

地理学报
Acta Geographica Sinica
ISSN 0375-5444, CN 11-1856/P

《地理学报》网络首发论文

题目：长江经济带城市扩张的时空分异特征及影响机制
作者：张敏，杨励雅，胡卓玮，杨子情
收稿日期：2023-01-16
网络首发日期：2023-12-04
引用格式：张敏，杨励雅，胡卓玮，杨子情. 长江经济带城市扩张的时空分异特征及影响机制[J/OL]. 地理学报. <https://link.cnki.net/urlid/11.1856.P.20231201.1524.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

长江经济带城市扩张的时空分异特征及影响机制

张 敏¹, 杨励雅¹, 胡卓玮², 杨子情²

(1. 中国人民大学公共管理学院, 北京 100872; 2. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要：城市人口增长被普遍认为是驱动城市空间扩张的重要因素, 明晰城市扩张的时空分异特征以及城市人口规模与城市用地扩张的关系是优化城市空间结构、抑制城市用地无序扩张的前提。基于卫星影像识别长江经济带包含城市生态空间的的城市用地, 采用空间分析方法和计量模型, 在分析长江经济带1990—2020年城市扩张时空分异特征的基础上, 探索不同区域城市人口规模与城市扩张的关系。研究发现: ① 2015年之后长江经济带的城市扩张速度大幅下降, 中上游城市表现出明显不同于下游地区的城市扩张时序特征, 2010年之后上游扩张速度超过中游。空间上, 长江经济带城市扩张规模存在明显的空间分异, 高速扩张区由东向西移动, 中上游与下游间的城市用地规模差异趋于收敛; 下游城市扩张存在较强的空间依赖性, 中上游未表现出显著的空间自相关; ② 不同区域城市人口规模与城市扩张变化率之间的关系存在显著差异, 上游呈负相关关系, 中下游呈“U”型关系, 表明上游城市人口规模尚未出现明显的过度扩张, 而中下游部分城市已出现人口过度扩张, 中游城市居民对城市舒适度的关注度和敏感度更高。最后, 研究分区域提出政策建议, 为城市精准施策、推动城市高质量发展提供科学参考。
关键词：城市扩张; 时空分异; 城市人口规模; 固定效应模型; 扩张差异指数; 长江经济带

1 引言

城市化的本质是人口向城市集中的过程^[1], 联合国《新城市议程》指出, 目前全球人口正在由农村向城市不断聚集, 城市规模以空前的速度扩张。1978年改革开放以来, 中国城市化水平不断提高, 截至2022年底, 中国常住人口城市化率已达到65.22%^[2]。城市空间扩张是城市化过程中城市地域空间向外的推进与扩展^[3], 其快速扩张为城市物质资本积累和经济的高速发展创造了良好条件, 但同时长期粗放外延式扩张给城市的资源、环境等带来巨大冲击, 并引发了一系列的城市和社会问题^[4-6]。为有效预防和治理“城市病”、引导城市空间有序扩张, 国务院于2014年发布了《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》, 提出“转变城市发展方式”、“严格控制新增城镇建设用地规模”, 城市空间扩张的时空格局及驱动机制成为城市化研究关注的重点问题。

现有关于城市用地扩张的研究主要集中在3个方面: ① 城市用地扩张的时空特征及演化分析^[7-9]; ② 城市用地扩张的驱动机制研究^[10-13]; ③ 关注城市空间扩张带来的社会、经济、气候、生态环境等效应^[14-17]。其中针对城市空间扩张时空格局及演化的研究从数据源上可分为基于统计数据的研究^[18-20]和基于卫星遥感数据的研究^[21-24], 基于统计数据的研

收稿日期: 2023-01-16; 修订日期: 2023-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(72074215); 国家重点研发计划(2018YFC1508902) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.72074215; National Key R&D Program of China; No.2018YFC1508902]

作者简介: 张敏(1991-), 女, 四川乐山人, 博士生, 主要从事城市交通与土地利用研究。E-mail: zhangmin619@ruc.edu.cn

通讯作者: 杨励雅(1978-), 女, 安徽亳州人, 博士, 教授, 主要从事交通与土地利用研究。E-mail: yangliya@ruc.edu.cn

究常受限于数据缺乏足够的空间信息,难以满足城市扩张空间格局分析的需求;基于卫星遥感数据的研究多将夜间灯光数据^[22, 25]、不透水面^[26-27]或建成区^[28]作为城市用地,对城市生态空间(公园、绿地、河流、郊野公园等)考虑不足,多未将其纳入城市用地范围。

城市化是一个动态多维的社会空间过程^[29],受到社会、经济、自然、政治等因素的综合影响。在这些因素中,城市人口增长被普遍认为是驱动城市空间扩张的重要因素,有研究发现城市空间扩张更多是由人口增长驱动而非经济增长^[13]。然而,已有研究对城市人口增长与城市用地扩张之间关系的理解还不够充分。随着城市人口规模的不断扩大,城市用地扩张速度是否会出现显著变化?是加速增长还是减速增长?这种关系在不同地理位置的城市间是否存在显著差异?根据联合国预测,到2035年中国城市化率将达到74%,预示着在未来10年将有超过1亿农村人口进入城市。尽管部分特大、超大城市已出台相关政策控制城市人口规模,但研究表明东部沿海经济发达地区仍然是人口迁移的主要流入地^[30]。人口增长带来的城市用地压力和资源环境压力将为高质量实现新型城镇化战略目标带来挑战,因此迫切需要了解这种大规模的城市人口变化对城市用地扩张的影响,为制定有效应对这一挑战的城市规划和政策提供科学基础。

Friedmann指出人口规模的差异会导致城市增长的极大不一致^[29]。大量学者从经济要素分析城市人口增长带来的城市用地需求变化,其中一部分学者将劳动力作为外生要素,认为城市人口增长直接导致城市用地需求增加;另一部分学者则将人力资本(劳动力)作为内生要素,认为城市人口的集聚和扩大会促进专业化程度的提升和科技创新,使得经济增长对土地财政的依赖度下降^[31-32],降低城市扩张变化率^[33]。近年来不少学者关注非经济要素(如空气质量、生态环境、公共服务等)对劳动力迁移决策的影响,认为随着生活水平和收入的提高,城市舒适度成为影响居民就业和居住迁移决策的重要因素^[34]。过度的人口规模会带来城市的“拥挤效应”,造成城市化质量和中心城区的舒适度下降^[35],而人们对开敞空间、高品质公共服务和舒适物的追求会驱动城市空间加速扩张^[36]。尽管国内外学者针对人口规模与城市空间扩张开展了大量研究,但对非经济要素的关注不足,城市扩张变化率与人口规模的关系仍不清楚。

长江经济带作为中国重大的国家战略发展区域,正面临着城市扩张过快、城市空间结构不尽合理等问题^[37],长三角城市群95%的城市已经发生城市蔓延^[38],严重制约着未来城市和区域的可持续发展。长江经济带横跨东中西部,长期面临发展不协调不平衡的问题,为实现全面建成小康社会的百年奋斗目标以及实现社会经济的可持续发展,国家提出新型城镇化、区域协调发展理念,随着西部大开发战略、“一带一路”倡议的实施,长江经济带的人口结构和城市空间格局正在被不断重塑。在此背景下,深入研究长江经济带城市用地扩张的时空分异特征,把握城市人口规模与城市空间扩张变化率的关系,对理解区域城市化发展阶段、抑制城市用地无序扩张、促进区域可持续发展具有重要意义。

目前已有不少学者对长江经济带城市空间扩张的时空演变格局和驱动机制进行了研究^[39-42],但相关研究多以城市群^[43]、单一省份^[44]或重点城市^[45]为研究对象,对长江经济带全域大尺度的研究仍显不足。现有将研究尺度扩展到长江经济带全域的研究中,研究时序短监测时点少,且涉及2015年之后的城市扩张监测明显不足,还需要更长时序、更高时间频次的城市监测,以挖掘更精细的城市演变特征。此外,已有研究一致发现,过去几十年长江经济带各级城市用地均呈现扩张态势且城市扩张强度存在明显的时空分异,但驱动机制的研究多关注城市用地面积、扩张面积等面积指标,对扩张速度的关注较少。

鉴于此,本文以长江经济带126个地级及以上城市为研究对象,基于Landsat TM/OLI遥感影像数据,构建城市用地信息提取规则,将具备城市休闲游憩功能的生态空间

纳入城市用地。综合运用GIS技术和空间分析方法研究长江经济带不同尺度下城市扩张的时空分异特征。在经济增长理论的基础上引入空间均衡理论,构建人口规模与城市扩张变化率关系的理论框架,以城市扩张差异指数表征城市扩张变化率的区域差异,运用双向固定效应模型对理论假设进行实证检验和异质性分析。最后,从促进城市空间有序开发和区域协调发展的角度,探索性地提出政策建议,以期为长江经济带不同尺度的城市发展与规划提供参考。

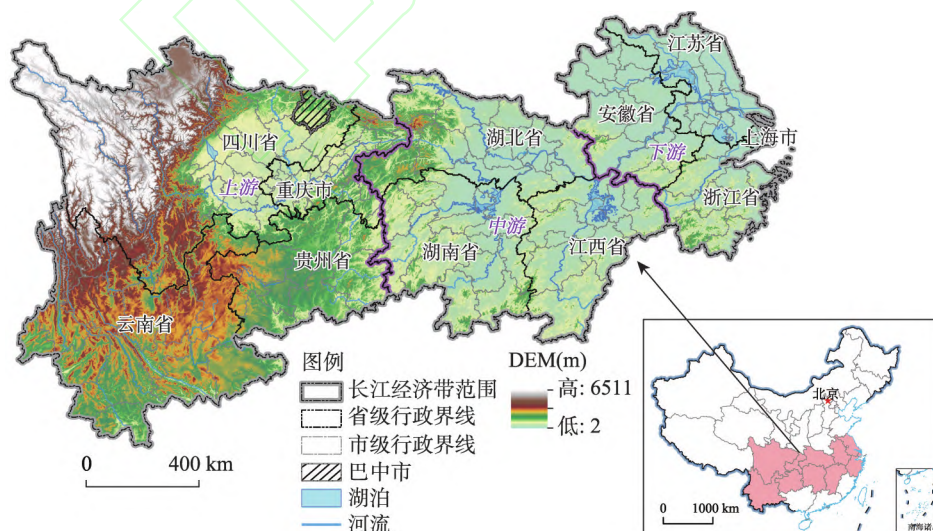
2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区域

长江经济带已发展成中国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。长江经济带横跨东中西三大区域,从上游到下游涵盖四川省、云南省、贵州省、重庆市、湖北省、湖南省、江西省、安徽省、江苏省、上海市共11省市127个地级及以上行政单位^①,总面积约203.9万km²。本文以除巴中市外的126个地级及以上行政单位作为研究对象^②。按照城市所处的流域位置,将长江经济带分为下游、中游和上游地区(图1),并以此分区开展下文区域尺度的研究。

2.2 数据来源及数据处理

研究采用1990年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年的Landsat TM/OLI影像数据提取城市用地信息,影像数据来源于美国地质勘探局的数据共享网站(<http://earthexplorer.usgs.gov/>),各监测时点均选取无云、少云日影像,影像时相以当年5—6月份为主,4月份、7—9月份为辅。所有影像数据均经过几何校正、正射校正和影像镶嵌等预处理,形成各监测时点研究区的全覆盖影像数据。90 m分辨率的DEM数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)。社会经济数据主要来源于《中国城市统



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1831号的标准地图制作,底图边界无修改。

图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area (Yangtze River Economic Belt)

- ① 本文将湖北省的4个省直辖县级行政单位(仙桃市、潜江市、天门市、神农架林区)视为等同于1个地级行政单位。
② 巴中市由于2000年影像质量低下,影响城市用地信息提取,不参与本次研究。

计年鉴》和各城市的统计年鉴，部分缺失数据从各城市的《国民经济与社会发展统计公报》中获取。经济数据全部经过物价指数修正。

2.3 城市用地信息提取

研究首先采用面向对象分类方法自动提取各监测时点的城市用地图斑，其次采用人工目视判读对自动提取结果进行修正和优化。人工目视判读时，将遵循以下原则的地物判定为城市用地（图2）：① 与市政府驻地完全连片的建成区域，② 距①类图斑边缘 $\leq 5\text{ km}$ 且面积 $>0.5\text{ km}^2$ 的集中连片建设用地，③ 距①类图斑边缘 $\geq 5\text{ km}$ 且面积 $>1\text{ km}^2$ 的集中连片建设用地（新城新区、工业园区等），④ 与区县政府驻地连片的建成区域，⑤ 与上述4类图斑连片的城市公园、郊野公园。最终形成6个监测时点各城市的城市用地矢量数据（图3）。

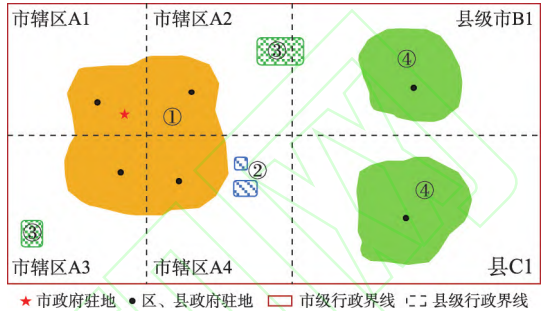


图2 目视判断规则示意图

Fig. 2 Schematic diagram of visual interpretation rules

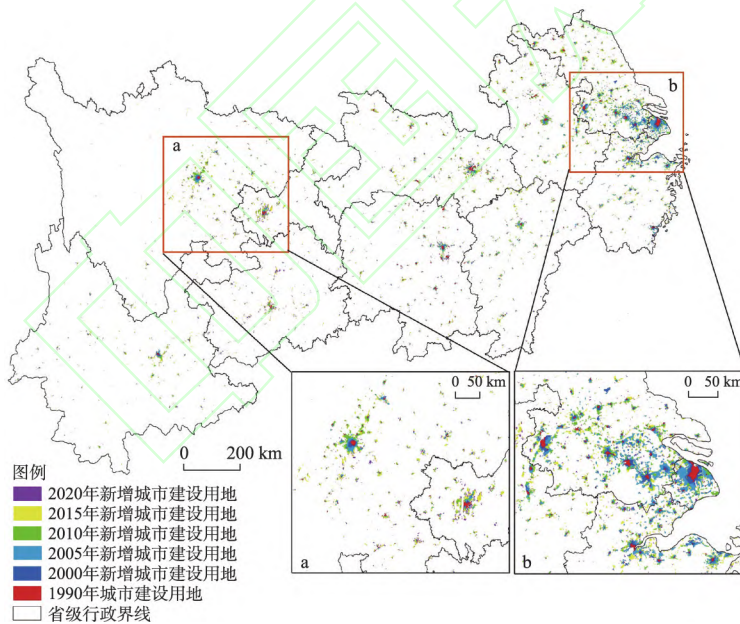


图3 长江经济带城市用地空间分布格局及演化

Fig. 3 Distribution pattern and spatial evolution of urban land in the Yangtze River Economic Belt

3 研究方法

3.1 城市扩张时空分异特征分析

城市用地扩张时空分异特征包括时序动态性和区域差异性^[46]。本文通过扩张速度来研究城市扩张在时间序列上的波动特征，通过核密度估计、扩张差异指数、空间自相关分析来研究长江经济带城市扩张的区域差异性和演变格局。

3.1.1 扩张速度 扩张速度 (Expansion Speed, ES) 指城市用地在某一时段内的年均扩张面积^[47]，能直观反映城市用地的变化程度。计算公式为：

$$ES_i = \frac{ULA_i^{t_2} - ULA_i^{t_1}}{\Delta T} \quad (1)$$

式中: ES_i 为某一时期城市 i 的城市用地扩张速度; $ULA_i^{t_1}$ 和 $ULA_i^{t_2}$ 分别代表 t_1 、 t_2 时刻城市 i 的城市用地面积; ΔT 为 t_1 到 t_2 的间隔年份。

3.1.2 核密度估计 核密度估计 (Kernel Density Estimation, KDE) 是基于数据密集度函数聚类算法的一种空间密度分析方法, 通过计算空间中任一点周围一定范围内观测数据的密度来分析观测对象的空间分布态势, 距离中心点越近被赋予的权重值越高, 中心点的估计密度为该区域内所有点的加权平均密度^[48]。KDE 的表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{n \times h} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{D_{ij}}{h}\right) \quad (2)$$

式中: $f(x)$ 为空间上任意一点 x 的核密度; $k(\frac{D_{ij}}{h})$ 为核函数; h 为距离衰减阈值 (即带宽); D_{ij} 表示 h 范围内点 j 到中心点 i 的距离; n 为 h 范围内点要素数量。

本文以城市用地图斑质心为点, 将图斑面积作为属性值, 分析长江经济带城市用地的空间集聚特征, 并识别长江经济带城市用地的核心区。采用自然断点法 (Jenks) 将核密度估计结果按密度值由低到高分 1~10 级, 将 8~10 级作为城市建设的主核心区, 5~7 级作为次核心区, 3~4 级作为微型核心区, 1~2 级为低值区。在进行核密度分析时, 带宽的选择将直接影响分析结果^[49], 本文通过多次实验选取 200 km 作为带宽, 认为在此带宽下的核密度估计结果能够满足长江经济带城市用地集聚特征分析的需要 (图 4)。

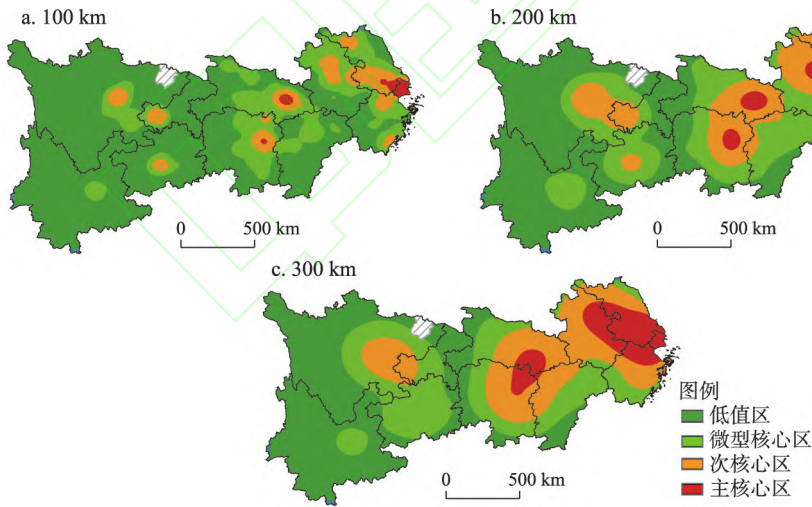


图 4 长江经济带不同带宽下的城市用地核密度估计结果对比

Fig. 4 Comparison of KDE under different bandwidths in the Yangtze River Economic Belt

3.1.3 扩张差异指数 扩张差异指数 (Urban Expansion Difference Index, UEDI) 表示某一空间单元的城市扩张变化率与长江经济带全域的城市扩张变化率的比值, 该指数使同一时期不同城市的扩张变化率具有可比性, 反映特定城市在区域内的相对扩张变化率, 用以分析城市用地扩张的空间差异^[50-52]。数学表达式为:

$$UED_i = \frac{LDC_i}{LDC} = \frac{|ULA_i^{t_2} - ULA_i^{t_1}| \times ULA_i^{t_1}}{|ULA^{t_2} - ULA^{t_1}| \times ULA_i^{t_1}} \quad (3)$$

$$LDC_i = \frac{|ULA_i^{t_2} - ULA_i^{t_1}|}{ULA_i^{t_1} \times \Delta T} \quad (4)$$

式中： UED_i 表示某一时期城市*i*的城市扩张差异指数； LDC_i 、 LDC 分别代表城市*i*和长江经济带全域的城市扩张变化率， ULA^{t_1} 、 ULA^{t_2} 分别表示 t_1 、 t_2 时刻长江经济带全域的城市用地面积。

3.1.4 空间自相关分析 空间自相关分析可以有效揭示城市扩张的空间依赖性，包括全局空间自相关和局部空间自相关^[53]。本文采用全局 Moran's *I* 指数来描述整个空间序列的空间依赖性，其计算公式为：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n ((Y_i - \bar{Y})^2)}{n} \quad (6)$$

式中： n 为城市个数； Y_i 、 Y_j 分别表示城市*i*和城市*j*的扩张面积； \bar{Y} 表示区域内各城市的平均扩张面积； W_{ij} 为 Queen 邻接空间权重矩阵（邻接为1，否则为0）； S^2 为所有样本的方差。全局 Moran's *I* 的取值范围为 $[-1, 1]$ ，其值显著大于0表示区域内的城市扩张存在正向的空间自相关，即存在高值与高值的聚集或低值与低值的聚集，Moran's *I* 值显著小于0表示负自相关，即高值与低值相邻；当 Moran's *I* 值接近于0，则表示空间分布是随机的，不存在空间自相关。

全局空间自相关分析结果受可变面积单元问题（Modifiable Areal Unit Problem, MAUP）的影响，不同研究尺度的 S^2 和 \bar{Y} 不同，可能会得到完全不同的空间自相关研究结果^[54]。为了充分分析长江经济带城市扩张规模的空间关联和异质性，本文分别对全域尺度和区域尺度分别进行空间自相关分析。

全局空间自相关无法揭示集聚发生的具体空间位置^[55]，为考察城市扩张规模与邻近城市的空间关联与异质性特征，对具有显著全局空间自相关的区域进一步进行局部空间自相关分析。本文使用局部 Moran's *I* 指数结合 Getis-Ord G_i^* 来识别不同空间单元城市扩张面积的空间聚集情况和冷热点的空间分布，计算方法为：

$$I_i = \frac{(Y_i - \bar{Y})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_j - \bar{Y}) \quad (7)$$

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} Y_j}{\sum_{j=1}^n Y_j} \quad (8)$$

式中， I_i 为城市*i*的局部 Moran's *I* 指数， I_i 可形成4种聚类模式：“高一高”聚集、“低—低”聚集、“高一低”聚集和“低—高”聚集，由此形成的局部空间关联分布图能直观呈现局部区域中变量的集聚和分异特征。当 $G_i^* > 0$ 时，为扩张热点区，值越大空间聚集态势越明显；反之当 $G_i^* < 0$ 时，为扩张冷点区。

3.2 人口规模对城市扩张变化率的影响机制分析

3.2.1 理论分析 资源经济学认为自然资源消耗的根本驱动因素是人口增加与经济发展^[56]，土地作为最重要的自然资源，城市空间在人口增长和经济发展带来的用地需求的驱动

下,不断向外推进。因此,引致城市扩张变化率发生改变的根本原因在于城市发展对土地资源需求的改变。Mahtta 等对全球 300 余个城市的用地扩张进行研究发现城市空间扩张更多是由人口增长驱动而非经济增长^[13]。

在快速城市化初期,城市人口规模相对较小,人口城市化和外来人口迁入使得大量人口和产业向城市聚集,集聚产生的“规模效应”有助于提高资源配置效率和生产率、增加就业岗位、提高城市工资水平。新经济迁移理论认为,城市的工资性收入和就业机会是吸引劳动力流入的主要因素,因此,规模效应会进一步吸引更多的劳动力进入城市,城市规模不断扩大,由此带来的巨大的住房、企业选址、基础设施和公共服务等用地需求,使得边际收益较低的农村土地不断向边际收益较高的城市用地转化^[57],城市空间高速扩张。因此在快速城市化进程的早期,城市往往拥有较高的用地扩张变化率。

集聚效应不会带来长期的经济增长^[58],受有限资源的约束,随着城市人口规模的持续扩大,城市发展空间不断缩小,在具有高地租潜力的地区,土地所有者和开发商之间的竞争愈演愈烈,助推城市地租的不断上升,导致企业生产成本增加、集聚规模报酬降低,高用地需求、低效益的企业逐渐向中小城市转移,高度集约和高产出的服务业则成为大城市经济增长的主导力量,对劳动力的吸纳能力更强;另一方面,内生增长模型认为城市人口的集聚和扩大会促进专业化程度的提升和科技创新,驱动产业结构由传统低技能产业向生产率更高的高新技术产业转变,成为城市经济增长的内生动力^[59],使得经济增长对外生土地资源的依赖度下降,城市用地需求降低,城市空间扩张变化率随之降低。

受城市综合承载力的制约,过度增长的城市人口会带来“拥挤效应”,这种“拥挤效应”会显著降低中心城区的城市化质量,带来城市集聚的不经济和城市居民生活质量的下降^[35]。居民生活质量是体现舒适度的重要因素,有研究基于 Tiebout “用脚投票”理论发现具有更高生活质量的地区更容易吸引劳动力的流入^[60]。根据 Rosen-Roback 的城市空间均衡理论,当收入受到约束时,劳动力的区位选择受到生活成本(住房成本、通勤成本等)和舒适度的影响,城市舒适度的降低会打破均衡,促使人们做出迁移决策以达到新的均衡。随着人们对于城市舒适度需求的提升,中心城区居民的区位选择总效用逐渐降低,就业和居住的区位选择逐渐郊区化,使得郊区用地需求上升,形成城市空间向外扩张的新动力。

基于上述理论分析,构建本文城市扩张影响机制的理论分析框架(图 5),并提出假设:当城市化发展到一定阶段后,在其他条件不变的情况下,城市人口规模与城市空间扩张变化率呈“U”型关系。

3.2.2 模型构建和变量选择 本文采用双向固定效应模型(Two-way Fixed Effects Model, Two-way FE)对上述理论假设进行检验。双向固定效应模型可以结合时间序列数据和横截面数据分析个体间的差异和个体动态性,同时有效扩大样本量。当同时存在不随时间变化但随个体而变的遗漏变量以及随时间变化但不随个体变化的遗漏变量时,双向固定效应模型可以有效捕捉个体间不可观测的异质性以及个体的时间异质性^[61],提高模型的估计精度。其基本表达式为:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + z'_i\delta + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中: y_{it} 为被解释变量; x'_{it} 为可观测的随时间和个体而变的解释变量; z'_i 为可观测的不随时间而变的解释变量; β 和 δ 为待估计参数; μ_i 、 λ_t 和 ε_{it} 分别表示个体固定效应、时间固定效应和随时间而变的扰动项。双向固定效应模型假设 μ_i 与任一解释变量相关,本文采用稳健 Hausman 检验对这一假设进行验证。

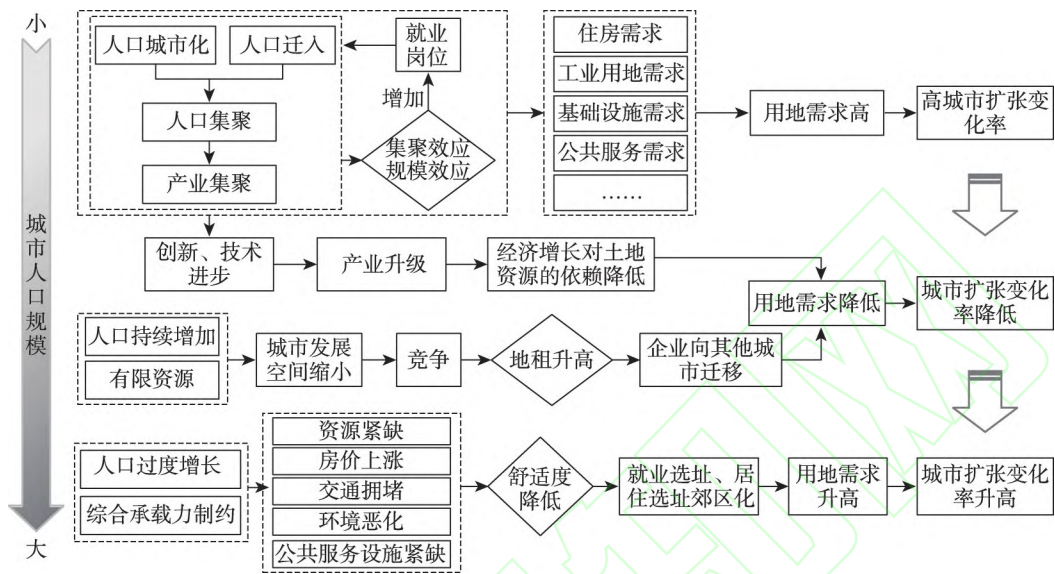


图5 城市人口规模与城市用地扩张变化率关系的理论框架

Fig. 5 Theoretical framework of the relationship between urban population size and urban expansion change rate

本文将城市扩张差异指数作为被解释变量，用以反映城市扩张变化率的区域差异。将*t*时段内的平均市辖区常住人口作为解释变量，表征城市人口规模，为了检验城市扩张变化率与城市人口规模的“U”型关系，模型中加入市辖区常住人口的平方项。城市空间扩张是多种因素经过复杂时空耦合的结果，已有研究表明自然地理、社会经济、交通等因素均对城市空间扩张产生影响，为了控制遗漏变量导致模型估计结果的偏误，本文在回归模型中加入了多个影响城市空间扩张差异的控制变量，包括平均产业结构升级指数、平均GDP、平均实际使用外资额、平均公路里程、平均地形起伏度。解释变量和控制变量的说明详见表1。因此，本文构建的双向固定效应回归模型的表达式为：

$$UEDI_{it} = \alpha_1 \times Upop_{it} + \alpha_2 \times Upop_{it}^2 + \beta_1 \times ISUI_{it} + \beta_2 \times GDP_{it} + \beta_3 \times FDI_{it} + \beta_4 \times RM_{it} + \beta_5 \times RDLS_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

(10)

式中：*UEDI_{it}*表示城市*i*在*t*时段的扩张差异指数； α_1 、 α_2 为解释变量的待估计参数， β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 和 β_5 为控制变量的待估计参数。

表1 变量描述与说明

Tab. 1 Variable descriptions and specifications			
变量类别	变量名称	符号	变量说明
解释变量	平均市辖区常住人口	<i>Upop</i>	表征城市人口规模，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段各年市辖区常住人口的均值(百万人)
控制变量	平均产业结构升级指数	<i>ISUI</i>	表征产业结构的升级度，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段产业结构升级指数的均值，其中产业结构升级指数为第三产业增加值与第二产业增加值的比值 ^[35]
	平均GDP	<i>GDP</i>	表征地区经济发展情况，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段各年GDP的均值(百亿元)
	平均实际使用外资额	<i>FDI</i>	表征经济全球化，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段各年实际使用外资额的均值(百万美元)
	平均公路里程	<i>RM</i>	表征交通条件，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段各年建成并通车的公路总里程数的均值(百km)
	平均地形起伏度	<i>RDLS</i>	表征自然地理因素，为城市 <i>i</i> 在 <i>t</i> 时段各年城市用地范围内的地形起伏度的均值(m)。其中地形起伏度的计算方法为：以DEM为数据源，采用窗口分析法，将5×5作为分析窗口提取城市用地范围内各栅格的地形起伏度，最后通过求取平均值得到各监测时点各城市用地的地形起伏度数据

4 结果分析

4.1 长江经济带城市扩张时序演变特征

长江经济带城市用地面积持续增加, 从1990年的5230.74 km²增加到2020年的47480.70 km², 增长率高达808%。总体上长江经济带全域的城市空间扩张速度呈“增加—减少—增加—减少”的波动式演变规律(图6c), 2010—2015年是近30年来长江经济带城市扩张速度最快的5年。

不同区域表现出不同的时序演变特征(图6、图7), 下游地区城市用地面积和扩张速度均远大于中上游。20世纪90年代, 伴随着全球经济冷战的结束, 大规模以制造业为代表的工业中心开始向长三角沿海城市布局 and 转移, 以上海、苏州、宁波为代表的沿海商贸城市迅速崛起, 但整体上1990—2000年这一阶段各区域城市用地扩张均相对缓慢。21世纪初, 随着中国加入世界贸易组织和互联网时代的到来, 长三角地区形成以制造业、国际贸易为主导的外向型工业经济发展模式, 城市的集聚效应和规模效应大大提升, 以上海、苏州、无锡、嘉兴为代表的13个城市在2000—2005年快速扩张并达到其城市扩张速度的峰值(图7), 同时这一阶段也是下游地区城市扩张速度最快的5年。受2008年金融危机的影响, 2005—2010年间下游地区城市扩张速度大幅下降; 2010年之后上海、无锡、苏州等地的经济开始向服务型经济转型, 城市扩张速度缓慢平稳下降, 而南京、常州、杭州、宁波、嘉兴、湖州、金华在金融危机影响缓解后的2010—2015年制造业和贸易复苏, 城市扩张速度再次提升; 下游地区西北部城市在2005—2015年间城市扩张速度迅速上升。

中上游地区城市扩张速度演变特征明显不同于下游地区, 均在1990—2015年呈上升趋势, 2015年后迅速下降; 对比中上游城市扩张速度发现, 在各时段两个区域的城市扩张速度相差不大, 但在2010年之前中游地区城市扩张速度大于上游地区, 2010年后上游

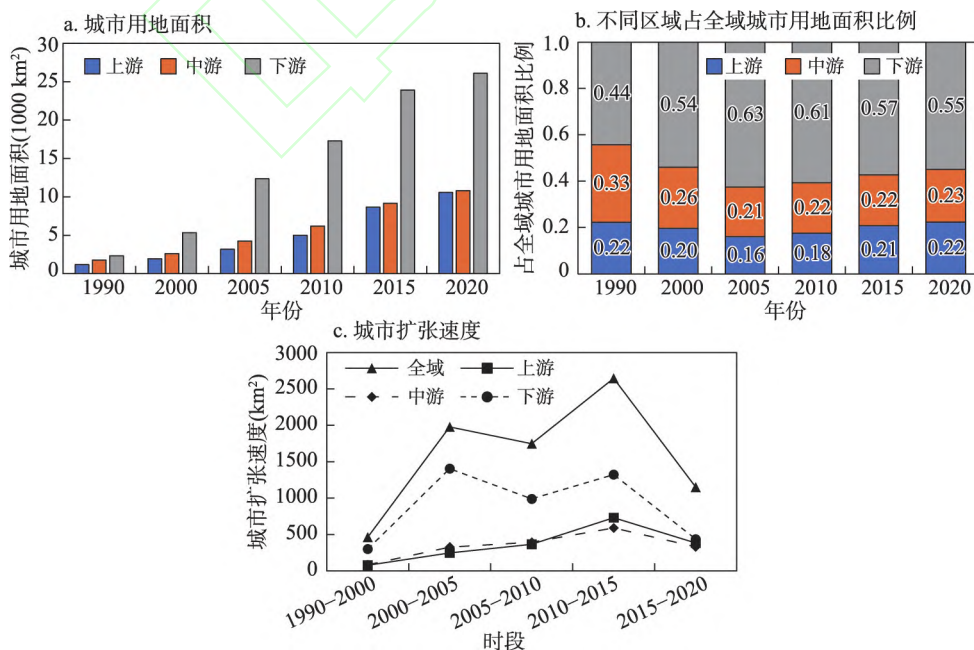


图6 长江经济带城市扩张时序演变统计图

Fig. 6 The temporal evolution of urban expansion of the Yangtze River Economic Belt

地区赶超中游地区。从图7可以看出,中上游地区除省会城市和重要的资源型、旅游型城市外,大部分城市用地大规模扩张较晚。

不难发现,在2010年之前长江经济带全域的城市扩张速度主要受下游地区影响,而2010年之后随着中上游城市的崛起和下游地区城市空间结构的调整,长江经济带全域的城市扩张速度主要受中上游地区城市影响。值得注意的是,2015年之后各区域的城市扩张速度均大幅度下降,可能的原因是,2014年的国家新型城镇化规划(2014—2020年)和2015年中央城市工作会议均强调转变城市发展方式、严格控制新增城市用地规模,此后长江经济带各省的开发建设方式开始由“粗放型”外延式发展逐步向“集约型”内涵式发展转变,城市建设重点也逐步从房地产主导的增量建设向提升城市品质的存量更新改造转变。但从城市尺度看(图7),上游地区大部分地级行政区在2015—2020年这一阶段仍然维持相对较高的年均扩张面积。

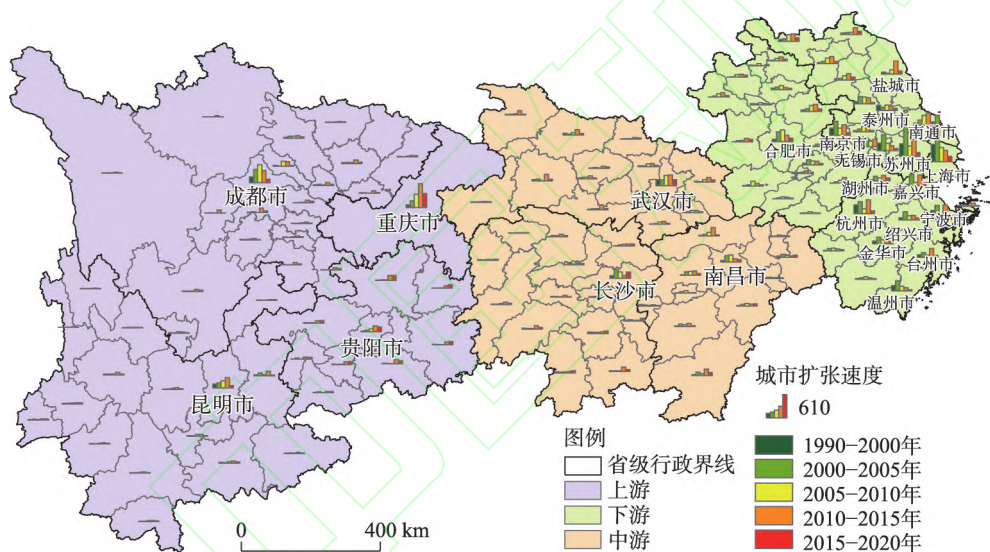


图7 长江经济带地级以上行政区的城市扩张速度统计

Fig. 7 The temporal evolution of urban expansion speed of cities at and above the prefecture level in the Yangtze River Economic Belt

4.2 长江经济带城市扩张空间演变格局

4.2.1 三大区域已形成明显的城市建设核心区 从图8可以看出,下游长三角地区始终是长江经济带规模最大的城市用地主核心区。1990年城市用地在长江经济带形成3个主核心区、2个次核心区和1个微型核心区,主核心区分别位于下游地区“上海市—滁州市”形成的带型区域、中游的武汉市和长沙市,其中武汉市和长沙市之间由密度值较高的次核心区连接;2个独立的次核心区位于长江经济带上游的成渝经济圈和贵阳市。2000年中上游省会城市的核心地位降低,以武汉市和长沙市为中心的区域降为次核心区,成渝经济圈的次核心区域缩小至成都市,而贵阳市则降为微型核心区。到2005年中上游城市的核心地位进一步降低,长江经济带已无次核心区,微型核心区域也同步缩小。从2010年开始,中上游省会城市的核心地位逐渐增强,2010年成都市和武汉市提升为次核心区,微型核心区域扩大。2015年武汉市和成都市的次核心区域扩大,成都市与新形成的次核心区重庆市呈现连片趋势。到2020年成都市和重庆市形成连片次核心区,并与贵阳市的微型核心区连片,在长沙市和南昌市形成新的次核心区。

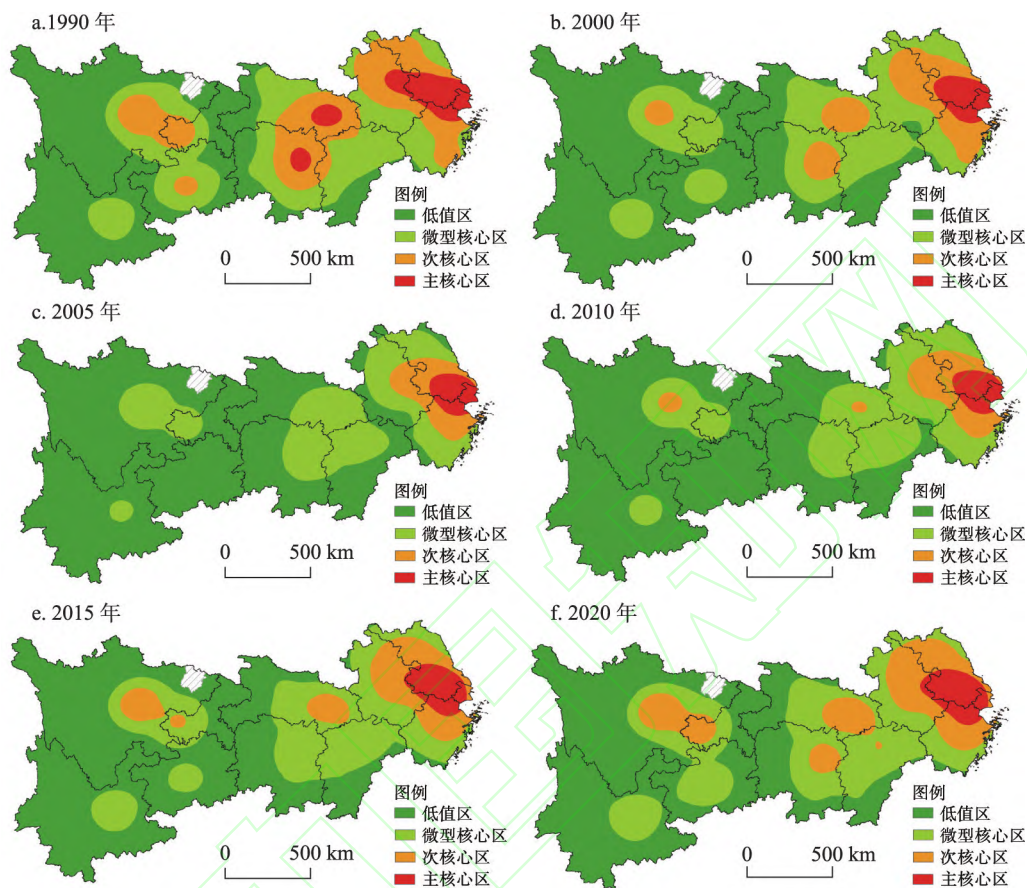


图8 1990—2020年长江经济带城市用地核密度分布

Fig. 8 Kernel density distribution of urban land in the Yangtze River Economic Belt from 1990 to 2020

总体上, 长江经济带上、中、下游的城市用地呈现不同的空间聚集特征, 三大区域已形成明显的城市用地核心区, 均呈现“大集聚和小分散”的团块空间格局, 各阶段均表现出一个或多个聚集中心, 有的独立分布, 有的连片分布, 从连片聚集程度看, 下游>中游>上游。长江经济带城市用地经历了“轴线式扩张—点源聚集增长—轴线式扩张”的空间变化过程。1990—2005年下游地区与中上游地区城市建设规模差距逐渐拉大, 导致中上游重点城市在长江经济带全域的核心地位下降; 伴随着长三角地区经济发展对内陆城市的辐射和带动, 以及一系列国家倾向性发展政策的提出, 中上游城市快速发展, 城市规模与下游城市规模差距逐渐缩小, 在重点城市逐渐形成城市建设核心区并逐渐扩大。

值得注意的是, 尽管近年来长江经济带中上游城市的聚集性增强, 但除成都—重庆外, 其他地区并未出现明显的高值聚集趋势, 各市单独发展, 没有形成区域连片发展格局, 在一定程度上表明长江经济带中上游核心城市对周边城市的辐射带动作用不强, 城市群内各城市协调发展还有待提升。

4.2.2 高速扩张区由东向西移动 本文借鉴已有研究^[62], 根据扩张差异指数大小, 将各地级行政区的城市扩张划分为高速扩张 (>2.0)、快速扩张 (1.2~2.0)、中速扩张 (0.8~1.2)、低速扩张 (0.4~0.8) 和缓慢扩张 (<0.4) 5种类型。从图9可以看出, 总体上高速扩张区域重心由东向西移动, 1990—2000年区域整体上城市扩张的空间关联性和聚集性

不强，高速和快速扩张区分散（图 9a），在长三角城市群形成从连云港到温州南北走向的带状聚集区，在西部形成以保山市、德宏傣族景颇族自治州为核心的“高速—快速—中速”扇形扩张圈，而中部扩张活跃区呈“跳跃式离散”分布。相较于 1990—2000 年，2000—2005 年的扩张热点明显减少，东部的“高速—快速”扩张聚集区南移，并与江西境内新形成的快速扩张聚集区连片，另外贵州省六盘水市以南形成小规模扩张聚集区；其余地区以低速扩张和缓慢扩张为主（图 9b）。2005—2010 年长江经济带的城市扩张空间聚集性明显增强，在东、中、西形成 3 个“高速—快速”扩张热点区（图 9c），中速扩张城市连接了 3 个扩张热点区。2010—2015 年“高速—快速”扩张区主要聚集在四川省、贵州省、云南省、重庆市、湖北省，省会城市的扩张差异指数明显低于其他城市，说明在这一阶段省会城市的城市扩张变化率普遍趋于稳定，而三、四、五线城市进入城市快速发展时期，成为长江经济带扩张活跃的重点地区。2015—2020 年高速、快速扩张区主要集中在云南省西部、四川省东南部、重庆市、贵州省和湖南省，贵州省全域均为高速扩张，而长三角地区城市几乎全部成为“低速—缓慢”扩张区。

4.2.3 城市用地扩张规模的空间自相关分析 本文分别计算不同监测时段长江经济带全域、上游、中游、下游城市扩张规模的全局 Moran's *I* 统计量（表 2）。从全域尺度看，长江经济带各个阶段的 Moran's *I* 均显著大于 0，城市扩张规模存在显著的正向空间自相关，表明长江经济带存在明显的城市扩张规模的高值聚集区或低值聚集区，聚集区内的

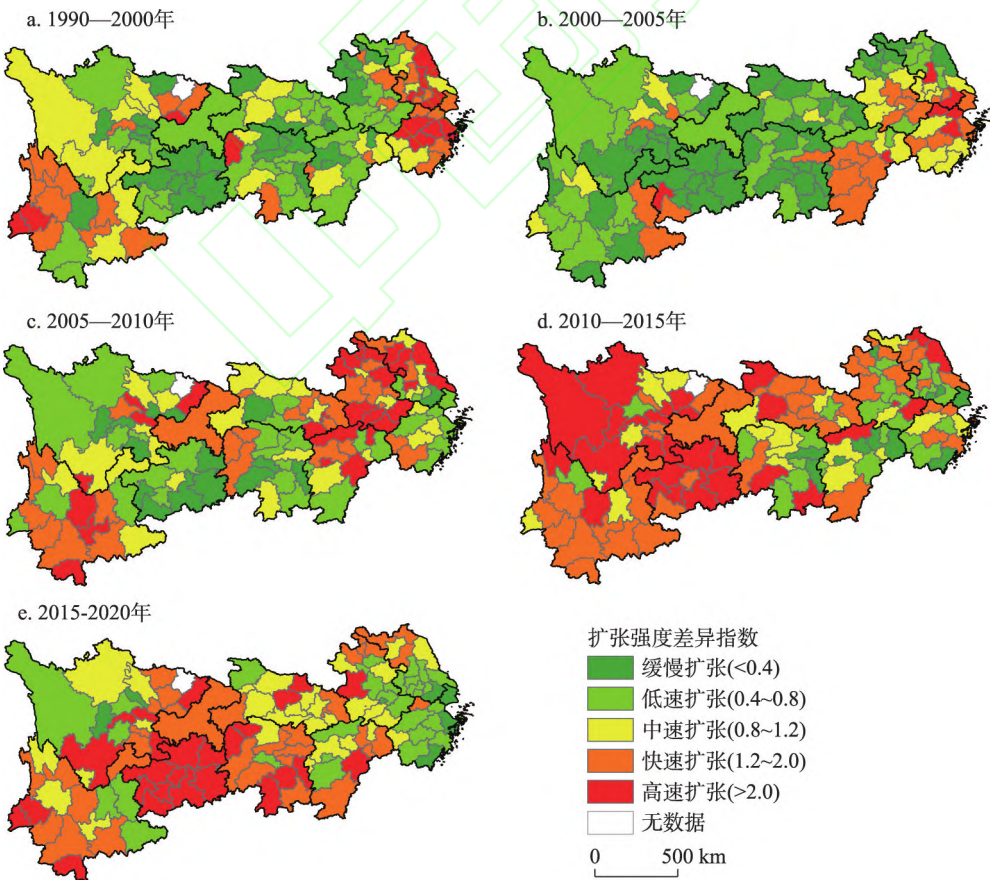


图9 长江经济带城市扩张差异指数空间分异

Fig. 9 Spatial distribution of the urban expansion difference index in the Yangtze River Economic Belt

表2 不同区域城市扩张规模的全局空间自相关分析结果

Tab. 2 Results of global spatial autocorrelation analysis of urban expansion scale in different regions of the YREB

监测时段	长江经济带	上游地区	中游地区	下游地区
1990—2000年	0.244***	-0.105	-0.110	0.165**
2000—2005年	0.334***	-0.109	-0.003	0.276***
2005—2010年	0.191***	-0.070	0.124*	0.181**
2010—2015年	0.213***	-0.020	0.080	0.298***
2015—2020年	0.109***	0.209***	-0.088	0.298***

注: ***表示 $P < 1\%$, **表示 $P < 5\%$, *表示 $P < 10\%$ 。

相邻城市之间的用地扩张规模存在相互影响和相互依赖的空间关联特征。Moran's I 值呈波动下降的趋势, 2000—2005年 Moran's I 值最高, 为0.334。从区域尺度看, 上游地区1990—2015年城市扩张规模不具备明显的空间自相关性, 2015—2020出现明显的高值聚集区或低值聚集区。中游地区仅2005—2010年城市扩张规模存在弱空间正相关, 其余时段均不显著。下游地区的Moran's I 指数均显著大于0, 城市扩张规模呈显著的正向空间自相关, Moran's I 值波动上升。值得注意的是下游地区的Moran's I 值波动上升, 但长江经济带全域波动下降, 说明随着中上游城市扩张速度的增加以及上游扩张集聚性的增强, 长江经济带城市扩张的空间极化现象逐渐减弱, 开始由点源聚集扩张转变为多中心扩张。

对具有显著全局空间自相关性的长江经济带全域和下游地区进一步探索其局部空间相关性和冷热点分布, 上游和中游由于不具备显著的空间自相关性, 不对其开展进一步的研究。由图10可知, 长江经济带城市扩张热点区存在明显的空间极化现象。1990—2015年, 城市扩张热点区均集中于长三角东部, 2015—2020年的长三角地区的热点区域缩小到上海市和江苏省南部, 新增以重庆和贵州东部为核心的热点区。1990—2005年长江经济带全域无城市扩张冷点区, 2005—2010年开始出现冷点区, 分布在四川省南部、云南省东北部、贵州省南部和湖北省中东部形成横跨长江经济带中上游的“冷点带”, 2010—2015年冷点区集中在云南省西部和湖南省大部分区域, 2015—2020年冷点区分布在云南省和四川省中部。局部空间自相关分析结果显示, “高一高”型聚集的区域与极热点区域高度吻合, “高一低”型聚集区域集中在中上游省会城市, 以成都、重庆、昆明为主, 这些城市的扩张速度较快, 而邻近城市相对较慢, 说明西部省会城市在其城市发展过程中对周边城市的带动作用较弱, 甚至由于资源吸引和争夺出现“虹吸效应”, 而长三角地区的首位城市和重要节点城市对周边区域的辐射带动作用较强。

由图11可知, 上海、苏州、南通和嘉兴一直以来都是下游地区城市扩张的极热点区域, 在各阶段围绕极热点区域交替出现其他显著性稍弱的热点区和较热点区。2005—2015年西北部亳州和西南部黄山、宣城形成两个较冷点区, 冷点区逐渐扩大且显著性逐渐增强; 2015—2020年西南部的冷点区范围扩大, 显著性继续增强, 黄山为极冷点区, 西北部的扩张冷点区在这一阶段消失。对局部空间自相关结果进行分析, “高一高”型聚集区域以上海和苏州为核心的区域, 表明上海和苏州长期表现出极其显著的城市扩张集聚性, 在城市发展过程中对周围城市的辐射带动作用强; 合肥在2005—2010年表现为“高一低”型聚集, 孤立发展; 2010—2020年, “低—低”型聚集区域在冷点区内, 城市扩张缓慢。

4.3 长江经济带城市扩张变化率的影响机制分析

由于1990—2000年间长江经济带较多城市的建制和行政范围发生变化, 加之缺少1990年的部分指标数据, 本文用于城市扩张速度影响机制实证研究的时间跨度为2000—

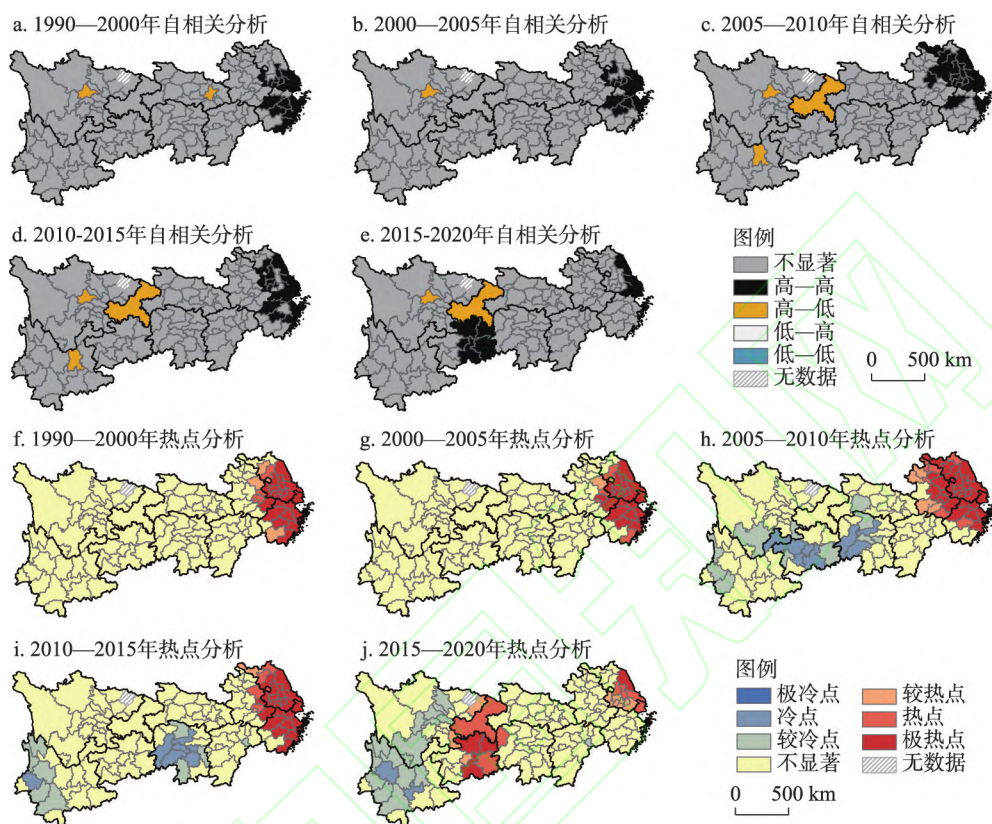


图 10 1990—2020 年长江经济带城市扩张规模局部空间自相关分析和热点分析结果

Fig. 10 Results of local spatial autocorrelation analysis and hot spot analysis of urban expansion scale in the Yangtze River Economic Belt from 1990 to 2020

2020年。删除数据不全的城市后,得到119个城市^③的平衡面板数据,变量的描述性统计详见表3。

4.3.1 基准回归 首先利用LSDV法对样本的个体效应和时间效应进行检验,结果显示,不同区域样本中个体虚拟变量和时间虚拟变量系数均显著,即样本存在显著个体效应和时间效应,需要对其进行控制。稳健Hausman检验结果显示,不同区域面板数据均显著拒绝个体固定效应与自变量不相关的假设,因此采用固定效应模型控制个体效应,且在模型中同时控制时间效应。

本文同时估计了不加入控制变量和加入控制变量两个模型(表4),加入控制变量显著提升了模型的拟合优度(组内 R^2 从0.141提升至0.174)。从表4可以看出,城市人口规模($Upop$)和城市人口规模的二次项($Upop^2$)在M1和M2中的回归系数均在5%显著性水平下显著,其中, $Upop$ 显著为负, $Upop^2$ 显著为正,表明 UED 随着城市人口规模的增加先降低后升高。在城市人口达到边际规模之前,每增加1百万人, UED 减少0.438;当城市人口超过边际规模,每增加1百万人, UED 将升高0.01。说明在快速城市化早

③ 丽江市、普洱市和临沧市分别于2002年、2003年和2004年设立地级市建制,缺少2000年的统计数据,毕节市和铜仁市于2011年设立地级市建制,缺少2000年、2005年和2010年的统计数据,因此删除以上城市样本。甘孜藏族自治州、湖北省直辖县级行政单位由于未能获取2000年的统计数据,不作为有效样本。上、中、下游的有效城市分别为40个、38个和41个。

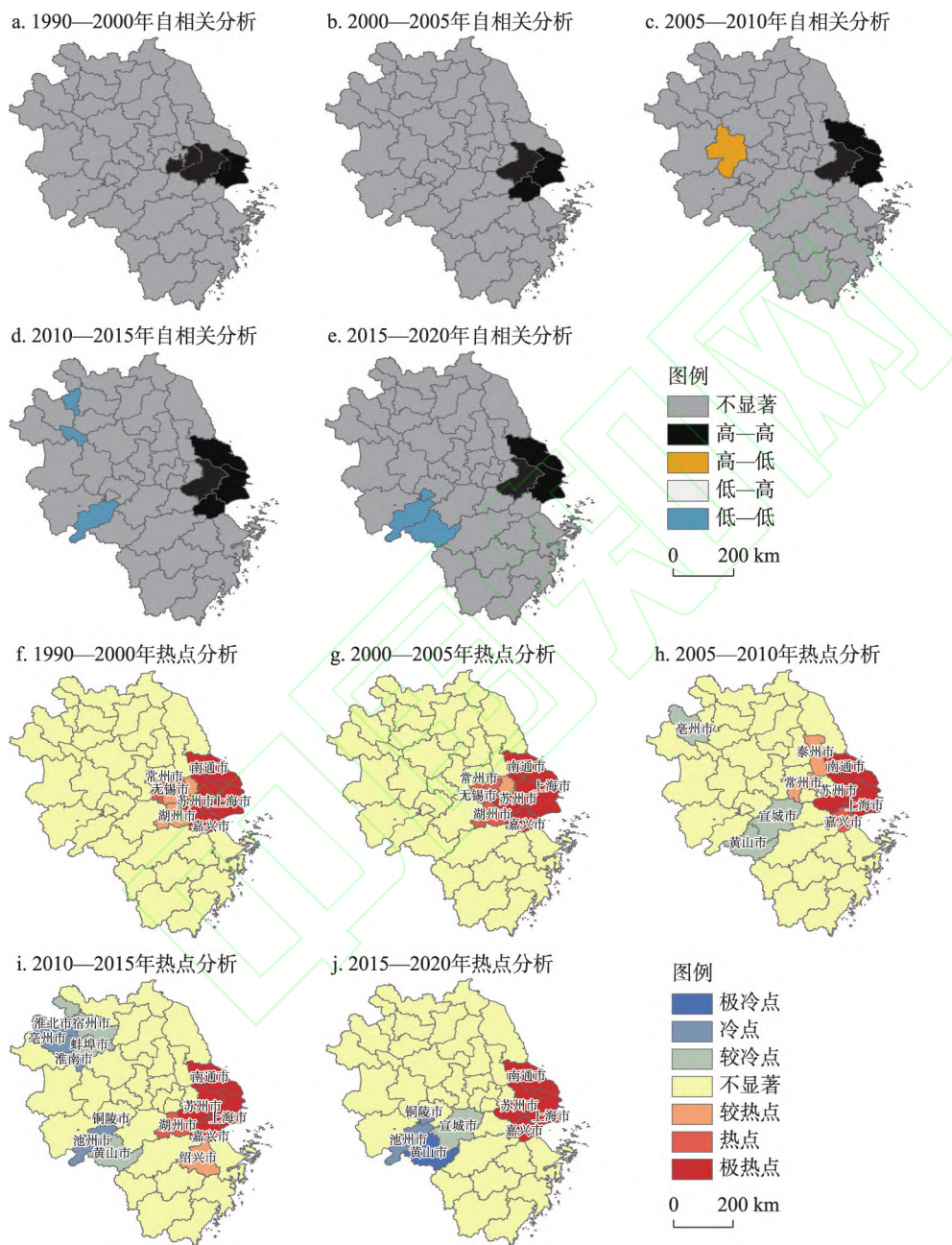


图 11 1990—2020 年长江经济带下游城市扩张规模局部空间自相关分析和热点分析结果

Fig. 11 Results of local spatial autocorrelation analysis and hot spot analysis of urban expansion scale in the lower reaches of the Yangtze River Economic Belt from 1990 to 2020

期,城市的人口规模越大,城市用地在区域内的相对扩张变化率越小,但受城市综合承载力约束,城市人口超过自身的边际规模,城市在区域内的相对扩张率将会缓慢升高,升高的速度远小于人口规模达到峰值前城市扩张变化率下降的速度。初步证明了本文的研究假设,即在其他条件不变的情况下,长江经济带的城市人口规模与城市扩张变化率之间存在显著的“U”型关系。

表3 主要变量描述性统计
Tab. 3 Descriptive statistics of main variables

类别	变量	符号	样本数量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	扩张差异指数	<i>UEDI</i>	476	1.287	1.048	0.011	7.843
解释变量	平均市辖区常住人口(百万人)	<i>Upop</i>	476	1.508	2.247	0.055	23.35
	平均市辖区常住人口 ²	<i>Upop</i> ²	476	7.316	38.205	0.003	545.477
控制变量	平均产业升级指数(%)	<i>ISUI</i>	476	98.351	37.321	33.231	366.231
	平均GDP(百亿)	<i>GDP</i>	476	18.007	31.642	0.175	321.798
	平均实际使用外资额(百万美元)	<i>FDI</i>	476	822.207	2069.55	0	16987.12
	平均公路里程(百 km)	<i>RM</i>	476	118.738	121.265	6.595	1606.735
	平均地形起伏度	<i>RDLS</i>	476	19.656	12.672	4.551	76.799

4.3.2 稳健性检验 为检验以上结果的稳健性,本文采用因变量的替代变量和剔除直辖市两种方式检验结果的稳健性。城市扩张强度指数是指某空间单元在研究时期内的城市用地扩张面积占其土地总面积的百分比,也是一种表征城市空间扩张快慢的指标,本文将其作为因变量的替代变量进行稳健性检验(表5中M3)。其次,考虑到直辖市在行政等级上的特殊性以及直辖市的城市人口规模大的特点,本文删除2个直辖市后重新回归(表5中M4)。结果(表5)显示,在加入控制变量并控制个体固定效应和时间固定效应的情况下,剔除直辖市和将因变量替换为城市扩张强度指数后,长江经济带城市人口规模与城市扩张变化率的“U”型关系依然显著存在。

4.3.3 异质性分析 考虑到长江经济带上、中、下游地区的城市化进程和城市人口规模差异较大,本文对上、中、下游不同地理位置的城市进行异质性分析。表6为异质性检验结果,可以看出,中游和下游地区的城市人口规模与城市扩张变化率之间存在显著的“U”型关系,部分城市的人口规模的过度增长已带来显著的“拥挤效应”;而上游地区不加入控制变量(M5)和加入控制变量(M6)的模型中,*Upop*和*Upop*²均不显著,表明上游地区人口规模与城市扩张变化率之间不存在显著的“U”型关系。为了探索上游地区人口规模与城市扩张差异指数之间的关系,本文进一步对上游地区模型剔除*Upop*²重新估计回归系数,发现*Upop*的系数显著为负,可见上游城市人口规模与城市扩张变化率之间存在显著的负相关关系,但不存在“U”型关系,表明上游地区城市人口规模尚未出现明显的过度扩张。中游地区城市达到人口边际规模后城市扩张变化率提升速度明显大于下游($0.093 > 9.49 \times 10^{-3}$),在一定程度上说明中游大城市中心城区居民对城市舒适度的关注度和敏感度大于下游地区。

表4 城市人口规模对城市扩张变化率的基准回归
Tab. 4 Benchmark regression of urban population size on the urban expansion change rate

自变量	因变量: 城市扩张差异指数 <i>UEDI</i>	
	M1	M2
<i>Upop</i>	-0.728 (-5.18)***	-0.438 (-2.67)***
<i>Upop</i> ²	0.013 (3.61)***	0.01 (2.15)**
<i>ISUI</i>		-8.28×10 ⁻⁴ (-0.21)
<i>RDLS</i>		0.089 (3.23)***
<i>FDI</i>		-1.28×10 ⁻⁴ (-1.81)*
<i>GDP</i>		-1.91×10 ⁻³ (-0.69)
<i>RM</i>		3.37×10 ⁻³ (2.51)**
constants	3.66 (6.91)***	0.554(0.59)
<i>N</i>	476	476
个体效应	控制	控制
时间效应	控制	控制
组内R ²	0.141	0.174
<i>F</i> 值(<i>P</i> 值)	18.31(<0.01)	11.25(<0.01)

注: 括号内为*t*值;***、**和*分别代表在1%、5%和10%水平显著。

对于控制变量,下游地区产业结构升级指数每增加1%,*UEDI*减少0.013,表明产业结构升级对下游城市扩张变化率的升高产生显著的抑制作用;而中上游地区产业结构升级对城市扩张变化率的影响不显著,可能的原因是中上游城市发展相对较晚,正处于快速城镇化时期,对商住需求较高。公路里程的增加显著提升了上游地区的城市扩张变化率,而中下游地区公路里程对城市扩张变化率的影响不显著。值得注意的是,从全域尺度看地形起伏度的回归系数显著为正(表4),表明当前发展阶段中上游地形因素对中上游城市扩张没有表现出显著的阻碍作用,反而由于山区城市较低的生产成本使其成为了东部城市转移产业的重要承接地,城市空间快速扩张。

表5 稳健性检验

Tab. 5 Robustness test

自变量	因变量:城市扩张强度	因变量:城市扩张差异指数
	M3	M4
<i>Upop</i>	-0.061*** (-3.07)	-0.548** (-2.35)
<i>Upop</i> ²	0.01** (2.27)	0.018** (2.20)
<i>ISUI</i>	-8.54×10 ⁻⁴ (-0.24)	-9.48×10 ⁻⁴ (-0.24)
<i>RDLS</i>	0.005* (1.88)	0.086*** (3.17)
<i>FDI</i>	-1.49×10 ⁻⁵ (-1.67)	-1.20×10 ⁻⁴ (-1.65)
<i>GDP</i>	-1.12×10 ⁻⁴ (-0.28)	-0.003 (-1.19)
<i>RM</i>	2.65×10 ⁻³ ** (2.10)	5.72×10 ⁻³ ** (2.57)
<i>constants</i>	0.282*** (2.88)	0.673 (0.64)
<i>N</i>	476	476
个体效应	控制	控制
时间效应	控制	控制
组内 <i>R</i> ²	0.279	0.178
<i>F</i> 值(<i>P</i> 值)	27.93(<0.01)	9.78(<0.01)

注: 括号内为*t*值;***、**和*分别代表在1%、5%和10%水平显著。

表6 不同地理位置的异质性检验

Tab. 6 Heterogeneity test according to different regions of the Yangtze River Economic Belt

自变量	因变量: 城市扩张差异指数 <i>UEDI</i>					
	上游地区		中游地区		下游地区	
	M5	M6	M7	M8	M9	M10
<i>Upop</i>	-0.437(-1.58)	0.321(0.75)	-1.93***(-3.33)	-2.02***(-3.52)	-4.65***(-2.97)	-0.50***(-3.55)
<i>Upop</i> ²	0.004(0.61)	-6.02×10 ⁻⁴ (-0.02)	0.102*** (2.74)	0.093** (2.17)	7.93×10 ⁻³ ** (2.26)	9.49×10 ⁻³ ** (2.19)
<i>ISUI</i>		-3.95×10 ⁻³ (-0.66)		5.32×10 ⁻³ (1.34)		-0.013*(-1.94)
<i>RDLS</i>		0.035(0.85)		0.051(1.44)		-0.07(-0.96)
<i>FDI</i>		-5.74×10 ⁻⁴ **(-2.45)		2.14×10 ⁻⁴ (0.55)		-1.03×10 ⁻⁴ (-1.46)
<i>GDP</i>		-7.45×10 ⁻³ (-0.17)		-4.36×10 ⁻³ (-0.27)		-2.67×10 ⁻³ (-1.40)
<i>RM</i>		7.96×10 ⁻³ ** (2.66)		-1.90×10 ⁻³ (0.70)		3.38×10 ⁻³ (1.08)
<i>constants</i>	2.31** (2.50)	-1.88(-0.94)	6.66** (3.87)	5.59*** (2.87)	3.14*** (4.77)	2.874** (2.72)
<i>N</i>	160	160	152	152	164	164
个体效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
组内 <i>R</i> ²	0.292	0.323	0.191	0.216	0.194	0.222
<i>F</i> 值(<i>P</i> 值)	13.31(<0.01)	7.66(<0.01)	12.08(<0.01)	7.78(<0.01)	14.49(<0.01)	12.24(<0.01)

注: 括号内为*t*值;***、**和*分别代表在1%、5%和10%水平显著。

5 讨论与结论

5.1 讨论

持续推进长江经济带城市用地有序扩张既是战略需求,也是实现高质量可持续发展的重要内容。中国共产党“二十大”报告明确指出“深入实施区域协调发展战略……构建优势互补、高质量发展的区域经济布局和国土空间体系”,区域协调发展是社会经济转

向高质量发展阶段的必由之路。近年来在国家一系列政策推动下,长江经济带新增城市用地规模明显下降,城市用地的高速扩张区由东向西移动,然而王桂新^[30]对第七次全国人口普查数据研究发现尽管人口迁入地在区域上已表现出分散化趋势,但以上海、江苏、浙江为中心的地区仍然是主要的人口迁入地。这意味着在未来,中上游地区人口向下游城市迁移的大趋势仍将持续。如何处理好人口与城市用地高速扩张区的逆向移动的关系,以及如何应对持续人口城市化带来的用地压力和资源环境压力,将成为长江经济带实现区域高质量协调发展的关键。为实现长江经济带城市用地的有序扩张和区域协调高质量发展,本文分区域提出以下政策建议:

(1) 对于下游地区,部分大城市已出现人口过度扩张导致城市扩张变化率上升的趋势,且产业结构升级有助于降低下游地区城市扩张率。因此对于下游城市,一方面应警惕人口过度膨胀带来的拥挤效应,注重提升中心城区城市发展质量,另一方面应进一步加大下游城市产业结构升级力度,加快大城市非核心功能疏解。产业转移是促进人口转移的有效途径,制定相关政策鼓励企业将城市扩张“冷点区”城市(如亳州、黄山、中上游南部区域城市等)或西部中小规模城市作为转移目的地,在实现疏解大城市人口压力的同时提升中小城市的发展活力,促进区域的协调可持续发展。

(2) 对于中游地区,城市人口规模与城市扩张变化率之间存在显著的“U”型关系,且中游地区城市达到人口边际规模后城市扩张变化率提升速度明显大于下游,说明相较于下游地区,中游城市居民对城市舒适度的关注度和敏感度更高,这可能与城市社会文化和价值观有关,因此中游城市在城市规划和政策制定中应更加注重改善中心城区的舒适度,提高公共资源配置能力和公共服务能力,提升城市品质,进而增强中心城区的人口吸纳能力和承载力,缓解人口过度增长带来的次生用地压力。

(3) 对于上游地区,城市人口规模与城市扩张变化率之间不存在显著的“U”型关系,城市人口规模尚未出现明显的过度扩张,集聚效应和规模效应在城市增长中发挥主导作用。上游城市普遍存在发展动力不足的问题,首先应增强自身的产业承接能力,创造更好的企业发展环境,增加城市的人力资本累积和就业机会,以吸引流动人口和本地居民就地城市化,提高城市的规模效应,带动城市增长;其次,还应加大对科技教育的投入,鼓励企业创新,加快将城市增长动力由依靠外生土地资源及资本向内生动力转变;最后,中小城市中心城区普遍存在公共设施缺乏、商业活力减退等问题,政府应通过城市更新、旧城改造等规划措施,提升中心城区的宜居性和活力,提高城市由规模效应向拥挤效应过渡的人口边际规模,使城市“进得来人”的同时还要“留得住人”。

城市化是一个伴随土地空间结构、人口结构、经济结构、文化结构综合转变的过程,而城市作为地区的政治、经济、文化中心,不仅具有满足城市居住功能和经济文化功能的生产空间和生活空间,也具有历史文化保护和生态游憩功能的自然生态空间^[63]。现有关于城市扩张时空格局研究的文献大都仅关注包含生产空间和生活空间的建成区,而对城市的生态空间关注不够。为了准确反映长江经济带城市用地扩张的时空演变格局,本文借助中等分辨率卫星影像,构建城市用地信息提取规则,将具备城市生态游憩功能的城市公园和郊野公园纳入城市用地。但受限于信息提取大量的人力和时间耗费,目前尚未完成城市用地类型及城市扩张占用土地类型的监测,使得研究目前无法开展城市用地结构、用地类型转移等微观特征分析,城市扩张的微观特征将会作为本文的进一步探索方向。此外,本文的城市用地覆盖了县域尺度,但囿于数据,仅关注了市域尺度的城市扩张时空差异及影响机制分析,缺乏对县域尺度的系统研究,对更细粒度的时空差异格局解析还不够,同时以地级市为样本探究区域尺度的影响机制,可能会由于样本

量偏少的问题,在后续研究中将进一步探索县域尺度的城市扩张特征,以县为样本单位扩大样本量进一步分析城市扩张差异的影响机制。

5.2 结论

本文基于1990—2020年共6期Landsat TM/OLI卫星遥感影像,采用面向对象自动提取技术与人机交互目视解译相结合的方式,提取包含城市生态空间的城市用地信息,在研究长江经济带不同尺度城市用地扩张时空格局的基础上,构建了城市人口规模与城市扩张变化率关系的理论框架,通过城市扩张差异指数和计量模型考察了2000—2020年长江经济带城市人口规模与城市扩张变化率的关系。本文的主要结论有:

(1) 长江经济带城市扩张存在明显的时空分异特征。时序上,1990—2020年长江经济带城市用地面积持续增加,下游城市扩张速度呈“增加—减少—增加—减少”的态势,2000—2005年达到扩张峰值;中、上游城市具有相似的时序扩张特征,均呈“增加—再减少”的扩张态势,且均在2010—2015年达到峰值,但2010年之后上游扩张速度超过中游地区;2015年之后各区域的城市扩张速度均大幅度下降,但上游地区大部分地级行政区在2015—2020年这一阶段仍然维持相对较高的年均扩张面积。空间上,三大区域均已形成明显的城市用地核心区,呈现“大集聚和小分散”的团块空间格局,但上游城市用地空间极化现象明显,除“成都—重庆”外,未出现其他明显的城市用地核心区;城市用地的高速扩张区由东向西移动,“高速—快速”扩张聚集区在空间上经历了“跳跃式离散分布”到“团块式连片分布”,中上游与下游间的城市用地规模差异趋于收敛;长江经济带下游城市扩张规模呈显著的正向空间自相关,全局Moran's I 值波动上升,而中上游地区城市的扩张规模未表现出明显的空间自相关。2015年后“重庆—贵州东部”成为长江经济带主要的城市扩张规模高值聚集区,上游省会城市大都呈“高一低”聚集,对周边城市的辐射带动作用还有待提升;城市扩张规模的冷点区主要分布在云南省西部、湖南省西部以及下游的黄山市、亳州市。

(2) 长江经济带人口规模与城市用地扩张变化率之间存在“U”型关系,且表现出显著的区域异质性。中游和下游地区存在显著的“U”型关系,部分大城市已出现人口过度扩张导致城市扩张变化率上升的趋势;中游地区城市达到人口边际规模后城市扩张变化率提升速度明显大于下游,说明中游城市居民对城市舒适度的关注度和敏感度更高。上游城市人口规模与城市扩张变化率之间存在显著的负相关关系,但不存在“U”型关系,城市人口规模尚未出现明显的过度扩张。

(3) 不同区域的城市应该采取不同的措施来实现城市空间有序开发。下游城市应进一步加大城市产业结构升级力度,充分发挥产业结构升级对城市扩张变化率上升的抑制作用;中游城市在城市规划和政策制定中应更加改善中心城区的舒适度,提高公共资源配置能力和公共服务能力,提升城市品质;上游地区应创造更好的企业发展环境和人才吸引政策,提高城市由规模效应向拥挤效应过渡的人口边际规模。

致谢:感谢中国人民大学“中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项资金”对本成果的支持。

参考文献(References)

- [1] Scott A J, Storper M. The nature of cities: The scope and limits of urban theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 2015, 39(1): 1-15. DOI: 10.1111/1468-2427.12134.
- [2] National Bureau of Statistics. Statistical Bulletin of the People's Republic of China on the 2022 National Economic and Social Development. http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202302/t20230228_1919001.html, 2023-02-28. [国家统计局官网. 中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报. http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202302/t20230228_1919001.html, 2023-02-28.]

- [3] Ge Yuanyuan, Han Lei, Zhao Yonghua, et al. Spatiotemporal analysis of urban expansion in Xi'an from 1984 to 2016. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(5): 1491-1499. [葛媛媛, 韩磊, 赵永华, 等. 1984—2016年西安市城市扩张时空度量分析. *生态杂志*, 2019, 38(5): 1491-1499.]
- [4] Song W, Deng X Z. Effects of urbanization-induced cultivated land loss on ecosystem services in the North China Plain. *Energies*, 2015, 8(6): 5678-5693.
- [5] Liu Y S, Li Y H. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.
- [6] Wang X R, Hui E C, Choguill C. The new urbanization policy in China: Which way forward? *Habitat International*, 2015, 47: 279-284.
- [7] Sun W, Shan J, Wang Z M, et al. Geospatial analysis of urban expansion using remote sensing methods and data: a case study of Yangtze River Delta, China. *Complexity*, 2020(4): 1-12. DOI: 10.1155/2020/3239471.
- [8] Liu G L, Li J Y, Nie P. Tracking the history of urban expansion in Guangzhou (China) during 1665-2017: Evidence from historical maps and remote sensing images. *Land Use Policy*, 2022, 112: 105773. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105773.
- [9] Novotný J, Chakraborty S, Maity I. Urban expansion of the 43 worlds' largest megacities: A search for unified macro-patterns. *Habitat International*, 2022, 129: 102676. DOI: 10.1016/j.habitatint.2022.102676.
- [10] Hu Y K, Wang Z Y, Deng T T. Expansion in the shrinking cities: Does place-based policy help to curb urban shrinkage in China? *Cities*, 2021, 113: 103188. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103188.
- [11] Li X Y, Dong W, Liu Y, et al. Tracking the urban expansion and its driving mechanisms behind Xinjiang Production and Construction Corps (XPCC): Evidence from morphology and landscapes. *Habitat International*, 2022, 126: 102599. DOI: 10.1016/j.habitatint.2022.102599.
- [12] Li G D, Sun S, Fang C L. The varying driving forces of urban expansion in China: Insights from a spatial-temporal analysis. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 174: 63-77.
- [13] Mahtta R, Fragkias M, Güneralp B, et al. Urban land expansion: The role of population and economic growth for 300+ cities. *NPJ Urban Sustainability*, 2022, 2(1): 1-11. DOI: 10.1038/s42949-022-00048-y.
- [14] Xie H L, Zhu Z H, Wang B H, et al. Does the expansion of urban construction land promote regional economic growth in China? Evidence from 108 cities in the Yangtze River Economic Belt. *Sustainability*, 2018, 10(11): 4073. DOI: 10.3390/su10114073.
- [15] Tang J J, Zhou L. Impacts and predictions of urban expansion on habitat quality in the densely populated areas: A case study of the Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, 2023, 151: 110320. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110320.
- [16] Van Der Borgh R, Pallares Barbera M. How urban spatial expansion influences CO₂ emissions in Latin American countries. *Cities*, 2023, 139: 104389. DOI: 10.1016/j.cities.2023.104389.
- [17] Wei L, Zhou L, Sun D Q, et al. Evaluating the impact of urban expansion on the habitat quality and constructing ecological security patterns: A case study of Jiziwan in the Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, 2022, 145: 109544. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109544.
- [18] 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. [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.]
- [19] Gao J, Wei Y D, et al. Urban land expansion and structural change in the Yangtze River Delta, China. *Sustainability*, 2015, 7(8): 10281-10307.
- [20] Zhong S, Wang M, Zhu Y, et al. Urban expansion and the urban-rural income gap: Empirical evidence from China. *Cities*, 2022, 129: 103831. DOI: 10.1016/j.cities.2022.103831.
- [21] Gong J Z, Hu Z R, Chen W L, et al. Urban expansion dynamics and modes in metropolitan Guangzhou, China. *Land Use Policy*, 2018, 72: 100-109.
- [22] Chen W L, Xu Q, Zhao K Y, et al. Spatiotemporal expansion modes of urban areas on the Loess Plateau from 1992 to 2021 based on nighttime light images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2023, 118: 103262. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103262.
- [23] Do T A T, Do A N T, Tran H D. Quantifying the spatial pattern of urban expansion trends in the period 1987-2022 and identifying areas at risk of flooding due to the impact of urbanization in Lao Cai city. *Ecological Informatics*, 2022, 72: 101912. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2022.101912.
- [24] Tian P, Liu Y C, Li J L, et al. Spatiotemporal patterns of urban expansion and trade-offs and synergies among ecosystem services in urban agglomerations of China. *Ecological Indicators*, 2023, 148: 110057. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.

- 110057.
- [25] Wang Liwei, Feng Changchun. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing- Tianjin- Hebei metropolitan region: Based on nighttime light data. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(12): 2155-2169. [王利伟, 冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制: 基于夜间灯光数据方法. *地理学报*, 2016, 71(12): 2155-2169.]
- [26] Wu Xiaoying, Yang Shan, Yin Shanggang, et al. Spatial-temporal dynamic characteristics and its driving mechanism of urban built-up area in Yangtze River Delta based on GTWE model. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(11): 2594-2606. [吴小影, 杨山, 尹上岗, 等. 基于GTWR模型的长三角地区城市建设用地时空动态特征及其驱动机理. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(11): 2594-2606.]
- [27] Shi K F, Liu G F, Zhou L, et al. Satellite remote sensing data reveal increased slope climbing of urban land expansion worldwide. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 235: 104755. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2023.104755.
- [28] Chakraborty S, Maity I, Dadashpoor H, et al. Building in or out? Examining urban expansion patterns and land use efficiency across the global sample of 466 cities with million+ inhabitants. *Habitat International*, 2022, 120: 102503. DOI: 10.1016/j.habitatint.2021.102503.
- [29] Friedmann J. Four theses in the study of China's urbanization. *International Journal of Urban and Regional Research*, 2006, 30(2): 440-451.
- [30] Wang Guixin. Research on characteristics of China's inter-provincial migration: Based on the data of China's Seventh Population Census. *Chinese Journal of Population Science*, 2022(3): 2-16, 126. [王桂新. 中国省际人口迁移变化特征: 基于第七次全国人口普查数据的分析. *中国人口科学*, 2022(3): 2-16, 126.]
- [31] Liu Yuping, Guo Junjun, Li Xinluan. Land financial dependence in economic growth: Measurement, changes and consequences. *Journal of Yunnan Finance and Trade Institute*, 2012, 28(1): 65-70. [刘玉萍, 郭郡郡, 李馨鸾. 经济增长中的土地财政依赖: 度量、变化及后果. *云南财经大学学报*, 2012, 28(1): 65-70.]
- [32] Zhang L, Wang S L, Liu Z, et al. Does urbanization intensify land finance? Evidence from the county-to-district policy in China. *Applied Economics*, 2023, 55(19): 2189-2206.
- [33] Du Jinhua, Chen Zhiguo. Effect of land finance dependence on urban expansion. *Finance & Economics*, 2018(5): 79-89. [杜金华, 陈治国. 土地财政依赖对城市扩张的影响. *财经科学*, 2018(5): 79-89.]
- [34] Zhang Yali, Fang Qiyun. The impact of city amenity on labor migration. *China Population, Resource and Environment*, 2019, 29(3): 118-125. [张亚丽, 方齐云. 城市舒适度对劳动力流动的影响. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(3): 118-125.]
- [35] Xu H Z, Jiao M. City size, industrial structure and urbanization quality: A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration in China. *Land Use Policy*, 2021, 111: 105735. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105735.
- [36] Clark T N, Lloyd R, Wong K K, et al. Amenities drive urban growth. *Journal of Urban Affairs*, 2002, 24(5): 493-515.
- [37] Fang Chuanglin. Progress and the future direction of research into urban agglomeration in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1130-1144. [方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. *地理学报*, 2014, 69(8): 1130-1144.]
- [38] Li Qiang, Wei Wei. Study on the growth effect of urban sprawl in the process of urbanization: A case study of the Yangtze River Economic Belt. *Journal of Northeast Agricultural University (Social Science Edition)*, 2018, 16(4): 6-12. [李强, 韦薇. 城镇化进程中城市蔓延的增长效应研究: 以长江经济带为例. *东北农业大学学报(社会科学版)*, 2018, 16(4): 6-12.]
- [39] Liu Y L, Zhang X H, Kong X S, et al. Identifying the relationship between urban land expansion and human activities in the Yangtze River Economic Belt, China. *Applied Geography*, 2018, 94: 163-177.
- [40] Chen B W, Wu C Y, Huang X F, et al. Examining the relationship between urban land expansion and economic linkage using coupling analysis: A case study of the Yangtze River Economic Belt, China. *Sustainability*, 2020, 12. DOI: 10.3390/su12031227.
- [41] Wu C Y, Huang X J, Chen B W. Telecoupling mechanism of urban land expansion based on transportation accessibility: A case study of transitional Yangtze River Economic Belt, China. *Land Use Policy*, 2020, 96: 104687. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104687.
- [42] Huang Mui, Yue Wenze, He Xiang. Decoupling relationship between urban expansion and economic growth and its spatial heterogeneity in the Yangtze Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(2): 219-232. [黄木易, 岳文泽, 何翔. 长江经济带城市扩张与经济增长脱钩关系及其空间异质性. *自然资源学报*, 2018, 33(2): 219-232.]
- [43] Tian Y S, Mao Q H. The effect of regional integration on urban sprawl in urban agglomeration areas: A case study of the Yangtze River Delta, China. *Habitat International*, 2022, 130: 102695. DOI: 10.1016/j.habitatint.2022.102695.

- [44] Zou Xiuqing, Xie Meihui, Xiao Zegan, et al. The coupling and spatial coordination characteristics between agricultural population migration and urban construction land increase in Jiangxi province. *China Land Science*, 2019, 33(10): 31-38. [邹秀清, 谢美辉, 肖泽干, 等. 农业人口转移与城市建设用地增加耦合态势及空间协调特征: 以江西省为例. *中国土地科学*, 2019, 33(10): 31-38.]
- [45] Wang S, Luo X. The evolution of government behaviors and urban expansion in Shanghai. *Land Use Policy*, 2022, 114: 105973. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105973.
- [46] Jiao L M, Mao L F, Liu Y L. Multi-order landscape expansion index: characterizing urban expansion dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 167: 386-398.
- [47] Chen Xu, Xia Chunlin, Jiang Dong, et al. Urban expansion space-time metric and difference analysis: A case study of typical cities of east, middle and west parts. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2017, 40(8): 62-67. [陈旭, 夏春林, 江东, 等. 城市扩张时空度量与差异性分析: 以东、中、西部典型城市为例. *测绘与空间地理信息*, 2017, 40(8): 62-67.]
- [48] Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 928-939. [许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. *地理学报*, 2016, 71(6): 928-939.]
- [49] Ma Linbing, Wei Huili, Cao Xiaoshu. Evaluating the valid density of road network in urban based on FCD: Case of Liwan and Yuexiu district in Guangzhou city. *Geographical Research*, 2015, 34(3): 541-554. [马林兵, 魏慧丽, 曹小曙. 基于FCD数据的城市有效路网密度评价: 以广州荔湾区和越秀区为例. *地理研究*, 2015, 34(3): 541-554.]
- [50] Guan Xingliang, Fang Chuanglin, Zhou Min, et al. Spatial and temporal characteristics of spatial expansion of urban land in Wuhan urban agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(9): 1447-1459. [关兴良, 方创琳, 周敏, 等. 武汉城市群城镇用地空间扩展时空特征分析. *自然资源学报*, 2012, 27(9): 1447-1459.]
- [51] Hou Yali, Kuang Wenhui, Dou Yinyin. Analysis of urban expansion and fractal features in global 33 megacities from 2000-2020. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2687-2702. [侯亚丽, 匡文慧, 窦银银. 全球超大城市空间扩张及分形特征研究. *地理学报*, 2022, 77(11): 2687-2702.]
- [52] Wang H J, Zhang B, Liu Y L, et al. Urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity-GTWR model: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(2): 297-318.
- [53] Anselin L. Quantile local spatial autocorrelation. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 2019, 12(2): 155-166.
- [54] Chen Jiangping, Zhang Yao, Yu Yuanjian. Effect of MAUP in spatial autocorrelation. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1597-1606. [陈江平, 张瑶, 余远剑. 空间自相关的可塑性面积单元问题效应. *地理学报*, 2011, 66(12): 1597-1606.]
- [55] Xiong Junnan, Li Jin, Cheng Weiming, et al. Spatial-temporal distribution and the influencing factors of mountain flood disaster in southwest China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(7): 1374-1391. [熊俊楠, 李进, 程维明, 等. 西南地区山洪灾害时空分布特征及其影响因素. *地理学报*, 2019, 74(7): 1374-1391.]
- [56] Skonhoft A, Solem H. Economic growth and land-use changes: the declining amount of wilderness land in Norway. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 289-301.
- [57] Zhang Hongbin, Jia Shenghua. Analysis of land non-agricultural regulation mechanism. *Economic Research Journal*, 2001(12): 50-54. [张宏斌, 贾生华. 土地非农化调控机制分析. *经济研究*, 2001(12): 50-54.]
- [58] Glaeser E L, Kallal H D, Scheinkman J A, et al. Growth in cities. *Journal of Political Economy*, 1992, 100(6): 1126-1152.
- [59] Black D, Henderson V. A theory of urban growth. *Journal of Political Economy*, 1999, 107(2): 252-284.
- [60] Whisler R L, Waldorf B S, Mulligan G F, et al. Quality of life and the migration of the college-educated: A life-course approach. *Growth and Change*, 2008, 39(1): 58-94.
- [61] Chen Qiang. *Advanced Econometrics and Stata Applications*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2014. [陈强. 高级计量经济学及Stata应用. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2014.]
- [62] Ma Xin, He Shumin, Huang Tingting, et al. Analysis of spatial-temporal pattern characteristics and driving factors of urban land expansion: Taking central plains city cluster as an example. *Ecological Economy*, 2020, 36(3): 105-111, 167. [马歆, 和舒敏, 黄婷婷, 等. 城市用地扩张的时空格局特征及驱动因素分析: 以中原城市群为例. *生态经济*, 2020, 36(3): 105-111, 167.]
- [63] Huang Mei, Zhang Min, Zhang Bing, et al. Exploration on the concept of "Urban Built-up Area" and method for "Urban Built-up Area Delineation": Taking 115 cities as the practice object. *City Planning Review*, 2022, 46(5): 17-26. [黄玫, 张敏, 张兵, 等. "城区范围"概念解析及其确定方法探讨: 以115个城市为实践对象. *城市规划*, 2022, 46(5): 17-26.]

Spatiotemporal differentiation and influencing mechanism of urban expansion in the Yangtze River Economic Belt, China

ZHANG Min¹, YANG Liya¹, HU Zhuowei², YANG Ziqing²

(1. School of Public Administration and Policy, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Nowadays, the unordered expansion of urban land has become an important problem on China's urbanization. Urban population growth is widely recognized as a crucial driver of urban spatial expansion. Therefore, it is necessary to clarify the spatiotemporal differentiation characteristics of urban expansion and understand the relationship between urban population size and urban expansion. Based on Landsat TM/OLI remote sensing images and socioeconomic statistics data, this paper identified the urban land in the Yangtze River Economic Belt (YREB), China, between 1990 to 2020. This was achieved by combining object-oriented automatic extraction and human-computer interaction visual interpretation. The study then examined the spatiotemporal differentiation characteristics of urban expansion at difference scales using expansion speed, expansion difference index, kernel density analysis and spatial autocorrelation. Finally, the relationship between urban population size and urban expansion in different regions was investigated using the Two-way Fixed Effects Model. The main results are as follows: (1) After 2015, urban expansion speed decreased significantly in different parts of the YREB. Moreover, the time series characteristics of urban expansion in the cities of the upper and middle reaches were found to be different from those in the lower reaches. The expansion speed in the upper reaches exceeded that in the middle reaches after 2010. Spatially, the urban expansion in the YREB shows significant spatial heterogeneity. High-speed expansion areas have shifted from east to west, and the differences in urban land scale between the upper-middle and the lower reaches tend to converge. Urban expansion in the lower reaches exhibits strong spatial dependency, while in the middle-upper reaches, there is no significant spatial autocorrelation. (2) The relationship between urban population size and urban expansion differs significantly among different regions. The upper reaches show a negative correlation, while the middle-lower reaches exhibit a "U-shaped" relationship. This indicates that there is no obvious over-expansion of population size in the upper reaches, whereas there is in the middle-lower reaches. Residents in the middle reaches have demonstrated a higher sensitivity to urban comfort and quality of life. Finally, the study provides regional policy recommendations, aiming to offer scientific references for targeted urban policies and promote high-quality urban development.

Keywords: urban expansion; spatiotemporal differentiation; urban population size; fixed effects model; urban expansion difference index; Yangtze River Economic Belt