

中部六省城市建设用地的利用效率及其驱动因素

丁 一 郭青霞

摘 要 以中部六省为研究对象,利用超效率 DEA 模型和空间自相关方法分析了城市建设用地利用效率的时空差异,并基于地理探测器模型分析了影响建设用地利用效率时空差异的主要驱动因素。结果显示:中部六省城市建设用地利用效率整体呈上升趋势,但表现出较为明显的空间分异;城市建设用地利用效率存在空间正相关关系,局部空间集聚范围变化明显,但集聚效应不突出;不同区域不同时期影响城市建设用地利用效率的主导因素存在显著差异。

关键词 中部地区;城市建设用地;利用效率;时空差异;驱动因素

中图分类号 F299.276

文献标识码 A

一 引言

在中国快速城镇化的背景下,城市建设用地规模迅速扩张,随之产生了一系列诸如用地布局散乱、结构不合理和利用效率偏低等国土空间问题^[1]。城市土地作为城市内部一种特殊的自然资源和物质载体,其利用效率对城市社会经济发展和生态环境健康具有重要影响^[2]。因此,城市建设用地利用效率一直是学者们关注的重点和热点。

目前,学界针对建设用地利用效率开展了大量研究,具有视角丰富、方法多元和尺度多维的特点。在研究视角上,各项研究从时空格局演变、区域差异、形成机理以及优化路径等方面展开^[3-9],研究方法主要包括参数方法数据包络分析和非参

数方法随机前沿分析两种^[10-12],研究尺度涉及全国、区域、省域和市域等^[13-16]。综合来看,尽管研究城市建设用地利用效率的方法已较为成熟,涉及范围比较广泛,但利用地理探测器研究土地利用效率的文献并不多见。此外,中部六省作为我国重要的地理区域,其内部社会经济发展较为不均衡,建设用地利用效率差异明显,而现有研究则缺少对该区域建设用地利用效率特征的描述和对比分析。

本文在已有研究的基础上,利用超效率 DEA 模型和空间自相关模型来分析 2010-2016 年中六省建设用地利用效率的时空变化特征,并引入地理探测器模型探究造成区域时空差异的主要驱动因素,以期中部六省的均衡发展和国土资源优化配置提供参考依据。

作者简介 丁 一(1984—),女,内蒙古满洲里人,山西农业大学资源环境学院讲师,博士,研究方向为土地可持续利用与土地规划研究;郭青霞(1969—),女,山西阳城人,山西农业大学资源环境学院教授,博士。

基金项目 山西省高等学校哲学社会科学一般项目(2017230)。

收稿日期 2019-03-18

修回日期 2019-05-07

二 研究方法 with 数据来源

1. 研究方法

本文主要利用超效率 DEA、空间自相关和地理探测器等方法,其中,中部六省城市建设用地利用效率值通过超效率 DEA 模型测算;空间自相关模型用于分析建设用地利用效率的空间分布差异特征;地理探测器模型用来识别影响中部六省各省份建设用地利用效率的主要驱动因素。

(1) 超效率 DEA 模型

数据包络分析(DEA) 是以线性规划为基础,用来评价在多投入多产出情况下,被评价单元 DMU 间相对有效性的模型方法。其评价结果存在多个评价单元效率值为 1 的可能性^[17]。1995 年,安德森对 DEA 模型进行了改进,提出超效率 DEA 模型。模型中评价单元的效率值可大于 1,从而实现了比较分析同处于生产前沿面的多个评价单元^[18]。该模型在土地利用效率方面的应用已较为成熟。

(2) 空间自相关模型

空间自相关是用来分析某一变量与其相邻空间单元变量是否相关及相关程度的重要方法,可分为全局空间自相关和局部空间自相关。全局空间自相关一般通过 Global Moran's I 确定空间相邻或相近单元在全局空间内的总体分布趋势。本文通过全局空间自相关来分析中部六省城市建设用地利用效率整体的空间关联程度^[2]。公式如下:

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

式中, I 为全局 Moran's I 指数; n 为研究变量的个数; x_i 和 x_j 为研究单元 i, j 的建设用地利用效率测算值; $\bar{x}$ 为研究区利用效率平均值; W_{ij} 是研究单元 i, j 的空间关系测度(相邻为 1,不相邻为 0)。

全局空间自相关无法确定集聚或异常的具体位置,而局部空间自相关可用于衡量局部区域研究单元间的空间相关性,揭示局部单元与其相邻单元间的空间相关程度。本文利用局部空间自相关指数(LISA) 来确定中部六省城际间建设用地利用效率的空间关联特征。公式如下:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

(3) 地理探测器模型

建设用地利用效率在空间分布上存在明显差异。自然、区位、社会经济及政策制度均会对其分布差异的形成产生影响。探明其影响机理是建设用地利用效率研究的重要内容。地理探测器不仅可以探测自变量 Y 的空间分异性,也可以用于分析因变量 X 影响自变量 Y 空间分异的程度^[19],运用该模型可以有效识别影响区域建设用地利用效率的主要驱动因素。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中, q 为影响因素对建设用地利用效率 N 的影响力,其取值区间为 $[0, 1]$, $q=0$ 表明利用效率随机分布, q 值越大表明该因素影响利用效率的程度越高; N 为一级研究区域的样本个数, N_h 为次级研究区域的样本个数; $N \sigma^2$ 为一级研究区域建设用地利用效率的总方差; $N_h \sigma_h^2$ 为次级研究区域建设用地利用效率的方差。

2. 数据来源

本文所使用的社会经济数据主要来源于《中国城市统计年鉴》(2011 - 2017 年) 以及中部六省 2011 - 2017 年统计年鉴,高程数据来源于地理空间数据云 DEM 数据(空间分辨率 30 米),城市边界数据主要来源于地理信息共享网站。空间数据的系统统一为 WGS84。

三 建设用地利用效率时空差异特征分析

1. 指标选取

城市建设用地利用效率体现的应是区域资源综合利用的情况,不仅包括建设用地本身及其对城市范围产生的经济、社会价值,还应体现其环境效益。因此,本文根据柯布一道格拉斯生产函数,结合已有文献^[20],依循系统性、典型性和可获得性等指标选取原则,从投入和产出两个方面构建建设用地利用效率评价体系(表 1)。其中为确定建设用地利用中的环境污染程度,本文选取工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟粉尘排放量三个指标,利用改进的熵值法来计算得到环境污染指数值^[21]。

表 1 建设用地利用效率评价指标体系

指标	类别	具体指标
投入指标	土地资源投入	城市建设用地面积
	资本投入	城市固定资产投资额
	劳动力投入	第二、三产业从业人员
	环境污染	工业废水排放量
		工业二氧化硫排放量
		工业烟粉尘排放量
产出指标	经济发展	第二、三产业产值
		公共财政收入
	环境产出	建成区绿化覆盖面积

2. 城市建设用地利用效率结果分析

本文借助 EMS 1.3 软件,计算出中部六省 2010 – 2016 年建设用地利用超效率值(表 2),并通过自然断点法将 80 个城市历年建设用地利用超效率值分为四类(图 1),进而分析城市建设用地利用效率的时空差异特征。

表 2 显示,在时间尺度上,中部六省 2010 – 2016 年城市建设用地利用效率的均值呈现上升趋势,上升幅度达13.5%。从省域来看,安徽、湖南和江

表 2 中部六省 2010 – 2016 年建设用地利用超效率值

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值
山西	0.628	0.663	0.661	0.612	0.618	0.583	0.623	0.627
安徽	0.695	0.676	0.752	0.746	0.708	0.788	0.916	0.755
江西	0.782	0.800	0.872	0.831	0.821	0.776	0.792	0.810
河南	0.750	0.724	0.594	0.694	0.696	0.684	0.722	0.695
湖北	0.633	0.640	0.593	0.675	0.618	0.663	0.706	0.647
湖南	0.690	0.730	0.562	0.655	0.902	0.914	0.979	0.776
均值	0.696	0.705	0.672	0.702	0.727	0.735	0.790	0.718

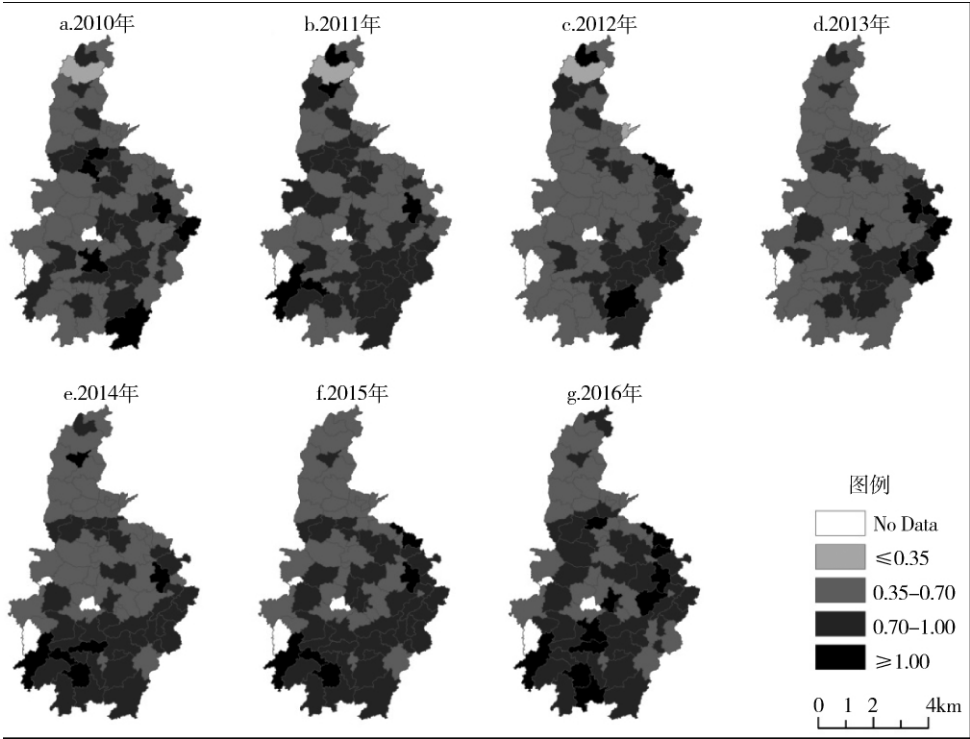


图 1 中部六省城市建设用地利用效率时空变化

西建设用地利用效率均值高于六省整体水平,但变化趋势并不一致,其中安徽和湖南的建设用地利用效率呈现上升趋势,且上升幅度较大,分别达到 31.8% 和 41.9%,而江西在 2012 年达到效率峰值后,则逐年下降。山西、湖北和河南未达到六省均值,其中山西和河南建设用地利用效率值变化不稳定,但整体呈现下降趋势,湖北虽低于六省平均水平,

但整体呈现上升趋势,未来仍有较大提升空间。从市域来看(图 1),2010 年建设用地利用效率大于 0.7 的城市共 6 个,且高值区分布较为零散,到 2014 年利用效率大于 0.7 的城市共 40 个,占比为 50%,主要分布在长江经济带范围内,2016 年利用效率大于 0.7 的城市达到 49 个,占比达 61.25%,且呈现出从郑州、长沙、武汉和合肥四个省会城市向外围扩散集聚的趋

势,建设用地利用效率的差距正在逐渐缩小。但也可以看出,位于中部六省北部及中部的部分地级市的利用效率增速缓慢,与其他地区间的差距在进一步扩大,利用效率的空间非均衡性比较明显。

图 1 显示,在空间尺度上,研究区建设用地利用效率高值区呈现出由点状向条块状分布的发展特征。2010 年利用效率高值区分布较为分散,主要分布于六省的东南部,省内与省际间的差异明显。2014 年利用效率空间分布由东南部向东北部延伸,高值区在六省南部形成集中连片区,且主要分布于长江经济带内。到 2016 年利用效率高值区分布更为密集,低值区分布区域显著缩小,高值区和低值区集中连片分布特征明显,整体呈现出六省中部与南部高值区集中分布并合围低值区,北部低值区分布密集的空间格局。

3. 空间差异性分析

为深入探索中部六省建设用地利用效率的空间

分布特征,本文利用 GeoDa 095 软件来分析区域建设用地利用效率的空间关联性,进而探索城市利用效率的空间差异性。首先运用全局自相关模型,本文测算了 2010—2016 年中六省省际间建设用地利用效率的 Global Moran's I 指数(图 2)。根据已有研究可知,Moran's I 值在 -1 和 1 之间,越接近 1 则正相关越强烈,越接近 -1 则负相关越强烈, 0 表明不存在空间聚集性。据此,从图 2 可以看出,除 2011 年以外,2010—2016 年中六省建设用地利用效率整体具有空间正相关性,但 Moran's I 值并不高,表明相邻省际间利用效率呈现一定的集聚效应,但集聚性不强。因此,为更加准确地测度中部六省建设用地利用效率的空间关联特征,本文利用局部空间自相关方法,引入 LISA 指数绘制在 0.05 显著性水平下的局部空间自相关形态(图 3),来分析局部空间集聚、离散状况,进而探索集聚模式分布的具体空间位置。

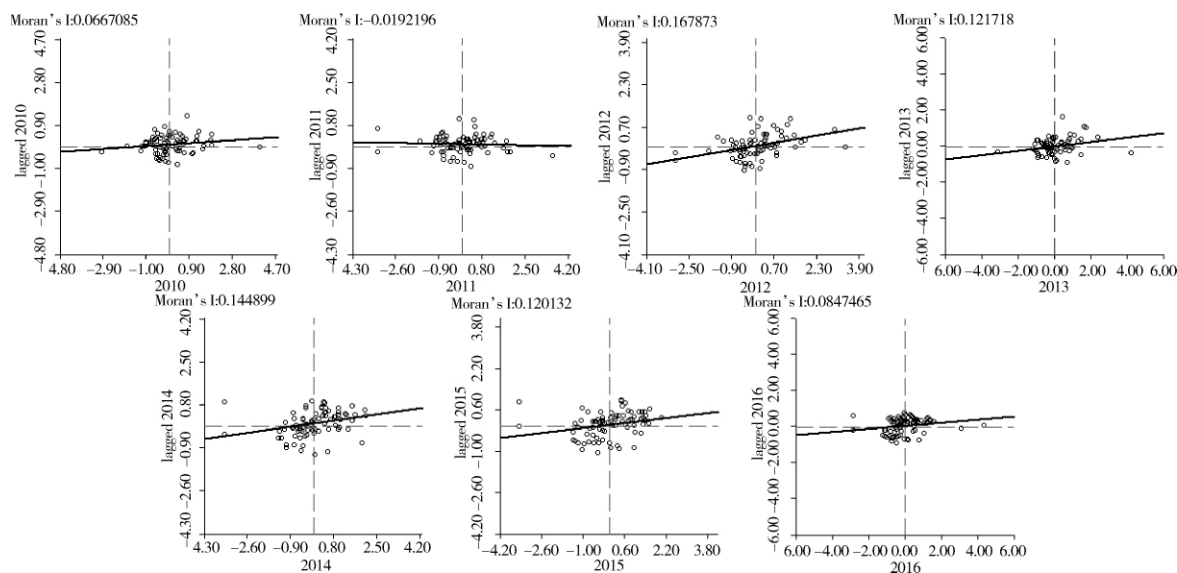


图 2 中部六省城市建设用地利用效率全局 Moran's I 指数

图 3 显示,2010—2016 年建设用地利用效率“高一高”区主要分布在湖南和江西,二省内各地市利用效率值相对较高,与相邻地区差异较小,明显正向带动周边城市发展。2014 年“高一高”区集聚范围最大,其后逐渐缩小。2016 年“高一高”区范围则主要集聚在湖南的“环长株潭城市群”。可见与其他省份相比,湖南近些年经济发展水平较快,建设用地利用效率增长明显。“低—低”区在 2010—2014 年分布相对较为零散且不固定,2015—2016 年则主要分布在山西南部地市。它们均是较为典型的煤炭

资源型城市,受煤炭行业经济下滑的影响,直接导致区域内单位建设用地产出低。2010—2016 年“低—高”和“高一低”区均呈现零散分布且变化范围较大的特点,2014 年后趋于稳定,“低—高”区主要分布在荆州和萍乡,表明二市周边城市效率值较高,“高一低”区则主要分布在太原、襄阳和宜昌,说明三市周边城市建设用地利用效率值相对偏低。综上可知,中部六省建设用地利用效率在局部空间上呈现出“高一高”和“低—低”区范围相对较大且稳定,而“低—高”和“高一低”区范围较

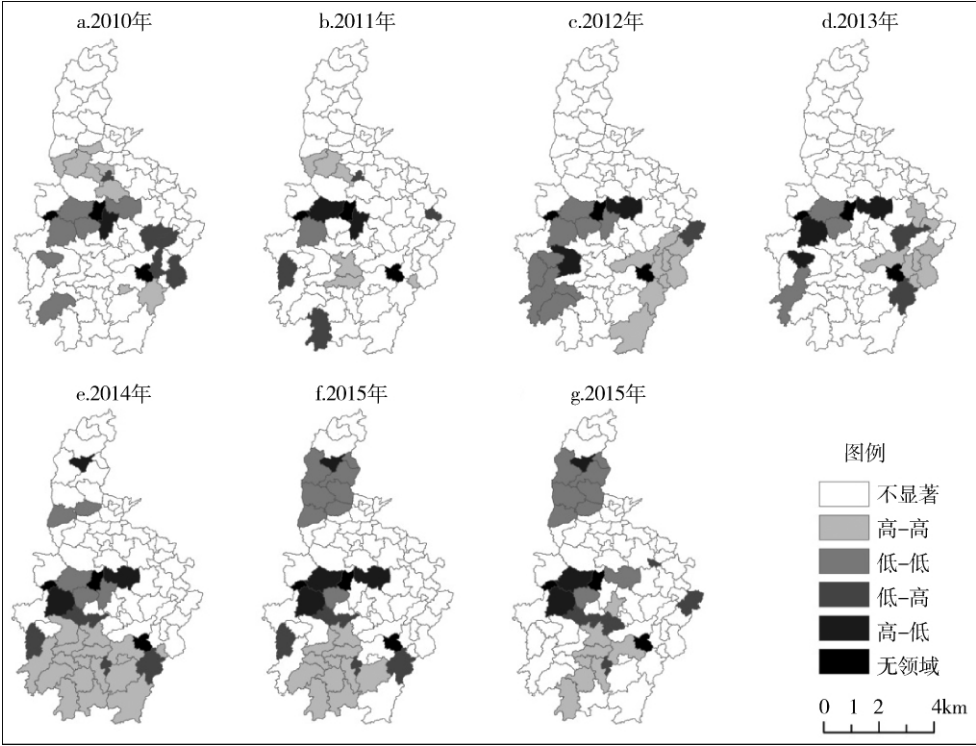


图 3 中部六省城市建设用地利用效率局部自相关形态

小且多变的特点。

四 建设用地利用效率驱动因素分析

1. 驱动因素选取

通过上文分析可以看出,中部六省建设用地利用效率存在明显的空间非均衡性,厘清影响其时空

特征变化的主要驱动因素对实现区域均衡发展和建设用地合理、高效利用具有重要的现实意义。因此,本文结合已有研究成果,从自然条件、区位条件、社会经济条件及政策制度条件四个方面选取 9 项驱动因子(表 3),利用地理探测器模型来研究中

表 3 驱动因子描述			
影响因素	指标	指标描述	变量类型
自然条件	高程 X1	根据各城市建设用地海拔情况进行分等赋值。	类型变量
区位条件	城市影响力 X2	提取全国范围内一线、新一线和二线城市进行缓冲区分析,其中距离一线城市小于 50 公里赋值 5,50 - 100 公里赋值 4,100 - 200 公里赋值 3,200 - 300 公里赋值 2,大于 300 公里赋值 1;距离新一线城市小于 50 公里赋值 3,50 - 100 公里赋值 2.4,100 - 200 公里赋值 1.8,200 - 300 公里赋值 1.2,大于 300 公里赋值 0.6;距离二线城市小于 50 公里赋值 2,50 - 100 公里赋值 1.6,100 - 200 公里赋值 1.2,200 - 300 公里赋值 0.8,大于 300 公里赋值 0.4。	类型变量
社会经济条件	人口密度 X3	单位面积上的城镇人口数量表征(%)。	数值变量
	城镇化率 X4	城镇常住人口占区域常住总人口的比例(%)。	数值变量
	产业结构 X5	第二、三产业产值占地区生产总值的比重(%)。	数值变量
	人均 GDP X6	地区人均 GDP(万元)。	数值变量
	科学技术水平 X7	科学技术支出(万元)。	数值变量
	城市绿化水平 X8	建成区绿化覆盖率(%)。	数值变量
政策制度条件	土地市场化程度 X9	土地招拍挂块数占总出让地块数比重(%)。	数值变量

2. 驱动因素分析

根据地理探测器原理,本文分别以 2010 年和 2016 年中部六省城市建设用地利用效率值为因变量,以表 3 中提出的 9 项驱动因子为自变量,先采用

K-means 方法聚类分级数值变量因子,并利用 Arc-GIS 10.3 实现各因子与利用效率的空间匹配,再运用 GeoDetector 软件测算各因子对中部六省城市建设用地利用效率的影响力 q 值(表 4)。

表 4 中部六省城市建设用地利用效率驱动因子地理探测分析

	2010						2016					
	山西	安徽	江西	河南	湖北	湖南	山西	安徽	江西	河南	湖北	湖南
X1	0.254	0.098	0.317	0.332	0.074	0.373	0.050	0.077	0.332	0.414	0.213	0.260
X2	0.090	0.106	0.133	0.496	0.001	0.237	0.306	0.088	0.395	0.365	0.340	0.683
X3	0.046	0.089	0.042	0.082	0.014	0.873	0.291	0.113	0.313	0.400	0.256	0.166
X4	0.428	0.495	0.371	0.691	0.312	0.267	0.662	0.516	0.577	0.151	0.133	0.778
X5	0.524	0.204	0.181	0.440	0.076	0.159	0.080	0.169	0.149	0.033	0.210	0.395
X6	0.688	0.208	0.241	0.294	0.530	0.514	0.823	0.089	0.808	0.474	0.460	0.442
X7	0.631	0.383	0.192	0.272	0.618	0.316	0.316	0.198	0.248	0.664	0.800	0.175
X8	0.441	0.160	0.322	0.257	0.059	0.332	0.553	0.044	0.327	0.018	0.318	0.001
X9	0.018	0.149	0.650	0.389	0.120	0.133	0.104	0.180	0.356	0.216	0.151	0.306

从整体来看,2010 年和 2016 年城镇化水平和人均 GDP 均是影响城市建设用地利用效率的主要因素。城镇化水平和人均 GDP 均是体现城市社会经济发展的重要指标,可见社会经济水平一直是决定六省建设用地利用效率的关键推动力。同时,科学技术水平对两时期利用效率也起到了较大影响。此外,在 2016 年高级别城市的辐射带动作用对周边城市建设用地利用效率的促进效果逐渐显现,尤其是长江经济带城市群对江西、湖北和湖南的辐射带动作用表现显著。而高程、人口密度、产业结构以及政策制度情况在中部六省表现不明显,地形条件和人口规模对建设用地利用效率的影响不显著,产业结构升级调整在 2016 年之前对建设用地利用效率的影响并未显现,有待进一步通过土地市场作用促进建设用地利用效率的提升。

从各省来看,在 2010 年,山西省人均 GDP (0.688)、科学技术水平 (0.631) 和产业结构 (0.524) 是影响建设用地利用效率的主要因素。而在 2016 年,人均 GDP (0.823)、城镇化率 (0.662) 和城市绿化水平 (0.553) 则成为影响利用效率的主要因素。由此可见,城市经济的发展一直是影响该省利用效率的主要驱动力。此外,随着国家对生态环境的重视,城市环境质量在一定程度上也影响了山西省的利用效率水平。2010 年,影响安徽省建设用地利用效率的主要因素有城镇化率 (0.495)、科学技术水平 (0.383) 和人均 GDP (0.208)。而在 2016 年,城镇化率 (0.516)、科学技术水平 (0.198) 和土地市场化程度 (0.180) 成为了影响该省利用效率水平的前三个因素。这表明城市化发展程度和科学技术进步一直是驱动安徽省利用效率的关键作用力,

而单纯的经济发展程度对城市利用效率的影响则有所减弱,土地市场的资源配置作用逐渐凸显。在 2010 年,江西省土地市场化水平 (0.650)、城镇化率 (0.371) 和城市绿化水平 (0.322) 是影响城市建设用地利用效率的主要因素。而到了 2016 年,人均 GDP (0.808)、城镇化率 (0.577) 和城市影响力 (0.395) 则成为影响利用效率的主要驱动力。可见,城市社会经济发展对江西省利用效率的提高起到了关键的助推作用,而区位条件优势也带动了该省利用效率的提升。2010 年影响河南省建设用地利用效率的因素主要有城镇化率 (0.691)、城市影响力 (0.496) 和产业结构 (0.440),而在 2016 年影响该省前三位的因素主要有科学技术水平 (0.664)、人均 GDP (0.474) 和地形条件 (0.414)。这表明科学技术进步和经济发展水平共同促进了河南省建设用地利用效率的提高,而城镇化发展水平对利用效率的影响力则显著减弱。在 2010 年,科学技术水平 (0.618)、人均 GDP (0.530) 和城镇化率 (0.312) 是影响湖北省建设用地利用效率的主要因素。在 2016 年,科学技术水平 (0.800)、人均 GDP (0.460) 和城市影响力 (0.340) 则成为主要驱动力。由此可见,科学技术水平和城市经济发展水平持续推动着湖北省利用效率的提高,同时科学技术进步的作用力呈现逐渐增强趋势,而经济发展水平的影响力却在减弱。2010 年,湖南省人口密度 (0.873)、人均 GDP (0.514) 和地形条件 (0.373) 是影响建设用地利用效率的关键因素,而在 2016 年,城镇化率 (0.778)、城市影响力 (0.683) 和人均 GDP (0.442) 成为了推动利用效率提升的主要因素。由此可知影响湖南省建设用地利用效率水平的关键因素由人口

和经济双重驱动转变为了社会经济发展和区位条件的驱动,且社会经济驱动更加明显。据此,影响当前山西、安徽和河南建设用地利用效率的因素以内在动力为主,而江西、湖北和湖南省已由单纯的内在动力影响转变为内在动力与外在条件的双重驱动。

五 结论

第一,2010—2016 年中六省建设用地利用效率总体呈上升趋势,但仍有较大提升空间,山西和河南的利用效率相对较低,且变化趋势较小,湖南的利用效率增幅快速,达到 41.9%。城市建设用地利用效率在空间上呈现从北向南逐渐递增的分布特征,空间非均衡性发展较明显,利用效率差距逐渐加大。

第二,2010—2016 年全局 Moran's I 指数表明中部六省城市建设用地利用效率存在空间正相关关系,但集聚效应并不明显。局部空间格局集聚范围变化较明显,且集聚范围较小,南部地区集聚性相对较高。

第三,各驱动因素在不同时期不同省份的影响力存在显著差异。在研究期内,影响山西省建设用地利用效率的主要因素始终为社会经济条件,安徽省则由单纯的社会经济驱动转变为经济与土地市场双重驱动,江西省由土地市场配置、城镇化和城市环境质量的影响转变为主要依赖经济和区位条件提升利用效率,经济驱动对河南省利用效率的影响增强,区位条件成为湖北省利用效率提升的主要驱动力,城镇化水平、经济发展状况和区位优势是湖南省利用效率快速提高的主要因素。

【Abstract】 Taking the six provinces of Central China as research object, this essay uses the Super - efficiency DEA Model and Spatial Autocorrelation to analyze urban construction land use efficiency. At the same time, this essay adopts Geographical Detector to explore the main driving factors for the spatial and temporal differentiation of construction land use efficiency. The results show that urban construction land use efficiency increases in the six provinces of Central China, but spatial differences in urban construction land use efficiency are remarkable. Urban construction land use efficiency show spatial autocorrelation, but the agglomeration effect is not obvious, and the local agglomeration range change dramatically. There are significant differences in the leading factors affecting the urban construction land use efficiency in different research regions and issues.

【Key words】 central China; urban construction land; use efficiency; spatial - temporal differences; driving factor

参考文献

- [1] 杨海泉,胡毅,王秋香. 2001—2012 年中国三大城市群土地利用效率评价研究[J]. 地理科学, 2015(9): 1095—1100
- [2] 刘彦随,邓旭升,甘红. 我国城市土地利用态势及优化对策[J]. 重庆建筑大学学报, 2005(3): 1—3
- [3] 金贵. 2005—2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J]. 地理学报, 2018(7): 1242—1252
- [4] 李永乐,舒帮荣,吴群. 中国城市土地利用效率: 时空特征、地区差距与影响因素[J]. 经济地理, 2014(1): 133—139
- [5] 张立新. 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[J]. 资源科学, 2017(3): 42—53
- [6] 卢新海,陈丹玲,匡兵. 区域一体化背景下城市土地利用效率指标体系设计及区域差异——以长江中游城市群为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(7): 102—110
- [7] 李璐,董捷,张俊峰. 长江经济带城市土地利用效率地区差异及形成机理[J]. 长江流域资源与环境, 2018(8): 1665—1675
- [8] 赵小凤,刘梦丽,王柏源. 基于地理探测器的城市建设用地规模时空差异及影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2018(5): 29—35
- [9] 梁流涛,赵庆良,陈聪. 中国城市土地利用效率空间分异特征及优化路径分析——基于 287 个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学, 2013(7): 48—54
- [10] 华吉庆,叶长盛. 基于 DEA 的广东省城市土地利用效率及其时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2018(4): 283—288
- [11] 吴得文. 中国城市土地利用效率评价[J]. 地理学报, 2011(8): 1111—1121
- [12] 李鑫,欧名豪. 中国省际建设用地上要素效率评价与区域差异研究[J]. 南京农业大学学报, 2012(1): 80—84
- [13] 杨奎,文琦,钟太洋. 长江经济带城市土地利用效率评价[J]. 资源科学, 2018(10): 2048—2059
- [14] 卢新海,陈丹玲,匡兵. 产业一体化与城市土地利用效率的时空耦合效应——以长江中游城市群为例[J]. 中国土地科学, 2018(9): 66—73
- [15] 胡根银. “两型社会”背景下湖北省城市建设用地利用效率及其影响因素——基于四阶段 DEA 的实证分析[J]. 地域研究与开发, 2016(2): 119—122
- [16] 聂雷,郭忠兴,彭冲. 基于 SBM - Undesirable 和 Meta - frontier 模型的城市建设用地利用效率研究[J]. 资源科学, 2017(5): 836—845
- [17] Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978(6): 429—444
- [18] 陈浩,陈平,罗艳. 基于超效率 DEA 模型的中国资源型城市生态效率评价[J]. 大连理工大学学报, 2015(2): 38—44
- [19] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017(1): 116—134
- [20] 徐杰芳,田淑英,占沁嫣. 中国煤炭资源型城市生态效率评价[J]. 城市问题, 2016(12): 85—93
- [21] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(12): 99—103

(编辑: 王明哲; 责任编辑: 刘媛君)