

中国建设用土地利用强度时空演化及其驱动机制分析

张益宾 黄安 祖健 刘超 史云扬 郝晋珉[†]

中国农业大学土地科学与技术学院, 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193;

[†] 通信作者, E-mail: jmhao@cau.edu.cn

摘要 以中国4个五年发展战略的截止年份为时间节点, 基于径向函数(RBF)神经网络模型测度2000, 2005, 2010和2015年中国337个市级行政单元(不含港澳台地区)建设用地的利用强度, 并利用探索性空间数据分析模型(ESDA)分析其时空演变格局, 运用地理加权回归模型(GWR)分析中国建设用土地利用强度时空分异的主要驱动因素。结果表明: 1) 2000—2015年, 中国建设用土地利用强度整体上呈上升趋势, 且空间差异显著, 高强度的利用水平集中在环渤海经济区、各大沿海城市和省会城市; 2) 中国建设用土地利用强度呈现空间自相关性, 且全局分异格局与冷热点分布格局及空间异质性的态势基本上吻合; 3) 中国建设用土地利用强度的空间格局演变主要受经济发展水平、产业结构、城市化水平以及政府经济调控4种因素影响, 影响程度的排序为城市化水平<产业结构<经济发展水平<政府经济调控。

关键词 建设用地; 利用强度; 时空演化; 驱动因素

Spatial and Temporal Evolution of Construction Land Use Intensity and Its Driving Mechanism in China

ZHANG Yibin, HUANG An, ZU Jian, LIU Chao, SHI Yunyang, HAO Jinmin[†]

Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources,
College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193;

[†] Corresponding author, E-mail: jmhao@cau.edu.cn

Abstract Taking the cut-off years of China's four five-year development strategies as the research time point, based on the radial function (RBF) neural network model, China's 337 municipal administrative units (except Hong Kong, Macao and Taiwan) construction land utilization strength in 2000, 2005, 2010 and 2015 was measured, and the exploratory spatial data analysis model (ESDA) was used to analyze its spatial and temporal evolution pattern. The main driving factors of spatiotemporal differentiation of construction land use intensity in China were analyzed by using geographically weighted regression model (GWR). The results show that from 2000 to 2015, China's construction land use intensity showed an overall upward trend, and the spatial difference was significant. The high-intensity utilization level was mainly concentrated in the Bohai Rim Economic Zone, major coastal cities and provincial capital cities. The intensity of china's construction land utilization presented spatial self-correlation, and the global pattern of separation was basically consistent with the pattern of cold hot spot distribution and spatial heterogeneity. The spatial pattern evolution of China's construction land use intensity was mainly affected by four factors: economic development level, industrial structure, urbanization level and government economic regulation. The rank of its influence degree was urbanization level < industrial structure < level of economic development < government economic regulation.

Key words construction land; use intensity; spatial-temporal evolution; driving factor

建设用是承载区域经济和人口的重要国土资源,对建设用地的利用配置产生的经济效益是土地管理的重点关注内容,开展相关分析对制定土地利用政策和提升建设用地的综合配置效率具有重要价值,建设用地利用强度还可以很好地反映区域城镇化水平^[1-3]。随着“十三五”计划的完成,中国政府对20世纪80年代以来的改革开放成果进行总结和反思,将“五年计划”调整为“五年规划”,目前第3个“五年规划”接近尾声,亟需从空间和时序两方面对中国十几年来建设用地利用强度的区域差异进行定量分析,为中国建设用地调控以及土地资源优化配置提供科学依据。

区域经济发展、人口增长和社会进步的主要驱动力来源于建设用地的合理利用^[4-5]。随着中国进入社会主义新时代,社会经济的发展对建设用地的需求量增大,新型城镇化发展进程影响中国建设用地利用强度的变化,新型产业的优化升级以及投资增长等要素为区域建设用地的开发提供充足的经济支持。因此,对当前中国建设用地利用强度的综合分析是保障土地资源可持续利用、促进经济发展和实施乡村振兴战略的重要内容^[6-9]。《国土资源“十三五”纲要》^[10]中明确提出强度和总量双控的建设用地管控措施,推动建设用地利用研究从利用效率和集约节约等方面延伸至利用强度,引导区域建设用地的可持续开发和利用。

相关研究集中于建设用地的扩张、节约集约利用及利用效率评估等方面,如区域控制技术^[11-16]、规划指标控制^[17-20]以及效率评估方法^[21-25]等。关于利用强度的研究多从区域综合土地利用类型或特殊地类的角度展开^[26-29],对建设用地利用强度的定量测度缺乏相对统一的评估体系和方法,导致区域间建设用地利用强度的研究结果可比性较差。在评估尺度上,现有研究多以县域为评价单元^[30-31],从全国尺度对建设用地利用强度的时间和空间格局及影响因素的宏观探析较少。因此,亟需构建与建设用地利用强度内涵相符的评估方法体系,从全国尺度分析建设用地利用强度,在完善土地利用强度理论和方法体系的同时,为合理地调整新时代中国建设用地的供给需求提供参考。

本文基于要素视角,探究建设用地利用强度的内生动力,构建建设用地利用强度的理论框架和评价指标,基于径向函数(RBF)神经网络模型,测度中国31个省、直辖市、自治区(不含港澳台地区)中

337个市级行政单元2000,2005,2010和2015年4个关键时间节点的建设用地利用强度,分析其演化特征及主要驱动因素,进一步认识建设用地利用强度与中国新型城镇化水平之间的关系。

1 研究框架、方法与数据来源

1.1 研究框架

1.1.1 建设用地利用强度评价指标准则层分析及强度值分区标准的确定

建设用地利用强度中的“强度”指区域内全要素的利用强度,而非只是土地要素的利用强度,是从投入角度来反映人类活动对区域建设用地的利用状况。基于要素视角,建设用地利用强度的内生动力主要是自然、人口和经济动力三类要素,它们相互制约,共同影响,其逻辑关系如图1所示。因此,以建设用地利用强度内涵及内生动力为目标导向,基于建设用地利用强度核心要素层构建评价体系,即:人口、资源和经济作为评价指标的3个准则层,同时分别选取具有代表性的评价因子,反映全要素的综合利用强度状态(表1)。

1) 人口要素准则层。建设用地为其承载的人口解决生产和生活的需要,其利用强度取决于人口承载状况。人口承载水平以及单位建设用地的人口聚集程度充分反映建设用地人口要素的集聚状态,是判别建设用地人口承载强度的重要依据。

2) 资源要素准则层。建设用地利用过程中必然会消耗自然要素中的各种能源,因此,从建设用地消耗资源的角度出发,选取单位时间的能源(如水资源、煤炭资源和电力资源等)消耗量,表征单位建设用地能源的消耗程度。

3) 经济要素准则层。建设用地是社会发展中各类经济资本最重要的承担载体,因此,为反映单位建设用地利用过程中经济要素的利用状况和集聚程度,通过表征建设用地中资本的投入程度来体现建设用地的经济效益。

土地利用强度分区是对区域范围内的土地利用强度进行共性归纳,揭示区域土地利用强度差异及其客观规律的过程,有助于阐明土地利用强度的现状、结构和特点,从而制定更具科学性的土地利用政策,对实现区域土地利用的差别化管理具有重要意义。

建设用地利用强度的分区标准旨在充分反映该区域发展阶段建设用地利用强度的特征,即在现阶段

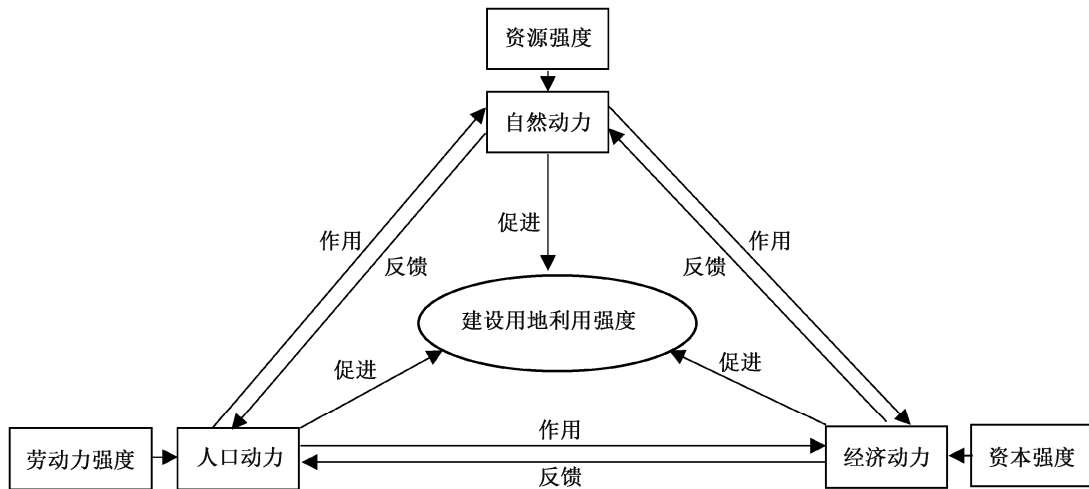


图 1 建设用地利用强度内生动力逻辑关系
Fig. 1 Internal dynamic relationship of construction land utilization intensity

表 1 中国建设用地利用强度评价因素原始变量
Table 1 Original variables of evaluation factors of construction land use intensity in China

准则层	评价因子	指标计算	指标释义
人口要素	单位建设用地人口密度	人口数量/建设用地面积	区域建设用地人口密集程度
	人口增长与建设用地弹性	新增人口/建设用地面积	人口增长对建设用地的依赖性
资源要素	单位建设用地电耗	电耗量/建设用地面积	单位时间内建设用地耗电量
	单位建设用地能源消耗	能源消耗量/建设用地面积	单位时间内区域建设用地消耗能源的状况
经济要素	单位建设用地固定资产投资额	固定资产/建设用地面积	建设用地单位面积资本量的变化
	单位建设用地财政投入额	财政支出/建设用地面积	建设用地单位面积的财政消耗
	单位建设用地二三产业增加值	二三产业增加值/建设用地面积	经济效益对建设用地的依赖性

段的技术条件下, 确定区域建设用地利用强度的合理值, 是判别区域建设用地利用强度状态的重要依据。根据建设用地利用强度的内生动力内涵分析, 可知不同区域建设用地的自然、人口和经济要素均受外部因素(政策制度、规划管控和科技发展等)的干扰, 因此, 建设用地利用强度应该有符合各发展阶段的合理状态。

本文对中国 337 个市级行政单元 2000, 2005, 2010 和 2015 年经济及社会发展状况进行整体考察, 以此作为确定建设用地利用强度区间的主要依据, 通过 ArcGIS 10.2 中的自然间断点分类法^①, 将建设用地利用强度分为 4 个区间(高强度区、较高强度区、较低强度区和低强度区), 有助于最大限度地识别全国范围内建设用地利用强度的空间差异, 并

揭示其空间演化规律, 从而制定因地制宜的建设用地管控政策。

1.1.2 建设用地利用强度的时空演变格局分析

本文采用探索性空间数据分析(ESDA)方法, 从空间和时间角度对 2000—2015 年中国建设用地利用强度的空间差异性进行定量分析。ESDA 主要包括局部空间自相关分析和全局空间自相关分析, 不仅能够弥补区域差异测度方法在空间视角上的缺憾, 而且能够通过可视化数据描述, 避免直观判读数值地图导致的主观性和模糊性的错误。全局空间自相关中的 Moran's I 用于分析整体区域的空间关系特性, 局部空间自相关中的 G_i^* 指数用于分析区域内部各个地域单元空间之间的关联性。本文运用 Moran's I 和 G_i^* 指数进行中国建设用地利用强度的

① 自然间断点分类法是基于数据中固有的自然属性进行分组, 在数据值差异相对较大的位置设置分类边界, 可实现各类别之间的差异最大化, 并形成较为显著的空间趋势特征。

空间差异分析,以期揭示中国建设用地利用强度的空间特征及区域差异性^[32]。

1.1.3 建设用地利用强度驱动因素分析

分析对建设用地利用强度具有影响作用的驱动因子,对厘清中国阶段性的宏观发展战略规划,并高效合理地调节与管控建设用地的开发利用具有重要意义。资源环境、方针政策及区域经济学是影响中国建设用地利用强度的主要因素^[33-35],基于分析数据的基础性、主导性和可获取性原则,本研究从城镇化水平、产业结构、政府经济调控和经济发展水平 4 个方面,对中国建设用地利用强度的驱动因素进行分析。如表 2 所示,选择人均 GDP、二三产业产值占比、地均固定资产投资、地均财政支出和城市化率 5 项指标作为自变量,借助地理加权回归模型(GWR),对 2000, 2005, 2010 年和 2015 年 337 个市级行政单元各类驱动因子与中国建设用地利用强度之间的作用关系进行分析,探究建设用地利用强度的时空格局演变驱动机制。

1.2 研究方法

1.2.1 径向基函数(RBF)神经网络模型

RBF 神经网络通常有 3 层网络结构,即输入层、隐含层和输出层,其运行原理为:隐含层节点通过基函数执行一种非线性变化,将输入空间映射到一个新的空间,输出层则在这个新的空间实现线性加权组合。

RBF 神经网络最常用的基函数是高斯函数,即对于任意的输入向量 $\mathbf{x} \in R^n$ (R^n 为输入样本集),

$$R_i(\mathbf{x}) = \exp[-\|\mathbf{x} - C_i\|^2 / (2a_i^2)], i = 1, 2, \dots, r, \quad (1)$$

式(1)中, $R_i(x)$ 为隐含层第 i 个神经元节点的输出; \mathbf{x} 为 n 维输入向量, C_i 为第 i 个隐节点高斯函数的中心点, a_i 为第 i 个隐节点的归一化参数, r 为隐含层的节点数。

1.2.2 探索性空间分析

全局空间自相关 Moran's I 不仅反映空间邻接

单元的相似性,还体现邻近地域单元属性值的相似程度,计算公式为

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

式中, n 是研究区域内空间单元的个数, x_i 和 x_j 分别表示空间单元 i 和 j 区域的观测值, w_{ij} 是空间权重矩阵的元素值(空间相邻为 1, 不相邻为 0), S^2 为观测值的方差, \bar{x} 为观测值的平均值。

热点分析 G_i^* 指数用于分析不同空间区域的热点区和冷点区,从而测度局部空间自相关特征,计算公式为

$$G_i^*(d) = \sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_j / \sum_{j=1}^n X_j. \quad (3)$$

若 G_i^* 为正显著,表明 i 周围值相对较高,属于热点区;反之则表明 i 周围值相对较低,属于冷点区。

1.2.3 地理加权回归模型(GWR)

地理加权回归模型通过对不同区域的影响程度进行估计,能够较客观地反映参数在不同区域的空间非稳定性,使得变量关系可以随着空间位置的变化而变化,其结果更符合实际情况^[37]。该模型克服了传统线性回归模型(OLS)中由于自变量与因变量之间存在空间自相关而在全局或平均估计中引起的估算偏差问题,模型结构如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^n \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (4)$$

式中, y_i 是第 i 个空间单元的建设用地利用强度值, (u_i, v_i) 是第 i 个采样点坐标, $\beta_k(u_i, v_i)$ 是连续函数 $\beta_k(u, v)$ 在 i 空间单元的值, x_{ik} 为 i 单元上的第 k 个解释变量, ε_i 为随机误差。

1.3 数据来源

2000, 2005, 2010 和 2015 年为建设用地数据来源于中国土地利用现状遥感监测数据,主要包括城镇用地、农村居民点以及其他建设用地。城镇用地

表 2 建设用地利用强度驱动因素
Table 2 Driving factors of the utilization intensity of construction land

自变量	定义	指标计算	变量类型
经济发展水平	人均 GDP	GDP 总量/总人口	连续变量
产业结构	二三产业产值占比	二三产业产值/GDP 总量	连续变量
政府经济调控	地均固定资产投资	固定资产投资总额/建设用地面积	连续变量
	地均财政支出	财政支出总额/建设用地总面积	连续变量
城镇化水平	城镇化率	非农人口数/总人口数	连续变量

指大、中、小城市及县镇以上建成区用地,农村居民点指独立于城镇以外的农村居民点,其他建设用地指厂矿、大型工业区、油田、盐场和采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地,由中国科学院资源与环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/DataList1.aspx?FieldTypID=1,3>)提供。利用 ArcGIS 10.2 将城镇用地、农村居民点用地和其他建设用地合并为建设用地,经统计获得中国 337 个市级行政单元内的建设用地面积。

社会与经济发展数据及能耗数据(如地区生产总值、常住人口数、固定资产投资额、非农人口、二三产业增加值和财政支出等)主要来源于地方统计信息网站和《中国统计年鉴》(<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>)。其中,电耗和能耗(标准煤)分别通过当年地区生产总值与单位生产总值电耗和能耗相乘得到。

为了使价格波动的影响因素降到最低,本研究利用可比价格,对经济数据进行处理,包括地区生产总值、第二产业增加值、第三产业增加值和固定资产投资额等,以便客观真实地反映 2000, 2005, 2010 和 2015 年的经济发展动态。由于数据获取不便,暂不对香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾地区进行评价研究。

2 中国建设用地利用强度的时空分异格局

2.1 建设用地利用强度测算及总体分异特征

基于中国 337 个市级行政单元的面板数据,通过 RBF 神经网络模型获得建设用地利用强度值,运用 ArcGIS 10.2 中的自然断点分类法,将利用强度分为 4 个区间,区间值由高到低分别为一级区[0.3, 1]、二级区[0.2, 0.3)、三级区[0.1, 0.2)和四级区[0, 0.1),分区结果如图 2 所示。

从时间视角来看,2000—2015 年,中国建设用地利用强度整体上呈现增长态势,2015 年建设用地利用强度的平均值为 0.178,高于前 3 个时间节点。从空间分布(图 2)来看,全国 31 个省级行政单元及 337 个市级行政单元建设用地利用强度的空间分异明显,总体上呈现由西向东逐级递增的态势,建设用地利用强度较高水平的行政单元集中在环渤海经济区及各大沿海城市群,总体分布格局与中国重要城市群及经济区等国家战略发展区域的核心区基本上吻合,其他区域建设用地利用强度总体上较

低。从整体上看,各省的省会城市利用强度的分区结果落在一级区和二级区较多,表明作为一个省的政治文化中心,产业及人口的主要承载区域,省会城市承载了较多的生产要素和经济产出,区域内的建设用地表现出较高的利用强度。但是,从分析结果中也看出,部分省会城市的土地利用强度不高,主要出现在西部地区,例如西宁、银川和乌鲁木齐等,这与区位、经济发展阶段、产业发展水平和人口集聚程度等有很大关系。

通过对 2000, 2005, 2010 和 2015 年中国建设用地利用强度的分区评价,可以得出东部地区建设用地利用强度明显高于西部地区的结论。其中,北京、上海、广州、深圳和天津等建设用地利用强度最高,原因主要是作为全国的政治、经济和文化交流的重点区域,其快速发展带来广泛的就业机会,吸引大量的人口,而承载如此多的人口需要大量的建设用地,同时劳动力的集聚又促进经济的发展,导致产业用地增加。如此循环,这几个区域集聚大量的人口,必然导致区域内的建设用地利用强度显著提升。除此之外,以山西、河北、河南、湖北和湖南为主的中部地区建设用地利用强度也相对较高,主要是由于中部地区承载人口多,在建设用地供给有限的情况下,为缓解土地供需矛盾,单位面积的建设用地必然承载更多的生活生产要素。西部地区西藏和新疆的建设用地利用强度较低,是由于西部地区自然条件(如地形、气候)的原因,使得土地利用方式受到制约,单位建设用地承载的生产生活要素较少。随着五年发展战略的不断推进,近年来西部地区的经济发展也出现较大程度的提升,部分地区的建设用地利用强度由四级区升级为三级区。中西部陕西省和四川省等地区的建设用地利用强度多分布在三级区,但仍有成都、重庆和西安等城市位于一级区,由此可见区域发展相对不平衡,经济要素趋于向较大城市集中。

总体来看,各市级行政单元建设用地利用水平在全国范围内区域差异明显,北上广深等大城市、东部沿海地区以及各省省会城市的建设用地利用水平相对较高;中部地区和中西部地区承载较多人口,但经济发展水平较低,其单位面积建设用地产出水平有待提高;西部地区受地形和气候等自然条件的制约,人口也较少,单位面积的人口承载力和经济承载力都较低,建设用地利用强度很低。

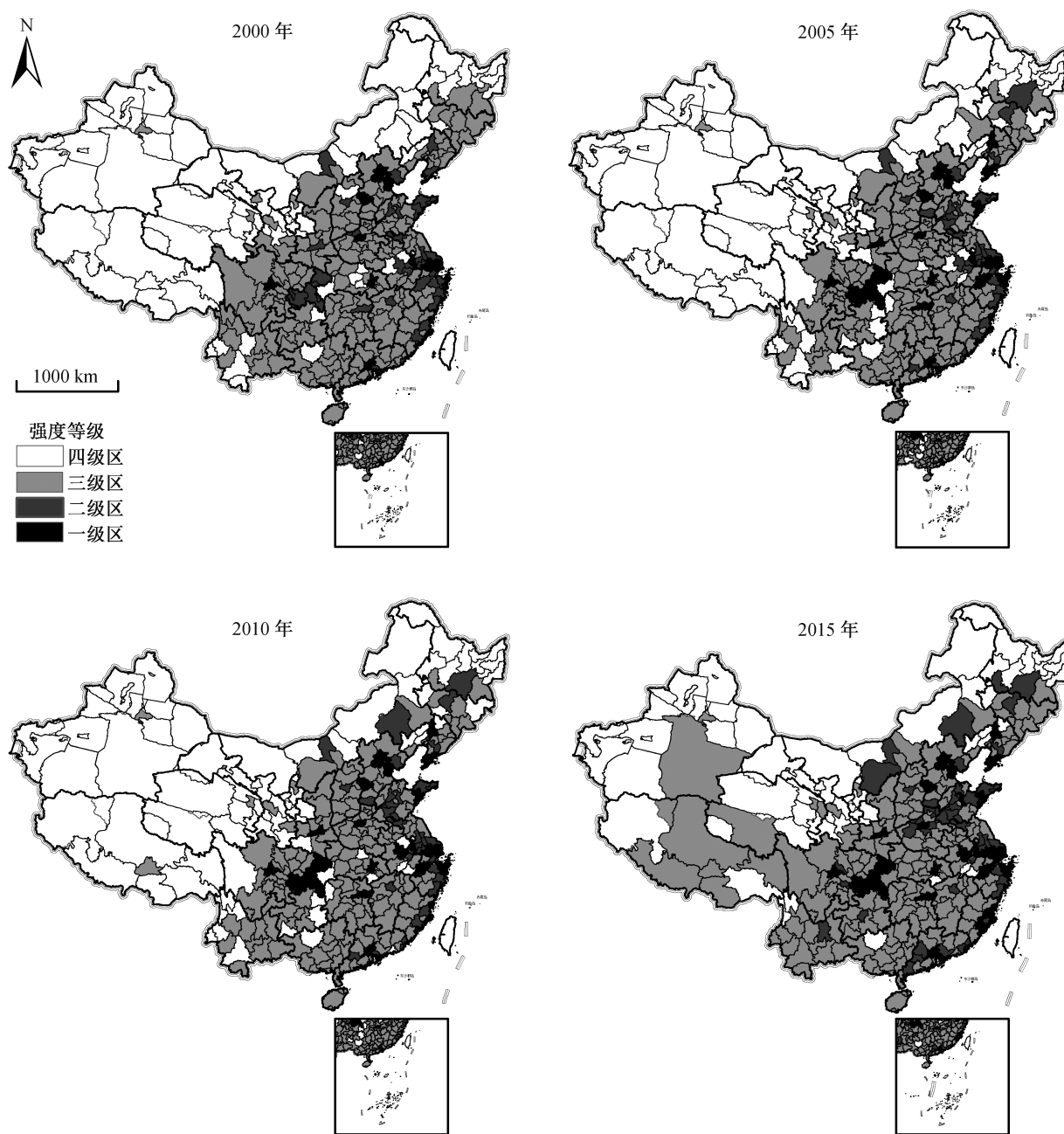


图2 2000, 2005, 2010和2015年中国各城市建设用地利用强度分布
Fig. 2 China's urban construction land use intensity in 2000, 2005, 2010 and 2015

2.2 中国建设用地利用强度的空间差异分析

2.2.1 总体空间格局演化特征

利用 ArcGIS 10.2 空间自相关工具的计算结果显示, 2000, 2005, 2010 和 2015 年全国 337 个市级行政单元建设用地利用强度值的全局 Moran's I 指数均在 1% 的显著水平上(表 3), 表明中国市级行政单元建设用地利用强度的空间格局为相对集聚的态势。2000—2010 年, 全国 337 个市级行政单元建设

表 3 2000, 2005, 2010 和 2015 年中国建设用地利用强度全局 Moran's I 指数

Table 3 China's overall Moran's I index of land use intensity for construction in 2000, 2005, 2010 and 2015

年份	Moran's I	期望值	Z 得分	P
2000	0.1677	-0.0030	12.1024	0.0001
2005	0.1674	-0.0030	12.0913	0.0001
2010	0.1724	-0.0030	12.4582	0.0001
2015	0.1697	-0.0030	12.2377	0.0001

土地利用强度全局 Moran's I 指数由 0.1677 提高到 0.1724, 2015 年降至 0.1697, 总体上呈增长趋势。上述结果表明 2000 年以来, 中国市级行政单元建设土地利用强度的空间相关显著性有所增强, 集聚态势有所凸显。然而, 全局 Moran's I 值的变化幅度不大, 说明中国建设土地利用强度的空间格局分布相对稳定, 未发生较大的变动。

如图 3 所示, 中国建设土地利用强度总体上呈现西低东高的“波浪”型以及中部高、南北低的倒“U”型分布态势, 且随年份的变化差异较小, 主要是由于北京、上海、广州和杭州等中心城市群呈现组团式高值分布态势。2000, 2005, 2010 和 2015 年, 中国建设土地利用强度呈现由西向东和由南向北缓坡递增的趋势, 且在各个五年发展期末均出现小幅的倒“U”型幅度。由此可见, 中国在不同时段建设土地利用强度的分布格局总体上呈现均衡发展的态势, 起伏波动不大, 这得益于我国在经济发展过程中高效率的政府经济调控以及对区域建设土地利用的平衡与调节。

2.2.2 局部空间格局演化特征

利用 ArcGIS 10.2 软件的空间统计模块(Spatial Statistics Tools), 计算得出 2000—2015 年各个市级行政单元建设土地利用强度的局域 G_i^* 指数, 并采

用自然断点法, 将 G_i^* 值由低到高分 4 类: 冷点区、次冷点区、次热点区和热点区(图 4)。

从图 4 可以看出, 热点区集中在东部地区, 其空间分布格局呈现集中式的面状分布态势。2000 年热点区集中于安徽、山东、天津、上海、江苏、浙江、北京、河北南部、山西北部、广东东部以及福建等地区; 冷点区在黑龙江、甘肃、西藏、云南以及内蒙古等地区呈现零星分布态势, 主要分布在青海省中东部地区。2005 年热点区范围有所扩大, 主要是向河北北部、内蒙古中部等地区延伸; 次热点区呈现由中东部地区向西部地区拓展延伸的趋势, 同时次冷点区在西北部以及东北地区的范围也有所扩大, 如黑龙江北部和东部以及西藏北部; 冷点区呈现较稳定的空间格局。与 2005 年相比, 2010 年在内蒙古自治区和江西省等地区热点区域有所缩减, 同时在东北和西南部分地区冷点区域有所增长。可见在新一轮五年规划发展战略实施过程中, 政府利用经济调控使该类地区对建设用地的利用程度有所下降, 但从该类地区的经济数据可以看出, 其经济形势依然呈现稳中向上的趋势。2015 年热点区继续在东南沿海地区扩张, 尤其是在广东福建等地。可见, 在 2015 年第三轮五年规划发展战略实施的初期, 中国各地区经济出现较快速的增长,

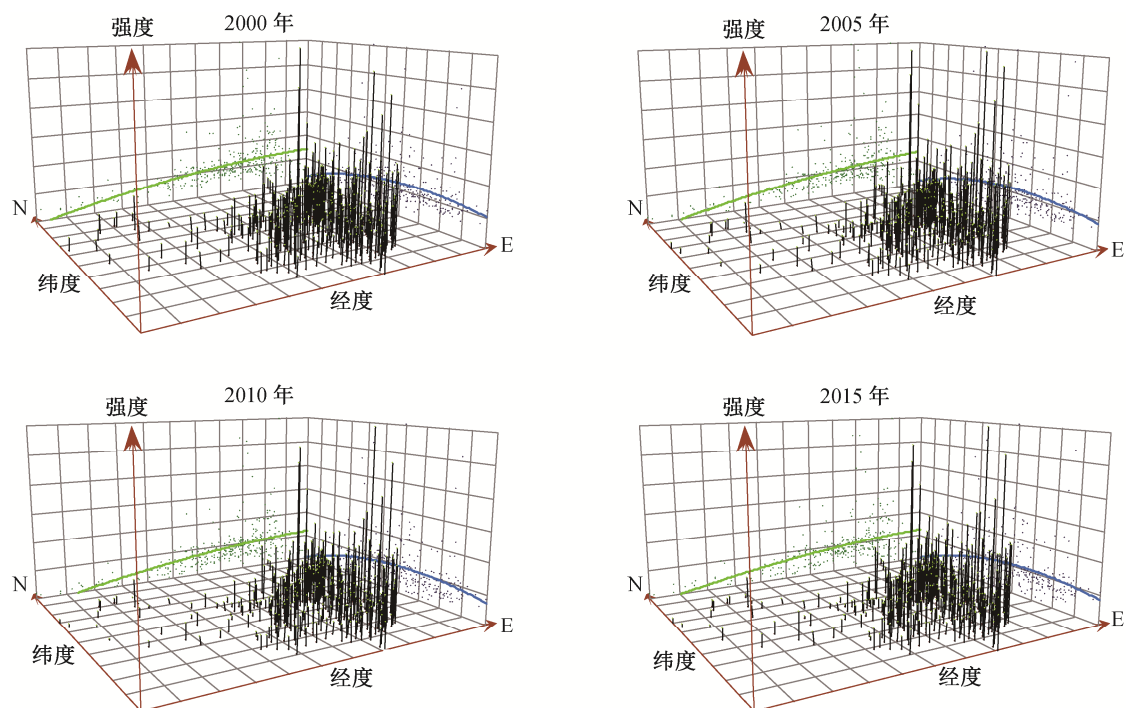


图 3 2000, 2005, 2010 和 2015 年中国建设土地利用强度变化趋势

Fig. 3 China's construction land use intensity trend in 2000, 2005, 2010 and 2015

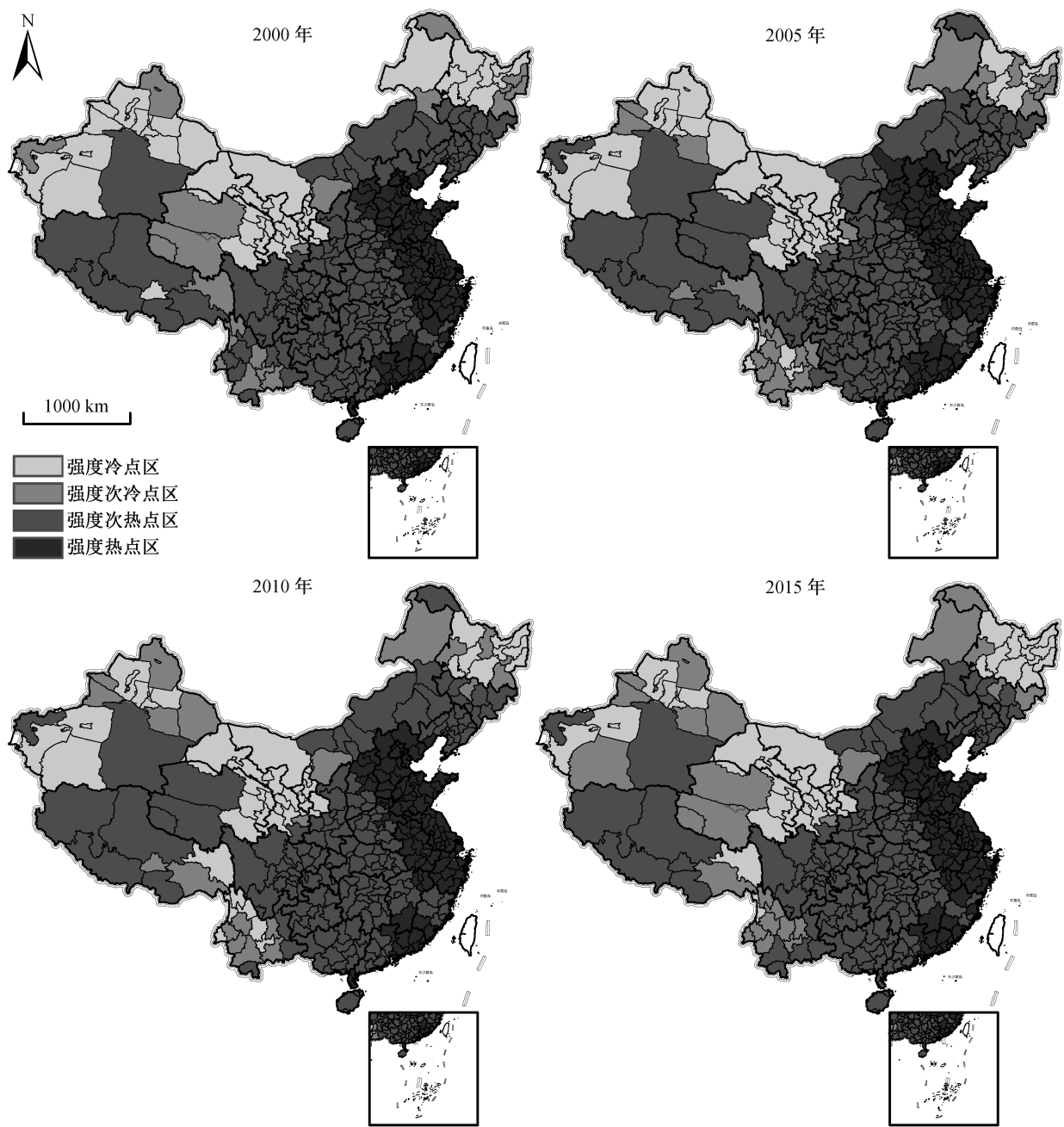


图4 2000, 2005, 2010和2015年中国市级行政单元建设用地利用强度空间热点分布

Fig. 4 China's municipal administrative unit construction land use intensity space hotspot distribution in 2000, 2005, 2010 and 2015

单位面积建设用地的投资额、能源消耗以及人口数量均呈现增长态势,尤其是对西南以及西北等地的重点投入,致使其冷点区和次冷点区明显减少。

2.3 中国建设用地利用强度格局变化的驱动因素分析

利用 ArcGIS 10.2 软件中的地理加权回归分析工具,对建设用地驱动因素中的变量指标进行估算,得出2000, 2005, 2010和2015年不同驱动因素对中

国建设用地利用强度的影响贡献 GWR 值(表5)。在进行 GWR 分析前,采用极值标准化法消除所有驱动因素的指标量纲、数量级以及指标正负取向的差异,将其量纲归一化到[0, 1]之间,确保模型拟合时不同影响因素之间的可比性。由表5可知,2000, 2005, 2010和2015年各年份拟合系数 R^2 分别为 0.759, 0.775, 0.732和0.711,调整后 R^2 分别为 0.737, 0.750, 0.706和0.687,可见该模型的拟合优

表 5 GWR 模型估计结果
Table 5 Estimation results of GWR model

驱动因素	指标	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
经济发展水平	人均 GDP	-0.066~0.169** (0.028)	-0.137~0.397* (0.175)	-0.119~0.351* (0.146)	-0.166~0.345* (0.519)
产业结构	二三产业产值占比	-1.428~0.294** (0.032)	-0.097~0.179* (0.125)	-0.111~1.236** (0.049)	-0.144~0.287** (0.038)
政府经济调控	地均固定资产投资	-0.054~0.645* (0.316)	0.073~0.335* (0.183)	0.078~0.415* (0.219)	0.144~0.320* (0.222)
	地均财政支出	0.136~0.398* (0.198)	-0.041~0.605* (0.302)	-0.207~0.617* (0.333)	-0.154~0.849* (0.462)
城市化水平	城镇化率	-0.51~0.042*** (0.007)	-0.097~0.074*** (0.014)	-0.078~0.121** (0.061)	-0.100~0.203* (0.117)
Cond		4.946~29.952	6.943~29.990	6.017~29.987	15.182~29.987
带宽		965715.90	873292.110	905418.283	1033469.790
残差平方和		0.501	0.704	0.911	1.082
诊断测量值		28.459	35.260	30.830	26.181
Sigma		0.040	0.048	0.0545	0.059
AICc		-1189.389	-1063.419	-984.593	-934.317
R ²		0.759	0.775	0.732	0.711
调整 R ²		0.737	0.750	0.706	0.687

注: ***, **和*分别为 1%, 5%和 10%显著水平, 括号中数字表示回归系数的均值。

度较高, 可以解释建设土地利用强度总变异的 71%~77%。

从平均回归系数值可以看出, 所选取的 4 项核心驱动因素对建设土地利用强度影响的贡献率排序为城市化水平<产业结构<经济发展水平<政府经济调控。

2.3.1 政府经济调控对建设土地利用强度的影响

区域土地的管理过程中政府经济调控起到重要的作用。本研究采用地均固定资产投资和地均财政支出来反映地方政府对建设用地管理干预能力的影响程度。从二者的回归系数来看, 其显著性水平均通过 10%的显著性检验, 可见区域建设土地利用强度受地均财政支出和地均固定资产投资的影响较为显著。由于单位面积的资本投入不断增加, 建设土地利用强度的提升成为必然趋势, 土地利用方式必将经过集约、高效的发展模式, 各地政府对建设用地的投入导致建设土地利用强度的提升。但是, 在欠发达地区, 大部分城市的建设处于起步阶段, 交通、能源等大量基础设施的投入占据大比例的财政支出, 城市的扩展需求拉低区域建设土地利用强度的整体水平。因此, 在欠发达地区, 地均财政支出在一定程度上对建设土地利用强度具有抑制性。

从地均固定资产投资额回归系数的空间分布格

局(图 5(a))来看, 整体上呈现西北高、东南低的态势, 2000 年回归系数呈现从东南向西北逐渐递增的趋势, 并在新疆西北部地区形成正高值集聚区; 与 2000 年相比, 2015 年原西北部的高值区出现明显的低值区域。此外, 4 个时期地均固定资产投资回归系数的高值区(低值区)与建设土地利用强度的热点区(冷点区)重合程度较低, 可见建设土地利用强度水平较低的地区对地均固定资产投资的敏感性相对较高。

从图 5(b)可以看出, 中国 337 个市级行政单元的建设用地地均财政支出回归系数 2000—2015 年的空间差异较小, 基本上与 2000—2015 年中国建设土地利用强度的空间分布格局以及建设土地利用强度的热点区、冷点区对应。从全局来看, 地均财政支出呈现对建设土地利用强度高水平地区的高敏感性和低水平地区的低敏感性, 而在局部建设土地利用强度的低值区域, 由于特殊的政策发展因素, 其影响力相对较强。但是, 2000—2015 年间回归系数负值区呈现明显的集聚现象, 表明地均财政支出对建设土地利用强度空间格局的影响波动较大。

2.3.2 经济发展水平对建设土地利用强度的影响

经济发展水平的持续提高促进各个地区城市规模不断扩张, 随着中国不同阶段发展战略的不断深

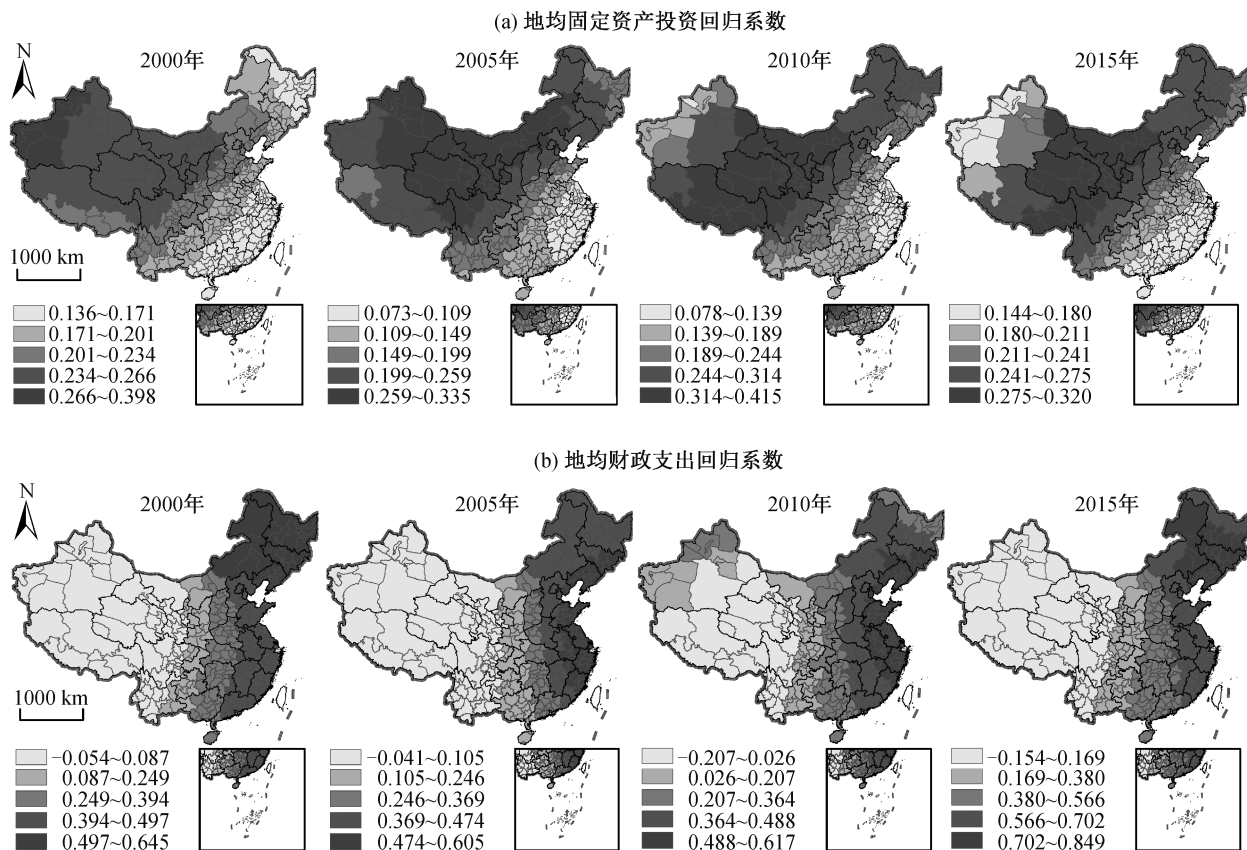


图5 中国建设用地地均固定资产投资回归系数和地均财政支出回归系数分布

Fig. 5 Distribution of land average fixed asset investment regression coefficient and land average fiscal expenditure regression coefficient of China's construction land

入, 单位面积投入/产出的比例不断提升, 从而推动不同地区建设土地利用强度的增长。从人均 GDP 回归系数的分布格局(图6)来看, 2005年呈现中部低周边高的分布态势, 尤其是在东部沿海区域和东北部区域出现正高值集聚的态势, 2005和2010年的回归系数呈现基本上一致的趋势, 相比于2000年其

低值区域向西北地区扩散, 2005年西南地区出现较高值集聚的态势, 而东北地区的正高值区域不断扩张, 东部沿海地区的正高值集聚区相对减弱, 但2010年沿海部分地区正高值集聚态势又逐渐显现, 总体上其影响程度基本上稳定; 2015年呈现复杂的空间分布格局, 但整体上与2000年的分布格局较为

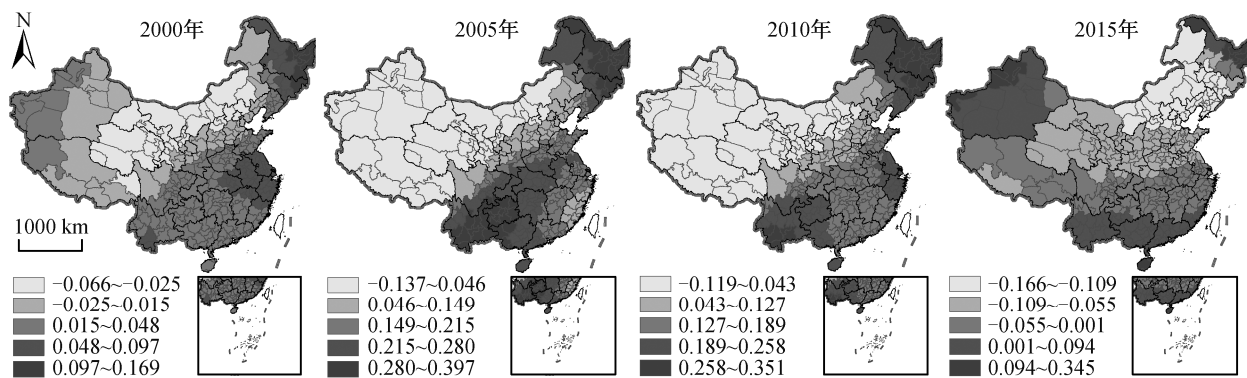


图6 中国人均GDP回归系数分布

Fig. 6 China's per capita GDP regression coefficient distribution

相似, 南部沿海地区、西北地区和东北地区都存在较高的正高值集聚区, 可见 2015 年经济发展水平对建设用地利用强度在空间上的影响总体上呈现波动状态。

2.3.3 产业结构对建设用地利用强度的影响

二三产业产值占比的回归系数通过 5% 和 10% 的显著性水平检验, 可见产业结构对建设用地利用强度的影响显著。从回归系数的作用方向来看, 二三产业的产值占比对建设用地利用强度呈现由负向到正向作用的过渡变化, 可见非农产业结构对区域建设用地利用强度具有一定程度的反向抑制作用, 随着产业结构的不断优化升级, 对建设用地利用强度的影响逐渐增强, 并呈现为正向显著。一方面, 产业结构的调整促进产业升级, 土地和资本要素的相对价格发展变化, 使建设用地利用得到更大的边际产出效益; 另一方面, 产业结构升级会不断提高建设用地单位面积的投资程度, 推动区域建设用地结构的优化升级。

由图 7 可知, 二三产业产值占比的回归系数空间分布格局较为复杂。2000 年高值区集聚在东北小部分地区和云南、海南等区域, 低值区集中在新疆小部分地区; 2005 年回归系数整体上呈现由东向西递减的态势, 但在西部边陲地区出现部分较高值区, 该分布态势与中国建设用地利用强度的热点区和次热点区的空间分布格局重合性较高, 可见该时期二三产业的占比情况对局部建设用地利用强度较高的区域存在极强的敏感性; 2010 年回归系数呈现中部地区大面积低值集聚状态, 逐级扩散至东南沿海地区、东北地区和西部边疆地区的高值集聚区; 与其他时间相比, 2015 年回归系数出现明显的分异现象, 总体上呈现由东南地区高值集聚区向全国其

他区域递减的空间分异格局, 东北地区成为主要的低值集聚区, 由此表明, 在第二个五年规划期末, 东北老工业基地的经济发展状况不佳。将 4 个时期二三产业产值占比回归系数的高值区和低值区分别与中国建设用地利用强度的热点区和冷点区对比, 发现仍存在一定区域的重合性, 体现出建设用地利用强度对产业结构水平的高敏感性, 但不同时期高值区和低值区较大的分异变化表明产业结构对建设用地利用强度在空间上的影响波动较大。

2.3.4 城市化水平对建设用地利用强度的影响

城市化率的回归系数平均值最大为 0.117, 即在不考虑其他影响因素的情况下, 城市化率每增长 1%, 研究区内市级行政单元建设用地利用强度将随之提升 11.7%。由图 8 可知, 2000—2010 年城市化率回归系数高值区由北向南递增, 2000 和 2010 年高值区集聚在中部地区, 2005 年城市化率回归系数在东北地区呈现低值集聚状态。2015 年城市化率回归系数高值区集聚在中部地区, 由中部地区向东北部和西部地区逐渐递减。总体来看, 高值区主要分布在中部地区以及东南沿海地带, 与中国建设用地利用强度局部空间分异特征的热点区、冷点区高度重合, 可见城市化率的高值区和低值区对中国建设用地利用强度的热点区和冷点区敏感性较强。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究基于径向函数(RBF)神经网络模型, 初步探索中国 2000—2015 年 31 个省、直辖市、自治区中 337 个市级行政单元的建设用地利用强度。运用 Moran's I 和 G_i^* 指数空间统计模型, 对建设用地利用强度的空间分异以及演变特征进行分析, 并结

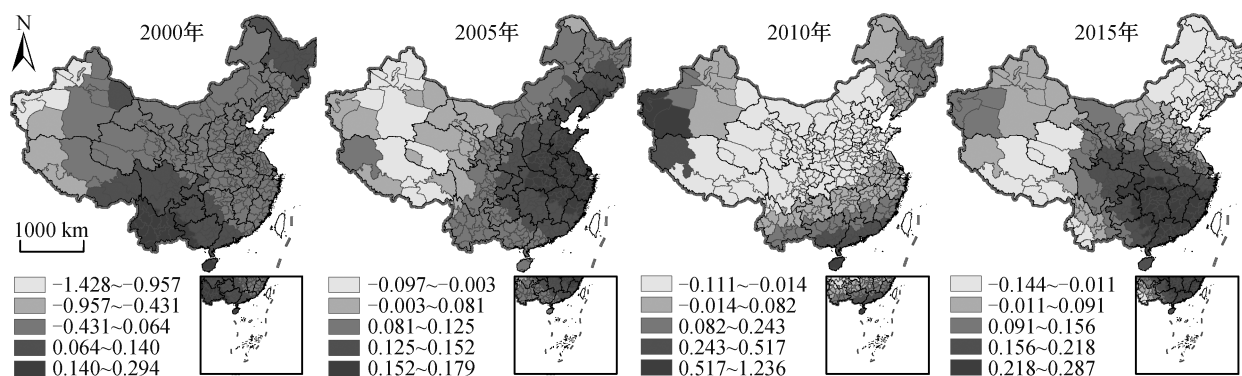


图 7 中国产业结构回归系数分布

Fig. 7 China's industrial structure regression coefficient distribution

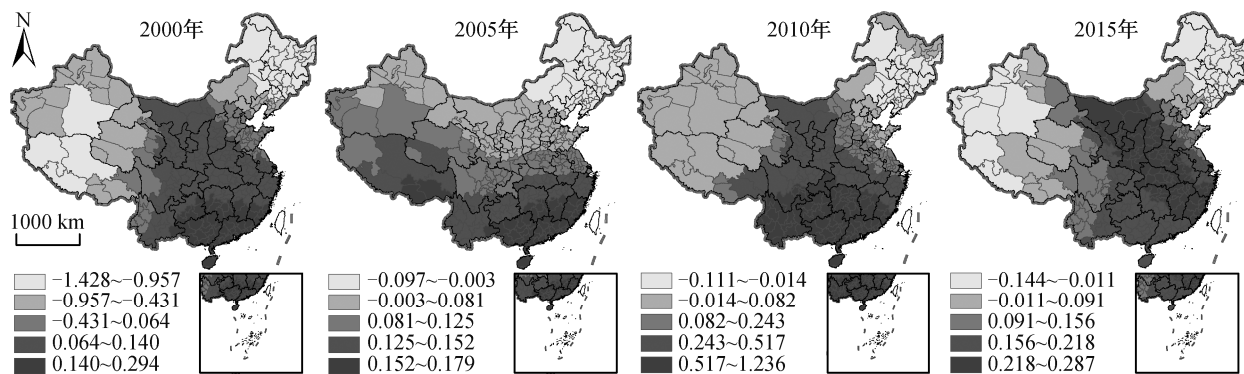


图8 中国城市化率回归系数分布
Fig. 8 China's urbanization rate regression coefficient distribution

合地理加权回归模型(GRW), 探析建设用地利用强度区域差异格局形成的主要驱动因素, 得到如下结论。

1) 中国建设用地利用强度呈现东高西低的显著特征, 天津、上海、北京、深圳和广州等市建设用地利用强度最高, 山东半岛和东部沿海等地区的建设用地利用强度普遍较高, 新疆、西藏的建设用地利用强度较低。总体来看, 中国建设用地用强度的变化不仅与“五年计划”和“五年规划”中对建设用地发展的要求同步, 也与城镇的发展历程相呼应, 说明不同发展阶段中关于土地政策尤其是对建设用地利用政策的执行效率较高。

2) 中国建设用地利用强度空间自相关性显著, 总体的空间格局变化不大, 热点区呈现由零星式的点状分布演变为集中式的带状分布格局, 次热点区呈现由中部地区向西北部、西南部以及东北部等区域逐级蔓延的态势, 整体分布格局与中国的主要城市发展群以及当前各个地区的经济发展态势的分布基本上吻合。

3) 经济发展水平、产业结构、城镇化水平以及政府经济调控等因素对中国建设用地利用强度的影响较大, 且整体的时空差异演变是在以上所有因素之间相互作用的最终结果。中国建设用地利用强度演变的核心驱动因素的贡献率排序为城市化水平<产业结构<经济发展水平<政府经济调控。

3.2 讨论

国内外现有研究中, 针对建设用地利用强度的分析相对缺乏。如 Ellis 等^[16]将土地覆被类型和灌溉与人口密度结合, 建立第一幅全球综合土地利用系统的利用强度图, 刘芳等^[29]基于牲畜类型及密度等空间化指标, 分析 21 世纪初中国综合土地利用系

统强度的空间分布及特征规律。本研究创新点在于通过对中国 31 个省、直辖市、自治区中 337 个市级行政单元建设用地利用强度的测算以及时空演变格局的分析, 较全面地掌握单一土地类型——建设用地利用强度的时空演绎过程及其主要驱动因素。其次, 用发展的观点看, 建设用地利用强度是随着社会不同发展阶段不断变化的复杂巨型系统, 本研究在构建建设用地利用强度评价指标及其驱动因子的理论框架的过程中, 从宏观层面选取主要因素因子进行其时空格局与驱动因子的分析, 从市级空间单元相互作用的视角, 对建设用地利用强度的变化以及空间分异的影响机制进行较深入的探讨。最后, 运用 RBF 神经网络模型评价建设用地利用强度具有建模简单、容易操作等技术优势, 通过 RBF 神经网络模型, 可以发现中国建设用地利用强度指标数据的潜在规律, 并通过记忆学习获得输出与输入之间的内在联系, 信度和效度较高。

本研究存在几方面不足。首先, 只针对 4 个五年发展阶段的期末时间节点进行建设用地利用强度和时空演进的分析, 时间序列较短, 将来应对较长时间序列建设用地利用强度的时空格局演变趋势做进一步探析。其次, 考虑到部分数据的可获取性, 建设用地利用强度的评价指标只涉及人口、经济和资源三方面中最具代表性的几种要素, 并不代表其他一些指标类型对建设用地利用强度的影响可以忽略不计(如不同建设用地类型的密度和社会消费品的零售额等)。因此, 指标要素的选取有待改进与完善。

基于对中国建设用地利用强度时空演化及其驱动因素的分析, 我们提出以下对建设用地利用合理管控的政策建议。

1) 各市应探索创新土地政策, 激发建设用地强度控制的积极性。利用强度值较高的地区可借鉴美国、德国等国家的经验, 探索创新土地政策, 控制建设用地的利用强度。

2) 建立中国建设用地利用管控的标准体系, 实行增量与存量建设用地供应双轨制。增强对新增建设用地的管控力度; 对盘活存量建设用地, 由以限制为主转为以鼓励为主, 从而全面实现对建设用地总量和强度双控制的发展目标。

3) 基于省际各城市建设用地利用强度的空间差异, 综合考虑区域间的经济与城市化发展水平以及土地市场化程度, 根据各行政区发展需求调节建设用地的管控措施。

4) 对建设用地利用进行差别化的管理制度, 从而合理地调控建设用地利用强度。结合新型城镇化建设及乡村振兴发展战略规划, 分类优化建设用地布局模式。

5) 转变经济发展方式, 利用循环经济减少物质投入, 探索绿色共享产业, 加快形成环保建设用地模式, 严格控制建设用地的扩建。

参考文献

- [1] Yan Huimin, Liu Fang, Liu Jiyuan, et al. Status of land use intensity in China and its impacts on land carrying capacity. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(4): 387–402
- [2] 严金明, 张东昇, 夏方舟. 自然资源资产管理: 理论逻辑与改革导向. *中国土地科学*, 2019, 33(4): 1–8
- [3] 严金明, 迪力沙提·亚库甫, 夏方舟. 基于协同发展的省域狭义国土开发强度内涵界定与阈值测度. *农业工程学报*, 2019, 35(4): 255–264
- [4] Liu Zhijia, Huang Heqing, Werners Saskia E, et al. Construction area expansion in relation to economic-demographic development and land resource in the Pearl River Delta of China. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(2): 188–202
- [5] 刘胜华, 詹长根. 基于国民经济和人口发展目标的建设用地需求规模预测研究——以武汉市黄陂区为例. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(5): 51–55
- [6] 赵可, 张安录. 城市建设用地、经济发展与城市化关系的计量分析. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(1): 7–12
- [7] 郭杰, 包倩, 欧名豪. 基于资源禀赋和经济发展区域分异的中国新增建设用地指标分配研究. *中国土地科学*, 2016, 30(6): 71–80
- [8] 陈利根, 陈会广, 曲福田, 等. 经济发展、产业结构调整与城镇建设用地规模控制——以马鞍山市为例. *资源科学*, 2004, 26(6): 137–144
- [9] 徐小黎, 徐伟, 贾克敬, 等. 上海市建设用地空间布局的地面沉降环境影响评价. *中国土地科学*, 2010, 24(10): 69–73
- [10] 国土资源部. 国土资源“十三五”规划纲要. 北京: 国土资源部, 2016
- [11] 杨志恒. 基于PDCA循环的建设用地节约集约利用评价考核研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(增刊 1): 58–61
- [12] 朱一中, 曹裕. 基于PSR模型的广东省城市土地集约利用空间差异分析. *经济地理*, 2011, 31(8): 1375–1380
- [13] 郭晓丽, 冯淑怡, 吕沛璐, 等. 建设用地节约集约利用的制度创新和理论解释——以广东省佛山市“三旧”改造为例. *资源科学*, 2014, 36(8): 1554–1562
- [14] 林坚, 张沛, 刘诗毅. 论建设用地节约集约利用评价的技术体系与思路. *中国土地科学*, 2009, 23(4): 4–10
- [15] Erb K H, Haberl H, Jepsen M R, et al. A conceptual framework for analysing and measuring land-use intensity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 464–470
- [16] Ellis E C, Navin R. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Anthropogenic biomes of the world*, 2008, 8(6): 439–447
- [17] 黄敬军, 姜素, 张丽, 等. 城市规划区资源环境承载力评价指标体系构建——以徐州市为例. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(增刊 2): 204–208
- [18] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望. *地理研究*, 2013, 32(1): 133–145
- [19] Ferdous N, Bhat C R. A spatial panel ordered-response model with application to the analysis of urban land-use development intensity patterns. *Journal of Geographical Systems*, 2013, 15(1): 1–29
- [20] 陈韦, 洪旗, 陈华飞, 等. “规土融合”视角下特大城市土地节约集约利用评价与实践. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016
- [21] 张立新, 朱道林, 杜挺, 等. 基于DEA模型的城市建设用地利用效率时空格局演变及驱动因素. *资源科学*, 2017, 39(3): 418–429
- [22] Chen Yi, Chen Zhigang, Xu Guoliang, et al. Built-up land efficiency in urban China: Insights from the

- General Land Use Plan (2006–2020). *Habitat International*, 2016, 51: 31–38
- [23] 杜挺, 朱道林, 张立新, 等. 河南省耕地流转价格空间分异及形成机制分析. *农业工程学报*, 2016, 32(20): 250–258
- [24] 王良健, 李辉, 石川. 中国城市土地利用效率及其溢出效应与影响因素. *地理学报*, 2015, 70(11): 1788–1799
- [25] 王群, 王万茂, 金雯. 中国城市土地集约利用研究中的新观点和新方法: 综述与展望. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(增刊 1): 95–100
- [26] 易家林, 郭杰, 欧名豪, 等. 城市扩张与耕地利用强度: 工业发展与农户资源禀赋的调节效应. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(11): 56–64
- [27] 汪传建, 江红红, 尹小君, 等. 基于GPS与无人机遥感反演草地生物量的放牧场利用强度评估. *农业工程学报*, 2018, 34(19): 82–87
- [28] 高雅婵, 梁勤欧, 于红梅. 基于需求场理论的浙江城市水资源利用强度时空格局及演变. *资源科学*, 2018, 40(2): 335–346
- [29] 刘芳, 闫慧敏, 刘纪远, 等. 21世纪初中国土地利用强度的空间分布格局. *地理学报*, 2016, 71(7): 1130–1143
- [30] 刘欢, 张荣群, 郝晋民, 等. 基于半方差函数的银川平原土地利用强度图谱分析. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 225–231
- [31] 张微微, 李红, 霍霄妮, 等. 基于能值分析的农业土地利用强度. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 204–210
- [32] 杨文龙, 杜德斌, 刘承良, 等. 中国地缘经济联系的时空演化特征及其内部机制. *地理学报*, 2016, 71(6): 956–969
- [33] 杜官印, 蔡运龙. 1997—2007年中国建设用地的经济增长中的利用效率. *地理科学进展*, 2010, 29(6): 693–700
- [34] 王芳, 高晓路. 内蒙古县域经济空间格局演化研究. *地理科学*, 2014, 34(7): 818–824
- [35] 李广东, 方创琳. 中国县域国土空间集约利用计量测度与影响机理. *地理学报*, 2014, 69(12): 1739–1752
- [36] Khan S, Naseem I, Togneri R, et al. A novel adaptive kernel for the RBF neural networks. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2017, 36(4): 1639–1653
- [37] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于180个地级市的实证研究. *资源科学*, 2017, 39(4): 608–619