

引用格式: 贾文星, 张学良, 韩慧敏. 中国收缩型县域土地绿色利用效率的时空演进及收敛特征[J]. 资源科学, 2024, 46(2): 294-307. [Jia W X, Zhang X L, Han H M. Spatiotemporal evolution and convergence characteristics of land green use efficiency in shrinking counties of China[J]. Resources Science, 2024, 46(2): 294-307.] DOI: 10.18402/resci.2024.02.05

中国收缩型县域土地绿色利用效率的时空演进及收敛特征

贾文星¹, 张学良², 韩慧敏²

(1. 上海社会科学院应用经济研究所, 上海 200020;

2. 上海财经大学城市与区域科学学院, 上海 200433)

摘要:【目的】本文旨在从县域层面评价收缩型区域的土地绿色利用效率, 考察县域土地绿色利用效率的动态跃迁及随机收敛特征, 为新时期收缩型县域实现高质量发展提供参考。【方法】基于“经济-社会-环境”分析框架构建全局参比下考虑非期望产出的非径向、非角度超效率SBM-DEA模型, 测度2011—2020年中国收缩型县域的土地绿色利用效率, 运用探索性时空数据分析方法考察县域土地绿色利用效率的时空依赖特性和动态跃迁特征, 并基于面板单位根检验方法对县域土地绿色利用效率进行全局性及俱乐部随机收敛检验, 尝试对可能存在的收敛子集进行识别。【结果】样本考察期内, 过半县域处于收缩状态且呈现连绵化发展趋势, 收缩型县域土地绿色利用效率处于低值区间且总体呈现下降态势。县域土地绿色利用效率表现出典型的空间集聚现象, 其未来演化发展虽然具备良好的空间整合条件, 但短期内向“低低”象限转移的概率更高。收缩程度较高的县域表现出更明显的“路径依赖”和“低值锁定”行为。全国层面和分地区的考察均未发现存在全局性或俱乐部随机收敛趋势, 分省层面存在海量的收敛子集。【结论】中国收缩型县域土地绿色利用效率具有较大提升的空间, 应充分发挥空间交互影响的作用, 推动小尺度、精细化的交流与合作, 助力实现人口流失县域人地关系的协调发展。

关键词: 收缩型县域; 人地关系; 土地绿色利用效率; 时空跃迁; 随机收敛; SBM-DEA; 中国

DOI: 10.18402/resci.2024.02.05

1 引言

作为地域系统的核心理论, 人地关系一直是地理学与经济学关注的核心问题, 然而当前人地关系的协调发展面临复杂性、动态性的变化趋势。从“人”的视角看, 伴随着中国经济发展阶段转换以及人口结构变化, 部分县域推动发展的效力减退、运行风险加大、不可持续性显现, 以人口减少为主要特征的“收缩型县域”逐渐增加^[1]; 从“地”的视角看, 作为“三生”空间发展的重要物质载体, 土地资源是要素交流互动的基础, 其利用效率的高低直接关乎县域发展的福祉, 也是衡量人地关系协调能力及发

展质量的关键指标, 面对收缩型县域日趋增多这一现实背景, 县域发展可能存在土地低效利用问题。一方面, 县域的物质空间“易增难减”, 人口由少至多向由多到少转换会导致物质空间在增长后出现冗余问题, 部分收缩型县域出现房屋和基础设施空置、城市棕地增加等现象^[2,3]。另一方面, 县域发展策略与规划大多基于增长情景制定, “以地谋发展”模式促使收缩型县域持续开发建设, 可能存在着人口流失与城镇空间扩张并存的悖论^[4], 推动土地利用模式向高效节约、适度集约转变将会是收缩型县域转型发展的重要议题^[5]。此外, 党的二十大报告

收稿日期: 2023-12-08 修订日期: 2024-01-27

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(23&ZD067); 上海市教育委员会2023年度科研创新计划重大项目(2023SKZD14)。

作者简介: 贾文星, 男, 山东新泰人, 博士, 助理研究员, 研究方向为城市与区域科学。E-mail: jwx2024@163.sufe.edu.cn

通讯作者: 张学良, 男, 安徽望江人, 博士, 教授, 研究方向为城市与区域科学。E-mail: zhang.xueliang@mail.shufe.edu.cn

2024年2月

指出:“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,在发展路径上以绿色发展为统领”。因此,将绿色理念引入到土地综合利用过程中,更加关注生态与环境问题而造成的土地退化、破坏及污染问题是收缩型县域可持续发展的应有之义。在上述背景下,从实现“人地关系”协调发展的视角出发,如何测算中国收缩型县域土地绿色利用效率?进一步地,收缩型县域土地绿色利用效率呈现什么样的时空演进特征?上述问题的回答对收缩型县域制定“精明”的土地利用模式,从而实现人口收缩过程中的国土空间资源配置与调控优化具有重要的理论和现实意义。

“城市收缩”最初描述的是城市经济全面衰退和人口流失现象,并被视为城市生命周期的某一阶段^[6]。实际上,由于统计标准口径不一、定义模糊等原因,当前学术界对于衡量收缩的人口基数及时间跨度等意见并不统一^[7,8]。梳理已有研究,学者们常用人口统计(如人口总量的增减及变化率、人口的迁出比率、劳动力流失指数或城镇化率等^[9,10])、社会经济(如人均地区生产总值变化率、产业结构优化程度、建成区面积的增减等^[11])及地理空间(如房屋建筑空置率、夜间灯光变化率等^[12,13])3类指标衡量城市收缩。其中,人口规模指标既直接衡量了人口总量的增减,又是区域社会经济发展或结构性危机结果的最直观指标之一,其使用频率最高,也更为学者所接受。在以中国为研究样本的常用人口总量指标选择上,由于获取方便、时间逐年连续等优势,部分研究基于户籍人口考察城市收缩^[14]。但由于户籍人口按照公安机关的登记数据统计,与实际常住人口之间的出入往往较大,故学者们大多选择国家统计局所发布的人口普查数据来考察城市收缩问题,这也是目前相关研究所能获得的最直接精准的人口数据。如戚伟等^[15]利用两次人口普查数据识别了2010—2020年城区人口发生减少的收缩城市。在上述研究的基础上,部分文献认为城市收缩在短期内可能会带来政府税收下降^[16]、土地空置、房屋废弃与人居环境恶化等问题。因此,收缩型城市的土地高效利用逐渐引起学者的重视^[17]。

土地利用效率评价是开展相关研究的前决条件,部分文献尝试对此进行测度。在传统土地利用

效率评价中,有学者选择单位面积产值^[18]、土地开发强度等单一指标表征,但单一指标方法忽略了土地利用效率中的其他因素,部分研究进一步尝试基于复合系统视角采用综合指标的方法测算^[19]。近年来,随着非参数方法的广泛应用,基于投入-产出决策单元评价视角的非径向、非角度数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型在土地利用效率测算中越发普及。如宋洋等^[20]基于DEA模型测算了京津冀城市群县域城市的土地利用效率。受绿色发展理念影响,在传统只考虑期望产出的城市土地利用效率评价的基础上,已有研究逐步将环境要素纳入到模型中,即强调土地利用过程中减少环境污染等非期望产出。如张瑞等^[21]、朱洪波等^[22]、卢新海等^[23]利用非期望产出的超效率模型测算了中国不同地区的土地绿色利用效率。此外,众多文献进一步考察了土地绿色利用效率的影响因素,包括环境规制^[5]、生产要素投入^[18]、科技创新^[21]、经济增长^[24]等。城市土地绿色利用效率测算为后续研究奠定了良好的基础,但已有研究主要存在两个方面的问题:①受限于数据不易获取、行政区划调整频繁等因素,相关成果拓展至县域层面的相对较少;②现有研究仍往往将考察单元视为相互独立且均质的个体,忽略了研究对象的异质性和空间依赖特性,缺乏时空关联视角下城市土地绿色利用效率的动态变化及收敛特征考察。

鉴于已有研究的局限,本文的边际贡献可能来源以下两个方面:①样本范围拓展至县域层面。相对其他更高等级的行政单元,县域层面的人口流失问题更加突出,作为中国社会经济发展的基本财政单元和产业承接载体,其土地利用效率的高低直接关系到县域高质量发展的效果。本文基于“经济-社会-环境”分析框架设定投入产出指标体系,构建全局参比下考虑非期望产出的非径向、非角度超效率SBM-DEA模型,尝试测度中国县域层面的土地绿色利用效率;②重视空间因素在收缩型县域城市绿色转型发展的作用。当前,县域发展的空间关联呈现多线程、网络化和动态化的特征,人口和资源跨区域调整的能力不断提升,逐渐由过去“一方水土养一方人”向“一方水土养几方人”或“几方水土养一方人”方向转变^[25]。本文运用探索性时空数据分

析方法,重点考察时空关联情形下收缩型县域土地绿色利用效率的动态跃迁特征,进而基于面板单位根检验方法,对收缩型县域地绿色利用效率的随机收敛性进行检验,并对可能存在的收敛子集进行识别,以期寻找小尺度、精准化“跨域协同”改进的经验证据。

2 研究区域与研究方法

2.1 研究区域与数据来源

2.1.1 收缩型县域的识别

由于两次全国人口普查年间中国县级行政单位经历较为频繁的区划调整,对识别结果造成较大程度的干扰,本文根据中华人民共和国民政部门户网站“全国行政区划信息查询平台”发布的县级以上行政区划变更信息(不包含香港、澳门、台湾和西藏)^①,依据《2020年中华人民共和国行政区划代码(截至2020年12月31日)》名单,将2010—2020年间发生撤县(市、镇)设区、撤县设市(镇)、撤区设县、变更行政隶属关系、新增设市辖区、更名等情况的县级行政区划统一调整^②。本文利用第六次人口普查(2010年)和第七次人口普查数据(2020年),将收缩型县域定义为两次人口普查年间人口变动率为负的行政单元。测算结果显示,在剔除部分不可识别样本、匹配《中国县域统计年鉴》经济社会数据后,共计得到1446个有效样本。

2.1.2 数据来源

本文人口统计指标数据来源于《中国人口普查分县资料》(2010、2020年)、《中国人口普查分乡、镇、街道资料》(2010、2020年),经济社会统计数据来源于《中国县域统计年鉴》(2011—2021年)、各县级行政单位的国民经济和社会发展统计公报和统计局官方网站,建成区信息来源于武汉大学基于Google Earth Engine测算发布的中国年度土地覆盖数据集^[26],PM_{2.5}数据来源圣路易斯华盛顿大学大气成分分析组。为了保持研究样本的完整性,本文采用线性插值方法补齐个别缺失数据。

2.2 研究方法

2.2.1 土地绿色利用效率测算

(1)概念内涵。土地利用效率是指在既定的技

术条件下,土地要素与非土地要素的投入与社会经济等维度的产出比值,侧面衡量了土地的集约利用程度。进一步地,土地绿色利用效率则是对土地利用效率内涵的外延和扩展,更加突出绿色发展的理念,在关注传统要素投入与产出的配置上考虑环境因素对土地的影响^[23],强调不阻碍发展又不破坏生态环境、人与自然协调共进的土地利用平衡关系。土地绿色利用效率注重“经济-社会-生态”三大系统的耦合,即通过最少单位的要素投入(土地及其他要素),取得较高经济效益和社会福利水平等“期望”产出,减少环境污染和生态破坏等“非期望”产出。根据土地绿色利用效率的定义及内涵,本文从投入和产出两个方面选取指标,在投入指标方面,以建成区面积(不透水层)、全社会固定资产投资、第二三产业从业人员数分别表征土地、资本和劳动力要素投入;在期望产出指标方面,以第二三产业产值表征经济效益产出,以财政一般公共预算收入表征社会效益产出。在非期望产出指标方面,考虑数据可得性及部分地区空气污染严重的现实背景,以PM_{2.5}表征环境污染。

(2)模型设定。本文通过将SBM方向性距离函数与GM指数结合的方式来测算土地绿色利用效率,既可以解决模型的径向与角度问题,又可以实现测度结果的全局可比性,SBM方向性距离函数构造方法如下:

$$\begin{aligned} \overline{D}_k^G(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b) = & \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_{nk}^x}{g_{nk}^x} + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_{nk}^y}{g_{nk}^y} + \sum_{i=1}^I \frac{s_{nk}^b}{g_{nk}^b} \right) \\ \max & \frac{2}{2} \\ \text{s.t.} & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K \lambda_j^t x_{jn}^t + s_{nk}^x = x_{nk}^t, n=1, \dots, N \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K \lambda_j^t y_{jm}^t - s_{mk}^y = y_{km}^t, m=1, \dots, M \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K \lambda_j^t b_{ji}^t - s_{ik}^y = b_{ik}^t, i=1, \dots, I \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K \lambda_j^t = 1; \lambda_j^t \geq 0, j=1, \dots, K, t=1, \dots, T \\ & s_{nk}^x \geq 0, s_{mk}^y \geq 0, s_{ik}^b \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

① <http://xqzh.mca.gov.cn/description?dcpid=1>。

② 《中国人口普查分县资料》(2020年)中多个城市单独报告了开发区、保税区、示范区、管理区或园区等单位的人口数据,本文依据《中国人口普查分乡、镇、街道资料》(2020年)中公布的各园区行政区划范围,将各园区人口数据分类汇总至所属各县级行政单元。

2024年2月

式中:假定各决策单元在每一时期 t 使用 N 项投入要素 $x=(x_1, \dots, x_N) \in R_N^+$,生产得到 M 项期望产出 $y=(y_1, \dots, y_M) \in R_M^+$,同时伴随这一生产过程将不可避免产生 I 项非期望产出 $b=(b_1, \dots, b_I) \in R_I^+$ 。 (g^x, g^y, g^b) 为方向向量, $s_{nk}^x, s_{mk}^y, s_{ik}^b$ 表示投入、期望产出与非期望产出的松弛向量。同时利用所有样本期的数据构建生产前沿,避免了计算过程中的不可行解问题。 $\overline{D^G}(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)$ 衡量了决策单元在 t 时期的生产点与全局生产前沿面的距离,表征了资源环境约束下的无效率值。可以发现,决策单元是沿着投入减少、期望产出增加、非期望产出减少的方向投影到生产前沿面中,这就将土地节约、经济和社会福利增长、污染物减排同时纳入到了土地绿色利用效率的分析框架之中,在此基础上,可进一步通过Malmquist生产率指标表征土地绿色利用效率,全局Malmquist生产率指标的计算公式如下所示:

$$MPI_K^G = \frac{\overline{D_K^G}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\overline{D_K^G}(x^t, y^t, b^t)} \quad (2)$$

2.2.2 探索性时空数据分析

(1)局域空间关联指数(Local Indicators of Spatial Association, LISA)时间路径分析。考虑时空交互特征是中国收缩型县域土地绿色利用效率研究发展变迁的重要内容,参考已有研究^[27],通过引入图论工具实现县域土地绿色利用效率时空关联的耦合与可视化展示。LISA坐标的移动路径可表示为 $[(z_{i,1}, z_{l,1}), (z_{i,2}, z_{l,2}), \dots, (z_{i,t}, z_{l,t}), t=1, \dots, T]$ 。其中 $z_{i,t}$ 为县域 i 在第 t 年土地绿色利用效率的标准化值; $z_{l,t}$ 为县域 i 在第 t 年土地绿色利用效率的空间滞后量,空间权重选择地理距离矩阵。LISA时间路径的几何特征指标包括相对长度 Γ_i 、弯曲度 ε_i 和平均移动方向 θ_i 等,具体公式如下:

$$\Gamma_i = \frac{N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})} \quad (3)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{d(L_{i,1}, L_{i,T})} \quad (4)$$

$$\theta_i = \arctan \frac{|z_{l,i,t} - z_{l,i,l}|}{|z_{i,T} - z_{i,l}|} \quad (5)$$

式中: N 为观测值数; $L_{i,t}$ 为县域 i 在 t 年份在Moran散点图中的位置; $d(L_{i,t}, L_{i,t+1})$ 为县域 i 在 t 年和 $t+1$ 年间的移动距离。如果相对长度 $\Gamma_i > 1$,表示县域 i 在考察期内移动长度超过所有观测量的均值,即相对长度大于平均长度,表明具有更加动态的局部依赖关系和空间结构,反之亦然。弯曲率 ε_i 越大路径越弯曲,即县域 i 在方向上具有更加动态的局部空间依赖演化过程。换言之,县域 i 受局部结构的时空依赖效应影响越大。平均移动方向 θ_i 通过比较城市 i 末期值与初始值的位置揭示县域及邻域的变化趋势。

(2)LISA时空跃迁分析。基于传统马尔科夫链分析框架,将Moran散点图中各空间单元在特定时间间隔内的几何特征进行嵌套,即分析特定时间间隔内县域 i 是否发生了象限变化,具体可以分为4种类型、16种跃迁形态。4种类型分别为Type1、Type2、Type3和Type4。其中,Type1指自身与邻域形态均未发生改变,Type2指自身改变、邻域形态未发生改变,Type3指自身不变、邻域形态发生改变,Type4指自身与邻域形态均发生改变。在此基础上,测算时空变迁指数 SF 与时空凝聚指数 SC :

$$SF = \frac{Q_{Type2} + Q_{Type3}}{(T_2 - T_1) \times m} \quad (6)$$

$$SC = \frac{Q_{Type1} + Q_{Type4'}}{(T_2 - T_1) \times m} \quad (7)$$

式中: T_1 为初期年份; T_2 为末期年份; m 为观测值数; Q 为县域数量;Type4'为Type4中的LL→HH和HH→LL两种跃迁类型。

2.2.3 随机收敛检验方法

随机收敛方法能够检验一个变量对另一个变量在长期中是否存在持续冲击,从而避免短期内可能存在的收敛与非收敛之间的状态。参考已有研究^[28],考虑 N 个行政单位,当且仅当存在共同趋势 α_t 和有限个参数 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 使得式(8)成立,那么这 N 个行政单位的土地绿色利用效率是收敛的。其中, $n=1, 2, \dots, N$; y_{nt} 为第 n 个行政单位在 t 时期的土地绿色利用效率; α_t 为所有行政单位土地绿色利用效率的共同趋势。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_t(y_{n,t+i} - \alpha_{t+i}) = u_n \quad (8)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_t(\bar{y}_{t+i} - \alpha_{t+i}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mu_n \quad (9)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E_t(\bar{y}_{n,t+i} - \bar{y}_{t+i}) = \mu_n \quad (10)$$

其中,对每个行政单位,当且仅当 $y_{nt} - \bar{y}_t$ 是平稳序列时,这 N 个行政单位存在收敛趋势。

$$\Delta(y_{nt} - \bar{y}_t) = \delta_n + \rho_n(y_{n,t-1} - \bar{y}_{t-1}) + \sum_{i=1}^p \varphi_{ni} \Delta(y_{n,t-i} - \bar{y}_{t-i}) + u_{nt} \quad (11)$$

在这种情况下,式(11)中,如果行政单位之间是收敛的,则 $\rho_n < 0$;如果行政单位之间是发散的,则 $\rho_n = 0$ 。

3 结果与分析

3.1 县域收缩统计特征

根据两次人口普查数据的对比结果(表1),中国县域行政单元人口变化呈现3个方面的特征:①在考虑社会经济数据可得性后,2020年共计1446个行政单元存在收缩现象,占比超过一半,还有不少城市处于收缩的边缘,这表明“收缩”作为县域发展变化的一个显著特征,值得引起各级政府与研究者注意;②收缩型县域与非收缩型县域交错分布,没有省(市、自治区)能“独善其身”,导致人口流失原因除了资源枯竭、产业转型外,也可能与位置偏远或受大城市的虹吸有关;③部分地区收缩型县域呈现连绵化发展趋势,东北、西南、长江中游和黄河中游等地区出现空间集聚现象,说明空间因素可能对县域收缩起到了一定的催化作用。本文进一步依据人口流失程度将城市划分为轻度(5%及以下)、一般((5%, 15%])、中度((15%, 30%])和严重(30%以上)4种类型。其中,一般型收缩县域数量最多占比44.33%,达到641个行政单元,其他依次为轻度型

(26.00%)、中度型(24.21%)和严重型(5.46%),分行政区划各类型占比与全国层面的结果基本一致。从各类型收缩县域的空间分布看,轻度、一般、中度、严重收缩县域分别集中在西南、长江中游、黄河中游和东北地区,表明在人口流失情境下,以“精明收缩”发展理念推动新时代东北全面振兴迫在眉睫。

3.2 收缩型县域土地绿色利用效率时空格局

3.2.1 时间演进趋势

图1刻画了2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率演变的时序特征。样本考察期间内收缩型县域土地绿色利用效率总体呈现下降趋势,具体表现为“先波动下降—后上升—再下降”的动态特征。作为城市建设的主要“试验场”,土地资源为县域经济发展和人口增长提供必要的空间载体,由于部分收缩型县域可能会面临经济衰退、劳动力不足、产业转型升级困难及生态环境恶化等问题,土地利用的后生动力相对不足。分区域来看,县域土地绿色利用效率存在显著的空间异质性特征,受经济发展动力转换、资源环境约束趋紧等因素的影响,除中部地区收缩型县域土地绿色利用效率微弱上升外,东部、西部及东北地区的土地绿色利用效率均呈现波动性下降态势,这可能跟人口流失有关。但根据发展阶段的差异,各地区土地绿色利用效率下降的原因不尽相同,这与土地资源浪费、土地供给结构不合理、土地财政过度依赖有关。特别地,近几年东北地区收缩型县域土地绿色利用效率下降幅度最高,这可能与东北地区城市收缩最为严重有关。此外,伴随着经济结构的调整,东北地区

表1 中国县域城市收缩的统计特征

Table 1 Statistical characteristics of shrinking cities in China at the county-level

类型	轻度收缩		一般收缩		中度收缩		严重收缩	
	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%
市辖区	70	4.84	87	6.02	52	3.60	18	1.25
县级市	68	4.70	80	5.53	51	3.53	16	1.12
县(自治县)	233	16.11	458	31.67	232	16.04	41	2.84
旗(自治旗)	5	0.35	15	1.04	15	1.04	4	0.28
林区	0	0.00	1	0.07	0	0.00	0	0.00
合计	376	26.00	641	44.33	350	24.21	79	5.46
主要分布地区	西南地区		长江中游		黄河中游		东北地区	

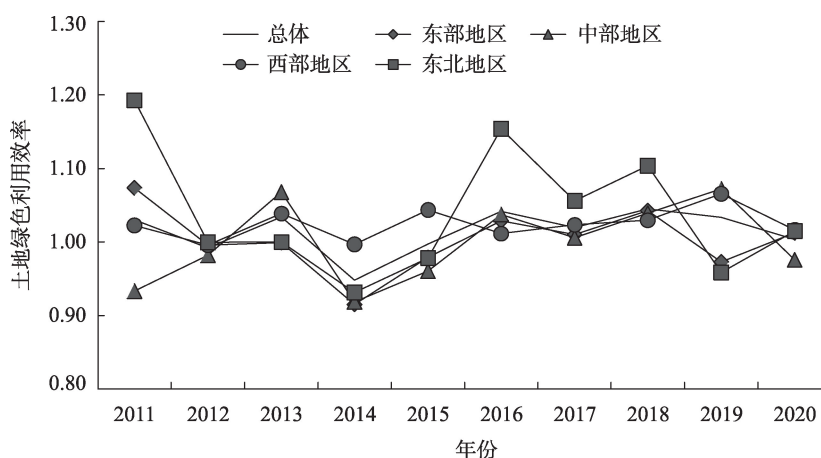


图1 2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率的时序特征

Figure 1 Temporal characteristics of land green use efficiency in shrinking counties, 2011-2020

资源禀赋红利逐步下降,生态环境与经济高质量发展的矛盾进一步加剧了土地绿色利用效率的下降。

3.2.2 空间分布格局

根据收缩型县域土地绿色利用效率的空间分布格局结果(图2),大部分县域土地绿色利用效率均值集中在数值1左右,且呈现集中连片的趋势,仅少数县域土地绿色利用效率明显高于其他地区,表明县域的土地绿色利用效率仍有较大程度的提升空间。此外,基于年末和年初土地绿色利用效率的变化率对比,可以发现大多数县域的土地绿色利用效率呈现下降态势,这也侧面验证了上文总体样本下降的结论。一方面,伴随着人口流失和人口结构

变化,部分收缩型县域直接表现为房屋住宅空置、工厂闲置或部分公共基础设施废弃;另一方面,不管是城市收缩还是土地绿色利用效率均受到空间关联效应的影响,临近地区土地绿色利用效率下降可能带动自身效率的降低。

3.3 收缩型土地绿色利用效率动态跃迁分析

3.3.1 空间相关性分析

基于 Moran's I 指数进一步测算和展示了2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率的空间集聚程度和演变趋势(图3)。可以发现:①Moran's I 指数取值范围在0.00~0.12之间且均为正值,并均通过了1%水平的显著性检验,表明中国收缩

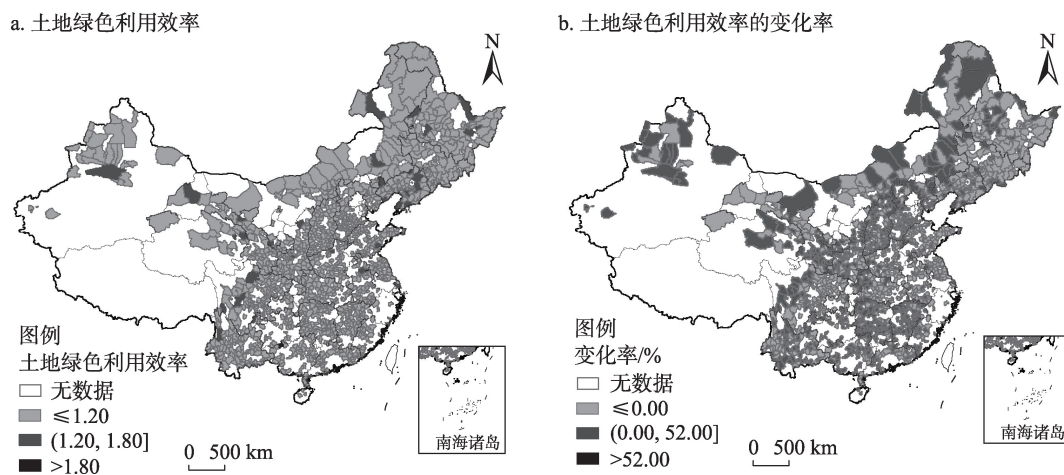


图2 2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率的空间分布格局

Figure 2 Spatial distribution patterns of land green use efficiency in shrinking counties, 2011-2020

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

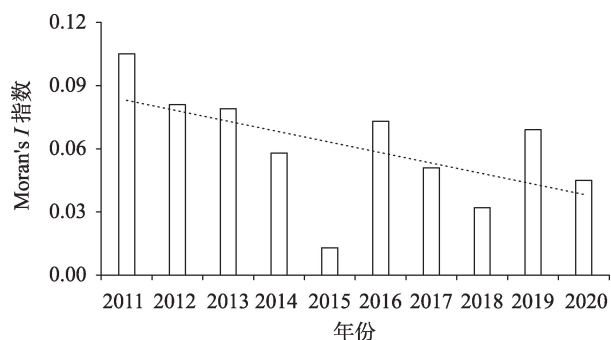


图3 2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率的空间相关性检验

Figure 3 Spatial correlation test of land green use efficiency in shrinking counties, 2011–2020

注:变量在样本考察期内均通过了1%的显著性检验。

型县域土地绿色利用效率呈现出典型的空间集聚模式,即高值与高值的县域集聚,低值与低值的县域集聚。此外,这也进一步说明在“示范效应”和“学习效应”的作用下,中国收缩型县域土地绿色利用效率的空间分异特征在一定程度上受空间关联的影响;②从时间变化趋势看,Moran's I 指数整体呈现出“下降—上升—下降—再上升—再下降”的波动性变化。其中,2011年Moran's I 指数最高为0.105,其余年份指数值均低于0.100,即中国收缩型县域土地绿色利用效率处于相对稳定的集聚状态,但空间集聚的水平在下降,一定程度上存在空间分布扩散的倾向。

3.3.2 LISA时间路径相对长度和弯曲度分析

本部分进一步分析了中国收缩型县域土地绿

色利用效率在地理空间关联影响下的变动情况,图4报告了LISA时间路径相对长度与弯曲度空间分布格局,表现出以下特征:①严重型收缩县域表现出更强的局部动态趋势和更加波动的空间依赖倾向。其中,相对长度大于1的县域主要分布在东北地区的辽宁(53个)和黑龙江(45个)及黄河中游的内蒙古(46个)和河南(43个),主要原因可能与人口收缩后的人地关系失衡有关;②中国收缩型县域土地绿色利用效率空间格局整体保持相对稳定的状态。其中,共计483个县域的相对长度大于1,仅占所有县域的33.40%;③空间交互关系在收缩型县域土地绿色利用效率的演化过程中发挥了重要作用。全部收缩型县域的弯曲度均大于1,表明县域与其邻域间存在相对紧密的空间关联关系,土地绿色利用效率的改善需要县域间的良性互动;④相对长度和弯曲度的空间分布具有一定的相似性。东北和西北地区的局部空间结构表现出了较强的动态性,可能的原因是收缩程度较高的县域空间依赖性特征更强,易造成整体空间结构的局部波动。

3.3.3 LISA时间路径移动方向分析

为进一步直观展示期末与期初相比各城市变迁的移动类型,本文通过比较年末和年初各收缩型县域土地绿色利用效率LISA坐标点的移动方向,揭示邻域间竞合态势的阶段特征。根据表2的结果,收缩型县域土地绿色利用效率空间格局的演化具备良好的空间整合条件。具体来看,城市及其邻

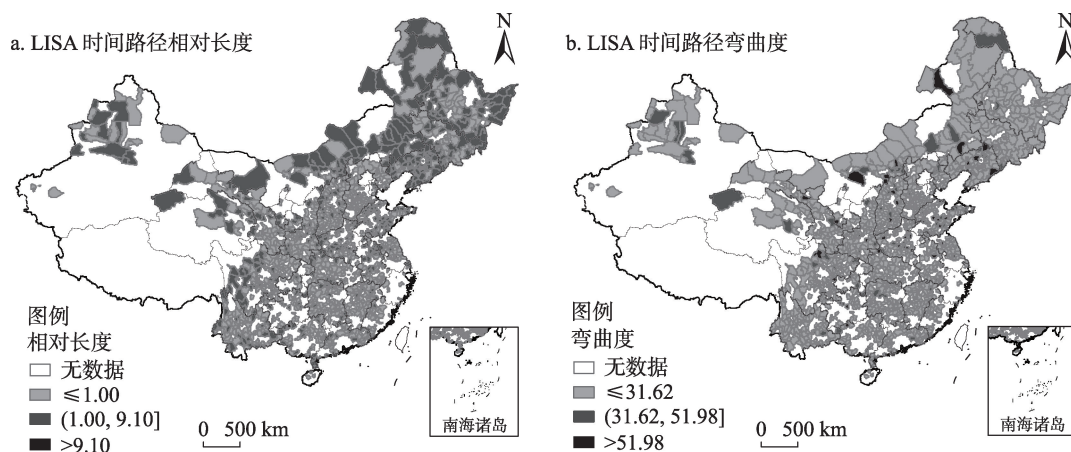


图4 2011—2020年LISA时间路径相对长度与弯曲度的空间分布格局

Figure 4 Spatial distribution patterns of relative length and curvature of local indicators of spatial autocorrelation (LISA) time paths, 2011–2020

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

2024年2月

表2 LISA时间路径移动方向分析

Table 2 Analysis of local indicators of spatial autocorrelation (LISA) time path movement direction

移动方向	移动类型	跃迁类型(城市数量)	合计
提高—提高 (0°~90°)	Type1	HH→HH(22)、LH→LH(9)、LL→LL(99)、HL→HL(18)	148
	Type2	LH→HH(41)、LL→HL(99)	140
	Type3	HL→HH(42)、LL→LH(51)	93
	Type4	LL→HH(154)	154
下降—提高 (90°~180°)	Type1	HH→HH(20)、LH→LH(7)、LL→LL(44)、HL→HL(11)	82
	Type2	HH→LH(26)、HL→LL(32)	58
	Type3	HL→HH(28)、LL→LH(44)	72
	Type4	HL→LH(44)	44
下降—下降 (180°~270°)	Type1	HH→HH(52)、LH→LH(13)、LL→LL(56)、HL→HL(15)	136
	Type2	HH→LH(49)、HL→LL(49)	98
	Type3	HH→HL(44)、LH→LL(31)	75
	Type4	HH→LL(101)	101
提高—下降 (270°~360°)	Type1	HH→HH(45)、LH→LH(14)、LL→LL(32)、HL→HL(11)	102
	Type2	LH→HH(31)、LL→HL(34)	65
	Type3	HH→HL(20)、LH→LL(25)	45
	Type4	LH→HL(33)	33

域土地绿色利用效率存在“提高—提高(0°~90°)”或“下降—下降(180°~270°)”协同变化趋势的数量分别有535个和410个,占全部收缩型县域的65.35%,这也验证了空间集聚效应的相关结果。特别地,存在911个行政单元至少有一方下降,占比63.01%,这表明收缩型县域及邻域的土地绿色利用效率在空间关联的影响下有较高的概率向下移动。其中,在180°~270°方向上,各收缩型县域及邻域土地绿色利用效率负向协同下降,占全部收缩型县域的28.35%。其中,有101个收缩型县域及邻域的土地绿色利用效率均出现了滑坡的现象,由“HH”跃迁至“LL”。此外,在0°~90°方向上,各收缩型县域及邻域土地绿色利用效率存在“帕累托改进”,且有154个收缩型县域实现了“LL”到“HH”的跃迁,占比相对较低。

进一步考察全国收缩程度排名前十县域LISA时间路径移动轨迹^③,研究发现:第一,自身及其邻域土地绿色利用效率存在协同变化趋势的县域有9个,表明协同改善可能是未来人口流失县域破解土地低效利用难题的关键;第二,兴安盟的阿尔山市、鹤壁市的鹤山区、齐齐哈尔市拜泉县、大兴安岭地区塔河县和铜陵市枞阳县均是向180°~270°方向移

动,对于收缩程度较高的县域而言,当前的空间关联可能尚未形成良性的互动;第三,根据县域在期末的位置,存在8个县域自身或邻域至少有一方仍位于“L”区间,且有5个县域自身及邻域均位于“LL”象限,说明城市收缩一定程度上对土地绿色利用效率起到了负面影响。

3.3.4 动态跃迁识别

LISA时间路径移动方向仅能展示样本考察期末与期初的时空跃迁情况,无法揭示收缩型县域土地绿色利用效率的每年具体转移规律,本文进一步Local Moran’s *I*转移概率矩阵揭示局部相关空间形态间的转移特征(表3),可以发现:①各收缩型县域保持原象限不动的概率最大为45%,其中,Type2~4类型占比高达66.39%,结合时空变迁指数的结果,表明自身及邻域有一方发生动态变迁的概率较高,意味着如果县域转型得当,收缩型县域土地绿色利用效率未来存在较大程度向高水平变动的可能;②与整体收缩型县域土地绿色利用效率呈现波动性下降趋势一致,即各类型收缩型县域向LL转移的概率更高,空间关联效应可能当前导致收缩型县域自身及邻域土地绿色利用效率的下降;③自身及邻

③ 限于篇幅限制,结果未报告,备索。

表3 Local Moran’s I转移概率矩阵与时空跃迁

Table 3 Local Moran’s I transfer probability matrix with temporal leaps

<i>t/t+1</i>	概率转移矩阵				时空跃迁				
	HH	LH	LL	HL	类型	<i>n</i>	比例/%	<i>SF</i>	<i>SC</i>
HH	0.308(<i>Type1</i>)	0.173(<i>Type2</i>)	0.320(<i>Type4</i>)	0.199(<i>Type3</i>)	<i>Type1</i>	4374	33.610	0.450	0.492
LH	0.208(<i>Type2</i>)	0.214(<i>Type1</i>)	0.405(<i>Type3</i>)	0.172(<i>Type4</i>)	<i>Type2</i>	2655	20.401		
LL	0.199(<i>Type4</i>)	0.191(<i>Type3</i>)	0.450(<i>Type1</i>)	0.160(<i>Type2</i>)	<i>Type3</i>	3203	24.612		
HL	0.273(<i>Type3</i>)	0.150(<i>Type4</i>)	0.337(<i>Type2</i>)	0.241(<i>Type1</i>)	<i>Type4</i>	2782	21.377		

注:括号内为跃迁类型,下同。

域土地绿色利用效率出现双跳跃转移的可能性较小,即Type4类型县域较少,LH转向HL或者HL转向LH的概率分别仅为17.2%、15.0%,即自身发展以损害邻域效率改善的“零和博弈”情况较少。

3.4 收缩型县域土地绿色利用效率的随机收敛检验

3.4.1 全局性随机收敛检验

进一步基于面板单位根检验方法验证收缩型县域土地绿色利用效率是否存在整体与区域的收敛特征。为避免短期内可能存在收敛与非收敛之间的状态转换,本文采用随机收敛方法检验中国收缩型县域土地绿色利用效率在长期内是否存在收敛现象,以期得到更加稳健的结论。为避免单一面

板单位根检验结果的模糊性,基于随机收敛中常见的使用不同原假设的IPS检验、Hadri检验等面板单位根检验方法,本文采用Choi^[29]提出的验证性分析方法(Confirmative Analysis, CA)进行实证检验,以提高推断的可靠性。并采用联合推断的方式^[28],进一步对比不同类型的面板单位根检验结果,以得到更加稳健的结论。

本文首先从全国以及四大地区层面考察是否存在全局性随机收敛趋势,结果如表4所示。可以发现,无论是在全国层面还是四大地区层面,IPS检验和Hadri检验均显著拒绝了原假设,两类检验的对比验证结果属于验证分析中的第Ⅳ种情况,即部

表4 全局性收敛检验结果

Table 4 Results of the global convergence test

地区	IPS	Hadri	CA结果	地区	IPS	Hadri	CA结果
全部地区	-0.023***	18.879***	Ⅳ	吉林	-54.189***	5.972***	Ⅳ
东部地区	-60.033***	7.027***	Ⅳ	江苏	-43.785***	4.661***	Ⅳ
中部地区	-0.017***	8.880***	Ⅳ	江西	-88.955***	3.811***	Ⅳ
西部地区	-0.015***	12.691***	Ⅳ	辽宁	-15.234***	1.955**	Ⅳ
东北地区	-56.804***	7.160***	Ⅳ	内蒙古	-19.987***	1.823**	Ⅳ
安徽	-22.718***	1.587*	Ⅳ	宁夏	-7.103***	1.483*	Ⅳ
福建	-4.423***	4.274***	Ⅳ	青海	-13.047***	2.452***	Ⅳ
甘肃	-12.519***	4.224***	Ⅳ	山东	-26.799***	1.193	Ⅱ
广东	-49.415***	2.064**	Ⅳ	山西	-22.562***	5.525***	Ⅳ
广西	-18.099***	0.804	Ⅱ	陕西	-48.528***	5.949***	Ⅳ
贵州	-29.614***	3.420***	Ⅳ	上海	-6.660***	0.265	Ⅱ
海南	-1.216	1.596*	Ⅲ	四川	-0.021***	3.471***	Ⅳ
河北	-17.507***	6.596***	Ⅳ	天津	-0.897	3.306***	Ⅲ
河南	-18.595***	2.170**	Ⅳ	新疆	-11.514***	2.759***	Ⅳ
黑龙江	-33.635***	5.247***	Ⅳ	云南	-24.479***	9.945***	Ⅳ
湖北	-0.012***	4.878***	Ⅳ	浙江	-7.748***	1.245	Ⅱ
湖南	-0.016***	6.608***	Ⅳ	重庆	-11.564***	2.659***	Ⅳ

注:*, **, ***分别表示P<0.10、P<0.05和P<0.01,下同。

2024年2月

分序列随机收敛,部分序列随机发散。换言之,中国收缩型县域土地绿色利用效率不存在全局性随机收敛趋势,但不排除更小空间样本存在全局性随机收敛。针对这一问题,本文进一步利用验证性分析方法考察分省的随机收敛趋势。在全部29个省份样本中,共有23个省份的IPS检验和Hadri检验同时显著拒绝了原假设,即大多数省份并不存在相对于全国均值的随机收敛趋势。在1%的显著性水平下,浙江、上海、山东、广西4个省份的土地绿色利用效率序列均显著拒绝了存在单位根的原假设,且未能拒绝序列平稳的原假设,属于验证分析中的第Ⅱ种情况,表明这4个省份收缩型县域的土地绿色利用效率存在随机收敛趋势。与此相反,天津和海南两个省份的土地绿色利用效率序列显著拒绝了序列平稳的原假设而未能拒绝存在单位根的原假设,说明其收缩型县域的土地绿色利用效率存在随机发散趋势。综上可见,即使中国收缩型县域土地绿色利用效率整体并不存在全局性随机收敛,但并未否定存在收敛子集的可能,推动土地绿色利用效率的协同提升需要基于城市发展的异质性特征,在相对更小的空间尺度上开展。

3.4.2 俱乐部随机收敛检验

考虑到中国区域地理特征、经济规模、社会结构等方面的差异性,本文进一步按照八大地区的空间尺度,分别以其区域均值为基准检验各地区内是否存在俱乐部式的随机收敛,检验结果见表5。可以看出,八大地区的IPS检验和Hadri检验同时显著拒绝了原假设,对应验证性分析的第Ⅳ种情况,表明尽管将收敛标准进一步缩小至各自区域,在八大

地区尺度上也不存在俱乐部随机收敛趋势。不管是分四大地区还是八大地区的检验结果均排除了收缩型县域土地绿色利用效率演变过程中暂时形成全局性或俱乐部随机收敛的可能,这表明土地绿色利用效率协同改善的空间尺度需要进一步确认。

3.4.3 随机收敛子集的识别

回归已经证实中国收缩型县域土地绿色利用效率并不存在全局性和俱乐部式随机收敛,但IPS检验和Hadri检验同时显著拒绝原假设表明在省内或更小空间范围内存在收敛子集。针对随机收敛子集的识别问题,参考已有研究^[30],本文采用序贯分析方法对全部省份实行序贯验证分析,识别省份内土地绿色利用效率收敛俱乐部。为分析方便,以福建省为例进行说明。序贯分析方法的基本思路如下:首先,从福建省内各县(市、区)通过先验信息筛选一组两个县域组成的随机收敛子集,即该子集能够显著拒绝IPS检验原假设但未能拒绝Hadri检验原假设,属于验证分析中的第Ⅱ种情况;其次,依次向该子集逐个加入县(市、区)组成新的县域子集并检验其敛散性,若新的子集仍是随机收敛序列,则保留该序列,否则将该县域剔除;最后,如此反复,直至加入任何一个新的县(市、区)均会导致县域子集验证分析结论的改变,最终得到福建省内全部为随机收敛序列的县域子集。以福建省内任意两个城市为起点,总计存在325对两两县域集合,发现其中有145组县域收敛子集,占比达到44.62%,表明小尺度、精准化的空间协同具备较高的实施基础。表6报告了福建省内以鼓楼区、泰宁县为起点的短收敛子集(E 表示子集),通过序贯分析方法识别出

表5 俱乐部收敛检验结果

Table 5 Results of the club convergence test

地区	IPS	Prob	Hadri	Prob	CA结果
东北地区	-76.868	0.000	7.171	0.000	Ⅳ
北部沿海	-155.628	0.000	6.854	0.000	Ⅳ
东部沿海	-51.250	0.000	8.400	0.000	Ⅳ
南部沿海	-26.684	0.000	3.983	0.000	Ⅳ
黄河中游	-195.929	0.000	8.036	0.000	Ⅳ
长江中游	-267.122	0.000	5.592	0.000	Ⅳ
西南地区	-148.909	0.000	6.664	0.000	Ⅳ
大西北地区	-65.428	0.000	6.011	0.000	Ⅳ

表6 随机收敛子集的识别:以福建省为例

Table 6 Identification of stochastically convergent subsets: An example from Fujian Province

地区	IPS	Hadri	CA结果	地区	IPS	Hadri	CA结果
E1=鼓楼区、泰宁县	-2.602***	1.092	II	E8= E7+南靖县	-5.880***	1.310	II
E2= E1+清流县	11.543**	1.580	II	E9= E8+华安县	-3.257***	0.751	II
E3= E2+尤溪县	-2.367***	0.926	II	E10= E9+顺昌县	-3.820***	0.645	II
E4= E3+将乐县	-3.508***	1.617	II	E11= E10+浦城县	-4.120***	0.447	II
E5= E4+建宁县	-3.284***	1.531	II	E12= E11+邵武市	-4.963***	0.494	II
E6= E5+永安市	-3.231***	0.883	II	E13= E12+建瓯市	-6.477***	0.759	II
E7= E6+云霄县	-3.715***	1.202	II				

14个城市所组成的长收敛子集过程。

4 结论与政策建议

4.1 结论

基于两次人口普查所识别的收缩型县域样本,本文在“经济-社会-环境”分析框架设定下测算2011—2020年县域行政单元的土地绿色利用效率,并运用探索性时空数据分析方法,考察县域土地绿色利用效率的时空依赖特性和动态跃迁特征,最后,基于面板单位根检验方法,对县域土地绿色利用效率的随机收敛性进行检验。主要研究结论如下:

(1)过半县域处于收缩状态且呈现连绵化发展趋势,东北、西南、长江中游和黄河中游等地区出现空间集聚现象;大部分城市收缩程度处于5%~15%区间,相对于市辖区和县级市,县(自治县)的收缩情况更加严峻。

(2)2011—2020年收缩型县域土地绿色利用效率总体呈现下降趋势,具体表现为“先波动下降—后上升—再下降”的动态特征;分县域看,绝大多数行政单元的土地绿色利用效率处于低值区间且表现为向下发展的态势,虽然存在空间扩散的可能,但目前整体空间格局相对稳定。

(3)收缩型县域土地绿色利用效率表现出典型的空间集聚现象,西部地区相对于东部地区表现出更强的局部动态趋势,空间交互关系在县域土地绿色利用效率的演化过程中发挥了重要作用;县域土地绿色利用效率的演化具备良好的空间整合条件,但短期内向LL象限转移的概率更高,收缩程度较高的地区表现出更明显的“路径依赖”和“低值锁定”现象。

(4)样本考察期内,不管是全国层面还是分地

区的考察均证实暂时不存在全局性或俱乐部随机收敛趋势,但所有省份均存在收敛子集,小尺度、精准化协同是未来城市土地绿色利用效率改善的重要方向。

4.2 政策建议

城市收缩并非城市增长的对立面,即城市收缩是一个中性词,它是比较客观地描述城市人口减少的现象,不应该赋予过多负面的观点。对于收缩型县域而言,即便短期存在土地绿色利用效率不高的现象,长期完全可以通过“精明收缩”的发展模式,重塑协调的人地关系。

(1)强调“精明”理念,助推土地资源高效利用。首先,政府需关注收缩县域潜在发展动力,编制存量与减量规划,优化收缩型县域建筑和土地集约利用。通过推动改革加快转变土地利用模式,优化城镇空间格局,塑造以绿地、公共设施、商业、住宅等多元化利用的新型城市空间形态,以最大化土地价值,提升空间生产的品质和质量;其次,加强收缩型县域废弃土地综合利用与城市更新。一方面,应加强对于废弃土地的规划评估,确定废弃土地的类型、功能、数量等信息,明确其综合利用的方向,防止土地资源浪费和环境恶化。另一方面,鼓励居民集中居住,以适宜的密度建设多中心城市空间结构。

(2)明确“协同”路径,优化土地资源合理配置。从具体表征来看,中国收缩型县域土地绿色利用效率存在显著的空间关联效应,有必要深化小尺度、精细化区域土地利用合作。首先,针对发展特征相近、地域相连的县域,协同制定区域国土规划和管理政策,明确土地利用的方向和目标,避免重

2024年2月

复建设和恶性竞争,促进土地资源共享和优势互补;其次,建立联席会议工作机制,在耕地保护、集约用地、土地配置、空间布局等领域出台更加精细化的协同推进举措;最后,强化土地资源管理过程中的信息共享、重大情况通报、案件线索相互移送、联合开展专项行动、共同发布典型案例等合作方式,推动提升土地执法查处效能,促进形成土地资源保护合力。

(3)突出“绿色”引领,重塑更加协调的人地关系。牢固树立“绿水青山就是金山银山”的理念,积极推进国土绿化行动。首先,推广节地技术和节地模式。利用现有土地资源,采用低影响开发和生态工程等技术手段建设绿色基础设施,制定建设土地使用权地上、地表和地下分层设立、分层供应、分层登记政策,推行轨道交通和交通场站立体开发、复合利用;其次,建立多层次的节约集约用地评价体系,常态化开展开发区土地利用综合评价,建立部门合作机制,综合运用地价、城镇土地使用税、土地闲置费等税费措施,倒逼用地单位节约集约用地;最后,鼓励和支持生态产业的发展,如利用空置建筑或空闲土地建设生态农业基地、生态旅游区等,不仅有助于改善生态环境、提升景观质量,而且能够进一步协调人地关系。

参考文献(References):

- [1] 吴康,刘骁啸,姚常成.产业转型对中国资源型城市增长与收缩演变轨迹的影响机制[J].自然资源学报,2023,38(1):109-125. [Wu K, Liu X X, Yao C C. The mechanisms of industrial transformation on the evolutionary trajectory of growth and shrinkage in Chinese resource-based cities[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(1): 109-125.]
- [2] 衣霄翔,赵天宇,吴彦锋,等.“危机”抑或“契机”?应对收缩城市空置问题的国际经验研究[J].城市规划学刊,2020,(2):95-101. [Yi X X, Zhao T Y, Wu Y F, et al. “Crisis” or “opportunity”? International experiences in dealing with vacancy in shrinking cities[J]. Urban Planning Forum, 2020, (2): 95-101.]
- [3] 吴康,李耀川.收缩情境下城市土地利用及其生态系统服务的研究进展[J].自然资源学报,2019,34(5):1121-1134. [Wu K, Li Y C. Research progress of urban land use and its ecosystem services in the context of urban shrinkage[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(5): 1121-1134.]
- [4] 杨东峰,龙瀛,杨文诗,等.人口流失与空间扩张:中国快速城市化进程中的城市收缩悖论[J].现代城市研究,2015,(9):20-25. [Yang D F, Long Y, Yang W S, et al. Losing population with expanding space: Paradox of urban shrinkage in China[J]. Modern Urban Research, 2015, (9): 20-25.]
- [5] 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.]
- [6] 高新雨.城市收缩问题研究进展[J].经济动态,2021,(3):145-158. [Gao X Y. Research progress on shrinking cities[J]. Economic Perspectives, 2021, (3): 145-158.]
- [7] 陆明,梁凡,吴远翔.收缩规划背景下收缩城市界定与分类的国际和中国本土化探析[J].国际城市规划,2023,38(5):66-73. [Lu M, Liang F, Wu Y X. International and China's localized analysis on the definition and classification of shrinking cities under the background of shrinking planning[J]. Urban Planning International, 2023, 38(5): 66-73.]
- [8] 刘玉博,张学良.长江经济带局部城市收缩、发展分异与空间作用机理探讨[J].华东师范大学学报(哲学社会科学版),2023,55(4):129-143. [Liu Y B, Zhang X L. The phenomenon, development differentiation and spatial mechanism of local cities shrinkage in Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of East China Normal University (Humanities and Social Sciences), 2023, 55(4): 129-143.]
- [9] 张学良,张明斗,肖航.成渝城市群城市收缩的空间格局与形成机制研究[J].重庆大学学报(社会科学版),2018,24(6):1-14. [Zhang X L, Zhang M D, Xiao H. Study on spatial pattern and formation mechanism of urban contraction in Chengdu-Chongqing city cluster[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2018, 24(6): 1-14.]
- [10] Meng X F, Jiang Z D, Wang X Y, et al. Shrinking cities on the globe: Evidence from LandScan 2000-2019[J]. Environment and Planning A, 2021, DOI: 10.1177/0308518X211006118.
- [11] 张帅,王成新,王敬,等.中国城市收缩的综合测度及其时空分异特征研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(8):72-82. [Zhang S, Wang C X, Wang J, et al. On the comprehensive measurement of urban shrink in China and its spatio-temporal differentiation[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 72-82.]
- [12] 刘合林.收缩城市量化计算方法进展[J].现代城市研究,2016,(2):17-22. [Liu H L. Research on quantitative calculation method of shrinking city[J]. Modern Urban Research, 2016, (2): 17-22.]
- [13] Yang Y, Wu J G, Wang Y, et al. Quantifying spatiotemporal patterns of shrinking cities in urbanizing China: A novel approach based on time-series nighttime light data[J]. Cities, 2021, DOI: 10.1016/j.cities.2021.103346.
- [14] 马佐澎,李诚固,张平宇.东北三省城镇收缩的特征及机制与响

- 应[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 767–780. [Ma Z P, Li C G, Zhang P Y. Characteristics, mechanism and response of urban shrinkage in the three provinces of Northeast China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4): 767–780.]
- [15] 戚伟, 刘振, 刘盛和, 等. 基于“城区常住人口”的2010–2020年中国收缩城市识别[J]. 地理研究, 2023, 42(10): 2539–2555. [Qi W, Liu Z, Liu S H, et al. Identifying shrinking cities in China from 2010 to 2020 based on resident population in physical urban area [J]. *Geographical Research*, 2023, 42(10): 2539–2555.]
- [16] Guan D J, He X J, Hu X X. Quantitative identification and evolution trend simulation of shrinking cities at the county scale, China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, DOI: 10.1016/j.scs.2020.102611.
- [17] Wang Y Y, Liu Y J, Zhou G L, et al. Coordinated relationship between compactness and land-use efficiency in shrinking cities: A case study of Northeast China[J]. *Land*, 2022, DOI: 10.3390/land11030366.
- [18] 张雯熹, 邹金浪, 吴群. 生产要素投入对城市土地利用效率的影响: 基于不同工业化阶段省级数据[J]. 资源科学, 2020, 42(7): 1416–1427. [Zhang W X, Zou J L, Wu Q. Effect of production factors on urban land use efficiency: Based on the provincial data of different development stages[J]. *Resources Science*, 2020, 42(7): 1416–1427.]
- [19] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 长三角区域一体化与城市土地利用效率的协同测度及交互响应[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 2093–2104. [Yang Q K, Duan X J, Wang L, et al. Collaborative measurement and interactive response between regional integration and urban land use efficiency in the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2021, 43(10): 2093–2104.]
- [20] 宋洋, Godfrey Y, 朱道林, 等. 京津冀城市群县域城市土地利用效率时空格局及驱动因素[J]. 中国土地科学, 2021, 35(3): 69–78. [Song Y, Godfrey Y, Zhu D L, et al. Spatial-temporal patterns and driving factors of urban land use efficiency at county level in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *China Land Science*, 2021, 35(3): 69–78.]
- [21] 张瑞, 文兰娇, 王宁柯, 等. 科技创新对城市土地绿色利用效率的影响: 以武汉都市圈48个区县为例[J]. 资源科学, 2023, 45(2): 264–280. [Zhang R, Wen L J, Wang N K, et al. Impact of scientific and technological innovation on green use efficiency of urban land: A case study of 48 districts and counties in the Wuhan Metropolitan Area[J]. *Resources Science*, 2023, 45(2): 264–280.]
- [22] 朱红波, 高乙嘉. 我国西南地区城市土地利用效率的时空格局研究: 基于非期望产出超效率SBM模型的分析[J]. 城市问题, 2022, (9): 95–103. [Zhu H B, Gao Y J. Spatial and temporal pattern of urban land use efficiency in southwest China: Based on undesired output super-efficiency SBM model[J]. *Urban Problems*, 2022, (9): 95–103.]
- [23] 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.]
- [24] 张浩哲, 杨庆媛. 中国收缩城市土地利用效率及其影响因素研究[J]. 人文地理, 2021, 36(3): 108–116. [Zhang H Z, Yang Q Y. Urban land use efficiency and influencing factors of shrinking cities in China[J]. *Human Geography*, 2021, 36(3): 108–116.]
- [25] 杨宇, 李小云, 董雯, 等. 中国人地关系综合评价的理论模型与实证[J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1063–1078. [Yang Y, Li X Y, Dong W, et al. Comprehensive evaluation on China's man-land relationship: Theoretical model and empirical study[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(6): 1063–1078.]
- [26] Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907–3925.
- [27] 张学良, 贾文星, 吴胜男. 黄河流域高质量发展的时空跃迁及驱动因素分析[J]. 中国人口科学, 2022, (3): 72–85. [Zhang X L, Jia W X, Wu S N. Research on the temporal-spatial transition and driving mechanism of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2022, (3): 72–85.]
- [28] 刘华军, 杜广杰. 中国经济发展的地区差距与随机收敛检验: 基于2000–2013年DMSP/OLS夜间灯光数据[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(10): 43–59. [Liu H J, Du G J. Regional inequality and stochastic convergence in China[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economic*, 2017, 34(10): 43–59.]
- [29] Choi C Y. A reexamination of output convergence in the US states: toward which level(s) are they converging?[J]. *Journal of Regional Science*, 2004, DOI: 10.1111/j.0022-4146.2004.00355.x.
- [30] 邵军. 中国地区增长是否存在收敛: 随机框架下的再讨论[J]. 南方经济, 2008, (5): 23–31. [Shao J. Re-examination of Chinese regional convergence in stochastic framework[J]. *South China Journal of Economics*, 2008, (5): 23–31.]

Spatiotemporal evolution and convergence characteristics of land green use efficiency in shrinking counties of China

JIA Wenxing¹, ZHANG Xueliang², HAN Huimin²

(1. Institute of Applied Economics, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China;

2. School of Urban and Regional Sciences, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to evaluate the land green use efficiency of shrinking regions at the county level in China, and to investigate the dynamic leap and stochastic convergence characteristics of county land green use efficiency, so as to provide a reference for shrinking counties to achieve high-quality development in the new period. [Methods] Based on the economic-social-environmental analysis framework, we constructed a non-radial, non-angle super-efficiency slacks-based measure-data envelopment analysis (SBM-DEA) model with non-expected outputs under global reference to measure the land green use efficiency of the shrinking counties in China from 2011 to 2020; used the exploratory spatiotemporal data analysis method to examine the spatiotemporal dependent characteristics and dynamic leap characteristics of county land green use efficiency; and based on the panel unit root test method to test the global and club stochastic convergence of county land green use efficiency, in order to identify the possible convergent subsets. [Results] During the study period, more than half of the county-level administrative unit samples were in the population shrinkage state and showed the trend of continuous development, and the land green use efficiency of contraction-type counties was in the low-value range and generally showed a decreasing trend. The land green use efficiency of counties showed a typical spatial agglomeration phenomenon, and although there are good conditions for spatial integration in future evolution, the probability of shifting to the “low-low” quadrant is higher in the short term. Regions with a higher degree of shrinkage showed more obvious path dependence and low-value lock-in behaviors. No global or club stochastic convergence trends were found at the national and sub-regional levels, and a large number of convergent subsets existed at the sub-provincial level. [Conclusion] The potential for enhancing the land green use efficiency of shrinking regions at the county level in China is substantial, indicating that the region should pay attention to the influence of spatial interaction, promote small-scale and refined communication and cooperation, and contribute to the realization of coordinated development of human-land relationship in counties with population losses.

Key words: shrinking counties; human-land relationship; land green use efficiency; spatial and temporal leap; stochastic convergence; SBM-DEA; China