

资源型城市土地绿色利用效率的动态 演进、空间差异及收敛性

边志强, 张倩华

(山西财经大学资源型经济转型发展研究院, 太原 030006)

摘要: [目的] 揭示资源型城市土地绿色利用效率的时空演变、分布动态、空间差异及收敛特征, 以期为其明晰土地利用状况, 优化国土空间开发格局, 实现经济社会发展的全面绿色转型提供参考。[方法] 基于2006—2020年我国114个资源型城市的数据, 在使用超效率SBM模型测度土地绿色利用效率的基础上, 结合Kernel密度估计、Dagum基尼系数、变异系数及固定效应模型, 对资源型城市土地绿色利用效率的时空特征、分布动态、空间差异和收敛特征进行分析。[结果] 1) 总体上, 资源型城市土地绿色利用效率呈波动上升态势, 考察期内年平均增长1.363%; 分区域来看, 土地绿色利用效率在绝大多数年份表现为东部>东北>中部>西部的区域差异格局; 分成长阶段来看, 呈再生型>成熟型>成长型>衰退型的梯度差异特征; 从空间分布来看, 大部分资源型城市土地绿色利用效率处于中低区间, 且具有明显的空间集聚和非均衡性特征。2) 就动态演进而言, 总体及各成长阶段城市的核密度曲线均在波动中右移, 且主峰高度下降, 宽度变大, 右拖尾显著, 多峰形态逐渐显现, 表明土地绿色利用效率有所提升, 但下行压力明显, 不平衡性加剧, 呈一定的发散态势和极化现象。3) 从空间差异来看, 总体及各成长阶段资源型城市内部及其之间的土地绿色利用效率空间差异呈上升趋势, 区域内差异及超变密度是造成总体差异的主要来源。4) 由收敛检验可知, 考察期内, 总体及各成长阶段资源型城市的土地绿色利用效率未能出现 σ 收敛, 即地区差异在扩大。但同时, 绝对 β 收敛与条件 β 收敛趋势显著存在, 即土地绿色利用效率的增长速度趋同, 逐渐向稳态发展。[结论] 应科学认识土地绿色利用效率的内涵范畴及现实价值, 优化土地利用政策, 统筹协调, 因地制宜, 以全面提升资源型城市土地绿色利用效率。

关键词: 资源型城市; 土地绿色利用效率; 分布动态; 空间差异; 收敛性

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2025)02-0325-13

Dynamic Evolution, Spatial Differences, and Convergence of Land Green Use Efficiency in Resource-based Cities

BIAN Zhiqiang, ZHANG Qianhua

(Research Institute of Transition of Resource-based Economics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: [Objective] To reveal the spatiotemporal evolution, distribution dynamics, spatial differences, and convergence characteristics of land green use efficiency in resource-based cities, in order to clarify the land use status, optimize the national spatial development pattern, and provide a reference for comprehensive green transformation of economic and social development. [Methods] Based on data from 114 resource-based cities in China from 2006 to 2020, the spatial and temporal characteristics, distribution dynamics, spatial differences, and convergence features of land green use efficiency in resource-based cities were analyzed by using the super efficiency SBM model to measure land green use efficiency, in combination with Kernel density estimation, Dagum Gini coefficient, coefficient of variation, and fixed effects model. [Results] 1) Overall, the land green use

收稿日期: 2024-10-17

修回日期: 2024-11-25

录用日期: 2024-12-01

网络首发日期 (www.cnki.net): 2025-02-19

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(72274114); 国家自然科学基金青年科学基金项目(72204151)

第一作者: 边志强(1996—), 男, 博士, 主要从事土地利用与低碳转型发展研究。E-mail: 572148514@qq.com

通信作者: 边志强(1996—), 男, 博士, 主要从事土地利用与低碳转型发展研究。E-mail: 572148514@qq.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

efficiency in resource-based cities showed a fluctuating upward trend, with an average annual growth rate of 1.363% during the investigation period. From a regional perspective, the land green use efficiency showed a pattern of regional differences in most years, with the eastern region>northeast region>central region>western region. From the perspective of growth stages, there was a gradient difference characteristic of regenerative type>maturity type>growing type>declining type. From the perspective of spatial distribution, the land green use efficiency of most resource-based cities was in the middle to low range, and showed obvious spatial agglomeration and non-equilibrium characteristics. 2) In terms of dynamic evolution, the core density curves of cities in the overall and various growth stages were fluctuating to the right, with a decrease in height and an increase in width of the main peak, a significant right tail, and a gradually emerging multi-peak shape, indicating an improvement in land green use efficiency. However, there was significant downward pressure, increasing inequality, and a certain degree of divergence and polarization. 3) From the perspective of spatial differences, the spatial differences in land green use efficiency within and between resource-based cities at different growth stages were on the rise. Regional differences and over-density were the two main sources of overall differences. 4) According to the convergence test, during the investigation period, the overall and different growth stages of resource-based cities' land green use efficiency did not show σ -convergence, indicating that regional differences were expanding. However, at the same time, there was a significant trend of absolute β -convergence and conditional β -convergence, that is, the growth rate of land green use efficiency tended to converge and gradually develop towards a steady state. [Conclusion] In the future, we should scientifically understand the connotation, scope, and practical value of land green use efficiency, optimize land use policies, coordinate and adapt to local conditions, in order to comprehensively improve the land green use efficiency of resource-based cities.

Keywords: resource-based cities; land green use efficiency; distribution dynamics; spatial differences; convergence

Received: 2024-10-17

Revised: 2024-11-25

Accepted: 2024-12-01

Online(www.cnki.net): 2025-02-19

土地作为人类进行生产生活和社会经济活动的基本物质载体,其绿色利用效率反映一定的技术条件下,土地利用的投入要素(土地和其他生产要素)转化为经济和环境效益的能力,在强调经济产出的同时,更加注重土地利用的环境产出,核心内涵是高效化与绿色化^[1-2]。截至2022年底,我国城市建成区面积达到6.37万km²,常住人口城镇化率达到65.22%^[3-4]。城市空间的持续扩张为基础设施建设、招商引资及公共服务改善提供基础性支撑,在造就经济繁荣的同时,也引发土地资源紧缺、基本农田减少和环境污染等一系列问题^[2,4]。2023年7月18日,习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调,我国经济社会发展已进入加快绿色化、低碳化的高质量发展阶段。在此背景下,着力提升土地绿色利用效率不仅是实现城市土地要素优化配置和高效利用的关键路径,同时也是突破资源环境瓶颈制约、优化国土空间布局以及推动高质量发展的必然选择。

资源型城市是以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的城镇。作为我国重要的能源资源战略保障基地,其数量众多、分布广泛,占据

城市总数的近40%^[5],是我国高质量发展进程中不可忽视的重要部分。长期以来,资源型城市凭借其丰富的自然资源,为全国的经济社会发展作出巨大贡献。但与此同时,过度依赖自然资源的粗放型发展模式使得其在土地利用方面难以进行科学规划,而资源采集、加工和运输等经济活动的开展往往也需要大量土地,从而容易造成土地用途单一、浪费严重、基本农田遭到侵占和生态环境恶化等后果,与提升土地绿色利用效率的目标要求背道而驰。因此,一个亟待回答的重要问题是:资源型城市土地绿色利用效率的演变趋势如何,不同区域及成长阶段视角下有何异质性?进一步,其分布动态,空间差异及收敛性表现出何种特征?对上述问题的回答不仅有利于明晰资源型城市土地绿色利用效率的现实状况,更能够为其科学规划土地利用方式、优化国土空间布局 and 实现经济社会发展的全面绿色转型提供一定的参考。

事实上,土地利用效率一直是学术界关注的焦点。从既有文献来看,其测度方法随着经济社会发展的目标要求经历了相应变化,传统的研究尚未关

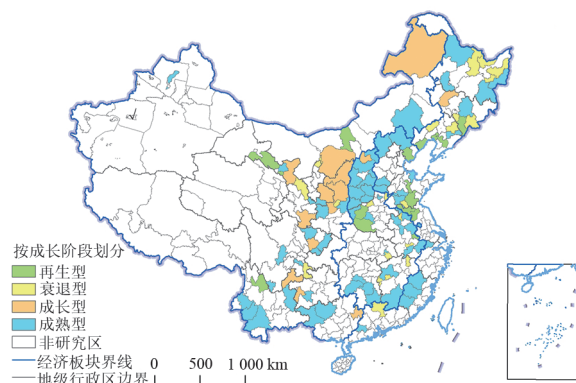
注到土地利用产生的环境问题,因此多采用单指标法,例如,二三产业GDP与建设用地面积之比^[6]对土地利用效率进行衡量。随着生态文明建设的持续推进,环境污染作为土地利用的伴随产出越发受到重视,在此情形下,学者们大多使用SBM模型,在考虑投入要素(土地、资本和劳动力等)与期望产出(经济效益等)的同时,将工业废水、二氧化硫和烟尘等环境污染因素作为非期望产出纳入模型^[1,7-8],而土地利用效率的内涵也进一步延伸为土地绿色利用效率。基于这一方法,学者们对我国城市的土地绿色利用效率展开水平测度、时空特征及驱动因素等多维度的探讨^[2,9-11]。进一步,在积极稳妥推进碳达峰碳中和目标下,考虑到土地利用过程同样会释放一定的二氧化碳,因此,少数学者^[12-14]将碳排放与环境污染共同作为非期望产出,继而对土地绿色利用效率的演变趋势及提升路径展开探究,该指标无疑也更贴合绿色低碳转型发展的目标要求。从资源型城市角度来看,长期以来,学者们主要围绕其高质量发展水平测度^[15]、产业结构升级^[16]、转型绩效评价^[17]、生态安全问题^[18]及绿色低碳发展^[19]等内容展开丰富的探讨。在土地利用方面,已有研究^[20]表明,自然资源过度开采所引发的用地效率低下、用地结构不合理及生态环境恶化等问题是制约资源型城市转型的主要瓶颈。其余少部分相关研究^[21]发现,产业结构升级尚未从整体上对资源型城市土地利用效率的提升发挥驱动效应,仅再生型城市表现出显著正相关关系。2009—2018年,黄河流域资源型城市的土地绿色利用效率变化趋势微弱^[22]。还有学者^[23-24]针对矿企停产后采矿用地的系统修复和再利用方向进行了探索。

综上所述,在我国进入加快绿色化、低碳化的高质量发展阶段,既有文献针对土地绿色利用效率及资源型城市的研究取得一定进展。但总体而言,聚焦于资源型城市土地绿色利用效率的研究仍十分匮乏,亟待补充完善。因此,本文以2006—2020年我国114个资源型城市为样本,使用超效率SBM模型测度并揭示总体、不同区域及成长阶段城市土地绿色利用效率的时空演变趋势与差异特征。继而利用Kernel密度估计、Dagum基尼系数、变异系数和固定效应模型对总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的分布动态、空间差异和收敛特征进行分析,以期对资源型城市明晰土地利用状况、优化国土空间布局、实现经济社会发展的全面绿色转型提供参考。

1 研究设计

1.1 样本说明

依据2013年国务院发布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》(以下简称《规划》)^[25],在其界定的126个地级资源型行政区基础上,剔除指标数据缺失严重的8个自治州,2个地区及毕节市样本,最后筛选出114个资源型城市作为研究对象,还将样本按照其所属区域和成长阶段进行划分比较。具体来看,一方面,根据国家统计局中国区域划分办法,将全国划分为东部、中部、西部与东北四大经济板块,其所含资源型城市数量分别为19、37、39、19个;另一方面,依据《规划》,将资源型城市按照其成长阶段划分为成长型、成熟型、衰退型与再生型4大类,其所含城市数量分别为14、62、23、15个,具体空间分布状况见图1。



注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的标准地图(审图号:GS(2023)2767号)制作,底图无修改。下同。

图1 资源型城市空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of resource-based cities

1.2 研究方法

1.2.1 超效率SBM模型 从投入产出视角出发,使用Matlab软件中规模报酬不变假设条件下的超效率SBM模型测度资源型城市土地绿色利用效率。该模型不仅可以综合考虑非期望产出并修正松弛变量,同时能够对效率值为1的决策单元进行分解,避免传统SBM模型产生众多效率值为1的缺陷,实现有效决策单元间的比较和排序^[19]。计算公式为:

$$\text{Min} \rho = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{i0}} \left/ \left[\frac{1}{S_1 + S_2} \left(\sum_{q=1}^{S_1} \frac{\bar{y}_q^w}{y_{q0}^w} + \sum_{q=1}^{S_2} \frac{\bar{y}_q^b}{y_{q0}^b} \right) \right] \right. \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \theta_j x_j \\ \bar{y}^w \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n \theta_j y_j^w \\ \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \theta_j y_j^b \\ \bar{x} \geq x_0, 0 \leq \bar{y}^w \leq y_0^w, \bar{y}^b \geq y_0^b, \theta \geq 0 \end{cases}$$

式中: ρ 为目标效率值; θ 为权重向量; x_{i0} 、 y_{q0}^w 、 y_{q0}^b 分别为投入指标、期望产出与非期望产出; $\bar{x}_i$ 、 $\bar{y}_q^w$ 、 $\bar{y}_q^b$ 为三者的松弛量; S_1 、 S_2 、 m 、 n 则分别对应期望产出、非期望产出、投入指标与决策单元的个数。

1.2.2 Kernel 密度估计 运用核密度估计方法, 通过观察曲线分布位置、变化态势、延展性和极化趋势, 以揭示总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的分布动态及演进规律。假设 $f(x)$ 为土地绿色利用效率 x 的密度函数:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{D_i - d}{h}\right) \quad (2)$$

式中: n 为观测值个数; D_i 为独立同分布的观测值; d 为平均值; h 为带宽; K 为核密度函数, 本文借助高斯核密度函数进行估计, 公式为:

$$K(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{d^2}{2}\right) \quad (3)$$

1.2.3 DAGUM 基尼系数 依据 DAGUM^[26] 提出的基尼系数及其子群分解方法, 总体基尼系数 (G) 可以通过 3 个方面的贡献进行分解: 区域内差异 (G_w)、区域间净值差异 (G_{nb}) 和超变密度 (G_t), 即 $G = G_w + G_{nb} + G_t$ 。这一方法克服泰尔指数和传统基尼系数带来的数据交叉重叠等问题, 能够有效描述差异来源情况^[27]。本文借助该方法探究资源型城市土地绿色利用效率总体差异及其来源和各成长阶段城市内部及之间的差异。公式为:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2\mu} \quad (4)$$

式中: n 为资源型城市个数, 为 114; k 为区域个数, 本文选择成长型、成熟型、衰退型与再生型 4 类, 即 k 取 4; n_j (n_h) 为区域 j (h) 内的城市数量; y_{ji} (y_{hr}) 为区域 j (h) 内资源型城市 i (r) 的土地绿色利用效率值; μ 为所有城市平均值。

区域内差异 (G_w) 计算公式为:

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (5)$$

式中: $p_j = n_j/n$, $s_j = n_j \mu_j / n \mu$ 。 G_{jj} 为地区 j 的基尼系数, 表示为:

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{2\mu_j n_j^2} \quad (6)$$

区域间净值差异 (G_{nb}) 和超变密度 (G_t) 计算公式为:

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (7)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (8)$$

式中: $p_h = n_h/n$, $s_h = n_h \mu_h / n \mu$, G_{jh} 为区域 j 和 h 之间的基尼系数; D_{jh} 为衡量区域 j 和区域 h 之间土地绿色利用效率的相对影响, 计算公式为:

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\mu_j + \mu_h)} \quad (9)$$

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}} \quad (10)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x) \quad (11)$$

$$p_{jh} = \int_0^\infty dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (12)$$

式中: d_{jh} 为区域间土地绿色利用效率的差值; p_{jh} 为超变一阶距; F_j 和 F_h 分别为区域 j 和 h 的累计密度分布函数。

1.2.4 σ 与 β 收敛 1) σ 收敛。表示随着时间的推移, 各资源型城市土地绿色利用效率偏离平均水平的幅度逐渐降低的趋势。若该值随年份逐渐变小, 则意味着资源型城市土地绿色利用效率的离散程度减弱, 各城市之间的差异缩小, 呈现向平均水平收敛的态势。通常使用变异系数对其进行测度, 实质是标准差与平均值之比, 计算公式为:

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n_j} (\text{Lgue}_{jt} - \overline{\text{Lgue}_{jt}})^2 \right] / n_j}}{\overline{\text{Lgue}_{jt}}} \quad (13)$$

式中: Lgue 为土地绿色利用效率; j 和 i 分别为子区域 (即各成长阶段资源型城市) 及其城市数量; $\overline{\text{Lgue}_{jt}}$ 为子区域 j 在 t 时期的土地绿色利用效率平均值。

2) β 收敛。从增长率的角度考察各资源型城市土地绿色利用效率的发展态势。若土地绿色利用效率呈 β 收敛, 则代表不同城市效率值的增长速度趋同。可理解为相对落后城市的土地绿色利用效率增长率逐渐追赶上发达城市, 达到相同的增长速度。 β 收敛包含绝对 β 收敛与条件 β 收敛, 前者仅考虑土地绿色利用效率本身的收敛状态, 后者则是控制一系列影响因素后的收敛态势。双向固定效应下的绝对 β 收敛模型为:

$$\ln\left(\frac{\text{Lgue}_{i,t+1}}{\text{Lgue}_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln \text{Lgue}_{i,t} + \mu_i + \nu_t + \epsilon_{it} \quad (14)$$

条件 β 收敛是在绝对 β 收敛模型的基础上添加一系列控制变量。参考已有研究^[1-2,4], 本文选取的控制变量为经济发展 (2006 年为基期的实际 GDP)、产业结构 (第二产业增加值占比)、对外开放 (实际利用外商直接投资占 GDP 的比重)、环境规制 (各城市政府工作报告中 27 个与“环境保护”相关的词汇频

率)^[28]、城镇化水平(城镇人口占总人口的比重)、人口密度(单位土地面积人口数量)及创新水平(复旦大学产业发展研究院发布的《中国城市和产业创新力报告》中的城市创新指数)。模型表达式为:

$$\ln\left(\frac{\text{Lgue}_{i,t+1}}{\text{Lgue}_{i,t}}\right)=\alpha+\beta\ln\text{Lgue}_{i,t}+\delta X+\mu_i+\nu_t+\varepsilon_{it}$$

(15)

式中:Lgue_{i,t}和 Lgue_{i,t+1} 分别为城市 *i* 在 *t* 年和 *t* + 1 年的土地绿色利用效率;α 为截距项;β 为收敛系数,若 β < 0 且显著,则表示资源型城市土地绿色利用效率存在 β 收敛趋势,反之则为发散;μ_{*i*} 为地区固定效应;ν_{*t*} 为时间固定效应;*X* 为一系列控制变量;ε_{*it*} 为随机扰动项。

1.3 指标说明与数据来源

1.3.1 指标说明 土地绿色利用效率指一定的技术

条件下,土地利用的投入要素(土地和其他生产要素)转化为经济和环境效益的能力,在强调经济产出的同时,更加注重土地利用的环境产出,核心内涵是高效化与绿色化^[1-2]。本文沿用目前的主流方法^[1,4,9],使用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型测度资源型城市土地绿色利用效率。该模型不仅可以增加非期望产出以修正松弛变量,而且能够克服一般 SBM 模型容易出现多个样本效率值为 1 的弊端,使得实际适用性大大提升^[19]。具体来看,投入指标包括土地、资本、劳动与能源 4 类要素,分别使用建成区面积、固定资本存量、二三产业从业人员数与能源消耗量刻画;期望产出主要考虑经济效益与环境效益,分别使用二三产业实际增加值与建成区绿化覆盖率表征;非期望产出同时考虑碳排放与污染排放约束,分别选取碳排放量及工业废水、烟尘和二氧化硫计算的环境污染强度反应。各指标具体情况见表 1。

表 1 土地绿色利用效率投入产出指标体系

Table 1 Input-output indicator system for land green use efficiency

一级指标	二级指标	三级指标	指标内涵	单位
土地绿色 利用效率	投入指标	土地要素	建成区面积	km ²
		资本要素	固定资本存量(以 2006 年为基期,采用永续盘存法计算 ^[29])	万元
		劳动要素	二三产业从业人员数	万人
		能源要素	能源消耗量(将天然气、液化石油气与用电量折算为标准煤计算 ^[30])	万 t
	产出指标	期望产出	二三产业增加值(2006 年为基期)	万元
			建成区绿化覆盖率	%
		非期望产出	环境污染强度(综合考虑工业废水、烟尘与二氧化硫排放量,利用熵值法赋权并计算得出 ^[1])	—
			碳排放量(综合计算天然气、液化石油气等直接能源产生的碳排放与电能、热能等间接能源产生的碳排放 ^[30])	万 t

1.3.2 数据来源 以我国 114 个资源型城市为研究对象,探究其土地绿色利用效率的时序演变、分布动态、空间差异及收敛特征。所需原始数据均来源于《中国城市统计年鉴》^[31]《中国城市建设统计年鉴》^[32]、EPS 数据库及各城市国民经济和社会发展统计公报与政府工作报告。对于原始数据存在的个别缺失值,根据平均增长率将其补充完整,最终整理得到 2006—2020 年 114 个资源型城市的面板数据。

2 结果与分析

2.1 资源型城市土地绿色利用效率演变特征

2.1.1 资源型城市土地绿色利用效率的时序演变 图 2 为 2006—2020 年我国 114 个资源型城市总体及分区域维度下的土地绿色利用效率演变趋势。总体来看,资源型城市土地绿色利用效率为 0.281~0.384,2006 年最低,2019 年最高。考察期内年平均增长 1.363%,表明资源型城市在土地资源优化配置与高效利用方面取得一定的进展,但受限于高污染、

高排放与高能耗的“三高”型产业结构等因素,导致其增长速度有限。

以 2012 年、2014 年及 2019 年为分界点,效率演变趋势大致呈“上升→下降→再上升→再下降”的“M”形特征。具体来看:1)2006—2012 年波动上升。这一时期,我国经济总体保持较快增长,在资源价格上涨、开采力度加大及能源出口需求增加等因素拉动下,尽管资源型城市土地开发面积增加,生态环境问题也有所加剧,但经济亦得到明显发展,从而驱动土地绿色利用效率提升。而其中的 2009 年则可能由于金融危机的影响,资源型行业经营困难增加,产能利用率下降,用于环境治理的投资亦受到限制,使土地绿色利用效率出现波动。2)2012—2014 年有所下降。该阶段经济下行压力加大,钢铁等传统资源型行业出现明显的产能过剩,经济发展和环境保护的矛盾突出,从而导致既有土地要素产生的收益减少,土地绿色利用效率也随之下滑。

3)2014—2019年持续提升。这一时期,我国经济逐渐由高速增长阶段转向高质量发展阶段,生态文明建设被摆在突出位置,在《规划》及新发展理念等顶层设计的引领下,资源型城市通过加强土地规划与管理、推动产业结构升级和绿色技术创新等方式贯彻落实可持续发展目标,实现土地利用中经济与环境效益的共生共赢。4)2020年明显回落。在2020年,受到经济下行压力加大、中美贸易摩擦及新冠疫情冲击等不利因素叠加影响,进而引发经济活动减缓、资源需求下降及绿色发展方面的投资减少等一系列问题,使得资源型城市土地绿色利用效率有所降低。

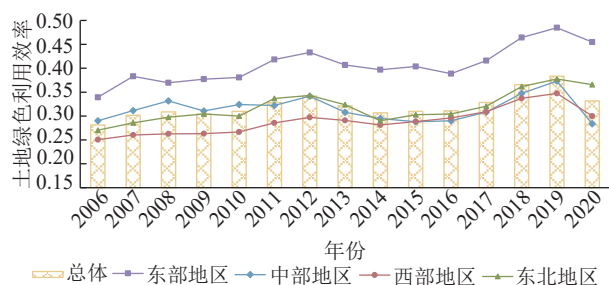


图2 总体及4大板块资源型城市土地绿色利用效率演变情况

Fig. 2 Evolution of land green use efficiency of resource-based cities in overall and four major segments

分区域来看,4大板块资源型城市土地绿色利用效率的变动趋势与整体有着很大程度的一致性。在效率值方面,东部明显高于其他地区,且绝大多数年份表现为东部>东北>中部>西部的区域差异格局。而从年平均增长率的角度而言,则呈东北(2.361%)>东部(2.296%)>西部(1.436%)>中部(0.283%)的特征。究其原因,首先,东部资源型城市拥有较高的经济发展水平、完善的产业体系及规范的环境监管制度,辅之以数字化和绿色创新等技术的运用,能够实现土地利用的投入与经济和污染产出相协调的局面,因此,其土地绿色利用效率及增长率相对较高。其次,中部资源型城市大多以资源相关产业为经济支柱,土地利用往往以资源开采和工业发展为导向,加之技术水平滞后、管理监督不善等原因,导致土地绿色利用效率较低且改善成效甚微。再次,西部资源型城市与中部类似,地区发展过度依赖资源开采和加工工业,且煤炭类城市占比较大比重^[15],经济利益与环境效益之间的矛盾突出,因此土地绿色利用效率低下。但在西部大开发等政策的推动下,仍呈一定的上升态势。最后,东北资源型城市中,传统重化工产业占用大量土地资源,并给生态环境造成严重压力,而在东北振兴、国企改革等政策推

动下,其产业结构正处于艰难转型的过程中,经济与环境效益也随之变动,反映到土地绿色利用效率上则表现为波动上升态势。

从成长阶段(图3)来看,4类资源型城市的土地绿色利用效率呈再生型>成熟型>成长型>衰退型的差异特征,年平均增长率依次为再生型(2.494%)、衰退型(1.515%)、成熟型(1.363%)和成长型(0.780%)。究其原因,首先,成长型城市资源开发处于上升阶段,经济增长与环境保护的耦合协调是土地利用和城市发展过程中的一大难题,因此其土地绿色利用效率及增长率相对较低。其次,成熟型城市致力于提升资源开发效率和技术水平的同时,产业结构的转型升级与环境污染治理也是其可持续发展进程中的重要目标,从而使得对土地资源的需求降低,既有土地产生的经济与环境效益得到改善,土地绿色利用效率略高于资源型城市平均水平,且保持一定增速。再次,衰退型城市由于资源的过度开发和不合理的土地规划导致出现大量低效用地,如废弃矿区、工厂等,经济滞后和生态破坏等问题也随之产生,因此土地绿色利用效率低下,但在《规划》等政策的有效引领下,总体仍有所改善。最后,再生型城市已经基本摆脱资源依赖,更加注重经济发展的质量和效益,其土地利用的系统性和综合性较强,加之完善的市场机制和政策支持,有助于推动绿色创新和绿色产业的发展,实现土地利用中经济与环境效益的共赢,因而土地绿色利用效率及增长率均保持在较高水平。

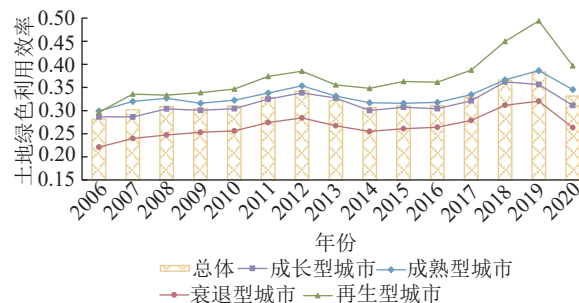


图3 总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率演变情况

Fig. 3 Evolution of land green use efficiency of resource-based cities in overall and different growth stages

2.1.2 资源型城市土地绿色利用效率的空间格局
为探究资源型城市土地绿色利用效率的空间状况,运用 Arcgis 10.8 软件对资源型城市 2006 年、2011 年、2016 年和 2020 年的土地绿色利用效率进行可视化制图。由图 4 可知,大部分资源型城市土地绿色利用效率处于中低区间,且具有明显的空间集聚和非均衡性特征。2006 年,位于东部地区的东营、济宁、临沂、

唐山,中部地区的临汾、西部地区的克拉玛依、延安、自贡及东北地区的大庆位于相对较高水平。同时,可以发现上述城市大部分处在成熟型或再生型成长阶段,与前文时序特征维度的结果也相互吻合。随着时间推移,到2011年、2016年和2020年,众多城市的土地绿色利用效率得到提升,且出现明显的空间集聚特征,其中,较高值城市主要分布在山东、福建、

河南、晋蒙陕交界处及东北地区的大庆附近,相较于其他资源型城市而言,上述城市大部分位于经济发展水平较高的东部地区及成熟型或再生型成长阶段,得益于丰裕的自然资源、相对完善的产业体系、越发严格的环境监管措施和土地利用规制等因素,在竞争效应和示范效应的影响下,实现土地绿色利用效率的协同提升。

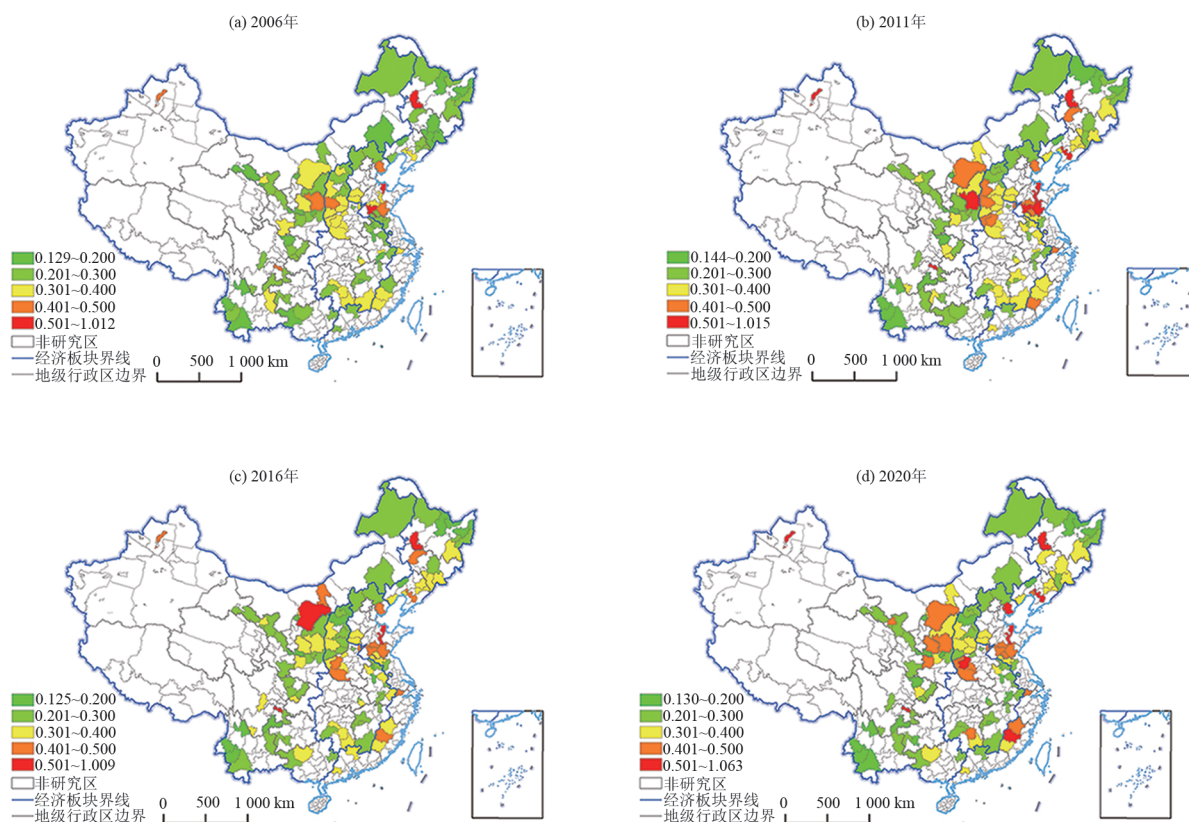


图4 资源型城市土地绿色利用效率空间分布格局

Fig. 4 Spatial distribution pattern of land green use efficiency in resource-based cities

2.2 资源型城市土地绿色利用效率的分布动态

图5为2006—2020年资源型城市总体土地绿色利用效率的分布动态及演变情况,呈现特征为:1)从分布位置来看,2006—2019年,核密度曲线经历轻微的“右移→左移→右移”过程,总体有所右移,表明这一时期,在技术进步、产业升级及经济结构转型等一系列因素交织影响下,资源型城市在土地绿色利用效率提升方面仍取得一定进展。2020年明显左移,意味着土地绿色利用效率受到明显的下行压力。2)从主峰分布形态和延展性来看,主峰高度呈轻微的波动下降趋势,且宽度增加,右拖尾现象显著,说明资源型城市土地绿色利用效率的不平衡程度仍较为明显,呈一定的发散态势。资源型城市在经济转型过程中,土地绿色利用效率受到多种因素的影响,包括产业结构调整、政策执行力度、技术创新水平及生态保护意识的提升等,导致不同地区的土地绿色

利用效率差异较大。3)从波峰数目来看,考察期内多数年份出现双峰或多峰现象,但各个峰值之间的差距较小,表明资源型城市在经济转型过程中,形成一定的绿色发展共识,使得其土地绿色利用效率尽管存在一定的极化现象,但整体上并不明显。

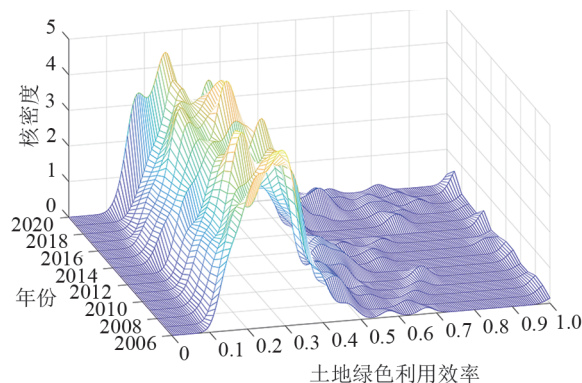


图5 资源型城市总体核密度

Fig. 5 Overall nuclear density of resource-based cities

图 6 为 2006—2020 年不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的分布动态及演变情况,呈现特征为:1)在分布位置方面,2006—2019 年,4 类城市的核密度曲线均呈“右移→左移→右移”的特征,而在 2020 年,均出现明显的左移现象,说明与总体样本下类似,各成长阶段资源型城市的土地绿色利用效率情况在波动中有所好转,同时也存在一定的下行压力。2)从主峰分布形态和延展性来看,4 类资源型城市的核密度曲线主峰高度整体均有所下降,且宽度变大,右拖尾延长,意味着各成长阶段城市内部土地绿色利用效率的离散程度呈增大趋势。在经济转型的过程中,各类城市分散在全国不同地区,其经济基

础、资源禀赋和开放程度等条件各不相同,也导致尽管处于同一成长阶段,其在土地绿色利用效率方面的差距也有所增加。值得注意的是,衰退型城市的核密度曲线主峰高度在 2020 年明显上升,原因在于其土地绿色利用效率在 2020 年集中到较低值区域。3)从波峰数目来看,考察期内,成长型城市、成熟型城市和衰退型城市的核密度曲线在单峰的基础上逐渐演变为多峰形态,但各峰值之间差距较小,表明上述 3 类城市内部的土地绿色利用效率存在较弱的极化现象。而再生型城市由于已经基本摆脱资源依赖,其经济发展相对多元化,使得土地绿色利用效率的多极化现象明显,核密度曲线也出现多峰现象。

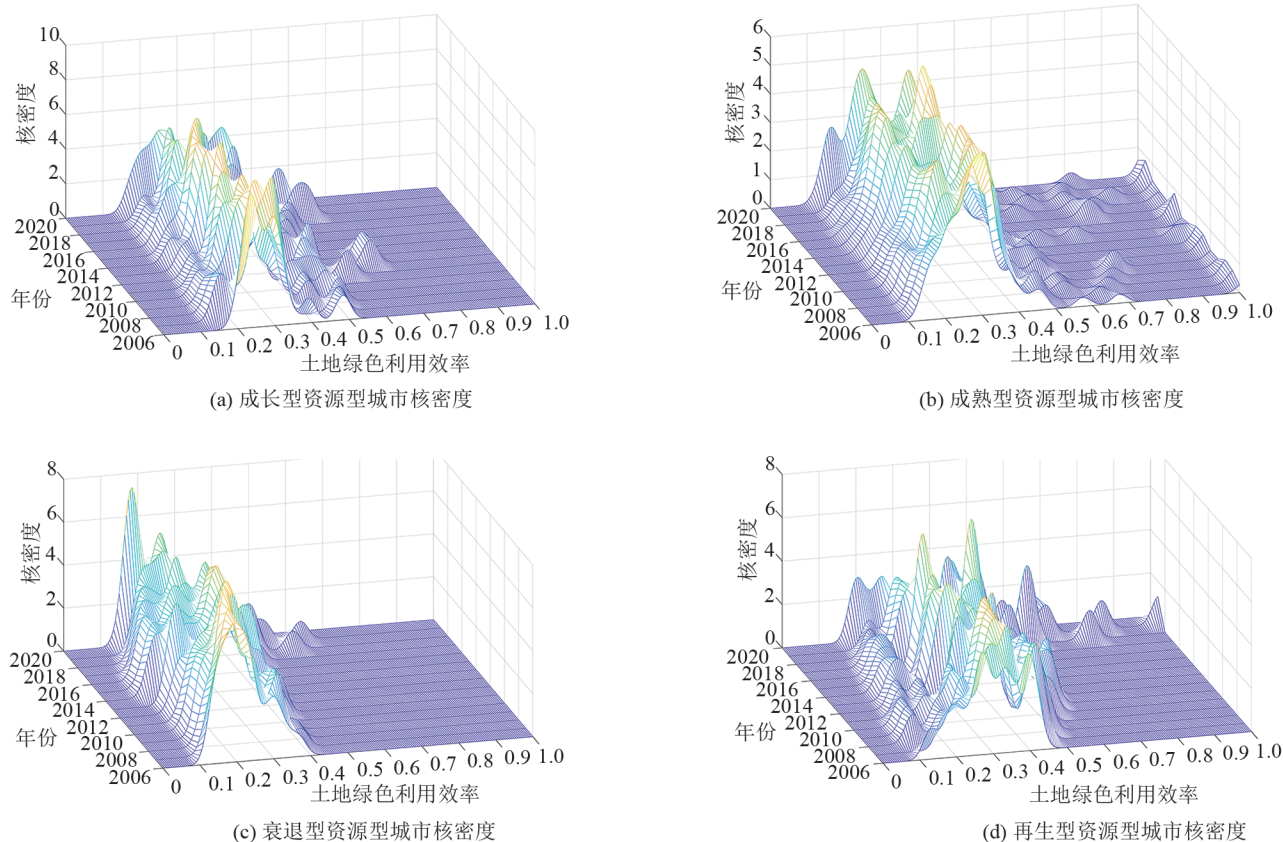


图 6 不同成长阶段资源型城市核密度

Fig. 6 Nuclear density of renewable resource-based cities at different growth stages

2.3 资源型城市土地绿色利用效率的地区差异

2.3.1 总体差异 从图 7 可以发现,总体而言,资源型城市土地绿色利用效率的基尼系数有所增大,2006 年为 0.190,2020 年上升为 0.251,增幅达 32.105%,表明在不同的资源禀赋、经济结构及政策规划等因素的影响下,随着时间的推移,资源型城市在土地利用方式上的差别越发明显,从而使得其绿色利用效率的空间差异呈现扩大趋势。上述差异还具有明显的阶段性特征,即 2006—2012 年总体扩大,2012—2014 年明显缩小,2014—2019 年稳步扩大。2019 年以前,总体基尼系数走势与效率演变趋势呈

基本一致的动态变化特征(图 2)。而 2020 年,尽管效率值明显降低,但差异却显著扩大,原因在于面对经济下行态势,各城市的发展韧性具有较大差异,从而导致土地产出能力及其绿色利用效率之间的差别更加明显。

2.3.2 区域内差异 由图 7 可知,不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的区域内差异具有明显的空间异质性。其中,成长型城市的基尼系数总体上升且波动较大,原因可能在于资源开发受到经济增长目标、市场需求、技术变革及环境规制等众多因素影响,从而使得土地绿色利用效率的差异波

动较大;成熟型城市的区域内基尼系数均超过资源型城市总体,且二者的演变趋势基本一致,表明成熟型城市内部土地绿色利用效率的不平衡程度较高,而该类城市数量较多,在可持续发展进程中的步调不一致是导致上述现象的重要原因;衰退型城市的基尼系数总体上升且变动平缓,可能由于该类城市处于经济相对停滞阶段,缺乏新增的土地开发和改造项目,从而使得土地利用格局相对稳定,基尼系数变动不大;再生型城市的基尼系数总体表现为先下降,2016年后显著上升的趋势,原因可能在于此类城市作为转变经济发展方式的先行区,在转型发展前期往往以改善基础设施、科学规划利用土地等方式为主,因而前期土地利用效率之间的差异逐步缩小。而近年来,各城市在城市更新、技术创新及数字经济发展等方面差异的扩大导致土地利用方式及产出效率之间的差异也随之上升,从而使得基尼系数变大。

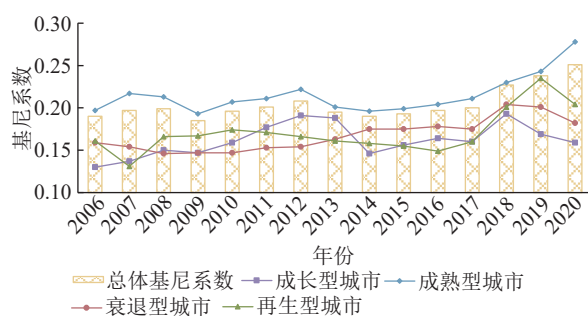


图7 总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的差异变化趋势

Fig. 7 Differences in land green use efficiency of resource-based cities in overall and different growth stages

2.3.3 区域间差异 图8为不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的区域间差异变化趋势。可以发现,研究期内,各类城市之间的差异均呈波动上升趋势,但仍具有明显的差异性。

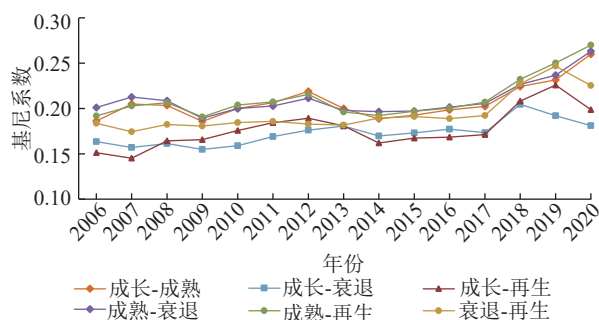


图8 不同成长阶段资源型城市的区域间差异变化趋势

Fig. 8 The trend of regional differences in land green use efficiency in resource-based cities at different growth stages

具体来看,成熟型城市与其他3类城市土地绿色利用效率之间的差异最为明显,且2014年以

前有所波动,2014年以后则均表现为稳步上升态势;衰退型与再生型城市之间的差异处于居中水平,2006—2016年变化较为平稳,仅从0.184扩大为0.189,而2016年以来则总体明显上升,从2016年的0.189上升为2020年的0.225,幅度达19.048%;成长型—衰退型城市及成长型—再生型城市之间的差异相对较小,且二者的变化特征较为一致,均为“上升→下降→再上升→再下降”特征。

2.3.4 差异来源 通过对基尼系数进行分解,可以观察资源型城市土地绿色利用效率总体差异的来源,即区域内差异、区域间差异及超变密度三部分的贡献率。图9为不同成长阶段视角下土地绿色利用效率总体差异的来源分解图。随着时间的推移,不同差异来源所占的比重总体稳定,区域内差异和超变密度的贡献率较高,二者在绝大部分年份各自占比均达35%以上,且超变密度的贡献率整体略大于区域内差异,意味着尽管再生型城市的土地绿色利用效率明显高于衰退型城市,但部分效率值较低的再生型城市的效率也可能低于某些相对发达的衰退型城市,而这种交叉重叠现象的存在是导致总体差异的重要原因。区域间差异的贡献率最小,研究期内在21.340%~27.971%浮动,且《规划》出台的2013年是重要分水岭,2013年以前,区域间差异的贡献率呈总体下降趋势,2013年以后,其所占比重则在波动中有所上升,表明不同成长阶段城市之间的差距对整体不平衡的贡献度有所增大。

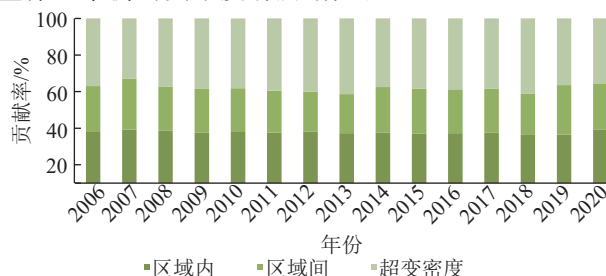


图9 资源型城市土地绿色利用效率总体差异贡献度变化趋势

Fig. 9 The overall difference and contribution trend of land green use efficiency in resource-based cities

2.4 资源型城市土地绿色利用效率的收敛机制

2.4.1 σ 收敛检验 表2揭示整体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的 σ 收敛结果。总体层面,土地绿色利用效率呈阶段性与周期性的收敛与发散特征,2014年以前,以2009和2012年为分界点,呈发散→收敛→再发散→再收敛的波动变化态势,而2014年《规划》实施以来则以发散为主,表明近年来资源型城市土地绿色利用效率的差异变大,不平衡性加剧。从各成长阶段内部来看,成长型城

市在 2012 年以前主要呈发散态势,2012—2018 年先收敛后发散,2018—2020 年又表现出收敛迹象,但总体有所发散,不平衡程度上升。主要由于该类城市的资源开发仍处于上升阶段,对市场需求等外部条件的变化比较敏感。成熟型城市与整体有着相似的演进规律,且其差异水平在 4 类城市中最高。原因在于该类城市数量较多,在经济转型以及土地绿色利用进程中的步调差距较大。衰退型城市在 2009 年以前缓慢收敛,2009—2019 年则缓慢发散,2020 年再次略微收敛,差距变化幅度总体较小。主要由于该类城市经济发展滞后,土地利用格局相对稳定。再生型城市在 2006—2010 年呈先收敛后发散特征,2010—2016 年则稳步收敛,2016—2019 年明显发散后,2020 年又有所收敛,总体呈发散状态。原因在于其经济发展相对多元化,近年来在数字经济等新兴产业方面的发展差距导致土地绿色利用效率差异增大。综上所述,整体及各成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的 σ 收敛特征与核密度图及基尼系数有着相似的演进规律,而所有变异系数的期末值均大于期初值,意味着各样本下土地绿色利用效率普遍未能出现 σ 收敛。

表 2 总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的 σ 收敛检验

Table 2 σ convergence test of land green use efficiency of resource-based cities in overall and different growth stages

年份	总体	成长型 城市	成熟型 城市	衰退型 城市	再生型 城市
2006	0.401	0.261	0.442	0.291	0.293
2007	0.430	0.275	0.491	0.280	0.239
2008	0.428	0.290	0.482	0.273	0.305
2009	0.378	0.281	0.418	0.267	0.308
2010	0.401	0.303	0.447	0.267	0.320
2011	0.410	0.348	0.458	0.274	0.315
2012	0.440	0.390	0.498	0.275	0.305
2013	0.405	0.384	0.444	0.292	0.296
2014	0.385	0.278	0.424	0.314	0.289
2015	0.394	0.299	0.440	0.312	0.285
2016	0.407	0.320	0.460	0.318	0.276
2017	0.401	0.301	0.450	0.314	0.290
2018	0.446	0.362	0.486	0.372	0.369
2019	0.485	0.313	0.519	0.373	0.448
2020	0.534	0.289	0.616	0.341	0.371

2.4.2 β 收敛检验 由表 3 绝对 β 收敛检验结果可以发现,无论是总体还是各成长阶段资源型城市,土地绿色利用效率的收敛系数 β 均在 1% 的统计水平上

显著为负,绝对 β 收敛趋势均显著存在。意味着土地绿色利用效率相对滞后城市比发达城市拥有更快的增长率,最终趋向相同的增速发展。从系数绝对值即收敛速度来看,表现出再生型城市最快,成长型城市和成熟型城市次之,衰退型城市最慢的特征。究其原因,部分效率相对较低的再生型城市由于具有良好的经济基础,在技术引进、产业升级及土地规划方面具有一定的后发优势,因而土地绿色利用效率提升较快。成长型城市和成熟型城市仍处于资源开发的稳定或上升阶段,在积极完善产业链、推进新型工业化及进行环境治理的同时,也有部分城市面临着产业结构单一和土地规划不合理等挑战,使得其土地绿色利用效率的收敛速度处于居中水平。而衰退型城市普遍面临经济衰退、资源枯竭和人口下滑等问题,转型发展较为艰难,导致土地绿色利用效率向稳态发展的速度缓慢。

表 3 总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的绝对 β 收敛检验

Table 3 Absolute β convergence test of land green use efficiency of resource-based cities in overall and different growth stages

变量	总体	成长型 城市	成熟型 城市	衰退型 城市	再生型 城市
β	-0.329*** (-16.96)	-0.335*** (-6.37)	-0.302*** (-11.46)	-0.225*** (-6.24)	-0.592*** (-8.45)
常数项	-0.374*** (-13.66)	-0.436*** (-6.07)	-0.332*** (-9.24)	-0.265*** (-4.57)	-0.606*** (-6.46)
时间固定	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定	YES	YES	YES	YES	YES
样本量	1 596	196	868	322	210
R^2	0.374	0.392	0.324	0.548	0.493

注:***、**和*分别表示在 1%、5%、10% 的统计水平上显著,括号内数字为 t 统计量。下同。

从表 4 条件 β 收敛检验结果来看,在控制经济发展、产业结构及创新水平等一系列因素后,总体及各成长阶段资源型城市的收敛系数 β 仍均在 1% 的统计水平上高度显著,说明土地绿色利用效率存在明显的条件 β 收敛,且收敛速度依旧表现为再生型城市最高、衰退型城市最低、成长型和成熟型城市依次居中的格局,其原因与绝对 β 收敛部分无异。总体及各成长阶段下系数 β 的绝对值均有所增大,意味着在考虑其他因素影响后,资源型城市土地绿色利用效率的差异以更快的速度缩小。

表 4 总体及不同成长阶段资源型城市土地绿色利用效率的条件 β 收敛检验

Table 4 Conditional β convergence test of land green use efficiency of resource-based cities in overall and different growth stages

变量	总体	成长型 城市	成熟型 城市	衰退型 城市	再生型 城市
β	-0.351*** (-16.96)	-0.491*** (-8.68)	-0.315*** (-11.20)	-0.231*** (-5.36)	-0.698*** (-9.31)
常数项	-1.178*** (-2.82)	-1.220 (-0.78)	-0.838 (-1.21)	-0.114 (-0.18)	-3.297*** (-2.82)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定	YES	YES	YES	YES	YES
样本量	1 596	196	868	322	210
R^2	0.384	0.498	0.332	0.581	0.534

3 讨论

资源型城市是我国高质量发展进程中的薄弱环节,同时也是不可忽视的重要组成部分,其土地利用状况直接影响到城市的可持续发展。本文以我国 114 个资源型城市为研究对象,从投入产出视角出发,使用超效率 SBM 模型测度资源型城市土地绿色利用效率,并结合 Kernel 密度估计、Dagum 基尼系数、变异系数和固定效应模型,对土地绿色利用效率的时空演变、分布动态、空间差异及收敛特征进行分析。研究表明,考察期内资源型城市土地绿色利用效率有所提高,在土地资源优化配置与高效利用方面取得一定进展,但同时受到自然资源依赖、产业结构单一及创新驱动不足等因素影响,效率值提升速度缓慢,下行压力明显。鉴于此,应科学认识土地绿色利用效率的内涵范畴及现实价值。资源型城市土地绿色利用效率的提升意味着通过科学规划和合理布局,以最少的资源消耗和污染排放实现土地利用中经济与环境效益的最大化。因此,在资源开采、加工运输及转型发展的过程中,既要注重土地利用所产生的经济效益,又不能忽视对生态环境产生的负面影响。同时,应完善土地利用政策,制定更加严格的环境保护标准,规范土地利用过程中的各类排放和污染行为,提高土地的综合利用价值,并引进大数据、云计算等现代信息技术,建立土地利用信息管理系统,实现土地利用的数字化、智能化管理。

资源型城市土地绿色利用效率具有明显的空间集聚和非均衡性特征。同时,根据资源开发的不同阶段,本文将资源型城市按其成长阶段划分为成长型、成熟型、衰退型及再生型 4 类发现,各阶段城市的土地绿色利用效率呈明显的差异特征,且总体及各阶段内部城市的土地绿色利用效率不平衡性突出,差异扩大,出现一定的极化现象,但 β 收敛显著存在,效率值逐渐向稳态发展。鉴于此,应坚持因地制宜,全面提升各阶段城市土地绿色利用效率。具体来看,成长型城市应规范资源开发秩序,科学评估其对土地和环境造成的影响,避免因过高的经济增长压力出现盲目开采、违规开发土地等行为;成熟型城市应加大绿色创新投入、提升资源型产业技术水平,通过先进的清洁生产技术和环境管理标准为土地绿色利用效率的提升保驾护航;衰退型城市应加快推进废弃矿坑和沉陷区综合治理等工作,通过土地复垦、植被恢复和建立生态园区等方式,促进废弃土地重新开发利用,实现土地利用中的经济与环境效益的双重提升;再生型城市应大力发展数字经济、共享经济,降低对土地资源占用和依赖的同时,达成经济发展和环境保护的双重目标。同时,各阶段内部城市及不同阶段城市之间可以通过建立经验交流平台,定期举办研讨会等活动,分享土地利用和低碳转型发展方面的经验,并积极引进先进技术和管理模式,以推动自身绿色转型发展,实现土地绿色利用效率的协同提升。

4 结论

- 1)2006—2020 年,资源型城市土地绿色利用效率呈现波动上升态势,年平均增长 1.363%;分区域来看,土地绿色利用效率在大多数年份表现为东部>东北>中部>西部的区域差异格局;分成长阶段来看,呈再生型>成熟型>成长型>衰退型的梯度差异特征;从空间分布来看,大部分资源型城市土地绿色利用效率处于中低区间,且具有明显的空间集聚和非均衡性特征。
- 2)总体及各成长阶段资源型城市的核密度曲线均整体呈“右移→左移→右移”趋势,主峰高度下降,宽度变大,右拖尾延长,多峰形态逐渐显现,反映出土地绿色利用效率在波动中总体向好发展,且不平衡程度仍较为明显,呈一定的发散态势和极化现象。
- 3)总体及各成长阶段资源型城市内部和之间的土地绿色利用效率地区差异呈上升趋势。区域内及

超变密度对总体差异的贡献率在多数年份达到 35% 以上, 区域间差异的贡献率相对较小, 但在 2013 年《规划》出台以后有所上升。

4) 考察期内, 总体及各成长阶段资源型城市的土地绿色利用效率未能出现 σ 收敛, 地区差异有所扩大。绝对 β 收敛与条件 β 收敛趋势在总体及不同阶段城市均显著存在, 即土地绿色利用效率相对滞后城市比发达城市拥有更快的增长率, 逐渐向稳态发展。

参考文献:

- [1] 姜旭, 侯娇, 卢新海. 低碳试点政策对城市土地绿色利用的影响: 基于双重差分模型的实证研究[J]. 中国土地科学, 2023, 37(3): 80-89.
JIANG X, HOU J, LU X H. Research on the effects of low-carbon pilot policies on green urban land use: An empirical study based on the DID model[J]. China Land Science, 2023, 37(3): 80-89.
- [2] 梁涛涛, 雍雅君, 袁晨光. 城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征: 基于 284 个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学, 2019, 33(6): 80-87.
LIANG L T, YONG Y J, YUAN C G. Measurement of urban land green use efficiency and its spatial differentiation characteristics: An empirical study based on 284 cities[J]. China Land Science, 2019, 33(6): 80-87.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2022 年中国城市建设状况公报 [EB/OL]. [2023-10-13]. <https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/sjfb/tjxx/tjgb/index.html>.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. 2022 China urban construction status bulletin [EB/OL]. [2023-10-13]. <https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/sjfb/tjxx/tjgb/index.html>.
- [4] 边志强. 经济增长目标管理对城市土地绿色利用效率的影响: 基于 282 个地级及以上城市的经验证据[J]. 中国土地科学, 2024, 38(4): 54-64.
BIAN Z Q. Impact of economic growth target management on urban land green use efficiency: Empirical evidence from 282 cities at prefecture level and above[J]. China Land Science, 2024, 38(4): 54-64.
- [5] 李虹, 邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究: 基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. 经济研究, 2018, 53(11): 182-198.
LI H, ZOU Q. Environmental regulations, resource endowments and urban industry transformation: Comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities [J]. Economic Research Journal, 2018, 53(11): 182-198.
- [6] 韩峰, 赖明勇. 市场邻近、技术外溢与城市土地利用效率[J]. 世界经济, 2016, 39(1): 123-151.
HAN F, LAI M Y. Market proximity, technology spillover and urban land use efficiency [J]. The Journal of World Economy, 2016, 39(1): 123-151.
- [7] 徐志雄, 徐维祥, 刘程军. 环境规制对土地绿色利用效率的影响[J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 87-95.
XU Z X, XU W X, LIU C J. Influences of environmental regulations on green land use efficiency [J]. China Land Science, 2021, 35(8): 87-95.
- [8] 卢新海, 任文琴, 杨浩, 等. 城市交通紧凑式发展对土地绿色利用效率的影响: 基于空间计量的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(3): 113-124.
LU X H, REN W Q, YANG H, et al. Impact of compact development of urban transportation on green land use efficiency: An empirical analysis based on spatial measurement [J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(3): 113-124.
- [9] 卢新海, 杨喜, 陈泽秀. 中国城市土地绿色利用效率测度及其时空演变特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8): 83-91.
LU X H, YANG X, CHEN Z X. Measurement and temporal-spatial evolution characteristics of urban land green use efficiency in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 83-91.
- [10] 卢新海, 李佳, 刘超, 等. 中国城市土地绿色利用效率驱动因素及空间分异[J]. 地理科学, 2022, 42(4): 611-621.
LU X H, LI J, LIU C, et al. Driving factors and spatial differentiation of the urban land green use efficiency in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(4): 611-621.
- [11] 彭文英, 陈泽宇, 孙加峰, 等. 京津冀土地绿色利用效率时空格局及影响因素[J]. 水土保持学报, 2024, 38(4): 257-266.
PENG W Y, CHEN Z Y, SUN J F, et al. Spatio-temporal pattern of green land use efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei and its influencing factors [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(4): 257-266.
- [12] WANG Y, ZHANG A L, MIN M, et al. Research on the effect of manufacturing agglomeration on green use efficiency of industrial land [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, 20(2): e1575.
- [13] 陈丹玲, 卢新海, 张超正, 等. 组态视角下协同创新驱动城市土地绿色利用效率提升的路径选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(10): 103-111.
CHEN D L, LU X H, ZHANG C Z, et al. Path selection of improving urban land green use efficiency driven

- by collaborative innovation from the perspective of configuration[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(10): 103-111.
- [14] WANG A P, LIN W Y, LIU B, et al. Does smart city construction improve the green utilization efficiency of urban land?[J]. *Land*, 2021, 10(6): 1-18.
- [15] 刘军, 边志强. 资源型城市经济高质量发展水平测度研究: 基于新发展理念[J]. *经济问题探索*, 2022(1): 92-111.
- LIU J, BIAN Z Q. Research on the measurement of economic high-quality development level of resource-based cities: Based on the new development concept[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2022(1): 92-111.
- [16] 李娜, 赵康杰, 景普秋. 地方品质与资源型城市产业结构转型: 基于人口集聚的视角[J]. *城市问题*, 2023(4): 55-67.
- LI N, ZHAO K J, JING P Q. Quality of place and industrial structure transformation of resource-based cities: Based on the perspective of population agglomeration[J]. *Urban Problems*, 2023(4): 55-67.
- [17] 徐维祥, 郑金辉, 周建平, 等. 资源型城市转型绩效特征及其碳减排效应[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(1): 39-57.
- XU W X, ZHENG J H, ZHOU J P, et al. Transformation performance characteristics of resource-based cities and their carbon emission reduction effects[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(1): 39-57.
- [18] 张国兴, 张婧钰, 周桂芳. 黄河流域资源型城市生态安全等级边界及演化趋势[J]. *资源科学*, 2023, 45(4): 762-775.
- ZHANG G X, ZHANG J Y, ZHOU G F. Ecological security level of resource-based cities in the Yellow River basin and trend of change[J]. *Resources Science*, 2023, 45(4): 762-775.
- [19] 徐英启, 程钰, 王晶晶. 中国资源型城市碳排放效率时空演变与绿色技术创新影响[J]. *地理研究*, 2023, 42(3): 878-894.
- XU Y Q, CHENG Y, WANG J J. The impact of green technological innovation on the spatiotemporal evolution of carbon emission efficiency of resource-based cities in China[J]. *Geographical Research*, 2023, 42(3): 878-894.
- [20] SONG Y, YEUNG G, ZHU D L, et al. Efficiency of urban land use in China's resource-based cities, 2000-2018[J]. *Land Use Policy*, 2022, 115: e106009.
- [21] 宋洋, 贺灿飞, YEUNG G, 等. 中国资源型城市产业结构升级对土地利用效率的影响[J]. *地理研究*, 2023, 42(1): 86-105.
- SONG Y, HE C F, YEUNG G, et al. Industrial structure upgrading and urban land use efficiency: Evidence from 115 resource-based cities in China, 2000—2019[J]. *Geographical Research*, 2023, 42(1): 86-105.
- [22] 丁一, 郭青霞, 秦明星. 黄河流域资源型城市土地绿色利用效率时空演变及影响因素[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(19): 250-259.
- DING Y, GUO Q X, QIN M X. Temporal-spatial evolution and influencing factors of land green use efficiency of resource-based cities in the Yellow River basin, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(19): 250-259.
- [23] 王回茜, 李汉廷, 谢苗苗, 等. 资源型城市工矿用地系统修复的生态安全格局构建[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 162-173.
- WANG H H, LI H T, XIE M M, et al. Construction of ecological security pattern for systematic restoration of industrial and mining land in resource-based cities[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(1): 162-173.
- [24] 张鹏, 宋泽宇, 张冠峰, 等. 基于城矿协调的资源型城市采矿用地再利用研究: 以阳泉市平定县为例[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(8): 77-86.
- ZHANG P, SONG Z Y, ZHANG G F, et al. Mining land redevelopment in resource-based cities based on the synergism of urban and mining systems: A case study of Pingding County, Yangquan City[J]. *China Land Science*, 2021, 35(8): 77-86.
- [25] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)的通知[EB/OL]. [2013-12-03]. https://www.gov.cn/zfwj/2013-12/03/content_2540070.htm.
- The Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the State Council on issuing the national sustainable development plan for resource based cities (2013—2020) [EB/OL]. [2013-12-03]. https://www.gov.cn/zfwj/2013-12/03/content_2540070.htm.
- [26] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515-531.
- [27] 钟顺昌, 邵佳辉. 黄河流域创新发展的分布动态、空间差异及收敛性研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(5): 25-46.
- ZHONG S C, SHAO J H. Distribution dynamics, spatial difference and convergence of innovative development in the Yellow River Basin[J]. *The Journal of Quantitative and Technical Economics*, 2022, 39(5): 25-46.

(下转第377页)

- water loss to land use and precipitation changes on the Loess Plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2024, 38(4): 95-10.
- [30] 姚楠, 刘广全, 姚顺波, 等. 基于 InVEST 模型的黄土丘陵沟壑区退耕还林还草工程对生态系统碳储量的影响评估[J]. *水土保持通报*, 2022, 42(5): 329-336.
- YAO N, LIU G Q, YAO S B, et al. Evaluating on effect of conversion from farmland to forest and grassland project on ecosystem carbon storage in loess hilly-gully region based on InVEST model[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, 42(5): 329-336.
- [31] 安健吉, 员学锋, 杨悦, 等. 退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务的影响[J]. *环境科学*, 2025, 46(4): 2410-2427.
- AN J J, YUAN X F, YANG Y, et al. Effect of the grain for green program on ecosystem services in northern Shaanxi, China[J]. *Environmental Science*, 2025, 46(4): 2410-2427.
- [32] 庞彩艳, 文琦, 丁金梅, 等. 黄河上游流域生态系统服务(上接第 337 页)
- [28] 张建鹏, 陈诗一. 金融发展、环境规制与经济绿色转型[J]. *财经研究*, 2021, 47(11): 78-93.
- ZHANG J P, CHEN S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2021, 47(11): 78-93.
- [29] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2004, 39(10): 35-44.
- ZHANG J, WU G Y, ZHANG J P. The Estimation of China's provincial capital stock: 1952—2000[J]. *Economic Research Journal*, 2004, 39(10): 35-44.
- [30] 郭沛, 梁栋. 低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率: 基于低碳试点城市的准自然实验研究[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(7): 1876-1892.
- (上接第 364 页)
- [31] 郭晓雯, 向贵琴, 张发朝, 等. 生物炭和秸秆还田对咸水滴灌棉田土壤微生物群落特征及功能差异的影响[J]. *环境科学*, 2024, 45(6): 3571-3583.
- GUO X W, XIANG G Q, ZHANG F C, et al. Effects of biochar and straw return on soil microbial community characteristics and functional differences in saline water drip irrigation cotton fields[J]. *Environmental Science*, 2024, 45(6): 3571-3583.
- [32] RAN T S, LI J, LIAO H K, et al. Effects of biochar amendment on bacterial communities and their function predictions in a microplastic-contaminated *Capsicum annuum* L. soil[J]. *Environmental Technology and Innovation*, 2023, 31: e103174.
- [33] CHEN Y, JIANG Y M, HUANG H Y, et al. Long-term and high-concentration heavy-metal contamination变化及其权衡协同关系[J]. *生态学报*, 2024, 44(12): 5003-5013.
- PANG C Y, WEN Q, DING J M, et al. Ecosystem services and their trade-offs and synergies in the upper reaches of the Yellow River basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(12): 5003-5013.
- [33] 钟绍卓, 孙浩源. 不同情景下祁连山国家级自然保护区生态系统服务时空变化及权衡与协同关系[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(5): 358-369.
- ZHONG S Z, SUN H Y. Assessment on spatiotemporal variation and synergies/tradeoffs relationships of ecosystem services in Qilian Mountain national nature reserve under different scenarios[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(5): 358-369.
- [34] 陈登帅, 李晶, 杨晓楠, 等. 渭河流域生态系统服务权衡优化研究[J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3260-3271.
- CHEN D S, LI J, YANG X N, et al. Trade-offs and optimization among ecosystem services in the Weihe River basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 3260-3271.
- GUO P, LIANG D. Does the low-carbon pilot policy improve the efficiency of urban carbon emissions: Quasi-natural experimental research based on low-carbon pilot cities[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(7): 1876-1892.
- [31] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007—2021.
- National Bureau of Statistics. China urban statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007—2021.
- [32] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城市建设统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007—2021.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China urban construction statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007—2021.
- strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 637: 1400-1412.
- [34] 郎乾乾, 李艳梅, 夏宇, 等. 玉米秸秆水热生物炭施用对土壤重金属 Cd 生物有效性和微生物群落的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2024, 43(6): 1303-1311.
- LANG Q Q, LI Y M, XIA Y, et al. Effects of corn stalk hydrothermal biochar application on the Cd bioavailability and microbial community in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(6): 1303-1311.
- [35] KRUCZYŃSKA A, KUŹNIAR A, PODLEWSKI J, et al. Bacteroidota structure in the face of varying agricultural practices as an important indicator of soil quality: A culture independent approach[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2023, 342: e108252.