

doi: 10.12029/gc20220428003

王鹏,赵君,阎晓娟,杨涛,张晶,马尚伟,张道军. 2023. 动态时空视角下黄河流域城市土地利用效率的集聚演化特征[J]. 中国地质, 50(2): 506–520.

Wang Peng, Zhao Jun, Yan Xiaojuan, Yang Tao, Zhang Jing, Ma Shangwei, Zhang Daojun. 2023. Agglomeration and evolution characteristics of urban land-use efficiency under a dynamic spatio-temporal perspective in the Yellow River Basin[J]. Geology in China, 50(2): 506–520(in Chinese with English abstract).

动态时空视角下黄河流域城市土地利用效率的集聚演化特征

王鹏¹,赵君¹,阎晓娟¹,杨涛¹,张晶¹,马尚伟¹,张道军²

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:【研究目的】测度并分析黄河流域城市土地利用效率的时空格局特征是全面实现黄河流域生态保护与高质量发展的内在需求。【研究方法】本文以黄河流域 83 个地级市为研究对象, 基于 2004—2017 年的市级投入产出数据, 构建随机前沿模型和空间关联模型, 测度并分析城市土地利用效率的时空集聚演化特征。【研究结果】2004—2017 年黄河流域城市土地利用效率呈现明显的增长趋势, 上游增长快, 中、下游增长慢, 整体仍处于中低水平; 黄河流域城市土地利用效率的空间分布差异较大, 但城市群中心城市的引领作用逐渐凸显, 高效率区域(一、二类)逐渐由“斑点”状扩张为“斑块”状, 中、低效率区域逐渐缩小, 城市群间、上中下游间的土地利用效率空间分布差异逐步收敛; 黄河流域城市土地利用效率存在空间正相关, 且集聚特征逐年增强。LISA(局部空间自相关)空间形态呈现两极分化的特征, 高效率均质区域(H-H 类型)主要分布在山东半岛, 且逐渐聚集成片, 中原城市群首次出现 H-H 集聚区; 低-高关联(L-H 类型)由山东潍坊市转变为内蒙古巴彦淖尔市; 高-低关联(H-L 类型)分布在兰州市; 低效率均质区域(L-L 类型)分布在六盘山区、秦巴山区等国家级集中连片贫困区。【结论】建议黄河流域在整体上要统一规划, 协调发展, 个体上注重城市发展的内生动力, 优化资本投资规模与结构, 充分发挥中心城市的空间溢出效应, 资源合理配置共享, 且对上、中、下游区域实行差异化生态保护和高质量发展政策, 更好地服务于黄河流域城市经济发展由劳动密集型和资本依赖型向技术驱动型转变。

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; 城市地质; 自然资源综合调查工程; 黄河流域

创 新 点:利用 2004—2017 年的市级投入产出数据, 构建随机前沿模型和空间关联模型, 测度并分析城市土地利用效率的时空集聚演化特征, 服务于黄河流域城市经济发展由劳动密集型和资本依赖型向技术驱动型转变。

中图分类号: S151.9; S159.2; TU982.2; F299.23 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)02-0506-15

Agglomeration and evolution characteristics of urban land-use efficiency under a dynamic spatio-temporal perspective in the Yellow River Basin

WANG Peng¹, ZHAO Jun¹, YAN Xiaojuan¹, YANG Tao¹,

收稿日期: 2022-04-28; 改回日期: 2022-07-20

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20211393-4, DD20230545)和国家自然科学基金项目(42071416)联合资助。

作者简介: 王鹏, 男, 1986 年生, 高级工程师, 主要从事土地质量评价和应用地球化学研究; E-mail: wangpeng1@mail.cgs.gov.cn.

ZHANG Jing¹, MA Shangwei¹, ZHANG Daojun²

(1. Xi'an Center of China Geological Survey / Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Public Administration, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: This paper is the result of comprehensive survey engineering of natural resources.

[Objective] It is the inherent demand of ecological protection and high-quality development to measure and analyze the spatio-temporal differentiation of urban land use efficiency in the Yellow River basin. **[Methods]** Based on municipal input-output data from 2004—2017, we introduce SFA (Stochastic Frontier Analysis) and Spatial Association Model to measure the urban land use efficiency of 83 cities located in the Yellow River basin. **[Results]** The urban land use efficiency of the Yellow River Basin showed an obvious increasing trend during 2004 to 2017. The efficiency growth rate of cities in the upper reaches of the Yellow River basin is faster than that of cities in the middle and lower reaches. The efficiency was still in the middle and low level across the whole area. It still presented great differences of the urban land-use efficiency across the whole the Yellow River basin, but the leadership of central cities played a tremendous role in the urban agglomeration, and the high-efficiency areas (first and second types) were gradually expanding from “Spots” to “Patches”, while the middle and low-efficiency areas gradually reduced. The differences of inter-urban agglomeration and differences among the upper, middle and lower reaches gradually converged. The land use efficiency among cities had positive spatial correlation and the agglomeration level was enhanced year by year. The Lisa (local indicators of spatial association) was characterized by polarization. Not only the High-High agglomeration (H-H type) area were mainly distributed in Shandong Peninsula, and gradually clustered into pieces, but also it appeared in the Central Plain urban agglomeration for the first time. The areas with a Low-High agglomeration (L-H type) pattern were transformed from Weifang, Shandong Province to Bayannur, Inner Mongolia. And the High-Low agglomeration areas(H-L type) were concentrated in Lanzhou. The Low-Low agglomeration (L-L type) areas were distributed in the national-level concentrated contiguous poverty areas such as Liupan Mountain area and Qinba Mountain area. **[Conclusions]** It is suggested that as a whole, the Yellow River basin should be planned and developed in a coordinated way, and more attention should be paid to the endogenous impetus of urban development individually. The spatial spillover effect which the central cities make should be given full play to, and resources should be allocated and shared rationally through the optimization of the scale and structure of capital investments. In addition, to better serve the transformation of urban economic development from labor-intensive and capital-dependent to technology-driven, the policy of differentiated ecological protection and high-quality development should be implemented in the upper, middle and lower reaches of the Yellow River Basin.

Key words: land use efficiency; stochastic frontier analysis; spatial autocorrelation analysis; spatiotemporal patterns; urban geology; comprehensive survey engineering of natural resources; the Yellow River Basin

Highlights: Based on municipal input-output data from 2004—2017, we introduce SFA (Stochastic Frontier Analysis) and Spatial Association Model to measure the urban land use efficiency of 83 cities located in the Yellow River basin, to better serve the transformation of urban economic development from labor-intensive and capital-dependent to technology-driven,

About the first author: WANG Peng, male, born in 1986, senior engineer, mainly engaged in land quality evaluation and application geochemistry; E-mail: wangpeng1@mail.cgs.gov.cn.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20211393-4, No.DD20230545) and National Natural Science Foundation of China (No.42071416).

1 引言

黄河流域是中国人口、资源、环境矛盾最集中的区域之一(邓祥征等,2021),流域内土地资源相对丰富,但自然生态本底脆弱、水资源匮乏等生态

问题突出,城市化快速发展中的土地利用模式乃至发展范式受到较大制约,造成了土地资源的浪费,甚至激化了城市经济需求的增长性与土地资源供给的有限性之间的矛盾(郑宇等,2003)。2019年9月,黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国

家战略,其目的之一就是解决资源保护与发展的问
题,治理城市土地利用的低效、粗放、无序现象,统
筹协调优化资源配置,加强对建设用地利用效益的
管控(杨俊等,2013)。然而,黄河流域城市的平均
城镇化率(57.62%)低于全国平均水平(60.6%),且
上、中、下游空间异质性大,当前和未来一段时期
内,经济发展对城市土地的刚性需求依然强劲,尤
其中、上游区域。因此,思考如何以最小的城市
土地投入获得最大的社会生态经济效益逐渐成为
破解黄河流域高质量发展与生态保护矛盾的重要
关注点之一(金贵等,2018)。已有多位学者开展
了城市土地利用效率的研究,并取得了较为显著
的成果。研究内容已由土地利用生态效率的综合
分析(戴永安,2010;王恩旭和武春友,2011;邓波
等,2011;付丽娜等,2013),扩展为效率发生机
理的阐释;研究角度已从经济或管理的视角转向
到地理空间的时空表达;研究尺度已从单尺度发
展到全国(王恩旭和武春友,2011;王良健和李
辉,2014;朱孟珏等,2018;王鹏等,2022;尹力
河等,2023)、省域(王良健等,2015;王希睿等,
2015;张荣天和焦华富,2015;尹旭等,2020;
韩琿等,2021)、流域(张荣天和焦华富,2015;
金贵等,2018)、城市群(付丽娜等,2013;韩
琿等,2021;徐维祥等,2021)等多个空间维
度,以分析城市土地利用效率的空间溢出效应和
驱动机制(王恩旭和武春友,2011;张荣天和焦
华富,2015),来揭示区域间效率变化机理(王
良健和李辉,2014;杨海泉等,2015);研究方
法已由多因素综合评价法(赵丹丹和胡业翠,
2016;周璟茹等,2017;董捷等,2017;范建
双和任逸蓉,2018;尹旭等,2020)演化到基
于效率视角进行测算的投入产出模型,理论与方
法相对成熟且更具科学性,其中,DEA模型
(Chen et al., 2016;龙开胜和李敏,2018)、
SBM模型(聂雷等,2017;Yu et al., 2019)、
内生方向距离函数(王建林等,2017)等非参
数方法主要通过线性规划模型来评价样本间的
相对效率,前沿面固定,但无法剔除效率测度
时产生的随机因素影响;而参数方法则克服了
这一缺陷,如随机前沿分析(Stochastic Frontier
Analysis, SFA)模型需要确定生产函数参数,
能分离出随机项与技术无效率项的效率(金贵
等,2018;刘书畅等,2020;Liu et al., 2020),
精确模拟出评价对象的绝对效率,相比前者更
有优

势(边文龙和王向楠,2016;Wu et al., 2017)。

本文采用随机前沿模型,剔除效率测度时随
机因素对技术无效率的影响,精确测算2004—
2017年黄河流域83个城市土地利用效率,并利
用空间关联特征模型,基于时空动态视角对城
市土地利用效率进行长时间序列地理空间形态
(金贵等,2018)表达,来揭示城市土地利用
效率的时空演化规律和空间关联特征,以期
为黄河流域内城市转型升级的相关土地利用政
策制定提供科学决策依据。

2 理论基础和模型设定

2.1 基于随机前沿理论的城市土地利用效率

与传统微观经济学的完全理性假设不同,随
机前沿理论则认为最优生产状态在现实中能够
实现的概率非常低,除随机因素的影响外,其
他因素也会造成最优生产状态的偏离,即存在
一个理论上的生产效率随机前沿面(在既定
的技术水平下,不同的产出量对应的最小投入
成本或者不同的投入成本对应的最大产出量
所形成的边界线)。其中,沿着随机前沿面的
生产者技术是完全有效的,而处于生产随机前
沿面之下的任何点对应的生产者存在技术效
率损失,即出现技术无效率。

同理,作为城市经济社会发展载体的城市
土地(姚士谋等,2001;赵翠薇和濮励杰,
2006),在其被利用、产生价值的过程中同
样存在技术效率损失,即在既定的技术水平
条件下,城市土地利用过程也很难实现最优
生产状态。因此,可用实际产出值与最优产
出值的比值(即 Y_0/Y^*)(图1)来表示城市
土地利用效率(刘书畅等,2020),其比值越
大,技术无效率占比越少,实际产出越接近
前沿面,土地利用效率也就越高,反之则越
低。

基于此,在城市化过程中,当增加城市土
地利用投入水平,即地均投入由 X_0 增加到
 X_1 (图1),经分析,城市土地利用效率并不
一定得到提升,而是存在以下3种情形:(1)
技术利用率和平均水平不变,由T点变为M
点,产出达到 Y_M ,城市土地利用效率不变;
(2)技术水平不变,即生产前沿面不变,而
技术利用率上升,由T点变为G点,产出为
 Y_0 ,即 $Y_M < Y_0 \leq Y_N$,此时产出与前沿
面之间的距离 ΔY 缩短,城市土地利用效率
得到提升;(3)资本大量投入促使技术水平
提高,生产前沿水平上移至 $[F^*(X)]$,但

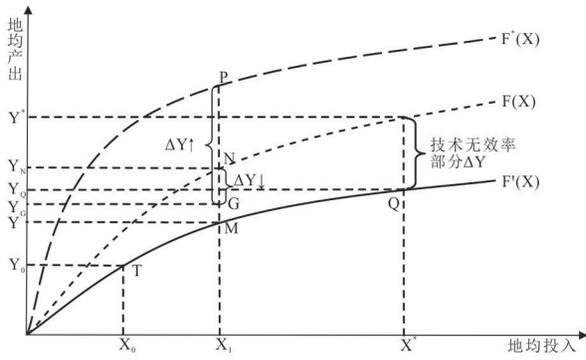


图1 城市土地利用效率理论基础分析
Fig.1 Theoretical analysis of urban land use efficiency

是假如现有技术利用不足,产出提升效果不显著或者没有得到较大幅的提升(未达到G点),此时技术无效率部分 ΔY 相对增大,城市土地利用效率则下降。因此,城市土地利用效率在本质上是生产效率(Farrell, 1957; 周月书和俞靖, 2018),是相对于最优生产效率而言的(傅晓霞和吴利学, 2006),其是否能得到改善主要取决于现实中技术条件和技术利用能力(刘书畅等, 2020; Liu et al., 2020)。

2.2 城市土地利用效率测度模型

依据随机前沿理论,随机扰动和技术无效率是导致实际产出偏离随机前沿面而产生差距的主要因素(Farrell, 1957),因此,为确保利用城市土地利用过程中投入产出的技术效率,客观真实表征城市土地利用效率,必须有效区分随机冲击项和技术无效率误差项,避免不可控的随机因素对无效率产生的影响(Meeusen and Broeck, 1977; Aigner, 1977; Reinhard et al., 1999; 周月书和俞靖, 2018)。而随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)模型则能分离出两者的效率,精确模拟出评价对象的绝对效率,其主要形式有柯布-道格拉斯生产函数(Cobb-Douglas, C-D 函数)和超越对数(Trans-Log, T-L 函数)两种,前者C-D函数形式简洁,模型参数变量的经济含义更为明确(傅晓霞和吴利学, 2006; 刘书畅等, 2020),而后者尽管技术中性和产出弹性固定的假设得到一定程度的缓解,但共线性的问题仍然存在。因此本文采用C-D函数的对数形式来构建地均投入产出SFA实证模型:

$$\ln(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Lab_{it}) + \beta_2 \ln(Cap_{it}) + \beta_3 \ln(Fe_{it}) + \nu_{it} - \mu_{it} \quad (1)$$

式中: Y_{it} 为地均非农产值(万元/ km^2); Lab_{it} 、

Cap_{it} 、 Fe_{it} 分别表示为地均非农劳动人口、地均资本存量、地均财政支出; β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 是相应的产出弹性系数; ν_{it} 和 μ_{it} 为误差项,其中, $\nu_{it} \sim N(0, \sigma_\nu^2)$ 是随机误差项,主要反映由无法预测的随机冲击引起的误差; $\mu_{it} \sim N^+(m_{it}, \sigma_\mu^2)$ 是技术无效率误差项,主要反映由效率影响变量因素而引起的误差。

由于SFA实证模型中的随机误差是白噪声(white noise)(傅晓霞和吴利学, 2006),当样本数据量足够时,可采用实际产出值与最优产出值的期望值之比来表示城市土地利用效率:

$$LUE_{it} = \frac{E(Y_{it} | \mu_{it}, X_{it})}{E(Y_{it} | \mu_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-\mu_{it}) \quad (2)$$

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

同时,测算无效率误差项 μ_{it} 受时间因素 t 的影响:

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

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

式中: η 是时变系数;当 $\eta = 0$ 时, $\beta(t)$ 为 1,随着时间 t 的推移,无效率误差项 μ_{it} 无变化;当 $\eta > 0$ 时, $\beta(t)$ 递减,无效率误差项 μ_{it} 增加较慢,技术有效率占比提高;当 $\eta < 0$, $\beta(t)$ 递增,无效率误差项 μ_{it} 增加较快,技术有效率占比降低。

为进一步判断随机前沿模型的适用性,采用广义似然比(LR)检验,对SFA模型用于本研究的适用性和科学性进行假设检验,统计量LR为:

$$LR = 2 \times [\ln L(H_1) - \ln L(H_0)] \quad (5)$$

式中: H_0 和 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)下的最大似然函数值。 $LR \sim \chi^2_{1-\alpha}(K)$ 服从混合卡方分布, K 为自由度, α 为显著水平。

根据最大似然估计,构造方差参数 γ ,以定量分析模型误差项的数量结构, $\gamma \in (0, 1)$, γ 值越大,表明技术无效率项占比越多,在进行估计时,采用随机前沿模型越合适。

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

式中: σ_μ^2 、 σ_ν^2 分别为技术无效率误差项和随机冲击误差项的方差。

2.3 空间关联模型

空间自相关是检验某一要素属性值在空间上

是否显著相关联的最常用统计量,分为全局空间自相关(Total Indicators of Spatial Association, TISA)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描述区域性变量的整体分布状况,以揭示空间区域性变量的结构形态,可以用全局Moran's I指数来衡量城市土地利用效率的总体空间关联程度(姜华等, 2020),其表达式为:

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

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

式中: I 为Moran's I指数值; n 为区域空间单元总数; x_i, x_j 为在城市 i 和 j 上的观察值; \bar{x} 为平均值; S^2 为标准差; w_{ij} 为权重矩阵,采用邻接标准来度量权重。

Moran's I指数的值域为 $[-1, 1]$, Moran's I值大于0,表明空间正相关,其值越大,空间相关性越明显; Moran's I值小于0,表明空间负相关,其值越小,空间差异性越大; Moran's I值为0,表明空间随机性。

同时,引入LISA指数 I_i 作为Moran's I的局部形式,用于描述一个空间单元与其领域的相似程度,表示每个局部单元服从全局总趋势的程度(包括方向和量级),并揭示空间异质,其计算方式如下:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{S^2} \quad (9)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

3 研究区域与数据来源

3.1 研究区概况

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地,横跨中国东部、中部和西部三大地理阶梯,自西向东分别流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东9个省(自治区),注入渤海,全长约5464 km,流域面积约为255.05万 km^2 ,流域内总人口4.2亿,约占全国30.3%;地区生产总值23.9万亿元,约占全国26.5%(张倪, 2020)。黄河流域自然生态环境脆弱,水资源短缺,土地、能源矿产

和生物等资源禀赋空间差异明显,据此可分为上游、中游和下游3个区域,上游包括青海、甘肃、宁夏、内蒙古的28个城市,中游包括山西、陕西的21个城市,下游包括河南、山东的34个城市。黄河流域既是中国重要的生态屏障,又是连接青藏高原、黄土高原、华北平原的生态廊道,同时也是我国重要的经济地带,拥有4国家级城市群(中原城市群、关中城市群、兰西城市群和呼包鄂榆城市群),3个区域性城市群(山东半岛城市群、宁夏沿黄城市群和晋中城市群)(图2),区位条件差异较大,发展空间差异明显,其一体化程度和经济发展水平远低于京津冀、长江经济带和粤港澳大湾区。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出全面提高资源利用效率是破解保护与发展突出矛盾的迫切需要,是促进人与自然和谐共生的必然要求。而土地资源既是经济要素,更是生存性资源,全面提高其利用效率应是全面提高资源利用效率中的重要一环(汤怀志和郟文聚, 2021)。然而,黄河流域内城市建设用地弹性系数达到3.58,远高于全国0.77的平均水平(武占云, 2020),城市扩张速度远快于城镇人口增长速度,导致耕地、林地、草地等农用地向城市建设用地转换,加剧了耕地保护与城镇发展之间的矛盾(杨海泉等, 2015),已经严重掣肘黄河流域的高质量发展。在“大保护、大治理、高质量发展”的主基调下,需要全面提高资源利用效率,尤其是坚持用最少的土地资源消耗支撑经济社会持续发展,推动单位GDP建设用地使用面积稳步下降,以促进黄河流域生态保护和高质量发展。

3.2 变量指标选取及来源

3.2.1 变量指标选取

投入产出变量作为随机前沿分析模型分析城市土地利用效率的骨架(金贵等, 2018),需要能充分体现非农生产活动特征(朱孟珏等, 2018; Zhang et al., 2020)。与经典生产函数的投入要素指标选取一样,本文选取劳动、土地、资本作为投入变量指标,选取能综合反映城市经济发展水平的非农产值作为产出变量指标,且均采用变量指标的集约化形式,更能直观地反映城市土地利用的投入产出水平(表1)。

3.2.2 数据来源及处理

本文以黄河流域内83个城市为样本,收集各城

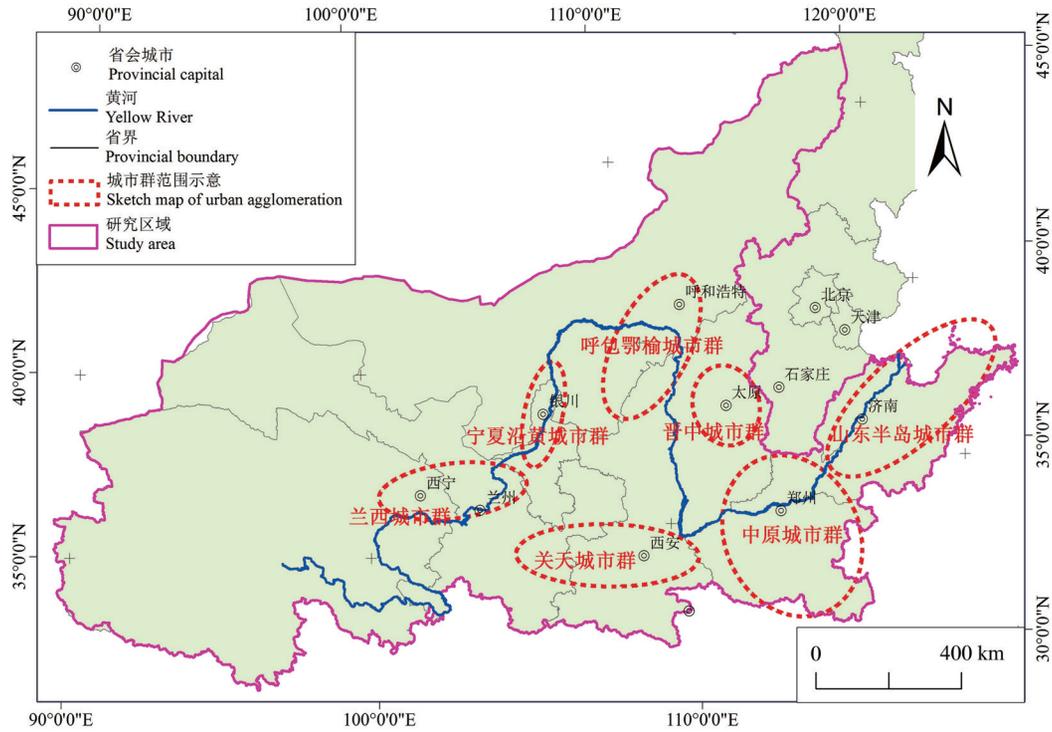


图2 研究区域位置图

Fig.2 Location map of study area

表1 生产函数评价指标

Table 1 Evaluation indicators of production function

| 变量 | 指标 | 单位 | 定义 |
|------|--------|--------------------|-----------------|
| 投入变量 | 地均劳动力 | 人/km ² | 劳动力数量/城市建设用地面积 |
| | 地均资本存量 | 万元/km ² | 资本存量/城市建设用地面积 |
| | 地均财政支出 | 万元/km ² | 财政支出/城市建设用地面积 |
| 产出变量 | 地均非农产值 | 万元/km ² | 非农经济产值/城市建设用地面积 |

市2004—2017年的城市非农产值、城市建设用地、财政支出、资本存量和劳动力数量等相关基础数据,并整理成投入产出核算面板数据,构成SFA模型分析效率的基础(汤怀志和郎文聚,2021)。其中,与投入产出变量指标相关的基础数据均来源于《中国城市统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》;居民消费价格指数(Consumer price index, CPI)数据来源于国家统计局。城市建设用地面积为城市、近郊区的城镇用地面积三者之和;城市非农产值、财政支出分别采用GDP平减指数和CPI指数修正至2003年;资本存量数据采用永续盘存法(柯善咨和向娟,2012)计算获取;劳动力数量为城市非农从业人数、个体与私营从业人数三者之和。

4 结果与讨论

4.1 模型参数检验及模拟结果

基于2004—2017年黄河流域内83个城市的投入产出面板数据,结合公式(1)~(6),采用极大似然估计法对模型进行估计,一方面,对模型生产技术无效性进行检验(原假设 H_0 :不存在技术无效率),检验结果表明,广义似然比统计量 $LR = 177.2102$ (表2),服从混合卡方分布,大于 $\chi^2(8) = 20.0902$ ($p = 0.01$),拒绝了原假设 H_0 ,模型存在生产技术无效率。另一方面, $\sigma^2 = 0.3411$,大于0, γ 为0.8076,通过T检验($P < 0.01$),技术无效率误差占比为80.76%,随机误差项仅占19.24%,表明技术无效是造成模型产生混合误差变异的主要因素。因此,随机前沿生产函数模型与理论基础设定相同,估计结果是可靠和适用的。

从表2中可以得出,参数 $\eta = 0.037$,说明时间因素对 $\beta(t)$ 的影响以递增的速率下降,即随着时间的推移,城市土地利用效率中的技术无效率占比将下降。从产出弹性来看,劳动力($\beta_1 = 0.2132$)和资本($\beta_2 = 0.3641$)大于财政支出($\beta_3 = 0.0704$),表明地均

表2 随机前沿生产函数方程估计结果
Table 2 Estimation of stochastic frontier production function

| 参数 | 估计结果 | 标准差 | T检验值 |
|------------|------------|-----------|----------|
| β_0 | 5.7649* | 0.2773 | 20.7890 |
| β_1 | 0.2132* | 0.0418 | 5.1039 |
| β_2 | 0.3641** | 0.0303 | 12.0207 |
| β_3 | 0.0704** | 0.0407 | 1.7279 |
| σ^2 | 0.3411** | 0.0240 | 14.2245 |
| γ | 0.8076*** | 0.0146 | 55.2774 |
| μ | 1.0496*** | 0.0934 | 11.2338 |
| η | 0.0370*** | 0.0040 | -9.3173 |
| 对数似然值LR | 177.2102** | 单边效应似然比检验 | 975.5528 |

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

资本存量和地均劳动力的产出弹性较大,而财政支出的产出弹性较小,说明城市地均产出的提高仍过多地依赖于劳动力和资本存量,也反映出黄河流域城市社会经济仍属于劳动密集型和资本密集型。此外,各投入要素的产出弹性总和为0.6477,资源消耗速度仍快于土地利用产出水平的提升速度,表明黄河流域城市整体处于规模报酬递减阶段。

4.2 城市土地利用效率的时序变化特征

4.2.1 效率水平整体提升

从整体来看,黄河流域城市土地利用效率呈现出明显的上升趋势,2004、2008、2013和2017年的效率均值分别是0.3324、0.3918、0.4659和0.5235,14年间土地利用效率累计提升57.47%。从个体来看,研究期间,流域内所有城市土地利用效率均呈现出不同程度的增长趋势,其中,上、中游城市由于其土地利用效率基数较小,土地利用效率增长较快,如甘肃省定西市的增长率为187.96%;而下游城市由

表3 2004—2017年城市土地效率类型转移矩阵
Table 3 Transfer matrix of land efficiency type from 2004 to 2017

| 2004年 | 2017年 | | | | | 总计 |
|-------|-------|----|----|----|----|----|
| | 一类 | 二类 | 三类 | 四类 | 五类 | |
| 一类 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 二类 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| 三类 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 四类 | 3 | 13 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| 五类 | 0 | 6 | 20 | 13 | 3 | 42 |
| 总计 | 28 | 19 | 20 | 13 | 3 | 83 |

注:表中数字为各类型城市转移数量。一类:效率值大于0.58;二类:0.50~0.58;三类:0.40~0.49;四类:0.30~0.39;五类:小于0.300。

于投入要素空间配置相对合理,土地利用效率增长较慢,如山东省东营市的增长率仅为8.44%。经统计,14年间有91.56%(77个)城市土地利用效率类型得到改善(表3),但改善程度存在差异,以二、三类转变为一类,四类转变为一、二类,五类转变为二、三、四类为主,其中,二、三类城市100%转变为一类,主要分布在下游的山东半岛城市群、中原城市群以及中游的呼包鄂榆城市群等地;四类转变为一、二类的比例(个数)分别为18.75%(3个)、81.25%(13个),分布较为均匀,上、中、下游均匀分布;五类转变为二、三、四类的比例(个数)分别为14.28%(6个)、47.62%(20个)、30.95%(13个),主要分布在上、中游的兰西城市群、宁夏沿黄城市群、呼包鄂榆城市群、关中城市群、晋中城市群等地。

4.2.2 效率整体处于中低水平

从各城市2004—2017年土地利用效率的平均值来看,一类、二类、三类、四类、五类城市数量所占比例分别为21.69%、26.51%、19.28%、14.46%、18.07%。城市土地利用效率处于中低水平(三类及其以下)的城市共占78.31%,共计65个城市,表明在一定投入水平和技术条件下,城市土地利用的实际产出与期望产出之间存在较大差距,表明其劳动力、资本和建设用地等投入要素的空间配置尚未达到最优化,现有技术尚未得到充分利用。因此,尽管研究期间黄河流域内城市的土地利用效率逐年增速明显,但是城市土地利用效率整体偏低,土地资源仍然存在一定程度的浪费,提升潜力空间较大。

4.3 城市土地利用效率的空间分布变化特征

4.3.1 上、中、下游差异较大

利用自然断点法,将2004—2017年的城市土地利用效率数据分为5类(图3)。14年间,黄河流域城市土地利用效率的空间分布格局未发生实质性改变,上、中、下游间以及省内城市间、省际间的空间分布差异较大,城市土地利用效率高值区仍呈斑块状分布于山东半岛、中原、呼包鄂榆等城市群的中心城市周边。

黄河流域整体土地利用效率均值低于下游地区,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4)。下游的东营、青岛、济南、烟台等城市的技术水平较为先进,且技术利用程度高,土地利用政策和环境规制较为严格、规

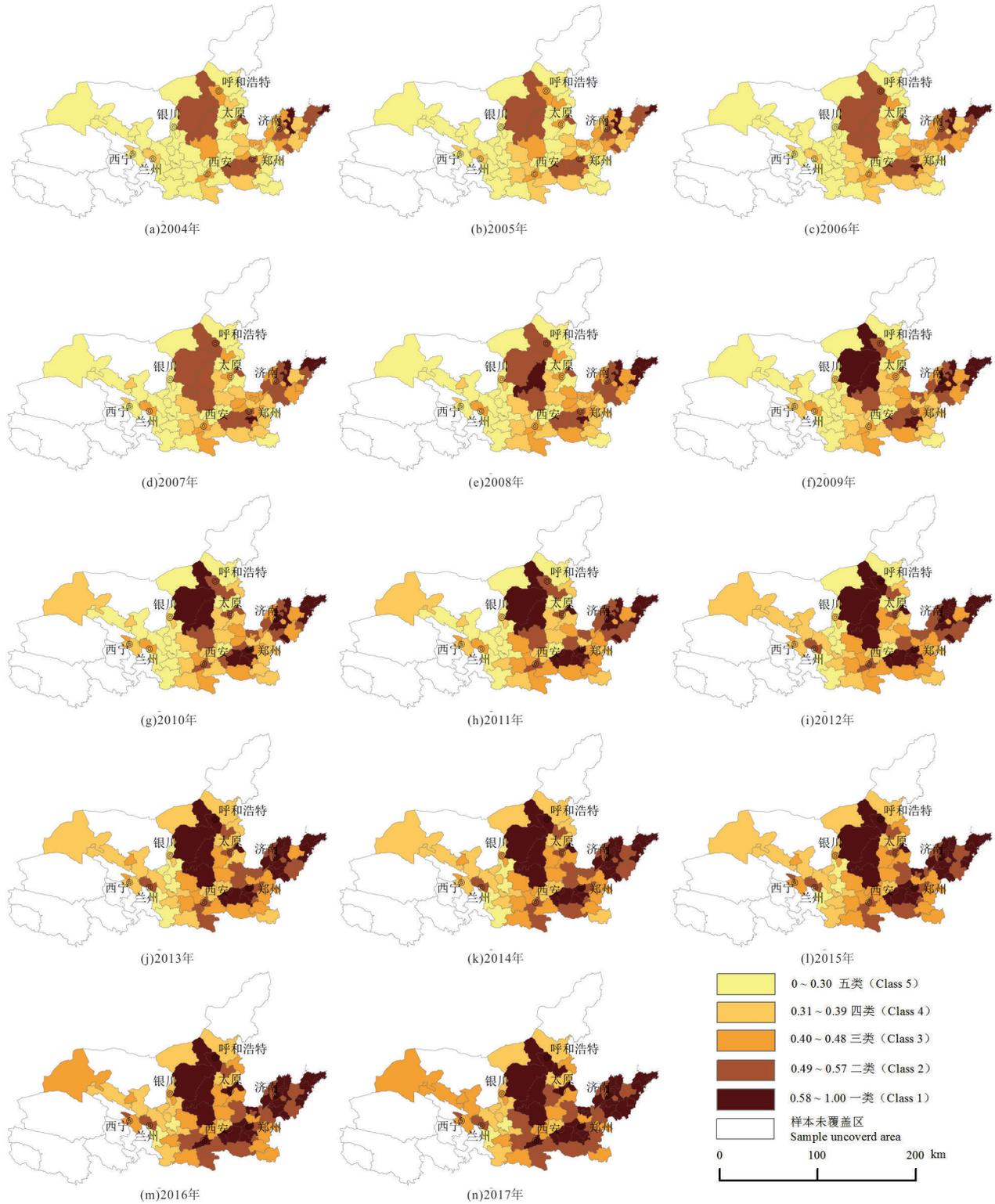


图3 黄河流域城市土地利用效率时空格局(2004—2017年, a~n)

Fig.3 Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yellow River Basin(2004—2017, a~n)

范(梁流涛等,2019;Liu et al., 2020;王鹏等,2021),城市土地的投入产出效率居于研究区最高水平,明显高于流域内的其他区域;中游的呼和浩特、鄂尔多斯、包头、榆林等城市均为区域中心,煤炭、石油、天然气等矿产资源丰富,加速了劳动力和经济要素的跨区域流动,劳动力、资本集聚效应不断显现,突出了城市发展中的比较优势,产生了良好的土地利用经济效益,但与下游同级别城市相比,仍有一定差距,需要注重城市内部潜力挖潜,加强城市存量建设用地开发利用;而上游的定西、固原等城市的经济基础与技术水平相对薄弱,资本投资发挥效用的短期效应较强,但缺乏长期土地利用效率改善的激励机制(Liu et al., 2020),短期内效率增长明显,持续高速增长乏力。因此,以2017年为例,上、中游地区包含5类土地利用效率,下游地区包含3类(一类、二类、三类)土地利用效率,尤其是山东半岛仅包括一、二类土地利用效率,相比下游,上、中游区域城市间的发展协调性较差,省内、省际间的城市土地利用效率差异较大。

4.3.2 城市群间效率差异逐渐收敛

从2004年到2017年,城市群中心城市的引领作用逐渐凸显,积极协调周边城市共享劳动力、资本和建设用地等资源,使其配置结构在城市群范围内更加优化、合理,发挥了更大效用,逐步带动周边城市土地利用效率的增长。如2004年土地利用效率值超过0.49的城市(一、二类)仅有济南、鄂尔多斯和郑州(图3a)三个城市;到2008年,城市土地利用效率进一步提高,一、二类土地利用效率类型的城市数量(6个)小幅增加(图3e);到2013年,有21个城市的土地利用效率达到一类(图3j);2017年一类土地利用效率城市进一步向外围扩散,达到28个城市(图3n),高效率区域(一、二类)逐渐由“斑点”状扩张为“斑块”状。

单从城市化率、非农产值等角度判断,黄河流域内城市群间的差异正进一步扩大,尽管土地利用效率空间异质性特征显著,但其空间非均衡性反而逐渐收敛,并未放大。14年间黄河流域内7个城市群(宁夏沿黄城市群、兰西城市群、关中城市群、太原城市群、中原城市群、呼包鄂榆城市群、山东半岛城市群)的土地利用效率呈现出不同幅度的增加,其累计增加幅度(增长率)分别为0.1942(112.68%)、

0.1945(83.68%)、0.2034(74.30%)、0.1977(66.57%)、0.1940(52.77%)、0.1800(41.37%)、0.1575(28.81%),城市群间土地利用效率的整体差异正在逐渐缩小。

究其原因,本文构建的SFA模型所测度的城市土地利用效率更加注重城市化进程中的土地资源投入的内在贡献,未考虑其他非观测因素对经济发展的影响(金贵等,2018)。黄河流域城市群间土地利用效率差异的缩小实质上是在未达到最优情况下的差异缩小(金贵等,2018),即各城市的粗放增长方式仍未得到根本转变,城市土地利用效率的增长更多地依赖于技术水平提高或投入要素配置优化引起的技术效率增长。其中,上游城市以生态功能保护为主,且土地利用效率基数较小,宁夏沿黄城市群、兰西城市群则处于技术利用水平和规模报酬递增阶段,城市土地利用效率增长幅度大;中游城市土地利用效率和土地市场化水平最低,关中城市群、太原城市群、呼包鄂榆城市群存在较为严重的土地投入要素冗余现象,增长幅度有限;而下游城市尚未出现实质性的技术进步,且中原城市群、山东半岛城市群中的多数城市处于规模报酬递减的阶段,增长幅度较缓。

4.4 土地利用效率空间关联特征分析

4.4.1 全局空间自相关特征

为进一步厘清黄河流域城市土地利用效率空间地理形态,利用2004—2017年的城市土地利用效率数据,计算全局Moran's I指数,来揭示黄河流域城市土地利用效率的空间结构形态和总体空间关联程度(姜华等,2020)(图5)。I、III象限分别表示H-H(高-高)集聚与L-L(低-低)集聚;II、IV象限分别表示H-L(高-低)异常与L-H(低-高)异常。14年间黄河流域内的城市土地利用效率Moran's I均大于0,表明其在空间上存在正相关性,且由于Moran's I值呈现出小幅度增长趋势,正相关集聚特征逐年增强。处于I、III象限的点较多,而处于II、IV象限的点数相对I、III象限少,表明效率值呈现H-H和L-L集聚的特征,即城市自身及其邻域的效率水平均较高(较低),较少出现效率高值城市与效率低值城市发生空间聚集的现象。

4.4.2 局域空间自相关特征

由于黄河流域内城市土地利用效率的正相关集聚特征逐年增强,但增长速率较小,短期内集聚

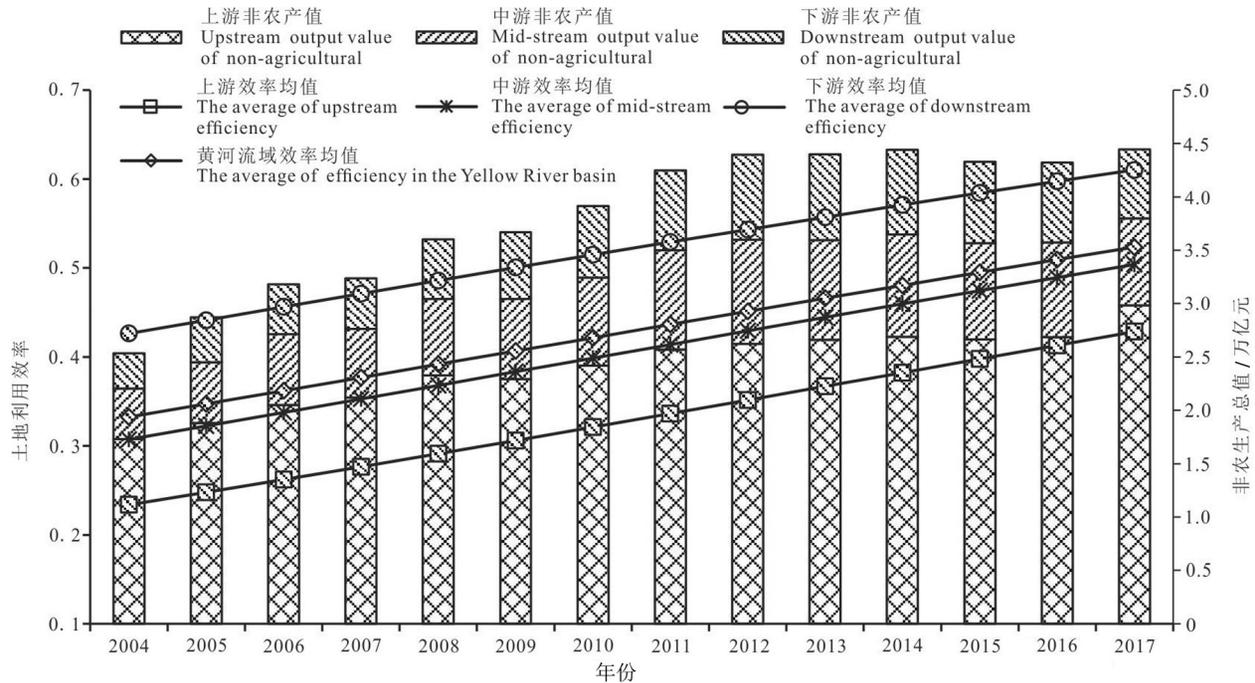


图4 2004—2017年间黄河流域上、中、下游城市土地利用效率和非农产值

Fig.4 Urban land use efficiency and non-agricultural GRP in the Yellow River Basin during 2004—2017

特征变化不明显。因此,利用初期(2004年)和末期(2017年)的城市土地利用效率,采用局部空间自相关方法来绘制LISA空间形态(图6),以识别城市土地利用效率集聚(H-H、L-L)或异常(H-L、L-H)的局部空间关联模式,客观真实地反映土地利用效率在研究期内的变化规律。

(1)H-H类型。该类型是城市土地利用高效率均质区域,相邻城市效率值差异较小,呈现效率高值的空间正相关,主要集中分布于下游的山东济南市周边,且随着时间推移,该类型在空间上蔓延至整个山东半岛,逐渐形成高效率集聚区。山东半岛三面环海,沿海开放口岸较多,且程度高,形成了良好的经济基础,对外经济贸易频繁产生了诸多的积极效应(技术交流、生产互补、产业链延伸)(Liu et al., 2020),有效带动了整个山东半岛城市土地利用效率。另外,研究期间中原城市群出现H-H集聚区,土地利用效率高的郑州市与其周边城市呈现出高效率空间聚集现象,主要有两方面缘由:一是,郑州市作为国家级中心城市,对内对外开放和引领作用逐渐凸显,能在城市群内更好地协调、配置和共享劳动力、资本和建设用地等资源,积极向周边城市输送人才,转移技术和产业,使投入生产实际产出更接近潜在的期望产出;另

一方面,作为中西部地区创新创业先行区,集聚高端产业,城市向技术创新驱动型发展,单位城市土地投入带来的经济产出稳步提升,促使中原城市群H-H集聚区的形成。

(2)L-L类型。该类型是城市土地利用低效率均质区域,城市自身及其邻域的效率水平均不高,对周围城市有显著的负向影响,主要分布在六盘山区、秦巴山区等国家级集中连片贫困区,但随着时间推移,L-L集聚区范围也有小幅缩小。该区域区位条件相对较差,经济基础薄弱,劳动力、资本等资源的区域配置不够合理,且承担较多高投入、高排放的产业转移,以谋求高效率的经济增长模式,资源利用仍较为粗放(Liu et al., 2020)。

(3)H-L类型。该类型是城市土地利用高低效率关联型区域,城市与相邻城市效率差异程度大,主要分布在甘肃兰州市,城市土地利用效率较高,而周边城市土地利用效率值偏低,尚未发挥对邻近地区的空间溢出效应。兰州市作为兰西城市群的中心城市,是通往新疆和青藏高原的交通要道,经济基础设施较好,城市土地利用效率较高,但尚未借助优越的交通条件,有效地推动周边城市资源要素的空间重置和集聚(崔学刚等, 2018),从而造成

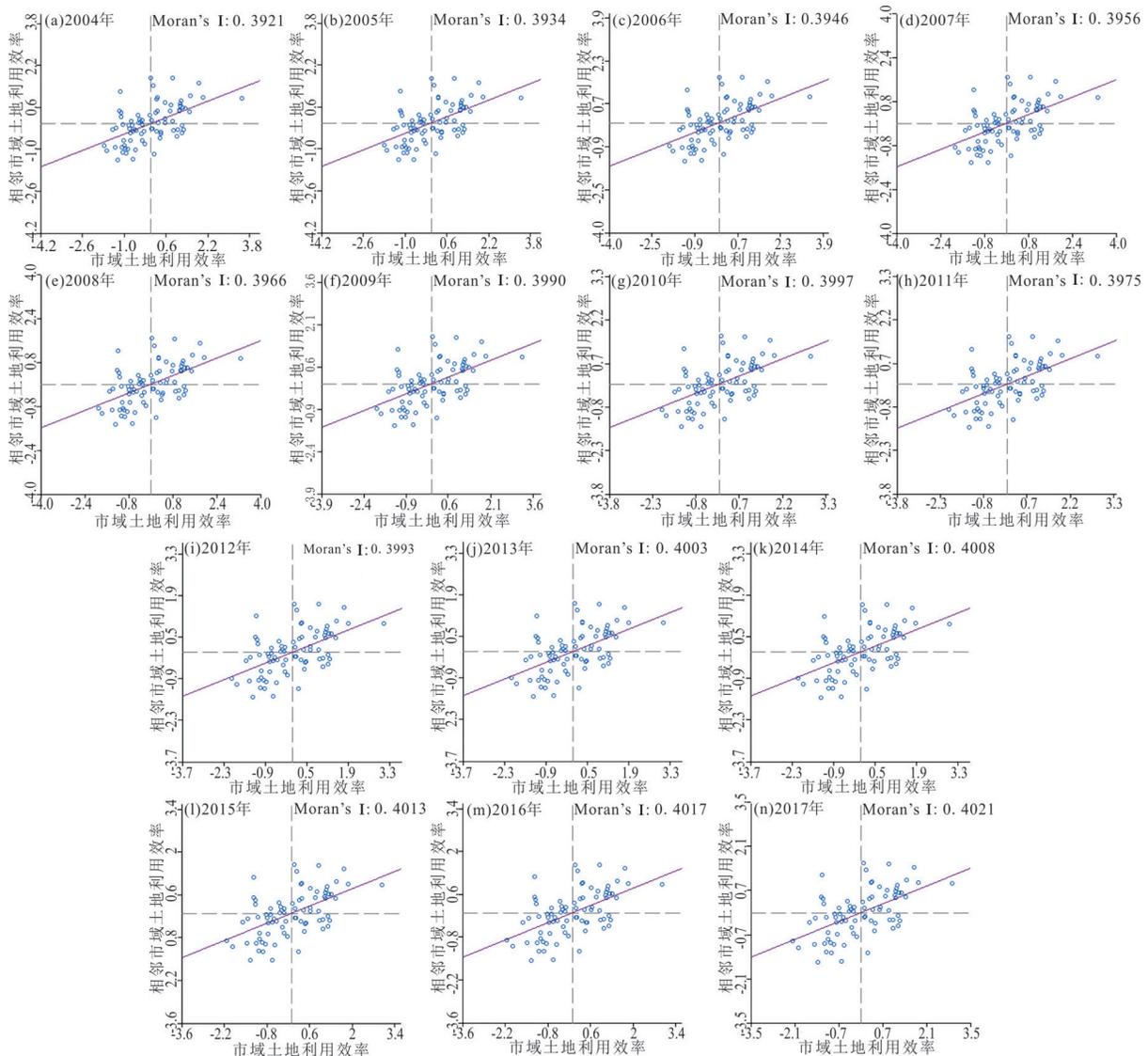


图5 2004—2017年黄河流域城市土地利用效率Moran's I散点图

Fig.5 Moran's I scatter diagram of urban land use efficiency in the Yellow River Basin during 2004–2017

周边城市的经济活动强度和生产要素流动小,城市内生增长动力不足,城市土地利用效率较低。

(4)L-H类型。该类型是城市土地利用低高效率关联型区域,城市自身土地利用效率较低,而邻域城市土地利用效率相对较高,形成城市土地利用效率的凹陷型区域。14年间,L-H集聚区由山东潍坊市转变为内蒙古巴彦淖尔市。潍坊市处于山东半岛城市群中,与高土地利用效率城市邻近,积极与周边城市经济融合,产生了技术交流、生产互补、产业链延伸等积极效应,潍坊市土地利用效率提高较快,与相邻城市效率的空间差异逐渐变小。而巴彦淖尔市受自身产业发展模式、土地和生态保护规

制、资源配置以及技术利用能力等因素的制约,并未与周边地区形成高高联动的优势,城市土地利用效率提升较慢,与周边城市的差距逐渐变大。

4.5 讨论

全面提高黄河流域城市土地利用效率是实现黄河流域生态保护与高质量发展的重要抓手,需要统筹协调整体、区域和个体的关系。整体上统一规划,充分发挥市场机制的作用,优化建设用地、资金以及人才等配置,规范土地利用和环境保护管制;个体上注重城市发展的内生动力上,应优化资本投资规模与结构,不断提升现实中技术利用能力,充分发挥城市群核心城市的空间扩散效应;区域上执

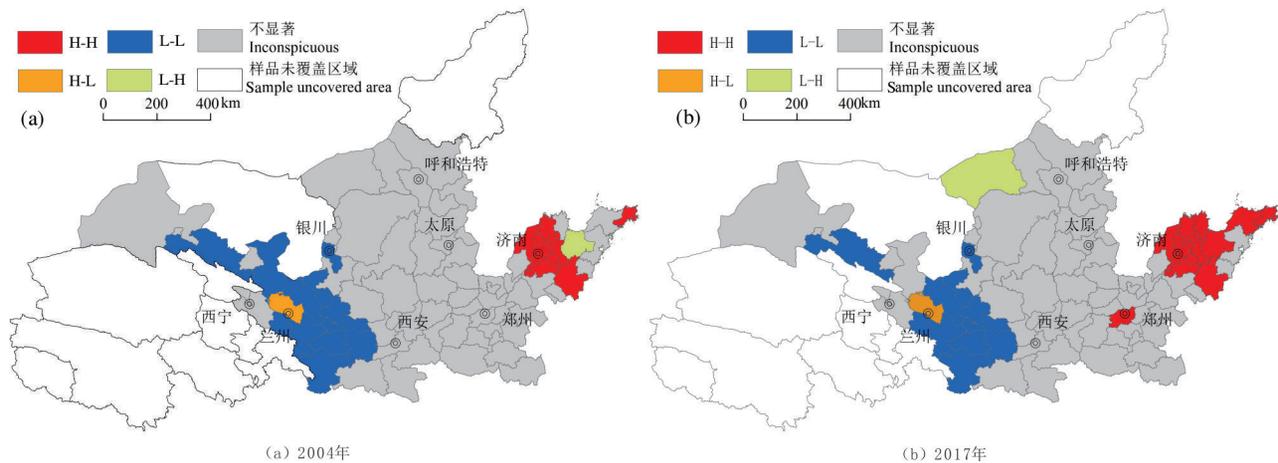


图6 2004、2017年黄河流域城市土地利用效率LISA空间形态
Fig.6 LISA cluster map of urban land use efficiency in the Yellow River Basin in 2004 and 2017

行差异化政策,其中,上游区域坚持保护为主,强化土地生态服务功能,可适当加大人才引进力度和发达城市的理念、技术的吸收应用,提升投入要素的规模效率;中游区域坚持开发与保护并重,注重技术升级改造和技术创新推动能源产业结构的调整和升级,提升城市存量建设用地开发的投资水平;下游区域以集聚集约发展为主,创新土地利用和管理方式,大力优化要素投入结构,提高资本和劳动力在不同产业的配置效率,着力提升生产技术、土地管理和规划技术,通过技术效率的提升促进土地利用效率的改善。

5 结论

本文基于随机前沿理论对城市土地利用效率的本质进行分析,采用C-D函数对数形式构建随机前沿生产函数的实证模型,测度黄河流域2004—2017年城市土地利用效率,模型待估参数通过广义似然比(LR)检验($P < 0.01$)和方差参数(γ)T检验($P < 0.01$),表明模型是适用且有效的,评估结果是客观的,且具备区域间的可比性。黄河流域城市土地利用效率存在技术无效性,技术无效率(占比80.76%)是实际产出值偏离最优产出值的主要原因。

研究期间,黄河流域83个城市土地利用效率具有明显的上升趋势,效率均值累计提升率为57.47%,但仍有78.31%的城市土地利用效率处于中低水平(三类及其以下),提升潜力较大。上、中、下游城市的增幅差异较大,其中,上游城市为劳

动密集型和资本依赖型,处于规模报酬递增阶段,效率增长较快;中游城市为资源依赖型,投入要素出现冗余现象,增长有限;下游城市正由劳动密集型和资本依赖型向技术驱动型转变的过程中,处于规模报酬递减阶段,增长较慢。

城市土地利用效率空间形态的正相关集聚特征逐年增强,呈现出两极分化的特征,但空间分布差异较大的格局未发生实质性改变,上游城市土地利用效率最低,中游次之,下游最高。同时,城市群中心城市的引领作用逐渐凸显,高效率区域(一、二类)逐渐由“斑点”状扩张为“斑块”状(山东半岛高效均值区聚集成片),中、低效率区域逐渐缩小(秦岭、六盘山区低效均值区逐步缩小),城市群间、上中下游间的土地利用效率空间分布差异逐步收敛,但其实质上是未达到最优状态的技术无效率缩小,城市土地利用效率的增长更多地依赖于技术利用水平提高或投入要素配置优化引起的技术效率增长。

References

- Aigner S L P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. *Journal of Econometrics*, 6(1): 21–37.
- Bian Wenlong, Wang Xiangnan. 2016. A literature review on the stochastic frontier analysis in panel data[J]. *Statistical Research*, 33(6): 13–20(in Chinese with English abstract).
- Chen Yi, Chen Zhigang, Xu Guoliang, Tian Zhiqiang. 2016. Built-land efficiency in urban China: Insights from the general land use plan (2006–2020)[J]. *Habitat International*, 51: 31–38.
- Cui Xuegang, Fang Chuanglin, Zhang Qiang. 2018. Spatial

- relationship between high-speed transport dominance and land use efficiency in Shandong Peninsula urban agglomeration[J]. *Journal of Geography*, 73(6): 1149–1161(in Chinese with English abstract).
- Dai Yongan. 2010. The efficiency and determinants of China's urbanization[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 27(12): 103–117(in Chinese with English abstract).
- Deng Bo, Zhang Xuejun, Guo Junhua. 2011. Research on ecological efficiency based on three-stage DEA model[J]. *China Soft Science*, (1): 92–99 (in Chinese with English abstract).
- Deng Xiangzheng, Yang Kaizhong, Shan Qingjing, Dong Suocheng, Zhang Wenge, Guo rongxing, Tan Minghong, Zhao Pengjun, Li Yu, Miao Changhong, Cui yaoping. 2021. Urban agglomeration and industrial transformation and development in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 36(2): 273–289 (in Chinese with English abstract).
- Dong Jie, Chen Xing, Zhang Anlu. 2017. Research on the spatial difference in land intensive use based on the function of production–ecology–living spaces in urban agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, (6): 110–117, 52 (in Chinese with English abstract).
- Fan Jianshaung, Ren Yirong. 2018. The mechanism and effect of illegal land use on sustainable and intensive land use[J]. *Chinese Land Science*, 32(3): 52–58 (in Chinese with English abstract).
- Farrell M J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency[J]. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, 120(3): 253–282.
- Fu Lina, Chen Xiaohong, Leng Zhihua. 2013. Urban agglomerations eco-efficiency analysis based on super-efficiency DEA model: Case study of Chang-Zhu-Tan "3+5" urban agglomeration[J]. *China Population, Resources and Environment*, 23(4): 169–175 (in Chinese with English abstract).
- Fu Xiaoxia, Wu Lixue. 2006. Technological efficiency, capital deepening and regional disparity: An analysis of China's regional convergence based on stochastic frontier model[J]. *Economic Research*, (10): 52–61(in Chinese with English abstract).
- Han Lu, He Tongtong, Yang Yong. 2021. Coupling coordination evaluation of high quality development and land use efficiency of urban agglomeration: Empirical analysis of seven urban agglomerations in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Henan Normal University (Philosophy and Social Sciences)*, 48(1): 95–101(in Chinese with English abstract).
- Jiang Hua, Tang Xiaohua, Yang Liya, Liu Zhixiong, Wang Ningtao, Liu Lei. 2020. Suitability evaluation of land space development based on land resources: A case study of Yichang City in Hubei Province[J]. *Geology in China*, 47(6): 1776–1792 (in Chinese with English abstract).
- Jin Gui, Deng Xiangzheng, Zhao Xiaodong, Guo Baishu, Yang Jun. 2018. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005–2014[J]. *Acta Geographica Sinica*, 73(7): 1242–1252 (in Chinese with English abstract).
- Ke Shanzi, Xiang Juan. 2012. 1996–2009 estimation of urban Fixed capital in China[J]. *Statistical Study*, 29(7): 19–24 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shuchang, Xiao Wu, Li Linlin, Ye Yanmei, Song Xiaoli. 2020. Urban land use efficiency and improvement potential in China: A stochastic frontier analysis[J]. *Land Use Policy*, 99: 105046.
- Liu Shuchang, Ye Yanmei, Xiao Wu. 2020. Spatial-temporal differentiation of urban land-use efficiency in China based on stochastic frontier analysis[J]. *China Land Science*, 34(1): 61–69 (in Chinese with English abstract).
- Long Kaisheng, Li Min. 2018. Interaction between urban land scarcity and land use efficiency in Yangtze River Delta [J]. *China Land Science*, 32(9): 74–80 (in Chinese with English abstract).
- Martinho V J P D. 2017. Efficiency, total factor productivity and returns to scale in a sustainable perspective: An analysis in the European Union at farm and regional level[J]. *Land Use Policy*, (68): 232–245.
- Meeusen W, Broeck J V D. 1977. Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error[J]. *International Economic Review*, 18(2): 435–444.
- Nei Lei, Guo Zhongxing, Peng Chong. 2017. Urban construction land use efficiency based on SBM–Undesirable and Meta-frontier models[J]. *Resource Science*, 39(5): 836–845(in Chinese with English abstract).
- Reinhard S, Lovell C A K, Thijssen G. 1999. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An application to Dutch Dairy Farms[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 81 (1): 44–60.
- Tang Huaizhi, Yun Wenju. 2021. "Two innovations" drive the efficiency of land use in synergy[J]. *China Land*, (7): 19–21(in Chinese with English abstract).
- Wang Enxu, Wu Chunyou. 2011. Spatial-temporal differences of provincial eco-efficiency in China based on super efficiency DEA model[J]. *Chinese Journal of Management*, 8(3): 443–450(in Chinese with English abstract).
- Wang Jianlin, Zhao Jiajia, Song Malin. 2017. An analysis of urban land use efficiency in China based on endogenous directional distance function[J]. *Geographic Research*, 36(7): 1386–1398(in Chinese with English abstract).
- Wang Liangjian, Li Hui, Shi Chuan. 2015. Urban land-use efficiency, spatial spillover, and determinants in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 70(11): 1788–1799(in Chinese with English abstract).
- Wang Liangjian, Li Hui. 2014. 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[J]. *Geographical Research*, 33(11): 1995–2004

- (in Chinese with English abstract).
- Wang Peng, Liu Tuo, Qiu Deming. 2021. Spatial fuzzy assessment of ecological suitability for urban land based on local penalty variable weights: A case study of Baota district[J]. Northwest Geology, 54(1): 232–241(in Chinese with English abstract).
- Wang Peng, Zhao Jun, Liu Tuo, Zhou Yifan, Wei Jinping, Wang Lei. 2022. Scale effects of spatial variability in SOM and STN in semi-arid regions: A case study of Yan'an[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 46(4): 988–997(in Chinese with English abstract).
- Wang Xirui, Xu Shi, Yang Xingdian, Wu Qun. 2015. Analysis of spatial and temporal differences of land use efficiency and land use Total factor productivity in Jiangsu Province[J]. China Land Science, 29(5): 77–83(in Chinese with English abstract).
- Wu C Y, Dennis Wei Y H, Huang X J. 2017. Economic transition, spatial development and urban land use efficiency in the Yangtze River Delta, China[J]. Habitat International, 63: 67–68.
- Wu Zhanyun. 2020. Path of land use efficiency improvement in Yellow River basin from the perspective of ecological civilization[J]. China Development Watch, (Z8): 19–21(in Chinese with English abstract).
- Xu Weixiang, Xu Zhixiong, Liu Chengjun. 2021. Coupling analysis of land intensive use efficiency and ecological well-being performance of cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 36(1): 114–130(in Chinese with English abstract).
- Yang Haiquan, Hu Yi, Wang Qiuxiang. 2015. Evaluation of land use efficiency in three major urban agglomerations of China in 2001–2012[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(9): 1095–1100(in Chinese with English abstract).
- Yang Jun, Wang Zhanqi, Jin Gui, Cheng Bingyin, Hou Xianhui. 2013. Post-benefit evaluation of land consolidation project implementation based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 22(8): 1036–1042(in Chinese with English abstract).
- Yao Shimo, Zhu Zhenguo, Cheng Kamking. 2001. City scale should not be blindly large: On the rational use of land in the process of urbanization in China[J]. China Land, (3): 28–30(in Chinese with English abstract).
- Yin Lihe, Zhang Jun, Jiang Jun, Zhang Pengwei, Gu Xiaofan, Dong Jiaqiu, Guo Peihong, Yang Bingchao, Li Ying. 2023. Issues and countermeasures on water resources in the Southern Xinjiang[J]. Geology in China, 50(1): 1–12(in Chinese with English abstract).
- Yin Xu, Li Yuri, Yuan Tao, Wang Jing. 2020. Quantitative measurement of economic development and land use intensity and their correlation characteristics in 109 sampled towns of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 35(3): 614–625(in Chinese with English abstract).
- Yun J Q, Zhou K L, Yang S L. 2019. Land use efficiency and influencing factors of urban agglomeration in China[J]. Land Use Policy, 88: 104–143.
- Zhang Maosheng, Wang Huaqi, Dong Ying, Li Lin, Sun Pingping, Zhang Ge. 2020. Evaluation of urban underground space resources using a negative list method: Taking Xi'an City as an example in China[J]. China Geology, (3): 124–136.
- Zhang Ni. 2020. Break through of ecological protection and development of the Yellow River basin through new thinking of ecological civilization: An interview with Zhang Yongsheng, director of the Chinese Academy of Social Sciences[J]. China Development Watch, (Z8): 8–11(in Chinese with English abstract).
- Zhang Rongtian, Jiao Huafu. 2015. Urban land use efficiency pattern evolution and driving mechanism in the Yangtze river economic belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 24(3): 387–394(in Chinese with English abstract).
- Zhao Cuiwei, Pu Lijie. 2006. Study on land use in the process of urbanization: A case study of Jiangsu Province[J]. Resources and Environment of the Yangtze River Basin, (2): 169–173(in Chinese with English abstract).
- Zhao Dandan, Hu Yecui. 2016. Quantitative study of the interaction between intensive land use and urbanization in three urban agglomerations of China[J]. Geographical Research, 35(11): 2105–2115(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yu, Liu Yansui, Wang Yuhua. 2003. New Progress and direction of land use research in developed coastal areas[J]. Yangtze River Basin Resources and Environment, (6): 509–514(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jinru, Zhao Huafu, Wu Jinhua. 2017. Study on relationship and evolution characteristics of intensive land-use and urban emission of Guanzhong Urban Agglomeration[J]. Chinese Land Science, 31(11): 55–61, 72(in Chinese with English abstract).
- Zhou Yueshu, Yu Jing. 2018. Study on the effect of industrial chain financing on production efficiency of large-scale farmers[J]. Agricultural Technology Economy, (4): 65–79(in Chinese with English abstract).
- Zhu Mengjue, Zhuang Dachang, Zhang Huixia. 2018. Spatial temporal evolution of urban land use efficiency in China during 2000–2015[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 38(3): 240–247(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 边文龙, 王向楠. 2016. 面板数据随机前沿分析的研究综述[J]. 统计研究, 33(6): 13–20.
- 崔学刚, 方创琳, 张蕾. 2018. 山东半岛城市群高速交通优势度与土地利用效率的空间关系[J]. 地理学报, 73(6): 1149–1161.
- 戴永安. 2010. 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[J]. 数量经济技术经济研究, 27(12): 103–117, 132.
- 邓波, 张学军, 郭军华. 2011. 基于三阶段DEA模型的区域生态效率研究[J]. 中国软科学, (1): 92–99.

- 邓祥征, 杨开忠, 单菁菁, 董锁成, 张文鸽, 郭荣星, 谈明洪, 赵鹏军, 李宇, 苗长虹, 崔耀平. 2021. 黄河流域城市群与产业转型发展[J]. 自然资源学报, 36(2): 273-289.
- 董捷, 陈星, 张安录. 2017. 基于“三生”功能的长江中游城市群土地集约利用空间差异研究[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, (6): 110-117, 152.
- 范建双, 任逸蓉. 2018. 违法用地对土地可持续集约利用的影响机制及效应研究[J]. 中国土地科学, 32(3): 52-58.
- 付丽娜, 陈晓红, 冷智花. 2013. 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[J]. 中国人口·资源与环境, 23(4): 169-175.
- 傅晓霞, 吴利学. 2006. 技术效率、资本深化与地区差异——基于随机前沿模型的中国地区收敛分析[J]. 经济研究, (10): 52-61.
- 韩磊, 何佟佟, 杨勇. 2021. 城市群高质量发展与土地利用效率耦合协调度评价——基于黄河流域七大城市群的实证分析[J]. 河南师范大学学报(哲学社会科学版), 48(1): 95-101.
- 姜华, 唐晓华, 杨利亚, 刘志雄, 王宁涛, 刘磊. 2020. 基于土地资源的市县级多要素国土空间开发适宜性评价研究——以湖北省宜昌市为例[J]. 中国地质, 47(6): 1776-1792.
- 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 郭柏枢, 杨俊. 2018. 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, 73(7): 1242-1252.
- 柯善咨, 向娟. 2012. 1996-2009年中国城市固定资本存量估算[J]. 统计研究, 29(7): 19-24.
- 梁流涛, 雍雅君, 袁晨光. 2019. 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, 33(6): 80-87.
- 刘书畅, 叶艳妹, 肖武. 2020. 基于随机前沿分析的中国城市土地利用效率时空分异研究[J]. 中国土地科学, 34(1): 61-69.
- 龙开胜, 李敏. 2018. 长三角城市土地稀缺与土地利用效率的交互影响[J]. 中国土地科学, 32(9): 74-80.
- 聂雷, 郭忠兴, 彭冲. 2017. 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, 39(5): 836-845.
- 汤怀志, 鄢文聚. 2021. “两个创新”协同驱动土地资源利用效率提升[J]. 中国土地, (7): 19-21.
- 王恩旭, 武春友. 2011. 基于超效率DEA模型的中国省际生态效率时空差异研究[J]. 管理学报, 8(3): 443-450.
- 王建林, 赵佳佳, 宋马林. 2017. 基于内生方向距离函数的中国城市土地利用效率分析[J]. 地理研究, 36(7): 1386-1398.
- 王良健, 李辉, 石川. 2015. 中国城市土地利用效率及其溢出效应与影响因素[J]. 地理学报, 70(11): 1788-1799.
- 王良健, 李辉. 2014. 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[J]. 地理研究, 33(11): 1995-2004.
- 王鹏, 刘拓, 邱德明. 2021. 基于局部惩罚型变权的建设用地生态适宜性空间模糊评价——以陕西延安宝塔区为例[J]. 西北地质, 54(1): 232-241.
- 王鹏, 赵君, 刘拓, 周一凡, 魏锦萍, 王磊. 2022. 半干旱区有机质与全氮空间变异的尺度效应特征——以延安市为例[J]. 物探与化探, 46(4): 988-997.
- 王希睿, 许实, 杨兴典, 吴群. 2015. 江苏省建设用地利用效率和全要素生产率的时空差异分析[J]. 中国土地科学, 29(5): 77-83.
- 武占云. 2020. 生态文明视角下黄河流域土地利用效率提升路径[J]. 中国发展观察(Z8): 19-21.
- 徐维祥, 徐志雄, 刘程军. 2021. 黄河流域地级城市土地集约利用效率与生态福利绩效的耦合性分析[J]. 自然资源学报, 36(1): 114-130.
- 杨海泉, 胡毅, 王秋香. 2015. 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, 35(9): 1095-1100.
- 杨俊, 王占岐, 金贵, 程丙银, 侯现慧. 2013. 基于AHP与模糊综合评价的土地整治项目实施后效益评价[J]. 长江流域资源与环境, 22(8): 1036-1042.
- 姚士谋, 朱振国, Cheng Kamking. 2001. 城市规模不能盲目求大——谈中国城市化过程中的土地合理利用问题[J]. 中国土地, (3): 28-30.
- 尹立河, 张俊, 姜军, 张鹏伟, 顾小凡, 董佳秋, 郭培宏, 杨炳超, 李瑛. 2023. 南疆地区水资源问题与对策建议[J]. 中国地质, 50(1): 1-12.
- 尹旭, 李裕瑞, 袁涛, 王婧. 2020. 镇域经济发展与土地集约利用水平综合测度及其关联特征分析: 以江苏省109个抽样乡镇为例[J]. 自然资源学报, 35(3): 614-625.
- 张倪. 2020. 以生态文明新思维推动黄河流域生态保护与发展的突破——专访中国社会科学院生态文明研究所所长张永生[J]. 中国发展观察, (Z8): 8-11.
- 张荣天, 焦华富. 2015. 长江经济带城市土地利用效率格局演变及驱动机制研究[J]. 长江流域资源与环境, 24(3): 387-394.
- 赵翠薇, 濮励杰. 2006. 城市化进程中的土地利用问题研究——以江苏省为例[J]. 长江流域资源与环境, (2): 169-173.
- 赵丹丹, 胡业翠. 2016. 土地集约利用与城市化相互作用的定量研究: 以中国三大城市群为例[J]. 地理研究, 35(11): 2105-2115.
- 郑宇, 刘彦随, 王玉华. 2003. 沿海发达地区土地利用研究新进展与方向[J]. 长江流域资源与环境, (6): 509-514.
- 周璟茹, 赵华甫, 吴金华. 2017. 关中城市群土地集约利用与碳排放关系演化特征研究[J]. 中国土地科学, 31(11): 55-61, 72.
- 周月书, 俞靖. 2018. 规模农户产业链融资对生产效率的影响研究[J]. 农业技术经济, (4): 65-79.
- 朱孟珏, 庄大昌, 张慧霞. 2018. 2000-2015年中国城市土地利用效率的时空演化[J]. 水土保持通报, 38(3): 240-247.