。从弯曲度总的空间分布格局

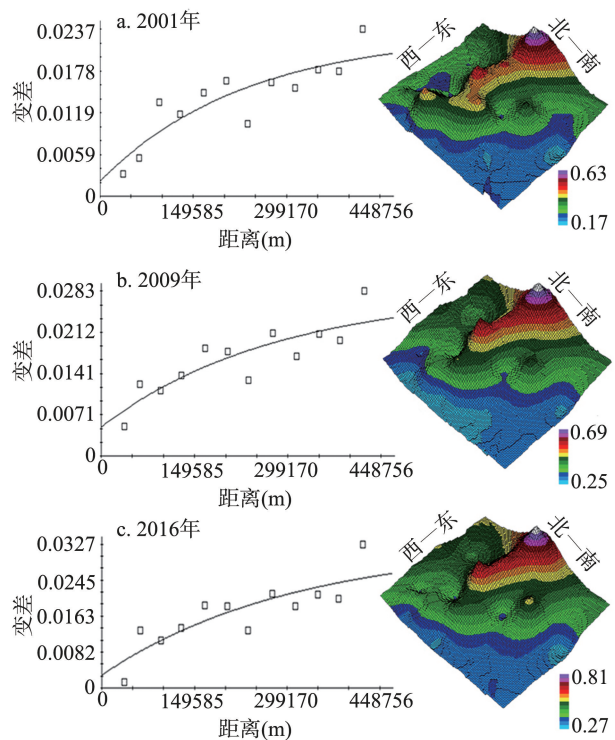


图3 Kriging插值的3D拟合

Fig. 3 Kriging simulation of variogram function

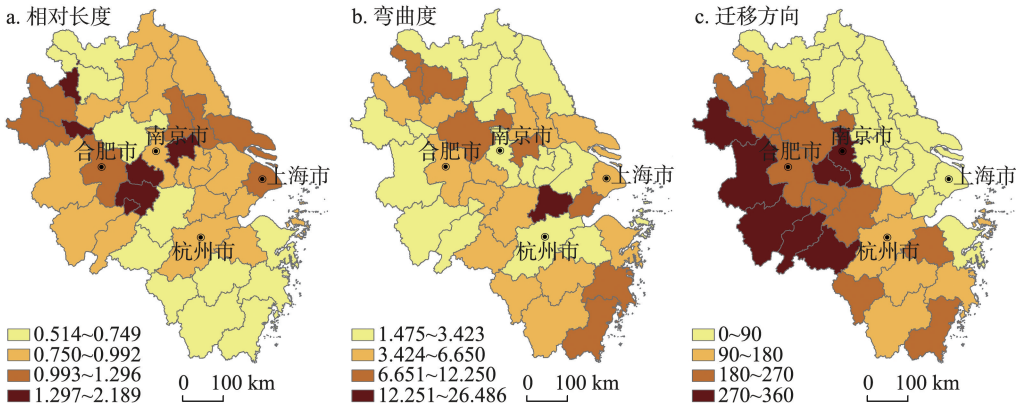


图4 LISA时间路径空间特征分布

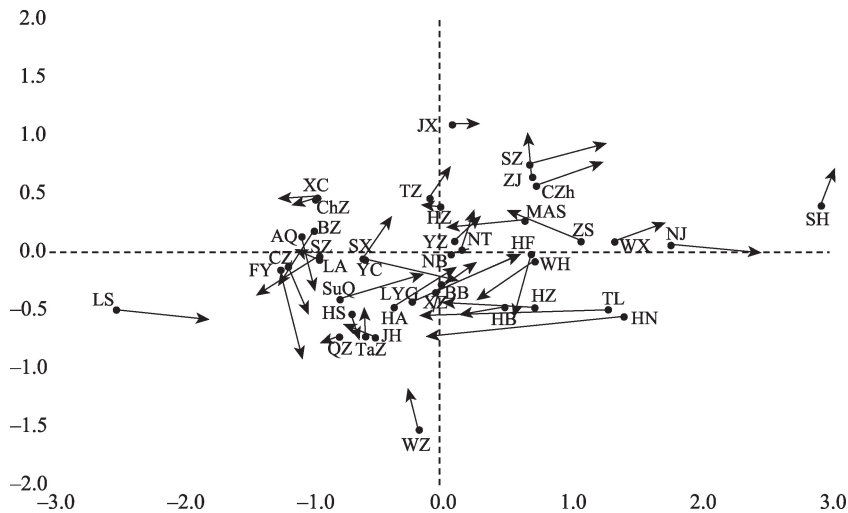
Fig. 4 The spatial feature distribution of LISA time path

看, 弯曲度变化规律主要体现在各省区域内。上海因其是长三角城镇化水平最高的地区, 其弯曲度相对于其他市域变化不显著; 江苏的弯曲度呈现由苏中地区向苏南、苏北递减的态势, 高值主要围绕镇江以及扬州、泰州、南通等近年来城镇化提升迅速的区域; 浙江的中部杭绍地区是弯曲度低值的主要分布区, 与之相接的南北两侧较高, 其中湖州成为浙江弯曲度最高的城市, 近年来其城镇化提升速度略低于周边的杭州、嘉兴、苏州、无锡等城市; 安徽弯曲度大的城市基本与江苏毗邻, 全省明显划分为东西两个异质空间。总的来看, 弯曲度较小的区域主要集中在苏北、苏南、皖西以及杭绍地区, 这些地区城镇化的耦合协调度相对稳定, 受周边城市的溢出或虹吸效应较弱。

4.2.2 LISA 时间路径的迁移方向 LISA 时间路径的迁移方向可以体现各个城市城镇化耦合协调度局部空间格局演变的整合性特征, $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 表示城市 m 与其相邻城市发生正向协同增长, $180^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 表示城市 m 与其相邻城市发生负向协同增长; $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 和 $270^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 分别表示城市 m 与其临近城市发生跃迁的方向相反^[43-45]。2001 年以来, 长三角地区城镇化耦合协调的 LISA 时间路径迁移方向呈现出协同增长的城市共有 27 个, 占 65.85%, 表明长三角地区耦合协调度的空间演变具有较强的整合性。研究区内江苏省 (除南京市外)、上海市、浙江的嘉兴和宁波市均表现出与邻近城市正向协同增长的跃迁方式, 安徽省中东部地区、浙江的衢州、绍兴和温州市均表现出与相邻城市发生负向协同增长的跃迁方向, 其他地区都与其临近城市的跃迁方向相反。

4.2.3 LISA 的时空跃迁分析 采用 Rey 提出的时空跃迁来描述 Local Moran's I 散点图在不同局部空间类型间演化的过程^[43-45], 以揭示长三角地区城镇化耦合协调度的 LISA 空间方向变化 (图 5)。

从长三角地区各城市的 LISA 路径移动方向来看, 只有 15 个城市发生了不同象限间的跃迁, 说明长三角地区的城镇化发展演化存在一定的转移惰性和路径锁定。除宿州和南京与周边城市为反向增长以外, 其他城市均与周边城市呈协同增长态势, 其中正向协同增长的城市包括苏北的连云港、徐州、淮安、盐城, 苏南的泰州、南通和浙江宁波, 迁移方向均在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间; 与相邻市域为负向协同增长的城市包括安徽的淮北、亳州、蚌埠、淮南、铜陵、和浙江绍兴, 迁移方向在 $180^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 之间, 表明长三角地区的整体耦合协调度的空间依赖特征明显。



HH (高-高): YZ (扬州)、NJ (南京)、ZJ (镇江)、CZh (常州)、MAS (马鞍山)、WX (无锡)、SH (上海)、SZ (苏州)、JX (嘉兴)、**HuZ** (湖州)、ZS (舟山)

LH (低-高): **BZ** (亳州)、ChZ (滁州)、TZ (泰州)、AQ (安庆)、宣城 (XC)

LL (低-低): **LYG** (连云港)、**XZ** (徐州)、**SuZ** (宿州)、**HA** (淮安)、YC (盐城)、FY (阜阳)、LA (六安)、CZ (池州)、HS (黄山)、**SX** (绍兴)、JH (金华)、QZ (衢州)、LS (丽水)、TaZ (台州)、WZ (温州)

HL (高-低): HB (淮北)、FY (阜阳)、**BB** (蚌埠)、HN (淮南)、HF (合肥)、NT (南通)、WH (芜湖)、**TL** (铜陵)、HZ (杭州)、**NB** (宁波)

图5 LISA时间路径移动特征

Fig. 5 The feature of LISA time path

注: 加粗字体为发生时空跃迁市场。

5 城镇化协调空间集聚形成的交互机制

长三角区域内各城市城镇化耦合协调度的空间依赖性随着时间而变化, 主要通过空间极化与均衡的类型转化而呈现出不同的集聚态势。通过对比各个城市的LISA时间路径移动特征, 并结合空间局部关系类型, 长三角地区的城镇化耦合协调度空间集聚过程大致可分为极化→均衡 (HL→LL、LH→LL、HL→HH、LH→HH)、均衡→极化 (LL→HL、LL→LH、HH→HL、HH→LH) 和稳定 (LL→LL、HH→HH、LH→LH、HL→HL) 三种状态。为探寻三种演化状态形成过程中人口、土地和经济城镇化“两两”耦合协调关系对总体城镇化耦合协调水平的影响, 本文以各演化类型城市的总体耦合协调度作为因变量 (Y), 而各演化类型城市的人口-土地、土地-经济和人口-经济城镇化耦合协调度作为自变量 (X_1 、 X_2 和 X_3) 进行回归分析 (表4)。

不同演化状态下长三角地区城镇化耦合协调水平的拟合精度高 (R^2 值均在0.99以上), 且通过了0.01的显著性水平检验。各城市演化类型的回归结果表明: ① 2001—2016年城镇化耦合协调水平处于稳定状态的城市高达26个, 占研究区域城市的半数以上 (63.41%), 在空间结构的变化过程中, 土地-经济城镇化耦合协调发展起到了关键作用 (回归系数为0.481), 而其他两者对总体城镇化耦合协调水平的影响程度相差不大; ② 城镇化耦合协调水平由均衡向极化演变的城市有8个, 占有城市数量的19.51%, 其中南京 (HH→HL) 和宿州 (HH→LH) 均从高水平均衡转向极化状态, 而其他地区则由低水平均衡转向极化。从回归结果看, 土地-经济城镇化耦合协调水平的回归系数为

表4 各类型城市演化回归分析

Tab. 4 The regression analysis of evolution types of cities

演化状态	演化类型	城市	回归系数			Adj R ²	C
			X ₁	X ₂	X ₃		
稳定	LL→LL、HH→HH、LH→LH、HL→HL	宿迁、阜阳、六安、池州、黄山、金华、衢州、丽水、台州、温州、扬州、镇江、常州、南通、马鞍山、无锡、上海、苏州、嘉兴、舟山、滁州、合肥、芜湖、宣城、杭州、淮北	0.278*** (68.092)	0.481*** (84.338)	0.251*** (45.951)	0.998	0.001
均衡→极化	LL→HL、LL→LH、HH→HL、HH→LH	连云港、徐州、淮安、盐城、绍兴、宿州、南京、湖州	0.249*** (33.747)	0.514*** (84.832)	0.266*** (36.086)	0.999	-0.009
极化→均衡	HL→LL、LH→LL、HL→HH、LH→HH	泰州、宁波、亳州、蚌埠、淮南、铜陵、安庆	0.356*** (32.497)	0.298** (14.265)	0.311*** (20.156)	0.993	0.010

注：“*”、“**”、“***”分别表示统计值在0.01、0.05、0.10水平上显著。

0.514，是这类城市从均衡到极化发展的核心驱动力；③从极化到均衡的城市有7个，占比17.07%，其中泰州（LH→HH）和宁波（HL→HH）是从极化到高水平均衡演化，表明泰州、宁波与周边地区的发展协调度不断提升，而其他5个城市的演化方向从极化到低水平均衡，与前两种演化类型相比，该类城市“两两”耦合协调度的回归系数十分接近，整体上人口-土地城镇化的耦合协调水平贡献度最大（回归系数为0.356）。

在长三角地区城市空间集聚形态演化过程中，稳定和均衡→极化演变状态下的城市主要受土地-经济城镇化耦合协调的驱动，土地作为城市发展的载体，经济作为城市发展的动力，二者的耦合协调是城市快速推进城镇化的关键。极化→均衡演变状态下的城市则更多受人口-土地城镇化耦合协调的驱动，尤其是极化→低水平均衡状态演变的城市，普遍受中心城市集聚效应的影响，人口增长和土地扩张均较大幅度的落后于长三角其他城市，从而影响了城市自身经济发展。就研究区域城市空间集聚形态整体来看，研究期间城镇化耦合协调水平处于均衡状态（HH、LL）的城市有28个，占总城市数量的68.29%；其中18个位于国家划定的长三角城市群范围内，占长三角城市群26个城市的69.23%，这一方面反映长三角地区城镇化耦合协调水平在不断向均衡化方向发展，另一方面也表明长三角城市群的影响正在向外围区域泛化。

6 结论与讨论

从耦合视角开展区域城镇化的协调发展和空间异质性研究，对探索长三角地区城镇化转型发展，推动区域新型城镇化发展及城市群构建具有重要意义。通过对长三角区域及城市间人口、土地和经济城镇化的总体耦合协调特征及时空演化和交互机制进行研究。得出如下结论：①2001年以来长三角地区人口、土地和经济城镇化整体耦合协调水平呈稳步增长态势并协同演进，总体和“两两”耦合协调度具有趋同规律，反映近几十年来中国城镇化的迅速提高是城乡人口迁移、城市规模扩大和产业结构转型发展共同作用的结果；②从长三角所在的区域看，总体城镇化耦合协调度（尤其高耦合协调区）空间集聚程度逐年增强，空间关联作用范围不断扩大，以上海为核心的城市对周边地区的

辐射作用逐渐增强, 空间格局基本形成了“一极独大、三角核心、周边低平”的城市群形态; ③从长三角地区各个城市的城镇化耦合协调水平来看, 区域整体城镇化耦合协调度的空间格局具有一定的稳定性, 各城市局部空间结构在空间依赖方向具有明显的动态性特征, 以协调增长为主; ④从长三角各个城市的时空跃迁路径来看, 绝大多数城市处于稳定的空间状态, 仅有15个城市发生了不同象限之间的跃迁, 即城市耦合协调水平存在一定的空间迁移惰性和路径锁定。⑤近16年长三角地区城镇化耦合协调度的空间集聚形态演化过程中, 无论是稳定和均衡→极化, 还是极化→均衡状态, 人口、经济均与土地的关系成为城镇化耦合协调水平主要驱动力, 一定程度上揭示出土地城镇化在中国城镇化中的重要作用。随着新型城镇化战略推进, 人口-土地-经济三者的关系将在土地资源约束性条件下发生转变, 长三角地区的城镇化耦合协调水平将走向新的演化阶段。

在中国城镇化从规模扩张向质量提升转变的关键时期, 选择长三角地区开展人口-土地-经济城镇化耦合协调演化研究, 探究其演化的时空动态性, 既可以深化新型城镇化理论研究, 也能够为调控长三角城镇化协调发展提供政策依据。由于城镇化系统的协同演进是一个相当复杂的过程, 当前也还没有一个统一的标准对其指标体系进行界定。本文人口-土地-经济城镇化评价指标的选取主要是基于长三角地区的特定情况, 立足于城镇化协调演化特征及其时空交互影响的现实研判。由于不同地区城镇化发展水平与基础有所差别, 同一地区不同性质地区的城镇化发展模式也存在差异, 因此在新型城镇转型发展中需因地制宜, 实行多元化的城镇化发展模式。

参考文献(References)

- [1] Friedmann J. Four theses in the study of China's urbanization. *International Journal of Urban and Regional Research*, 2006, 30(2): 440-451.
- [2] 陆大道, 姚士谋, 李国平, 等. 基于我国国情的城镇化过程综合分析. *经济地理*, 2007, 27(6): 883-887. [Lu Dadao, Yao Shimou, Li Guoping, et al. Comprehensive analysis of the urbanization process based on China's conditions. *Economic Geography*, 2007, 27(6): 883-887.]
- [3] 方创琳, 王德利. 中国城市化发展质量的综合测度与提升路径. *地理研究*, 2011, 30(11): 1931-1946. [Fang Chuanglin, Wang Deli. Comprehensive measures and improvement of Chinese urbanization development quality. *Geographical Research*, 2011, 30(11): 1931-1946.]
- [4] 李小建, 罗庆. 新型城镇化中的协调思想分析. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(2): 47-53. [Li Xiaojian, Luo Qing. The coordinating ideas of new-form urbanization. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(2): 47-53.]
- [5] 陈明星. 城市化领域的研究进展和科学问题. *地理研究*, 2015, 34(4): 614-630. [Chen Mingxing. Research progress and scientific issues in the field of urbanization. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 614-630.]
- [6] 姚士谋, 陆大道, 王聪, 等. 中国城镇化需要综合性的科学思维: 探索适应中国国情的城镇化方式. *地理研究*, 2011, 30(11): 1947-1955. [Yao Shimou, Lu Dadao, Wang Cong, et al. Urbanization in China needs comprehensive scientific thinking: Exploration of the urbanization mode adapted to the special situation of China. *Geographical Research*, 2011, 30(11): 1947-1955.]
- [7] Mitchell C J A. Making sense of counterurbanization. *Journal of Rural Studies*, 2004, 20(1): 15-34.
- [8] Geyer H. Expanding the theoretical foundation of differential urbanization. *Tijdschrift voor Economische En Sociale Geografie*, 1996, 87(1): 44-59.
- [9] Halfacree K. From dropping out to leading on? British counter-cultural back-to-the-land in a changing rurality. *Progress in Human Geography*, 2006, 30(3): 309-336.
- [10] Hasse J E, Lathrop R G. Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography*, 2003, 23(3): 159-175.
- [11] Stockdale A, Findlay A, Short D. The repopulation of rural Scotland: Opportunity and threat. *Journal of Rural Studies*, 2000, 16(2): 243-257.
- [12] Antrop M. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67(4): 9-26.
- [13] Alig R J, Kline J D, Lichtenstein M. Urbanization on the US landscape: Looking ahead in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69(2-3): 219-234.

- [14] Berry B J L. City size distributions and economic development. *Economic Development & Cultural Change*, 1961, 9(4): 573-588.
- [15] Marshall J D. Urban land area and population growth: A new scaling relationship for metropolitan expansion. *Urban Studies*, 2007, 44(10): 1889-1904.
- [16] Vias A C. Micropolitan areas and urbanization processes in the US. *Cities*, 2012, 29(4): 24-28.
- [17] Heikkila E J. Three questions regarding urbanization in China. *Journal of Planning Education and Research*, 2007, 27(1): 65-81.
- [18] 周一星. 关于中国城镇化速度的思考. *城市规划*, 2006, (b11): 32-35. [Zhou Yixing. Thoughts on the speed of China's urbanization. *City Planning Review*, 2006, (b11): 32-35.]
- [19] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2): 211-220. [Huang Jinchuan, Fang Chuanglin. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-220.]
- [20] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. *地理学报*, 2016, 71(4): 531-550. [Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550.]
- [21] 鲍超. 中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系. *地理学报*, 2014, 69(12): 1799-1809. [Bao Chao. Spatio-temporal coupling relationships among urbanization, economic growth and water use change in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(12): 1799-1809.]
- [22] 张宇, 曹卫东, 梁双波, 等. 长江经济带城镇化协同演化时空格局研究. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(5): 715-723. [Zhang Yu, Cao Weidong, Liang Shuangbo, et al. Research on the co-evolution temporal and spatial patterns of urbanization in Yangtze River economic belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(5): 715-723.]
- [23] 孙平军, 丁四保, 修春亮. 北京市人口-经济-空间城市化耦合协调性分析. *城市规划*, 2012, 36(5): 38-45. [Sun Pingjun, Ding Sibao, Xiu Chunliang. Analysis of the coordination of population-economy-space in Beijing. *City Planning Review*, 2012, 36(5): 38-45.]
- [24] 潘爱民, 刘友金. 湘江流域人口城镇化与土地城镇化失调程度及特征研究. *经济地理*, 2014, 34(5): 63-68. [Pan Aimin, Liu Youjin. The degree of imbalance between population urbanization and land urbanization of Xiangjiang River Basin. *Economic Geography*, 2014, 34(5): 63-68.]
- [25] 陈凤桂, 张虹鸥, 吴旗韬, 等. 我国人口城镇化与土地城镇化协调发展研究. *人文地理*, 2010, 25(5): 53-58. [Chen Fenggui, Zhang Hongou, Wu Qitao, et al. A study on coordinate development between population urbanization and land urbanization in China. *Human Geography*, 2010, 25(5): 53-58.]
- [26] 曹文莉, 张小林, 潘义勇, 等. 发达地区人口、土地与经济城镇化协调发展度研究. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(2): 141-146. [Cao Wenli, Zhang Xiaolin, Pan Yiyong, et al. Coordinate development among population, land and economy urbanization in developed area: The case of Jiangsu province. *China Population, Resource and Environment*, 2012, 22(2): 141-146.]
- [27] Liu Y, Xu J, Luo H. An integrated approach to modeling the economy-society-ecology system in urbanization process. *Sustainability*, 2014, 6(4): 1946-1972.
- [28] 李涛, 廖和平, 杨伟, 等. 重庆市“土地、人口、产业”城镇化质量的时空分异及耦合协调性. *经济地理*, 2015, 35(5): 65-71. [Li Tao, Liao He ping, Yang Wei, et al. Urbanization quality over time and space as well as coupling coordination of land, population and industrialization in Chongqing. *Economic Geography*, 2015, 35(5): 65-71.]
- [29] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼. 中国环渤海地区人口-土地-产业非农化转型协同演化特征. *地理研究*, 2015, 34(3): 475-486. [Yangren, Liu Yansui, Long Hualou. The study on non-agricultural transformation co-evolution characteristics of "population-land-industry": Case study of the Bohai Rim in China. *Geographical Research*, 2015, 34(3): 475-486.]
- [30] 李鑫, 李兴校, 欧名豪. 江苏省城镇化发展协调度评价与地区差异分析. *人文地理*, 2012, 125(3): 50-54. [Li Xin, Li Xingxiao, Ou Minghao. Evaluation of urbanization development coordination and analysis of regional disparities in Jiangsu province. *Human Geography*, 2012, 125(3): 50-54.]
- [31] 王亚华, 袁源, 王映力, 等. 人口城市化与土地城市化耦合发展关系及其机制研究: 以江苏省为例. *地理研究*, 2017, 36(1): 149-160. [Wang Yahua, Yuan Yuan, Wang Yingli, et al. Relationship and mechanism of coupling development between population and land urbanization: A case study of Jiangsu province. *Geographical Research*, 2017, 36(1): 149-160.]
- [32] Liu Y, Zhou G, Liu D, et al. The interaction of population, industry and land in process of urbanization in China: A case

- study in Jilin province. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(3): 529-542.
- [33] Sun Y, Cui Y. Analyzing the coupling coordination among economic, social, and environmental benefits of urban infrastructure: Case study of four Chinese autonomous municipalities. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 2018(4): 1-13.
- [34] 周艳, 黄贤金, 徐国良, 等. 长三角城市土地扩张与人口增长耦合态势及其驱动机制. *地理研究*, 2016, 35(2): 313-324. [Zhou Yan, Huang Xianjin, Xu Guoliang, et al. The coupling and driving forces between urban land expansion and population growth in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 313-324.]
- [35] 李晓庆, 姜博, 初楠臣. 城市群土地集约利用与新型城镇化耦合协调分析: 以我国三大城市群为例. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(7): 983-991. [Li Xiaoqing, Jiang Bo, Chu Nanchen. Analysis of coupled coordination of intensive land use and new urbanization in three major coastal cities of China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(7): 983-991.]
- [36] 贺三维, 邵玺. 京津冀地区人口-土地-经济城镇化空间集聚及耦合协调发展研究. *经济地理*, 2018, 38(1): 95-102. [He Sanwei, Shao Xi. Spatial clustering and coupling coordination of population-land-economic urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Economic Geography*, 2018, 38(1): 95-102.]
- [37] Cong H, Zou D. The research on the mechanism and spatial-temporal differentiation of the coupling coordination development based on industrial cluster agglomeration. *Cluster Computing*, 2017, 20(1): 1-19.
- [38] Cohen B. Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in society*, 2008, 28(1): 63-80.
- [39] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2002-2017. [Department of Urban Social and Economic Investigation, National Bureau of Statistics. *China City Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistical Press, 2002-2017.]
- [40] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799. [Jiang Lei, Bai Ling, Wu Yuming. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 788-799.]
- [41] 靳诚, 陆玉麒. 基于县域单元的江苏省经济空间格局演化. *地理学报*, 2009, 64(6): 713-724. [Jin Cheng, Lu Yuqi. Evolution of spatial pattern of economy in Jiangsu province at county level. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(6): 713-724.]
- [42] 郭怀成, 周丰, 刀谡. 地统计方法学研究进展. *地理研究*, 2008, 27(5): 1191-1202. [Guo Huaicheng, Zhou Feng, Dao Xu. State-of-art on geostatistical methodology. *Geographical Research*, 2008, 27(5): 1191-1202.]
- [43] Rey S J, Ye X Y. Comparative spatial dynamics of regional systems. In: Páez J. *Progress in Spatial Analysis: Theory, Computation and Thematic Applications*. Heidelberg: Springer, 2010: 441-463.
- [44] Rey S J, Janikas M V. STARS: Space-Time analysis of regional systems. *Geographical Analysis*, 2006, 38(1): 67-86.
- [45] 毕斗斗, 王凯, 王龙杰, 等. 长三角城市群产业生态效率及其时空跃迁特征. *经济地理*, 2018, 38(1): 166-173. [Bi Doudou, Wang Kai, Wang Longjie, et al. Research on industrial eco-efficiency and spatio-temporal transition characteristics of the Yangtze River Delta. *Economic Geography*, 2018, 38(1): 166-173.]

Temporal and spatial characteristics and interaction process of urbanization coordination in the Yangtze River Delta region from the perspective of coupling

FAN Qingyu^{1,2}, YANG Shan^{1,2}, HU Xin^{1,2}

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

Abstract: With the transformation of China's urbanization, how to measure the coupling and coordination relationship between population, land and economy in the process of urbanization, and explore the temporal and spatial dynamics of its evolution process, has become an important scientific issue in the study of new urbanization in human geography. By constructing the model of coupling coordination degree, based on the coordinated development level of each subsystem in the process of urbanization in the Yangtze River Delta in the past 16 years, this paper analyzes the interaction process of urbanization coupling coordination, and explores the coupling mechanism of the formation of urbanization coordination space agglomeration in the study region by using spatial variogram, LISA time-space transition and other methods. The results show that: (1) with the remarkable improvement of population, land and economic urbanization level in the region, the evolution of the overall and the coupling coordination of population-land urbanization, land-economy urbanization and population-economy urbanization degree shows a steady convergence phenomenon; (2) the spatial agglomeration degree of the coupling coordination degree of urbanization is increasing year by year, and the scope of spatial correlation has been expanding continuously, basically forming a spatial pattern of "one pole alone, triangle core, peripheral low-level"; (3) from the perspective of the urbanization coupling level transition path of each city, most of the cities show a synergistic growth trend, indicating that the overall coupling coordination degree has obvious path dependence and space locking characteristics; (4) the evolution of urbanization coupling coordination level from the stability and equilibrium to polarization agglomeration state mainly comes from the interaction of land-economy, and the evolutionary power from polarization to equilibrium state comes more from population-land interaction. The study of the interaction process and mechanism of urbanization coordination provides a theoretical basis and direction for the construction and coordinated development of the Yangtze River Delta urban agglomeration.

Keywords: urbanization; coupling coordination degree; LISA time path; Yangtze River Delta region