

# 2005-2014年长江经济带城市土地利用效率 时空格局特征

金 贵<sup>1,2,3</sup>, 邓祥征<sup>2</sup>, 赵晓东<sup>1,4</sup>, 郭柏枢<sup>1,3</sup>, 杨 俊<sup>5</sup>

(1. 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;  
3. 湖北大学国土空间管理研究中心, 武汉 430062; 4. 区域开发与环境响应湖北省重点实验室,  
武汉 430062; 5. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023)

**摘要:** 如何以最小的城市土地资源投入获得最大的社会效益是区域生态文明建设关注的重点之一。以长江经济带110个地级市为研究对象, 基于2005-2014年的市级投入产出面板数据, 引入随机前沿模型(Stochastic Frontier Analysis, SFA)测度城市土地利用效率, 并对其空间关联特征进行分析。结果表明: ① 2005-2014年长江经济带城市土地利用效率由0.344升至0.53, 累计提升率为54.07%, 呈现明显的增长趋势, 上游效率增长速率快于中游和下游, 全域土地利用效率仍有较大上升潜力; ② 城市土地利用效率呈现“条块状”分布特征, 从东向西逐步递减, 不仅省内、省际差异显著, 上中下游的差异也较大, 下游地区土地利用效率最高、中游次之、上游最低; ③ 10年间城市土地利用效率Moran's  $I$ 均大于0且逐年上升, 说明城市土地利用效率存在空间正相关性且集聚特征逐年增强, LISA空间形态呈现“小集聚大分散”特征, H-H集聚区沿浙江、上海向外扩散, L-L集聚区集中于皖北、川北等地。研究框架和结果对区域土地资源可持续利用和统筹协调发展具有重要意义。

**关键词:** 土地利用效率; 随机前沿分析; 空间自相关分析; 时空格局; 长江经济带

DOI: 10.11821/dlxb201807005

## 1 引言

中国正经历新一轮快速城镇化过程, 城镇建设用地扩张侵占耕地、林地等国土空间导致区域城镇发展、农地保护和生态保育之间的矛盾日益凸显<sup>[1]</sup>。粗放的城镇土地利用模式引发诸如建设用地结构不合理、空间布局分散和土地利用效率低等国土空间问题<sup>[2]</sup>。在人口地少的基本国情下, 提升城市土地利用效率成为促进区域可持续发展和国家生态文明建设的内在要求。近年来, 国家出台的相关文件中指明要治理城市土地利用低效无序现象, 国土资源“十三五规划”也明确提出总量和强度“双控”措施, 加强对建设用地利用效益的管控<sup>[3-4]</sup>。因而, 在快速城镇化进程中, 如何以最小的土地资源投入获得最大的经济社会效益逐渐成为科学研究及国家战略决策关注的重点。学界针对土地利用效率开展的相关研究内容丰富、尺度多维、方法多元。研究内容大都关注利用方式相异的土地效率, 如建设用地效率、耕地利用效率等, 并以此为基础扩展到对土地利用生态效

收稿日期: 2017-08-17; 修订日期: 2018-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501593, 41601592); 国家重点研发计划项目(2016YFA0602500) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41501593, No.41601592; National Program on Key Research Project, No.2016YFA0602500]

作者简介: 金贵(1986-), 男, 江苏徐州人, 博士, 副教授, 主要从事国土资源评价与国土空间优化管理研究工作。

E-mail: jingui@igsnrr.ac.cn

率,城市化效率的分析和讨论<sup>[5-8]</sup>。研究尺度涉及全国、流域、省域和城市群等各类空间范围,通过分析不同尺度效率驱动机制或空间溢出效应<sup>[9-10]</sup>来揭示区域间土地利用效率变化机理<sup>[1, 11]</sup>。研究方法分为非参数方法和参数方法两类<sup>[12-13]</sup>,分别对应数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)和随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)两类经典模型。前者利用线性规划的数学过程评价决策单元的相对效率,前沿面固定;后者利用生产函数精确模拟评价对象的绝对效率,考虑了不可控因素对无效率产生的影响,相比前者更有优势<sup>[14-15]</sup>。综合来看,尽管SFA模型在国内外经济或工业部门技术效率测算中被广泛的使用,但国内土地利用效率、城市化效率或生态效率的研究案例却并不多见<sup>[16-18]</sup>。此外,多数效率测算结果分析大都基于经济或管理视角的现象描述和机理解释,缺乏对效率地理空间形态的时间序列表达。

基于此,在已有城市土地利用效率相关研究的基础上,从规避效率测算过程中不可控因素对无效率产生的影响及地理空间形态表达角度引入地均SFA方法和空间关联模型,分析2005-2014年长江经济带110个城市土地利用效率时空演变及空间关联特征,通过对城市土地利用效率精确测算和空间形态特征分析为土地资源优化配置和区域统筹发展提供实践参考。

## 2 研究区概况

长江经济带横跨中国东、中、西三大区域,覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南和贵州11个省(直辖市),国土面积约205万km<sup>2</sup>,人口和GDP均超过全国的40%,是中国战略支撑作用最大的区域之一。由于区域间社会经济发展、自然资源条件存在较大差异,一般将长江经济带分为上游、中游和下游3个区域。其中,上游地区包括贵州、云南、四川和重庆的33个城市,中游地区包括湖南、湖北和江西的36个城市,下游地区包括安徽、浙江、江苏和上海的41个城市。该区域包含长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群三大国家重要城市群地区,以及皖江城市带、黔中城市群、滇中城市群等区域性城市群。国家“十三五”规划确定长江经济带战略为中国三大区域发展战略之一,将建成具备全球影响力和先进理念输出的生态文明示范带。作为中国城镇化快速发展的区域,长江经济带生态保育、城镇化发展和农地保

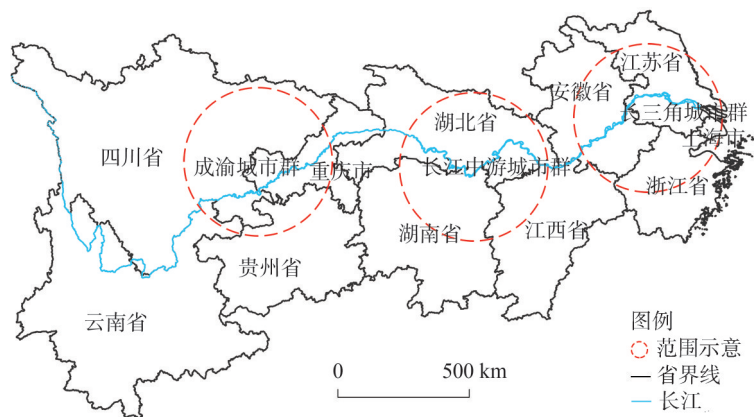


图1 长江经济带地理位置

Fig. 1 General view of the Yangtze River Economic Zone

护的矛盾日益凸显,尤其是大量耕地和生态用地转化为建设用地对资源环境产生较大负面影响,加之城市土地资源低效利用,很大程度制约区域可持续发展。在“共抓长江大保护,不搞大开发”的理念下,以最少的土地资源消耗支撑经济社会持续发展尤为重要,重点在于提升土地利用效率。因此,本文以长江经济带为典型区,探索城市土地利用效率及其空间分异规律,为区域生态文明建设和土地优化利用提供科学支撑。

### 3 研究方法 with 数据来源

#### 3.1 指标和数据来源

本研究基于经典生产函数将劳动力、资本和土地作为基本投入指标,经济产值作为产出指标,同时结合城市土地利用特点,具体指标应充分体现非农生产活动特征<sup>[11, 17]</sup>,故选取城市建设用地、财政支出、资本存量及非农从业人口作为投入指标,将能够综合反映城市经济发展水平的非农产值作为产出指标。

投入产出核算数据是SFA模型分析效率的基础<sup>[16]</sup>,土地、资本和劳动力的相关数据来自《中国城市统计年鉴》(2005-2014年)、《中国区域经济统计年鉴》(2005-2014年)以及各省(直辖市)2005-2014年的统计年鉴,居民消费价格指数(Consumer price index, CPI)数据来自国家统计局。城市非农产值在统计年鉴数据的基础上通过GDP平减指数法测算至2005年。城市建设用地为城市、近郊区的城镇用地总和。资本指财政支出和资本存量,其中,财政支出用CPI平减至初期年,资本存量的估算拟采用永续盘存法(Perpetual inventory system, PIM)<sup>[19]</sup>,涉及当期投资指标的选择、基期资本存量的计算、折旧率的选择和投资平减4个内容<sup>[20]</sup>。劳动力为非农从业人口,是单位从业人员、私营和个体从业人员之和。以上述数据资料为基础,整理成2005-2014年长江经济带市级尺度面板数据。

#### 3.2 研究方法

**3.2.1 SFA模型** Meeusen等<sup>[21]</sup>和Aigner等<sup>[22]</sup>在20世纪70年代同时提出SFA模型是定量测算效率的有效工具。Battese等针对面板数据先后提出了改进模型,为模型设定添加了时变系数,自此SFA得到广泛的应用<sup>[23]</sup>。SFA作为分析多投入单产出的计量经济方法可以对自身参数和适用性进行检验,能有效区分统计误差项和管理误差项,避免不可控因素对无效率产生的影响,使结果更接近于实际。为了直观反映土地利用效率的内涵,本文将土地要素投入以单位面积劳动力和资本的形式体现,同时投入产出方程中充分考虑随机冲击和技术无效率的影响。基于柯布一道格拉斯生产函数对数形式构建本研究的日均投入产出SFA实证模型如下:

$$\ln(y_{it}) = \beta_{0i} + \beta_{1i} \ln(L_{it}) + \beta_{2i} \ln(K_{it}) + \beta_{3i} \ln(F_{it}) + v_{it} - \mu_{it} \quad (1)$$

式中:  $y_{it}$  表示  $t$  时期  $i$  市的单位面积非农产值 (万元/km<sup>2</sup>);  $L_{it}$  为单位面积非农劳动人口 (人/km<sup>2</sup>);  $K_{it}$  为单位面积资本存量 (万元/km<sup>2</sup>);  $F_{it}$  为单位面积财政支出 (万元/km<sup>2</sup>)。  $\beta_0$  为截距项;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  是劳动力、资本存量和财政支出的产出弹性;  $v_{it}$  和  $\mu_{it}$  是误差项,本文中  $v_{it}$  相互独立且同服从正态分布,表示无法预测的随机冲击,比如重大自然灾害、极端天气或者重要社会事件;  $\mu_{it}$  相互独立且服从非负的截断正态分布,反映了第  $i$  个单元  $t$  时期的土地利用无效率成分,代表了评价单元生产点距离生产前沿面的距离。

在公式(1)为基础上,计算城市土地利用效率:

$$LUE_{it} = \exp(-\mu_{it}) \quad (2)$$

式中:  $LUE$  为城市土地利用效率, 且  $\mu_{it} \geq 0$ ,  $0 < LUE_{it} \leq 1$ 。

进一步, 定量描述时间因素对土地利用无效率项  $\mu_{it}$  的影响:

$$\mu_{it} = \beta(t) \times \mu_i \quad (3)$$

$$\beta(t) = \exp\{-\eta \times (t - T)\} \quad (4)$$

式中:  $\eta$  是待估计的时变系数, 反映城市土地利用效率变化率的大小, 若  $\eta > 0$ ,  $\beta(t)$  随着  $t$  的增加而递减, 土地利用效率提升; 若  $\eta < 0$ ,  $\beta(t)$  随着  $t$  的增加而递增, 土地利用效率降低; 若  $\eta = 0$ , 则土地利用效率不随时间变化。

最后, 对 SFA 模型用于本研究的适用性和科学性进行假设检验:

$$\lambda = -2[LR(H_0) - LR(H_1)] \quad (5)$$

式中:  $\lambda$  是对数似然比统计量;  $LR(H_0)$  和  $LR(H_1)$  分别是随机前沿模型在零假设  $H_0$  (不存在技术无效率) 和备择假设  $H_1$  (存在技术无效率) 下的对数似然函数值。在零假设成立的前提下, 统计量服从混合卡方分布。

$$\gamma = \frac{\sigma_\mu^2}{\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2} \quad (6)$$

式中:  $\gamma$  用于定量分析模型误差项的数量结构, 其值越接近 1, 表明技术无效率占误差项的比例越大;  $\sigma_\mu^2$ 、 $\sigma_v^2$  分别为技术无效率项和随机冲击项的方差。

**3.2.2 空间自相关分析** 空间自相关是检验某一要素的属性值是否显著地与其相邻空间点上的属性值相关联的重要指标, 分为全局空间自相关和局域空间自相关 (Local Indicators of Spatial Association, LISA)。全局空间相关性用来分析研究对象在全局空间内表现出的分布特征, 一般通过全局 Moran's  $I$  来衡量城市土地利用效率总体的空间关联程度<sup>[24]</sup>, 计算方法如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

式中:  $I$  为全局 Moran 指数;  $x_i$ 、 $x_j$  分别为市域  $i$ 、 $j$  的城市土地利用效率观察值;  $\bar{x}$  为研究区城市土地利用效率平均值;  $W_{ij}$  是城市  $i$  和  $j$  的空间关系测度 (相邻为 1, 不相邻为 0)。Moran's  $I$  值大于 0 表示空间正相关, 小于 0 表示空间负相关。

全局空间自相关不能确切表示集聚或异常发生的具体空间位置, 需要用局部空间自相关方法作进一步分析, 着重研究城市土地利用效率在某些局域位置上的空间相关性。本文引入 LISA 指数  $I_i$  作为 Moran's  $I$  的局部形式, 用来检验局部地区的集聚、离散效应, 揭示局部每个城市土地利用效率与其相邻单元之间的空间自相关程度。其表达式为:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

## 4 结果分析

### 4.1 模型估计与参数检验

基于 2005-2014 年长江经济带 110 个城市的投入产出面板数据, 结合公式 (1) ~



(6), 通过地均 SFA 模型估计长江经济带城市土地利用效率, 模型的检验结果如表 1 所示。一方面, 单边效应似然比检验结果服从混合卡方分布, 在 0.01 的显著性水平下通过存在技术效率项的假设, 且  $\gamma$  的数值为 0.841 表明了技术无效率在误差项中占比较大。另一方面, 参数系数的 T 检验值均大于 0.01 显著性水平下的临界值, 说明在 99% 的置信度上参数估计是准确的。综上, 本文引入地均 SFA 测算城市土地利用效率是适用和科学的。此外, 参数  $\eta = 0.061$ , 这说明时间因素对  $\beta(t)$  的影响以递增的速率下降, 即各城市的土地利用无效率成分将随着时间的推移而下降。从劳动力、资本和财政支出的产出弹性来看,  $\beta_1 = 0.171$ 、 $\beta_2 = 0.362$ 、 $\beta_3 = 0.221$ , 说明单位面积非农从业人员、资本存量和财政支出分别增长 1% 相应的单位面积非农产值上升 0.17%、0.36% 和 0.22%。

4.2 土地利用效率测算结果

在模型适用性和可靠性检验的基础上, 由公式 (2) 得出长江经济带 2005-2014 年 110 个城市土地利用效率, 且根据期中 2010 年的城市土地利用效率数据通过自然断点法将其从高到低分为 4 类, 并类推到其他 9 个年份 (图 2), 进而分析长江经济带城市土地利用效率的时空格局特征。

在时间尺度上, 长江经济带 2005 年、2008 年、2011 年和 2014 年城市土地利用效率的均值分别是 0.344、0.407、0.469 和 0.53, 呈现出明显的上升趋势, 效率均值累计提升率为 54.07%。2005 年城市土地利用效率值超过 0.59 (一类) 的市域共 4 个, 主要出现在下游长三角地区; 到 2008 年城市土地利用效率为一类的市域共 8 个, 相对基期年小幅增加; 2011 年效率为一类的市域共 19 个, 主要分布在长三角城市群和长江中游城市群; 2014 年效率高值区从上海、武汉等城市开始向外围扩散, 共 32 个城市, 占比升至 29.09%, 尽管逐年增速明显, 但具备上升潜力的城市仍然较多。2005-2014 年土地利用效率增长较快的城市分布在云南和安徽, 这些上游和中游城市土地利用效率基数较小, 提升潜力较大; 效率增长缓慢的城市集中在江苏和浙江, 东部地区城市土地利用效率相较于其他城市增速慢。2005-2014 年间长江经济带上中下游土地利用效率累计增长率分别为 65.54%、56.53%、45.82%, 土地利用效率的整体差异正在逐渐缩小。这一结论与近年来国内外研究中国经济转型和城镇化发展的研究结论以及土地利用效率区域差异增大等观点不同<sup>[25-26]</sup>。单从 GDP、城市化率等指标来看, 研究区东、中和西部的差异正在逐步扩大, 尽管土地利用效率空间非均衡性特征显著, 但其空间分布差异并没有被进一步拉大。主要原因是: 一方面土地利用效率不包含影响经济发展的非观测因素, 更多体现城市发展过程中土地资源投入的内在贡献; 另一方面, 尽管受到地理条件和土地管理政策的有效约束, 但各类城市的粗放增长方式仍未得到彻底转变, 导致城市间效率值在未达到最优的情况下差异缩小。

在空间格局上, 研究区城市土地利用效率呈现“条块状”分布特征, 从东向西逐步递减, 不仅省内、省际差异显著, 上中下游的差异也较大。东部上海和苏州的效率居于

表 1 随机前沿生产函数方程估计结果  
Tab. 1 Estimation of stochastic frontier production function

参数	估计结果	标准差	T 检验值
$\beta_0$	3.917***	0.282	13.91
$\beta_1$	0.171***	0.021	8.25
$\beta_2$	0.362***	0.024	15.04
$\beta_3$	0.221***	0.016	14.07
$\sigma^2$	0.095***	0.011	9.95
$\gamma$	0.841***	0.014	62.12
$\mu$	0.566***	0.025	23.03
$\eta$	0.061***	0.003	22.39
对数似然值	521.31	单边效应似然比检验	1494.07

注: \*, \*\*, \*\*\*:  $P < 0.1$ ,  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ;  $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_\mu^2$ 。

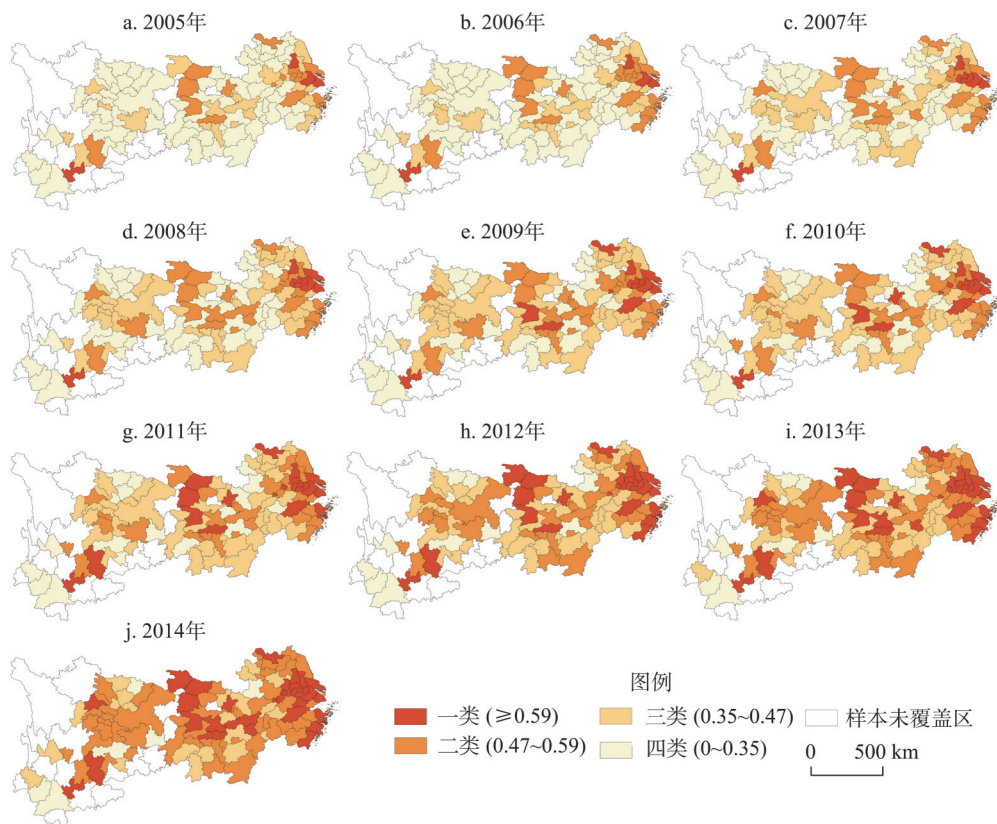


图2 长江经济带城市土地利用效率时空格局

Fig. 2 Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone

研究区最高水平,这与该地区资本投入、劳动力配置相对合理,土地利用集约程度高有关。中部武汉、长沙、常德和襄阳效率值位居该区域前列,这些城市均为区域中心,劳动力丰富、资本充足,土地利用经济效益良好。西部成都和重庆的土地利用效率值相比中部和东部同级别城市仍有一定差距,需要提升城市存量建设用地开发的投资水平。研究区土地利用效率均值低于下游地区,略高于上游和中游地区,下游地区土地利用效率均值一直高于上、中游。图3将上、中和下游城市土地利用效率值和非农产值进行耦合分析,非农产值高的城市土地利用效率值也高,上、中游地区基本包含4类土地利用效率,反映出上、中游区内发展协调性差。从三大城市群2014年土地利用效率值来看,长三角城市群最高,效率均值为0.624;成渝城市群次之,效率均值为0.521;长江中游城市群最低,效率均值为0.484。总的来说,在一定投入水平和技术条件下,不同区域城市劳动力、资本和建设用地投入的实际产出与潜在产出之间存在差距造成了土地利用效率的空间差异,投入要素空间配置不合理导致了城市土地资源的浪费,这也说明研究区土地利用效率具有较大的提升潜力。当前应进一步厘清城市土地利用效率地理空间形态,揭示其空间关联特征,为区域统筹发展的政策支撑体系构建提供参考。

#### 4.3 土地利用效率空间关联特征分析

为揭示长江经济带城市土地利用效率空间显性形态特征,以10期城市土地利用效率为基础,利用GeoDa平台进行空间关联特征分析,刻画城市土地利用效率与其邻域之间

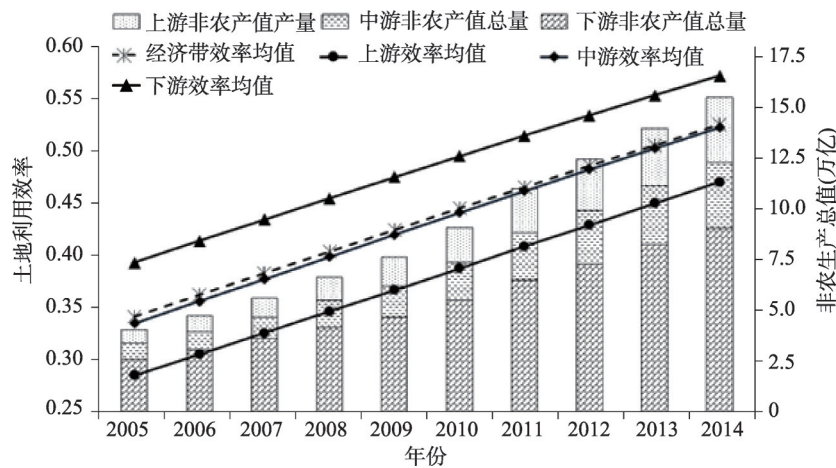


图3 2005-2014年间长江经济带中上下游城市土地利用效率和非农产值

Fig. 3 Urban land use efficiency and non-agricultural GRP in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014

的关系(图4)。斜率Moran's  $I$  值范围在-1到1之间;越接近-1,负相关越强烈;越接近1,正相关越强烈;接近0,则表明不存在空间聚集性。4个象限中的第Ⅰ、Ⅲ象限表示H-H(高一高)集聚与L-L(低—低)集聚,第Ⅱ、Ⅳ象限表示H-L(高一低)异常与L-H(低—高)异常。10年间研究区城市土地利用效率Moran's  $I$  均大于0,且逐年上升,说明土地利用效率在空间上存在正相关性,且正相关集聚特征逐年增强。很多点落在

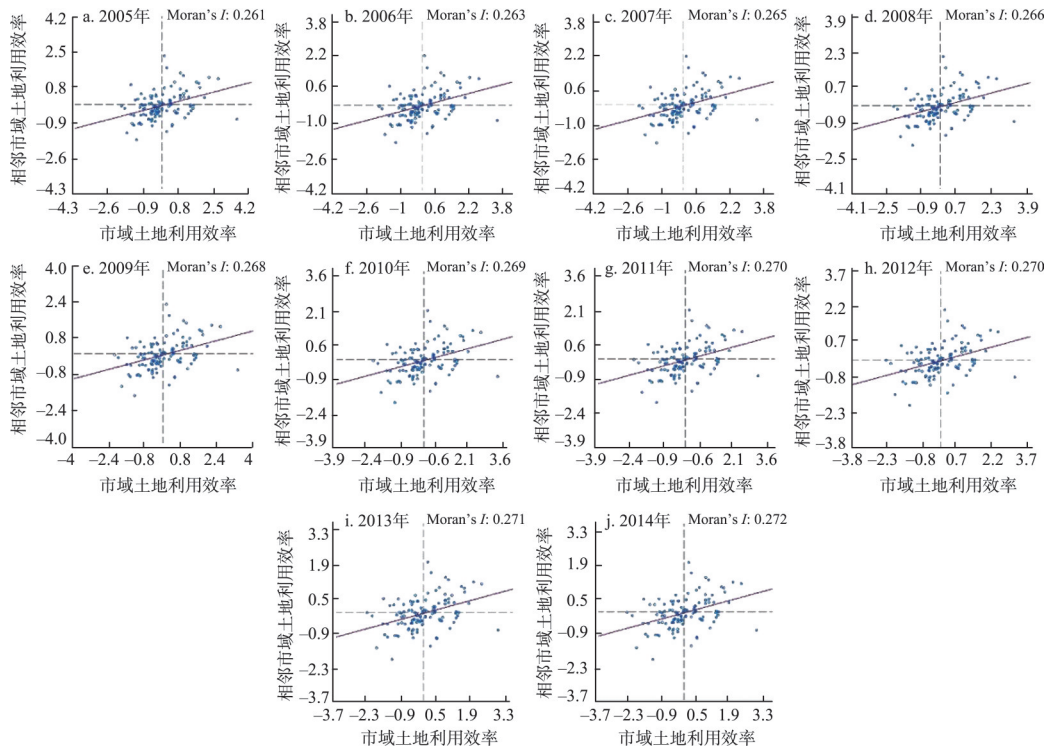


图4 2005-2014年长江经济带城市土地利用效率Moran's  $I$  散点图

Fig. 4 Moran's  $I$  scatter diagram of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014



I、Ⅲ象限,表明长江经济带效率值呈现H-H和L-L聚集特征,即土地利用效率高值城市与周边的高值城市发生空间聚集现象,低值城市与周边的低值城市发生聚集现象。落入Ⅱ、Ⅳ象限的点数相对I、Ⅲ象限少,说明较少出现周边城市土地利用效率与自身效率值明显差异的情况。

全局空间自相关指数Moran's  $I$ 是一个区域整体度量指标,仅反映单元与周边空间关联的平均程度。为了确定土地利用效率局部空间集聚或异常的空间位置,本文采用局部自相关分析方法进行分析,绘制土地利用效率在0.05显著性水平下的LISA空间形态(图5)。由于研究为长时间序列,加之研究区土地利用效率的空间相关性逐年增强,因此本文选取初期2005年和末期2014年土地利用效率分析其局域空间关联特征的变化情况。

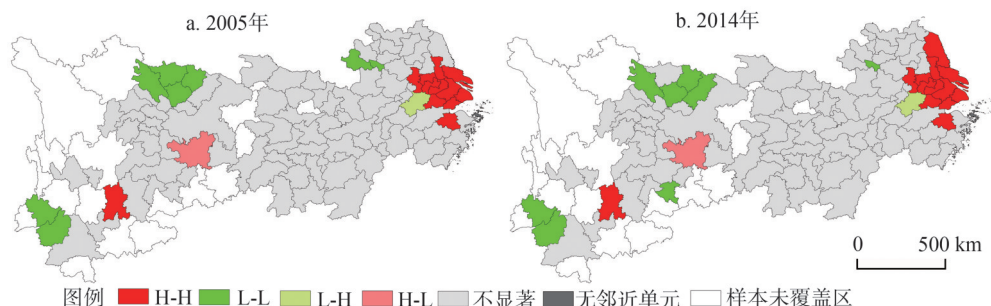


图5 2005年和2014年长江经济带城市土地利用效率LISA空间形态

Fig. 5 LISA cluster map of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone in 2005 and 2014

在0.05的显著性水平下,H-H集聚区主要集中在下游的上海、江苏和浙江等省,长三角经济发展水平高,建设用地基础条件良好、资本富余、非农劳动人口充足,城市土地利用效率提升至较高水平。这些城市自身和周边城市的土地利用效率值高,相邻城市效率值差异较小,对周围城市有显著的正向影响。需要指出的是:2005-2014年间云南省内呈现出H-H区,土地利用效率高的昆明市与周边的城市呈现空间聚集现象,这是以往城市土地利用效率研究未曾揭示的现象,原因是:一方面,昆明及其周边城市劳动力和资本配置合理,促使土地利用效率接近生产前沿面;另一方面,作为中国山地城市建设的示范区域,城市发展对建设用地投入依赖程度小,在城市建设用地投入有限的情况下仍能保障一定规模的经济产出,形成了H-H集聚区。10年间城市土地利用效率H-H集聚范围在下游出现小幅扩张,其他区域基本未发生明显变化。L-L集聚范围也有小幅延伸,L-L类型区分布在安徽、四川和云南等省的内陆城市,区位条件相对较差,从业劳动人口结构不合理,工业经济效益不佳,单位建设用地经济产出低,城市自身和周边城市的土地利用效率值都较低,呈现效率低值的空间正相关。H-L集聚区出现在贵州遵义市,该市与相邻城市效率差异程度大,其自身土地利用效率较高,而周边城市土地利用效率值偏低。L-H集聚区出现在安徽宣城市,说明该市自身土地利用效率较低,而周边城市土地利用效率值较高,相邻城市效率值空间差异度大,10年间H-L和L-H集聚范围未发生明显改变。综合而言,长江经济带城市土地利用效率局域关联呈现“小集聚大分散”现象,长江经济带上中下游的协调发展仍有待进一步加强。因此,在长江经济带的后续发展规划中,应严格控制城市新增建设用地规模,转变“摊大饼”式的城市发展模式,发掘城市存量建设用地,增强城市之间的联动发展,突出带动作用,有效促进长江经济带统筹协调发展。



## 5 结论与讨论

在综合考虑随机冲击和土地利用无效率的基础上构建了地均投入产出SFA模型,测算了10期长江经济带城市土地利用效率,并建立空间关联特征模型对长江经济带城市土地利用效率进行长时间序列的地理空间形态表达,得出了一些与以往研究不同的结论,这对长江流域城市土地利用效率研究是有价值的补充。

研究表明:①地均投入产出SFA模型通过对参数和模型本身进行检验,证明了该方法框架在本研究中的科学性。相比非参数模型充分考虑了随机冲击( $v_{it}$ )和技术无效率( $\mu_{it}$ )带来的影响,降低了效率估计偏差,测算出城市土地利用效率绝对值,评估结果更加客观和具备区域间的可比性。②2005-2014年,110个城市的土地利用效率均逐年上升,效率均值累计提升率为54.07%,但仍有较大上升空间,土地利用效率水平较低的城市增速较快。城市土地利用效率呈现“条块状”分布特征,从东向西逐步递减,省内、省际和上中下游都差异显著。③10年间研究区城市土地利用效率Moran's  $I$ 表明土地利用效率存在空间正相关,且集聚特征逐年增强。LISA空间形态呈现“小集聚大分散”特征,城市间的整体集聚性不高,且这一局域集聚特征并未随时间发生显著改变。

长江经济带2005-2014年间土地利用效率的整体差异正在逐渐缩小,这一结论与近年来国内外研究中国经济转型和城镇化发展的研究结论以及土地利用效率区域差异增大等观点不同。单纯从GDP等经济指标来看,研究区东、中和西部的差异正在逐步扩大,尽管土地利用效率空间非均衡性特征显著,但在基础地理条件和土地管理政策的约束下,其空间分布差异并没有被进一步拉大。在空间关联特征方面,长期以来云南省内土地利用效率高的昆明市与周边的城市呈现H-H聚集现象,这也是以往研究成果未曾揭示的现象,除了劳动力和资本配置较为优化外,昆明及其周边城市作为中国西南“城镇上山”的主要区域,在城市扩展空间有限的情况下,单位面积的土地经济产出较高促进了H-H集聚区形成。

长江经济带作为国家生态文明建设的先行示范带、创新驱动带、协调发展带具有重要理论和实践研究价值。本文科学评估了城市土地利用效率,有效揭示了不同时段效率地理空间形态特征。土地资源利用效率评估作为一项系统工程,除城市建设用地效率外,生态要素投入效率和耕地生产效率也是区域统筹协调发展研究的重要内容。因此,基于本文的研究成果和相关结论,开展上述三类效率之间权衡分析,厘清它们之间的时空耦合机制,可为国家和区域土地资源优化配置和统筹协调发展提供全面的决策参考。

## 参考文献(References)

- [1] Yang Haiquan, Hu Yi, Wang Qiuxiang. Evaluation of land use efficiency in three major urban agglomerations of China in 2001-2012. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1095-1100. [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. *地理科学*, 2015, 35(9): 1095-1100.]
- [2] Fu Bojie, Zhang Liwei. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress. *Progress in Geography*, 2014, 33(4): 441-446. [傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.]
- [3] Jin Gui, Wang Zhanqi, Yao Xiaowei, et al. Concept and methods for spatial zoning. *China Land Sciences*, 2013, 27(5): 48-53. [金贵, 王占岐, 姚小微, 等. 国土空间分区的概念与方法探讨. *中国土地科学*, 2013, 27(5): 48-53.]
- [4] Yang Jun, Wang Zhanqi, Jin Gui, et al. Post-benefit evaluation of land consolidation project implementation based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(8): 1036-1042. [杨俊, 王占岐, 金贵, 等. 基于AHP与模糊综合评价的土地整治项目实施后效益评价. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(8): 1036-1042.]

- [5] Fu Lina, Chen Xiaohong, Leng Zhihua. Urban agglomerations eco-efficiency analysis based on super-efficiency DEA model: Case study of Chang-Zhu-Tan "3 + 5" urban agglomeration. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(4): 169-175. [付丽娜, 陈晓红, 冷智花. 基于超效率DEA模型的城市群生态效率研究: 以长株潭“3+5”城市群为例. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(4): 169-175.]
- [6] Wang Enxu, Wu Chunyou. Spatial-temporal differences of provincial eco-efficiency in China based on super efficiency DEA model. *Chinese Journal of Management*, 2011, 8(3): 443-450. [王恩旭, 武春友. 基于超效率DEA模型的中国省际生态效率时空差异研究. *管理学报*, 2011, 8(3): 443-450.]
- [7] Deng Bo, Zhang Xuejun, Guo Junhua. Research on ecological efficiency based on three-stage DEA model. *China Soft Science*, 2011(1): 92-99. [邓波, 张学军, 郭军华. 基于三阶段DEA模型的区域生态效率研究. *中国软科学*, 2011(1): 92-99.]
- [8] Dai Yong'an. The efficiency and determinants of China's urbanization. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2010(12): 103-117. [戴永安. 中国城市化效率及其影响因素: 基于随机前沿生产函数的分析. *数量经济技术经济研究*, 2010(12): 103-117.]
- [9] Zhang Rongtian, Jiao Huaifu. Urban land use efficiency pattern evolution and driving mechanism in the Yangtze river economic belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(3): 387-394. [张荣天, 焦华富. 长江经济带城市土地利用效率格局演变及驱动机制研究. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(3): 387-394.]
- [10] Wang Liangjian, Li Hui. Cultivated land use efficiency and the regional characteristics of its influencing factors in China: By using a panel data of 281 prefectural cities and the stochastic frontier production function. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 1995-2004. [王良健, 李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异: 基于281个市的面板数据与随机前沿生产函数方法. *地理研究*, 2014, 33(11): 1995-2004.]
- [11] Wang Liangjian, Li Hui, Shi Chuan. Urban land-use efficiency, spatial spillover, and determinants in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1788-1799. [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.]
- [12] Jin Gui, Wu Feng, Li Zhaohua, et al. Estimation and analysis of land use and ecological efficiency in rapid urbanization area. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(23): 8048-8057. [金贵, 吴锋, 李兆华, 等. 快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析. *生态学报*, 2017, 37(23): 8048-8057.]
- [13] Battese G E, Coelli T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 1995, 20(2): 325-332.
- [14] Bian Wenlong, Wang Xiangnan. A literature review on the stochastic frontier analysis in panel data. *Statistical Research*, 2016, 33(6): 13-20. [边文龙, 王向楠. 面板数据随机前沿分析的研究综述. *统计研究*, 2016, 33(6): 13-20.]
- [15] Lin Boqiang, Du Kerui. The energy effect of factor market distortion in China. *Economic Research Journal*, 2013(9): 125-136. [林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响. *经济研究*, 2013(9): 125-136.]
- [16] Dai Zhimin, Zhu Liyan. The influence of geographical distribution of commercial bank loan on the bank profit efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 955-964. [戴志敏, 朱莉妍. 中国商业银行贷款地理分布对银行利润效率的影响. *地理学报*, 2015, 70(6): 955-964.]
- [17] Jin Gui, Wang Zhanqi, Hu Xuedong, et al. Land suitability evaluation in Qinghai-Tibet Plateau based on fuzzy weight of evidence model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(18): 241-250. [金贵, 王占岐, 胡学东, 等. 基于模糊证据权模型的青藏高原区土地适宜性评价. *农业工程学报*, 2013, 29(18): 241-250.]
- [18] Zang Zheng, Zou Xinqing. Analysis on spatial and temporal pattern and the driving forces of ecological economic efficiency for provinces on Chinese mainland. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(11): 3300-3311. [臧正, 邹欣庆. 中国大陆省际生态-经济效率的时空格局及其驱动因素. *生态学报*, 2016, 36(11): 3300-3311.]
- [19] Li Ruzi, Liu Yaobin, Xie Dejin. Evolution of economic efficiency and its influencing factors in the industrial structure changes in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(12): 2179-2198. [李汝资, 刘耀彬, 谢德金. 中国产业结构变迁中的经济效率演进及影响因素. *地理学报*, 2017, 72(12): 2179-2198.]
- [20] Huang Heping. Eco-efficiency on the circular economy development pattern in Jiangxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 2894-2901. [黄和平. 基于生态效率的江西省循环经济发展模式. *生态学报*, 2015, 35(9): 2894-2901.]
- [21] Meeusen W, Broeck J V D. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 1977, 18(2): 435-444.
- [22] Aigner S L P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37.
- [23] Reinhard S, Lovell C A K, Thijssen G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An

- application to Dutch Dairy Farms. *American Journal of Agricultural Economics*, 1999, 81(1): 44-60.
- [24] Jin Gui, Deng Xiangzheng, Chen Dongdong, et al. Trends and spatial patterns of land conversions in the North China Plain. *Resources Science*, 2016, 38(8): 1515-1524. [金贵, 邓祥征, 陈冬冬, 等. 黄淮海平原农地流转空间分布与格局特征. *资源科学*, 2016, 38(8): 1515-1524.]
- [25] Deng Xiangzheng, Zhong Haiyue, Bai Xuemei, et al. Path of sustainable urbanization in Western China. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(10): 24-30. [邓祥征, 钟海玥, 白雪梅, 等. 中国西部城镇化可持续发展路径的探讨. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(10): 24-30.]
- [26] Zhang Q, Wallace J, Deng X, et al. Central versus local states: Which matters more in affecting China's urban growth? *Land Use Policy*, 2014, 38: 487-496.

## Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014

JIN Gui<sup>1,2,3</sup>, DENG Xiangzheng<sup>2</sup>, ZHAO Xiaodong<sup>1,4</sup>, GUO Baishu<sup>1,3</sup>, YANG Jun<sup>5</sup>

(1. Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Center for National Land Space Management, Hubei University, Wuhan 430062, China; 4. Hubei Province Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan 430062, China; 5. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** How to obtain the greatest social and economic benefits with the least input of urban land resources is the center of regional ecological civilization construction. Based on municipal input-output data from 2005-2014, we introduce the SFA (stochastic frontier analysis) to measure the urban land use efficiency of 110 cities located in the Yangtze River Economic Zone, and then analyze the spatial association characteristics of the efficiency. The results show that: (1) Urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone increases from 0.344 to 0.53 during 2005-2014, showing a significant growth trend with a cumulative growth rate of 54.07%. The efficiency growth rate of cities in the upper reaches of the Yangtze River is faster than that of cities in the middle and lower reaches. There is great growth potential across the whole area. (2) The urban land use efficiency shows a "bar-like" distribution across the whole area, which gradually decreases from the east to the west. Not only does it present great differences within each province, but also the inter-provincial differences and differences among the upper, middle and lower reaches are extremely evident. The total land use efficiency of cities in the lower reaches is the highest, followed by cities in the middle reaches and cities in the upper reaches. (3) The Moran's  $I$  of the study area is above 0 and increases year on year, which indicates that the land use efficiency among cities has positive spatial correlation, and the agglomeration level is enhanced. The LISA (local indicators of spatial association) reveals the characteristics of "small agglomeration and large dispersion". The High-High agglomeration area spreads outward along Zhejiang and Shanghai, while the areas with a Low-Low agglomeration pattern are mainly concentrated in northern Anhui province and northern Sichuan province. To sum up, the research framework and results are of great significance to sustainable land resource use and regional coordinated development.

**Keywords:** land use efficiency; stochastic frontier analysis; spatial autocorrelation analysis; spatiotemporal patterns; Yangtze River Economic Zone