

中国城市群国土空间利用效率的格局、分异与演进

李春燕¹, 王德起¹, 马广鹏¹, 张 飞²

(1.首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院, 北京 100071; 2.山西财经大学统计学院, 太原 030006)

摘 要: [目的] 为系统刻画中国城市群国土空间利用效率的整体格局、区域分异特征及其动态演进过程, 揭示国土空间利用效率提升在优化城市群内部资源配置与空间结构中的作用。[方法] 以中国 14 个城市群为研究对象, 采用超效率 SBM 模型、基尼系数分解方法揭示城市群国土空间利用效率的区域差异及来源, 运用核密度估计和 Markov 转移概率矩阵分析城市群国土空间利用效率在 2010—2022 年的演进趋势。[结果] 1) 区域整体呈城镇空间利用效率 > 生态空间利用效率 > 农业空间利用效率的时序格局, 研究期内其效率平均值分别为 0.645、0.326 和 0.163。2) 城市群国土空间利用效率总体差距呈先下降后上升趋势, 基尼系数从 2010 年的 0.131 上升到 0.145, 城市群间的差异是总体差异产生的主要根源。3) 国土空间综合利用效率水平表现出较强的空间溢出效应, 且各城市群国土空间综合利用效率水平状态转移更易受到高水平邻域的正向带动作用。[结论] 采取区域内外联动互助发展模式, 打破其内部资源配置与要素流通限制, 同时积极发挥高水平城市群的溢出效应, 有利于推动城市群国土空间布局优化提升。

关键词: 国土空间利用效率; 城镇-农业-生态空间; 城市群; 格局演变; 区域差异

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2026)04-0276-16

Patterns, Differentiation, and Evolution of Territorial Space Utilization Efficiency in China's Urban Agglomerations

Li Chunyan¹, Wang Deqi¹, Ma Guangpeng¹, Zhang Fei²

(1.School of Urban Economics and Public Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100071,

China; 2.School of Statistics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: [Objective] This study aims to systematically characterize the overall spatial patterns, regional differentiation, and dynamic evolution of territorial space utilization efficiency within China's urban agglomerations, and to reveal the role of enhanced efficiency in optimizing resource allocation and spatial structure within these agglomerations. [Methods] 14 urban agglomerations in China were selected as the research objects. The super-efficiency SBM model and Gini coefficient decomposition were employed to reveal the regional differences and sources of territorial space utilization efficiency. Additionally, kernel density estimation and Markov transition probability matrix were applied to analyze the evolution trends from 2010 to 2022. [Results] 1) The region as a whole showed a temporal pattern of urban space utilization efficiency > ecological space utilization efficiency > agricultural space utilization efficiency. During the study period, the average efficiency values were 0.645, 0.326, and 0.163, respectively. 2) The overall disparity in the territorial space utilization efficiency among urban agglomerations showed a trend of first decreasing and then increasing, with the Gini coefficient rising from 0.131 in 2010 to 0.145. Moreover, the differences between urban agglomerations were the primary source of the overall disparity. 3) The level of comprehensive territorial space utilization efficiency demonstrated strong spatial spillover effects. Furthermore, the state transition of efficiency

收稿日期: 2025-11-11

修回日期: 2026-02-05

录用日期: 2026-03-12

网络首发日期 (www.cnki.net): 2026-03-24

资助项目: 国家社会科学基金重点项目 (21AGL026)

第一作者: 李春燕 (1997—), 女, 博士, 主要从事城市与区域经济研究。E-mail: lchunyan1997@163.com

通信作者: 王德起 (1962—), 男, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事土地利用与管理研究。E-mail: wdq1897@163.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

levels within each urban agglomeration was more likely driven by the positive effect of high-level neighboring areas. **[Conclusion]** Adopting a development model of coordinated and mutual assistance within and outside the region can break the constraints on internal resource allocation and factor circulation. Meanwhile, actively leveraging the spillover effects of high-level urban agglomerations can promote the optimization and enhancement of the territorial space layout of urban agglomerations.

Keywords: territorial space utilization efficiency; urban-agricultural-ecological space; urban agglomerations; pattern evolution; regional differences

Received: 2025-11-11

Revised: 2026-02-05

Accepted: 2026-03-12

Online(www.cnki.net): 2026-03-24

国土空间利用效率优化是支撑多层次协同发展、提升整体区域竞争力的关键路径,更是推动区域协调发展与空间治理现代化的重要手段。城市群逐渐成为全球经济发展格局中最具活力的区域单元,是承载人口、产业与要素高度集聚的核心空间单元,其国土空间利用效率在区域协调发展具有基础性和引领性作用^[1]。随着城市群发展和城镇化进程的加快,人类经济社会活动对国土空间的开发利用强度显著上升,导致建设用地利用低效、空间布局无序、功能混杂等问题日益突出^[2-3]。同时,缓坡垦殖、地表硬化、农业面源污染及气候变化等自然与人为因素交织,也不断挤压农业空间和生态空间的生存边界,进一步加剧区域生态环境的脆弱性^[4]。党的二十大报告^[5]指出,要构建优势互补、高质量发展的区域经济布局和国土空间体系,以城市群、都市圈为依托构建大中小城市协调发展格局。在城市群高质量发展背景下,推进城市群国土空间可持续利用,已成为统筹城乡发展、实现区域协调发展与生态安全的重要任务^[6]。如何通过实施国土空间规划、主体功能区战略和区域协调发展战略,协调城镇空间、农业空间、生态空间的可持续发展,进而解决国土空间和社会经济空间的冲突矛盾成为今后短时期内城市群面临的发展难题^[7]。

现有研究^[8-10]围绕国土空间利用效率问题形成丰富的成果。一是将人与自然和谐发展理念纳入到国土空间利用效率的内涵中。普遍采用系统认知理论、人地关系理论和可持续发展理论作为基础,阐释国土空间利用效率的内涵与外延,强调国土资源利用的效益最大化和可持续性发展。随着内涵的不断完善,研究重点从以往对土地利用效率评价逐渐转向不同区域与城市间的国土空间利用效率差异分析,涵盖城市土地利用效率^[11]、农用地利用效率^[12]、工业用地利用效率^[13]、生态环境效率等^[14]多个方面,并因地制宜地提出优化管理对策,以实现国土空间资源的合理配置。研究尺度涉及城市群^[15]、经济带^[16]、省级^[17]、市级^[18]、县域

等^[19]层面。不同研究尺度下关注的重点存在明显差异,在城市群层面,重点关注城市间的相互作用、资源共享和协同发展。在经济带层面,则更多侧重于特定经济区域内的产业布局、政策支持和市场机制。在省级、市级和县级层面则更倾向于探讨经济、社会和生态问题的内部协调发展;二是基于“投入-产出”框架构建国土空间利用效率评价指标体系。其中,投入指标通常包括土地、劳动力和资本,产出指标一般为各类效益指标^[18,20]。多以双评价^[21]、系统动力学模型^[22]、灰色关联度模型^[23]及以超效率模型为代表的非参数方法^[24]进行测度分析。其中,超效率SBM模型(super-slacks-based measure model)能够将国土空间利用过程中产生的环境污染等非期望产出纳入评价指标体系中^[25-26]。该类方法在不同尺度和研究背景下为提升国土空间利用效率提供理论支撑和实践指引;三是通过地理加权回归^[27]、Tobit模型^[28]、地理探测器模型等^[16,29]方法探讨国土空间利用效率的驱动因素。主要集中在社会经济因素^[30]、自然地理因素^[29,31]、土地利用^[32]和景观格局指数等^[33]方面。其中,社会经济因素主要包括城镇化水平、环境管制强度、财政支持力度和人均GDP等因素^[34];自然地理因素主要包括森林覆盖率、降水量、海拔和气温等自然条件^[35]。

已有研究^[3-5,12,17]为深入分析城市群国土空间利用效率水平奠定了坚实基础,但仍存在一些不足:1)从研究视角来看,基于国土空间分类视角探讨国土空间利用效率有待深入研究。现有研究^[4,16,25]大多集中在土地利用效率或者生态效率的单一层面测度,对国土空间分类子系统利用效率及不同子系统间的协调发展关系研究相对较少。2)从研究尺度来看,主要聚焦于单个城市群,而较少关注城市群间的差异。在一定程度上限制人们对区域间空间协同格局和跨区域资源优化配置的认知深度。3)从研究指标看,多采用单一的经济指标或生态指标来评价国土空间利用效率,缺乏综合性的评价指标体系。在非期望产出方面,现有研究多关注PM_{2.5}、景观破碎指数等指标,而忽

视碳排放等生态指标。因此,本研究以中国 14 个城市群为研究区,将国土空间划分为城镇空间、农业空间和生态空间 3 个维度来构建“3 个空间×3 个维度”的指标体系,以测度 2010—2022 年国土空间综合利用效率及各子系统利用效率,并分析其空间格局演化特征。不仅有助于揭示不同城市群在空间扩展、土地利用方式和功能组织上的异质性,识别其中的效率短板与潜在协同机会,而且有助于厘清城市群间空间利用效率的动态变化规律,对于构建多层次、差异化的国土空间优化路径具有重要理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 理论分析框架

国土空间利用效率的提升是国家发展战略与空间治理体系之中的重要议题。在“五位一体”总体布局和“五大发展理念”的理论指引下,构建 1 个涵盖认知基础-系统结构治理目标的理论框架(图 1)。在顶层设计层面,国土空间治理以资源优化配置和治理能力现代化为核心目标,通过国土空间规划体系、用途管制制度和政策工具协同作用,推动国土空间利用方式由粗放型向集约高效型转变。在战略层面,国土空间治理与乡村振兴战略、新型城镇化战略以及区域协调发展战略等战略相衔接,形成纵向贯通、横向协同的治理体系。国土空间利用效率的持续提升,最终服务于经济、社会与生态协调发展的终极目标。从运行机制看,通过统筹城乡发展、促进空间均衡,缓解城镇空间过度集聚与农业、生态空间功能弱化间的矛盾,提升整体空间系统运行效率;同时,引导要素向效率更高、环境承载力更优的空间单元集聚,实现资源配置效率与环境效率的协同提升。

从本体论层面看,国土空间具有多重属性,不同属性共同决定国土空间利用效率评价的理论起点与

指标选取逻辑。一是“源要素”属性。国土空间(土地)是一切物质财富的源泉,是最原始、最基础的生产要素,具有稀缺性与不可再生性。该属性决定国土空间利用效率必须关注要素投入与产出关系,强调在资源约束条件下实现经济、社会与生态效益的最大化。二是“恒载体”属性。国土空间是人类文明演进的重要载体,强调国土空间利用效率的时序性与可持续性,要求在长期尺度上审视空间利用方式的合理性。三是“生命库”属性。国土空间是各类生命存在及其活动的基本物质环境,是生态系统运行的物质基础,具有显著的生态属性。表明在效率测度中纳入生态环境约束与生态产出,避免单纯以经济产出衡量空间利用效率。四是“新质集”属性。国土空间是人类社会活动和技术进步的“容器”,是先进生产力及其组合的物理性承载者,具有受容性和可塑性。该属性决定国土空间利用效率与高质量发展、新质生产力培育间的内在关联。

在系统论视角下,国土空间并非同质整体,而是由城镇空间、农业空间和生态空间三大子系统构成的复杂系统。城镇空间子系统以人口、产业和基础设施高度集聚为特征,是经济增长和技术创新的核心载体;农业空间子系统承担着粮食安全与农产品供给功能,是城镇空间系统的重要支撑;生态空间子系统以生态安全与生态服务供给为核心功能,是国土空间系统稳定运行的基础保障。3 类空间通过土地利用、要素流动和功能互补等方式产生相互作用关系。城镇空间为农业发展提供市场与技术支持,农业空间为城镇空间发展提供资源保障,生态空间通过生态系统服务为城镇和农业活动提供环境约束与支撑。国土空间利用效率正是在 3 类空间结构协调与功能协同中得以体现。

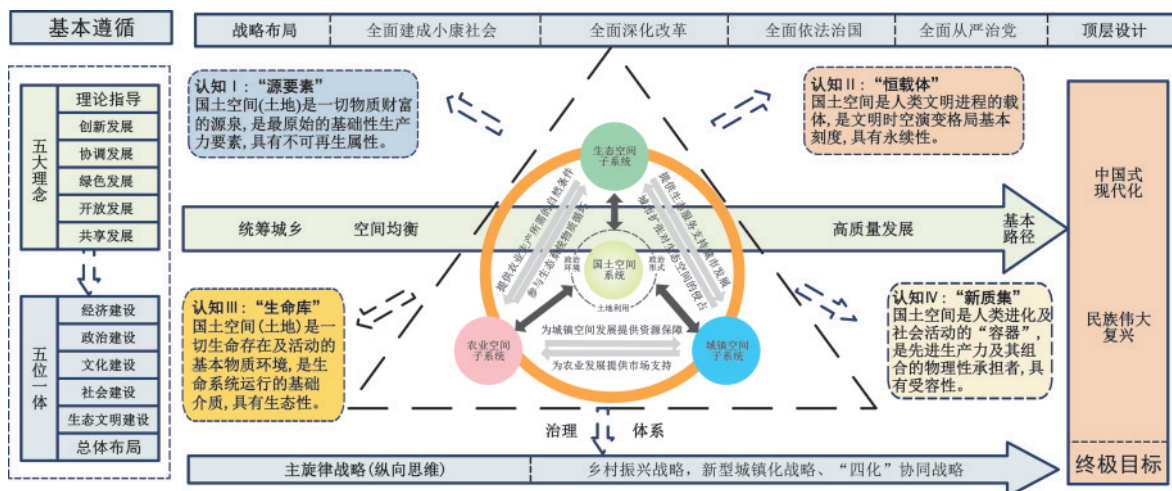


图 1 理论框架

Fig.1 Theoretical framework

<http://stbxb.alljournal.com.cn>

1.2 研究单元与数据处理

“十四五”规划确定19个国家级城市群^[36],而覆盖沿海、沿江、沿黄等不同发展轴线的城市群主要有14个,剔除城市群中县及县级市,最终选择191个城市为研究对象。体现出不同阶段的发展类型和功能定位,具有较强的系统性与典型性,由此确定研究区(图2)。其中,长三角、珠三角、京津冀、长江中游和成渝等以国家级中心城市为核心,形成带动全国发展并具有全球影响力的增长极,处于优化提升阶段;山东半岛、粤闽浙沿海、中原、北部湾、关中平原等以国家区域性中心城市为核心,通过促进分工协作、完善基础设施带动区域发展,处于发展壮大阶段;辽中南、呼包鄂榆、哈长、兰西等均为中西部、东北地区重点发展的区域,城市群规模较小或尚未完全形成,处于培育发展阶段^[37]。

本文使用的土地利用数据源自中国30 m年土地覆盖数据集(<http://www.ncdc.ac.cn>);社会、经济数据来自《中国城市统计年鉴》^[38]、各省、市相关年份的统计年鉴(<https://www.stats.gov.cn/>)及相关年份的国民经济和社会发展统计公报(<https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/ndtjgb/>);能源消耗总量数据来自《中国能源统计年鉴》^[39];地级市层面的碳排放数据是根据EDGAR资源提取的。其中,极少数缺失数据采取线性插值法进行填充。为确保数据口径连贯可比,将研究期设定为2010—2022年,该时段能够较好反映近10 a来国土空间发展的总体态势及特征。为避免价格因素的影响,以2010年为基期,将经济数据修正为实际水平。

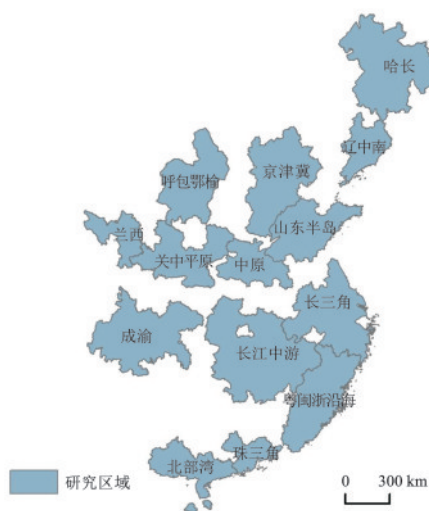


图2 研究区域

Fig.2 Study area

1.3 国土空间利用效率的内涵与评价指标体系构建

国土空间利用效率是指在一定资源环境约束条件下,对国土空间要素进行系统配置和协同利用所形成的效能。其本质在于以尽可能少的要素投入来

优化空间结构、提升要素配置效率和降低生态环境代价,实现经济、社会与生态多维目标的协调统一。按照主体功能区的不同,国土空间利用效率体现在城镇空间、农业空间和生态空间等不同类型空间之间的功能分工与协同运行^[40]。城镇空间强调集约高效与功能复合;农业空间注重保障粮食安全与提升综合产出能力,生态空间则以维护生态系统稳定性和服务功能为核心。国土空间利用效率的提升,实质上是通过不同类型空间的合理配置与协同利用,减少空间冲突,增强整体系统运行效率。

本文依据空间类型特征构建涵盖城镇、农业和生态3类空间的综合指标体系。为从科学性和合理性角度评价中国城市群国土空间利用效率,将劳动力、土地、资本、能源等作为投入指标,将各类效益指标作为期望产出;非期望产出则是考虑国土空间利用过程中产生的环境污染、资源浪费等负面效应,除考虑废水、废气排放外,还考虑碳排放指标^[41]。最终选取27项指标,具体情况见表1。

城镇空间效率的衡量,关键在于建设用地的合理配置及功能区布局的高效利用。建成区面积能够较为全面地表征城市建设用地规模及其空间占用状况,是衡量土地要素投入的重要指标^[9];20~64岁适龄劳动力人口则能够反映区域内具备实际生产能力的人力资源规模,体现劳动力要素对国土空间利用效率的支撑作用。以市政公用设施建设固定资产投资、R&D投入及普惠金融指数作为资本投入指标,以反映城镇空间在基础设施、技术创新和金融支持方面的投入水平。采用经济效益、社会效益和环境效益来衡量期望产出,以全面反映城镇空间利用的综合绩效^[20]。在非期望产出层面,选取城市生活消费所产生的碳排放量及城市污水排放量,用以反映城镇空间环境的负外部性,从而衡量城镇化发展对生态环境产生的影响^[10,16]。

农业空间指标体系需充分体现农业的发展特征。耕地面积和农业劳动生产率作为土地投入和劳动力投入能够直观地展示农业生产的规模和效率。因此,选取耕地面积和第一产业从业人员作为土地和劳动力的投入^[31]。农业科技化水平在促进农业增收方面具有重要作用。因此,选取化肥施用量和人均农业机械总动力水平作为资本投入指标^[35]。农业的经济效益直接关系到农民的收入和农村经济的发展,故选取农业总产值与农民人均纯收入作为经济效益指标,并以粮食作物综合生产能力衡量农业空间的社会效益。农林业及土地利用过程产生的碳排放量作为非期望产出,反映农业空间的负向环境效益。

生态空间效率是指单位面积内生态系统提供的

服务与功能的综合表现。由于生态过程的复杂性,通常通过评估土地的生态效益来间接反映效率。在投入指标方面,选取生态用地面积作为土地投入,同时考虑水利、环境与公共设施管理业的从业人员和节能环保支出分别作为劳动投入和资本投入。采用公共绿地面积和森林覆盖率来衡量生态效益和社会效益。非期望产出则以废水、废气、烟尘等主要大气污染物为代表,以反映生态空间的负向环境影响。

表 1 国土空间利用效率评价指标体系
Table 1 Evaluation indicator system for territorial space utilization efficiency

目标层	准则层	指标含义	指标层	单位
城镇空间	投入	土地投入	建成区面积	km ²
		劳动力投入	20~64 岁适龄劳动力	人
		资本投入	市政公用设施建设固定资产投资	万元
			R&D 投入	万元
			普惠金融指数	%
	期望产出	经济效益	人均地区生产总值	元/人
			职工平均工资	元
		社会效益	地方财政一般预算内收入	万元
	非期望产出	环境效益	建成区绿化覆盖率	%
		污染排放	城市生活消费产生的碳排放量	t
农业空间	投入		城市污水排放量	t
		土地投入	耕地面积	hm ²
		劳动力投入	第一产业从业人员	人
		资本投入	农用作肥施用量	t
			人均农业机械总动力	kw
	期望产出	经济效益	农业总产值	万元
			粮食作物综合生产能力	万 t
		社会效益	农村居民家庭人均纯收入	元
	非期望产出	碳排放量	农林业和土地利用过程产生的碳排放	t
生态空间	投入	土地投入	生态用地面积	hm ²
		资本投入	节能环保支出	万元
		劳动投入	水利环境和公共设施管理业从业人员数量	人
		能源投入	能源消费总量	tce
	期望产出	社会效益	公共绿地面积	km ²
		生态效益	森林覆盖率	%
	非期望产出	工业污染	工业颗粒物排放总量	t
		废气污染	二氧化硫排放总量	t

1.4 研究方法

1.4.1 超效率 SBM 模型 Tone^[42]提出基于非期望产出的 SBM 模型,作为一种非径向距离函数不仅可以解决传统数据包络模型(data envelopment analysis)造成的投入产出变量松弛性问题,而且还可衡量非期望产出。能够解决非有效单元和有效单元的排序问题。

$$\min(\rho)=\frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m\frac{\bar{x}_i}{x_{ik}}}{1+\frac{1}{r_1+r_2}\left(\sum_{s=1}^{r_1}\frac{\bar{y}_s^d}{y_{sk}^d}+\sum_{q=1}^{r_2}\frac{\bar{y}_q^u}{y_{qk}^u}\right)} \quad (1)$$

$$s.t.\left\{\begin{array}{l} \bar{x} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j, i=1, \cdots, m \\ \bar{y}^d \leq \sum_{j=1}^n y_{sj}^d \lambda_j, s=1, \cdots, r_1 \\ \bar{y}^u \geq \sum_{j=1}^n y_{qj}^u \lambda_j, q=1, \cdots, r_2 \\ \bar{x} \geq x_k, \bar{y}^d \leq y_k^d, \bar{y}^u \geq y_k^u, \lambda \geq 0 \end{array}\right. \quad (2)$$

式中:ρ为利用效率水平值;n为决策单元(DUM)的数量;m、r₁、r₂分别为投入、期望产出和非期望产出的个数;λ_j为第j个决策单元的权重; $\bar{x}$ 、 $\bar{y}^d$ 、 $\bar{y}^u$ 分别为投

入、期望产出和非期望产出的松弛量; x 、 y^e 和 y^u 分别为投入值、期望产出值和非期望产出值; x_{ij} 、 y_{sj}^e 、 y_{sj}^u 分别为投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出值构成的矩阵。公式(2)为约束条件。

1.4.2 基尼系数分解 Dagum^[43]基尼系数是一种有效地衡量地区差异的方法,系数越小,地区间的经济差距越小,均衡发展水平越高。根据基尼系数分解,可将区域不平衡状况分解为区域内贡献(G_w)、区域间贡献(G_{nb})及超变密度贡献(G_t),从而揭示城市群国土空间利用效率发展的区域差异及来源。具体计算公式为:

$$G = G_w + G_{nb} + G_t = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^h \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2\mu} \quad (3)$$

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{2n_j^2 \bar{Y}_j} \quad (4)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{Y}_j + \bar{Y}_h)} \quad (5)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (6)$$

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

$$p_j = \frac{n_j}{n} \quad (8)$$

$$s_j = \frac{n_j \bar{Y}_j}{n\mu} \quad (9)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x) \quad (10)$$

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

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}} \quad (12)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (13)$$

式中: k 为城市群个数; y_{ji} (y_{hr})为 j (h)城市群内任意城市 i (r)国土空间利用效率值; n 为城市群内部的城市数量; μ 为城市群内所有城市国土空间利用效率平均值; j 和 h 为子城市群; i 和 r 为子城市群内的城市; G_{jj} 为子城市群 j 的基尼系数; G_{jh} 为子城市群 j 和 h 之间的基尼系数; p_j 为超变一阶距; D_{jh} 为衡量区域 j 和区域 h 间国土空间利用效率的相对影响; d_{jh} 为城市群间国土空间利用效率的差值;函数 F 为子城市群国土空间综合利用率值的累计密度函数。

1.4.3 核密度估计 核密度估计是对城市群国土空间综合利用效率进行拟合得到核密度曲线来揭示城市群国土空间综合利用效率的动态演变特征。其概率密度函数 $f(x)$ 公式为:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - \bar{x}}{h}\right) \quad (14)$$

式中: N 为观测值个数; X_i 为观测值; $\bar{x}$ 为观测值的平均值, h 为带宽。本文采用高斯核密度函数估计城市群国土空间综合利用效率水平的动态分布,其函数表达式为:

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (15)$$

1.4.4 Markov链分析 传统马尔可夫链是展示数据离散随机过程的模型,按照离散时间序列将国土空间综合利用效率水平分为4种类型,通过构建转移矩阵,探究其转移特征和规律,计算公式为:

$$P\{X_{t+1}=j|X_0=i_0, X_1=i_1, \dots, X_t=i_t\} = P\{X_{t+1}=j|X_t=i\} = P_{ij} \quad (16)$$

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (17)$$

式中: X_t 为移动状态; P_{ij} 为转移概率; n_{ij} 为研究时间段内 t 时刻 i 类型向 $t+1$ 时刻 j 状态转移的城市群数量之和; n_i 为研究时间段内属于类型 i 的城市群数量之和。

空间马尔可夫链考虑空间滞后因素的影响。本文选用反距离权重矩阵,借助空间马尔可夫链的方法探究空间因素对城市群国土空间综合利用效率水平的影响,计算公式为:

$$F_i = \sum W_{ij} Y_j \quad (18)$$

式中: F_i 为 i 城市群空间滞后值; Y_j 为 j 城市群的观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵。

2 结果与分析

2.1 城市群国土空间利用效率水平的测度

2.1.1 国土空间利用效率水平时序演变特征 为从区域宏观角度把握国土空间利用效率的认知水平,首先测算城市群的国土空间综合利用效率水平(图3a、图3b)。从整体趋势来看,研究期内城市群的国土空间综合利用效率平均值呈波动上升趋势。尽管整体利用效率有所提升,但仍未达到国土空间优化提升的目标。在研究期间内,呼包鄂榆、珠三角、北部湾和长三角城市群国土空间综合利用效率值的平均水平较高,分别为2.217、1.391、1.217、1.205,呼包鄂榆、长三角、粤闽浙沿海和成渝城市群国土空间综合利用效率值的平均增长速度较快,分别为7.86%、5.56%、5.08%和4.49%。

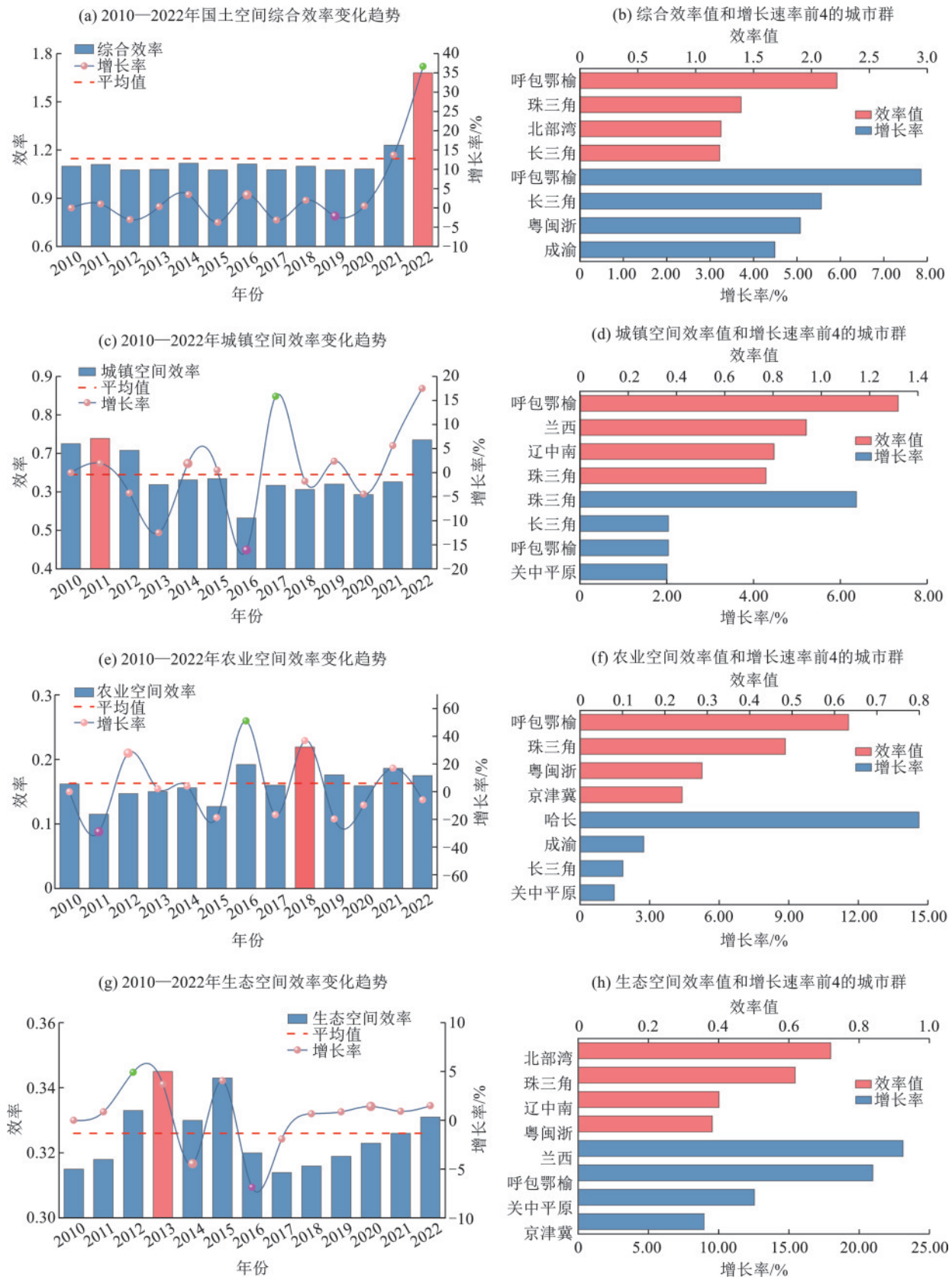


图3 中国城市群国土空间利用效率时间趋势

Fig.3 Temporal trends of territorial space utilization efficiency in China's urban agglomerations

为进一步分析不同主体功能区的国土空间利用水平,本文分别测算城镇空间、农业空间、生态空间利用效率。由图 3c~图 3h 可知,城镇空间效

率值最高,研究期内的效率平均值为 0.645,且增长速度较快,表明目前“沿海、沿江、沿黄”区域的 14 个城市群对城镇空间的开发利用水平相对较高。

其中,呼包鄂榆城市群城镇空间利用效率值的平均水平最高,为1.318;珠三角城市群城镇空间利用效率值的平均增长速度最快,为6.37%。其次是生态空间,研究期内的效率平均值为0.326,总体呈先下降后上升趋势。此变化反映出,随着生态文明建设的推进,研究区的生态空间利用与治理状况得到改善,进而促进利用效率的提升。北部湾城市群生态空间利用效率值的平均水平最高,为0.719;兰西城市群生态空间利用效率值的平均增长速度最快,达到23.13%。相比之下,农业空间的利用效率最低,研究期内平均值仅为0.163。表明研究区在农业空间的利用方面仍需加大关注力度,以推动效率的有效提升。此差异与中国的城市化路径、产业结构演变、土地制度安排及区域发展战略的阶段性调整密切相关。从城市化路径看,中国在过去数十年中采取“以工促农、以城带乡”的发展模式,城市成为资源和要素的主要集聚地。城镇空间承载大量人口迁移与产业集聚,形成以高密度、集中式开发为特征的空间结构。该开发模式在短期内能够实现土地的高强度利用和经济产出效率的快速提升,从而提升城镇空间的利用效率。从产业结构演进看,中国逐步由以农业为主导向以第二、第三产业为主导的结构转型,农业在GDP中的占比不断下降,相应地,农业空间在经济产出、技术投入和要素配置效率上表现相对滞后,限制其集约化和高效化发展,导致其空间利用效率长期处于较低水平。

2.1.2 空间分异格局特征 本文基于Jenks Natural Breaks分类方法将国土空间利用效率从低到高分5类(图4)。在空间层面上看,其效率水平形成明显的三层结构。从国土空间综合利用效率来看,2010年国土空间的高利用效率区以呼包鄂榆和珠三角城市群为核心,低利用效率区则覆盖京津冀、山东半岛、关中平原等城市群。2022年,除中原城市群和辽中南城市群利用效率有所下降外,其他城市群利用效率有所上升。从城镇空间利用效率水平来看,2010—2022年,西北地区的呼包鄂榆和兰西城市群形成“高值孤岛区”,而京津冀、山东半岛和中原城市群则形成大面积的低利用效率区。从农业空间利用效率来看,2010—2022年,除呼包鄂榆、兰西城市群的农业空间利用效率有所下降外,其他城市群的农业空间利用效率有所上升,并在空间上呈现出从东部沿海地区向东北地区和西部地区逐渐递减的趋势。从生态空间利用效率来看,在东南沿海地区形成大片的较高和高效率区域,在空

间分布上呈现出从东南沿海地区向东北地区和西部地区逐渐递减的趋势。

2.2 城市群国土空间综合利用效率的区域差异及来源

2.2.1 城市群组内差异 为考察中国城市群内部国土空间综合利用效率水平的空间分异情况,本文计算各城市群的国土空间综合利用效率水平组内基尼系数。由表2可知,各城市群间基尼系数呈先下降后上升趋势,分异程度总体上表现为下降趋势。京津冀、兰西、关中平原、呼包鄂榆等城市群的基尼系数较高,反映出该城市群内部各城市间的国土空间利用的不平衡性增加。表明在城市群内部的部分城市可能存在过度开发现象,导致资源配置效率低下;长三角、粤闽浙沿海和珠三角等沿海城市群的基尼系数低且稳定,表现出沿海地区城市群内部较为均衡的国土空间资源的综合利用。

总体差异指的是整个国土空间综合效率不平等程度,反映所有城市群的国土空间配置效率。由表3可知,2010—2015年中国国土空间综合利用效率指数的总体基尼系数从0.131下降至0.084,降幅为35.87%左右,但从2015年以后,中国国土空间综合利用效率指数的分异程度开始呈波动式上升趋势,在2022年基尼系数最高,达到最高值0.421。可以看出,2015年是中国国土空间综合表现空间差异扩大的关键节点。2015年中国“十三五”规划提出建立由空间规划、用途管制、差异化绩效考核等构成的空间治理体系,标志着我国国土空间的顶层设计由管理向治理转型。该政策虽然提高各地区国土空间综合效率水平,但是加剧地区间国土空间综合效率水平的分异程度,说明国土空间治理政策在不同地区效果具有较大的差异,但是在2019年以后,中共中央、国务院《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》明确国土空间规划“四梁八柱”基本框架,进一步完善国土空间治理的政策工具,各地区间的差异开始逐渐缩小。

为进一步探究中国城市群国土空间综合利用效率水平的空间分异来源,将其分解为城市群组内差异、城市群组间差异和超变密度。由表3可知,中国城市群国土空间综合利用效率水平的分异成因主要为城市群间的差异,城市群组间差异贡献度为53.60%;其次,超变密度的贡献度为38.91%,其占比较高说明各城市群间重叠部分的占比较大,重叠部分不平等程度加剧提高城市群内差异程度、降低城市群间差异程度,导致基尼系数的升高。

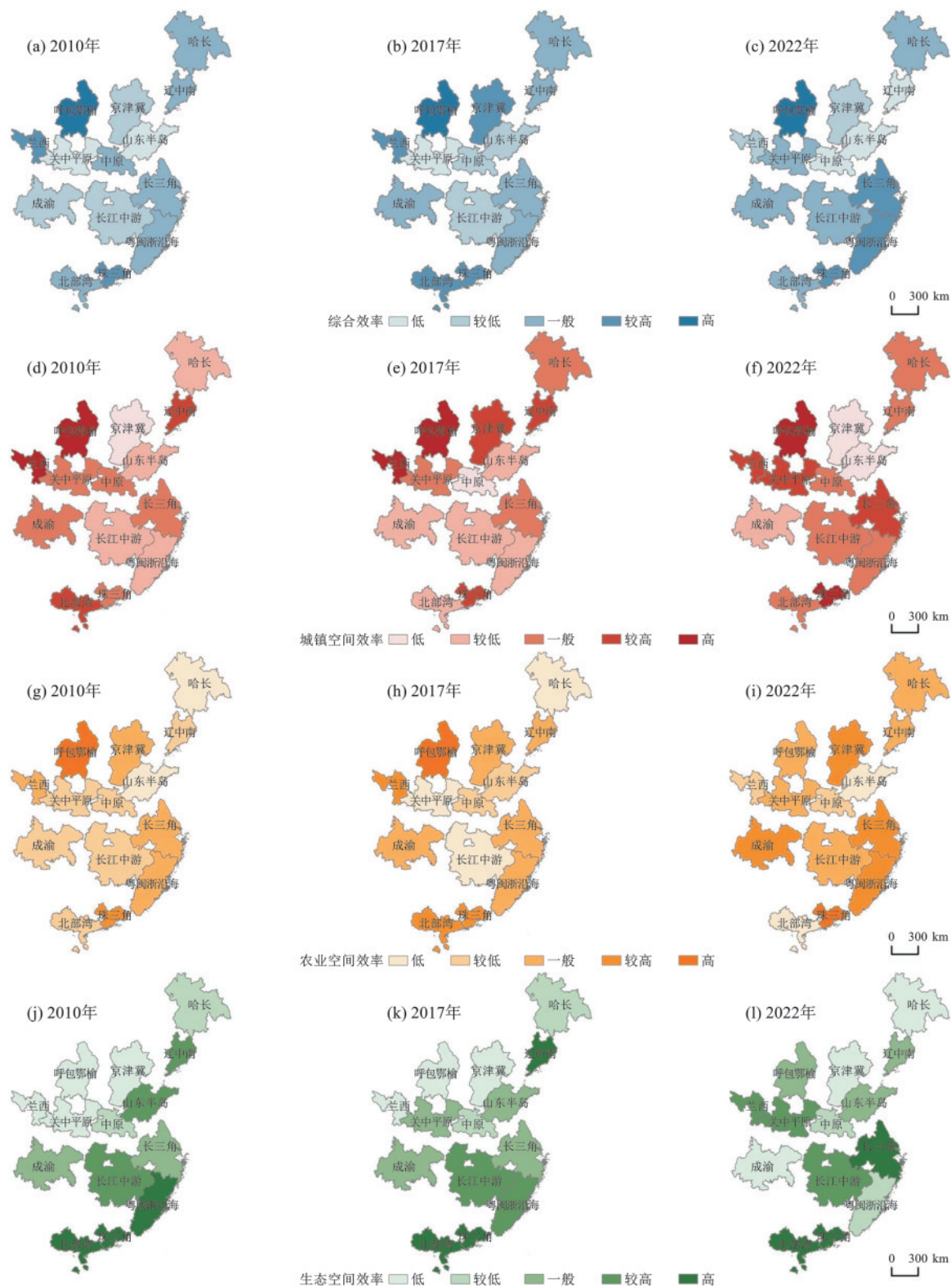


图 4 中国 14 个城市群国土空间利用效率

Fig.4 Territorial space utilization efficiency of 14 urban agglomerations in China

2.2.2 城市群组间差异 城市群组间差异反映各城市群在资源配置上的不均衡性。通过分析城市群区
间差异,可识别不同城市群间的空间效率差异,从而
为优化空间资源配置提供依据。由表 4 可知,在城市
群组间差距最大的前 10 组城市群中,呼包鄂榆城市
群位居首位,其国土空间综合利用效率高于全国大

多数城市群。该城市群具有典型的资源型经济特
征,以呼和浩特为核心,依托包头、鄂尔多斯和榆林
等城市作为区域增长极,在煤炭、稀土等资源型产
业基础上形成“点状集聚、带状延伸”的产业带动作
用。尤其是在能源优势支撑下,该区域积极推动绿色转
型,在提升经济发展质量的同时,空间利用效率也实

现稳步提升。在组间差距较小的 10 组城市群中,哈长、山东半岛和辽中南城市群的国土空间利用效率水平的分异程度较小,其组间基尼系数平均值较低,表明内部资源配置较为协调。从城市群间差距的变化趋势来看,近年来辽中南城市群与哈长、山东半岛、成渝、中原和粤闽浙沿海等城市群的差距逐渐缩小,表明辽中南城市群在资源配置方面日益高效,推动国土空间综合利用效率的稳步提升。

表 2 国土空间综合利用效率组内差异
Table 2 Intra-group differences in comprehensive territorial space utilization efficiency

年份	中原	京津冀	兰西	关中平原	北部湾	呼包鄂榆	哈长	山东半岛	成渝	珠三角	粤闽浙沿海	辽中南	长三角	长江中游
2010	0.060	0.199	0.307	0.173	0.044	0.437	0.036	0.150	0.124	0.143	0.047	0.030	0.052	0.097
2011	0.077	0.087	0.369	0.149	0.061	0.433	0.038	0.078	0.084	0.398	0.041	0.022	0.065	0.123
2012	0.101	0.257	0.289	0.162	0.070	0.460	0.032	0.018	0.028	0.273	0.049	0.026	0.040	0.156
2013	0.069	0.121	0.263	0.159	0.073	0.252	0.081	0.012	0.030	0.307	0.042	0.027	0.042	0.111
2014	0.104	0.500	0.093	0.191	0.076	0.243	0.037	0.014	0.025	0.297	0.042	0.025	0.066	0.085
2015	0.104	0.063	0.097	0.258	0.073	0.157	0.035	0.038	0.032	0.090	0.042	0.060	0.092	0.030
2016	0.107	0.173	0.113	0.260	0.082	0.189	0.097	0.029	0.040	0.153	0.041	0.046	0.048	0.179
2017	0.067	0.259	0.096	0.265	0.098	0.232	0.055	0.008	0.033	0.133	0.033	0.053	0.039	0.132
2018	0.067	0.082	0.040	0.045	0.091	0.181	0.041	0.109	0.028	0.079	0.105	0.055	0.034	0.064
2019	0.034	0.182	0.040	0.113	0.118	0.169	0.115	0.118	0.153	0.235	0.029	0.079	0.036	0.142
2020	0.047	0.047	0.073	0.050	0.097	0.141	0.056	0.025	0.033	0.073	0.088	0.067	0.091	0.129
2021	0.029	0.460	0.076	0.110	0.072	0.188	0.026	0.203	0.079	0.087	0.036	0.056	0.391	0.289
2022	0.230	0.131	0.500	0.477	0.451	0.420	0.332	0.127	0.335	0.391	0.405	0.048	0.455	0.451
平均值	0.442	0.097	0.361	0.144	0.109	0.158	0.120	0.125	0.120	0.091	0.099	0.077	0.050	0.125

表 3 城市群国土空间综合利用效率水平基尼系数及其分解
Table 3 Gini coefficients and their decomposition of comprehensive territorial space utilization efficiency level in urban agglomerations

年份	总体	组内		组间		超变密度	
		基尼系数	贡献率/%	基尼系数	贡献率/%	基尼系数	贡献率/%
2010	0.131	0.008	6.02	0.078	59.31	0.046	34.68
2011	0.146	0.009	6.13	0.097	66.69	0.040	27.18
2012	0.144	0.009	6.27	0.102	70.80	0.033	22.93
2013	0.107	0.007	6.88	0.060	55.66	0.040	37.46
2014	0.141	0.010	6.92	0.069	48.77	0.063	44.31
2015	0.084	0.006	7.66	0.040	46.81	0.038	45.53
2016	0.119	0.010	8.48	0.057	48.22	0.051	43.30
2017	0.110	0.008	7.21	0.063	57.23	0.039	35.57
2018	0.074	0.005	7.47	0.037	50.57	0.031	41.96
2019	0.112	0.008	7.33	0.055	49.16	0.049	43.51
2020	0.086	0.007	8.31	0.045	51.64	0.035	40.05
2021	0.213	0.022	10.36	0.104	49.05	0.086	40.59
2022	0.421	0.035	8.28	0.181	42.93	0.205	48.79
平均值	0.145	0.011	7.49	0.076	53.60	0.081	38.91

表 4 城市群国土空间综合利用效率组间基尼系数
Table 4 Inter-group Gini coefficients of comprehensive territorial space utilization efficiency in urban agglomerations

前 10 位	平均值	后 10 位	平均值
关中平原-呼包鄂榆	0.292	中原-长三角	0.010
兰西-呼包鄂榆	0.286	哈长-辽中南	0.048
京津冀-呼包鄂榆	0.281	山东半岛-辽中南	0.053
呼包鄂榆-珠三角	0.278	中原-辽中南	0.053
呼包鄂榆-山东半岛	0.265	成渝-辽中南	0.056
呼包鄂榆-哈长	0.221	中原-山东半岛	0.058
北部湾-呼包鄂榆	0.220	粤闽浙-辽中南	0.059
呼包鄂榆-辽中南	0.214	中原-哈长	0.060
呼包鄂榆-长江中游	0.210	哈长-成渝	0.061
京津冀-珠三角	0.207	哈长-山东半岛	0.062

2.3 城市群国土空间综合利用效率的空间分布动态演进
2.3.1 核密度估计 中国城市群国土空间综合利用效率发展水平、分布演化、延展性及极化趋势的三维动态 Kernal 核密度分布见图 5。

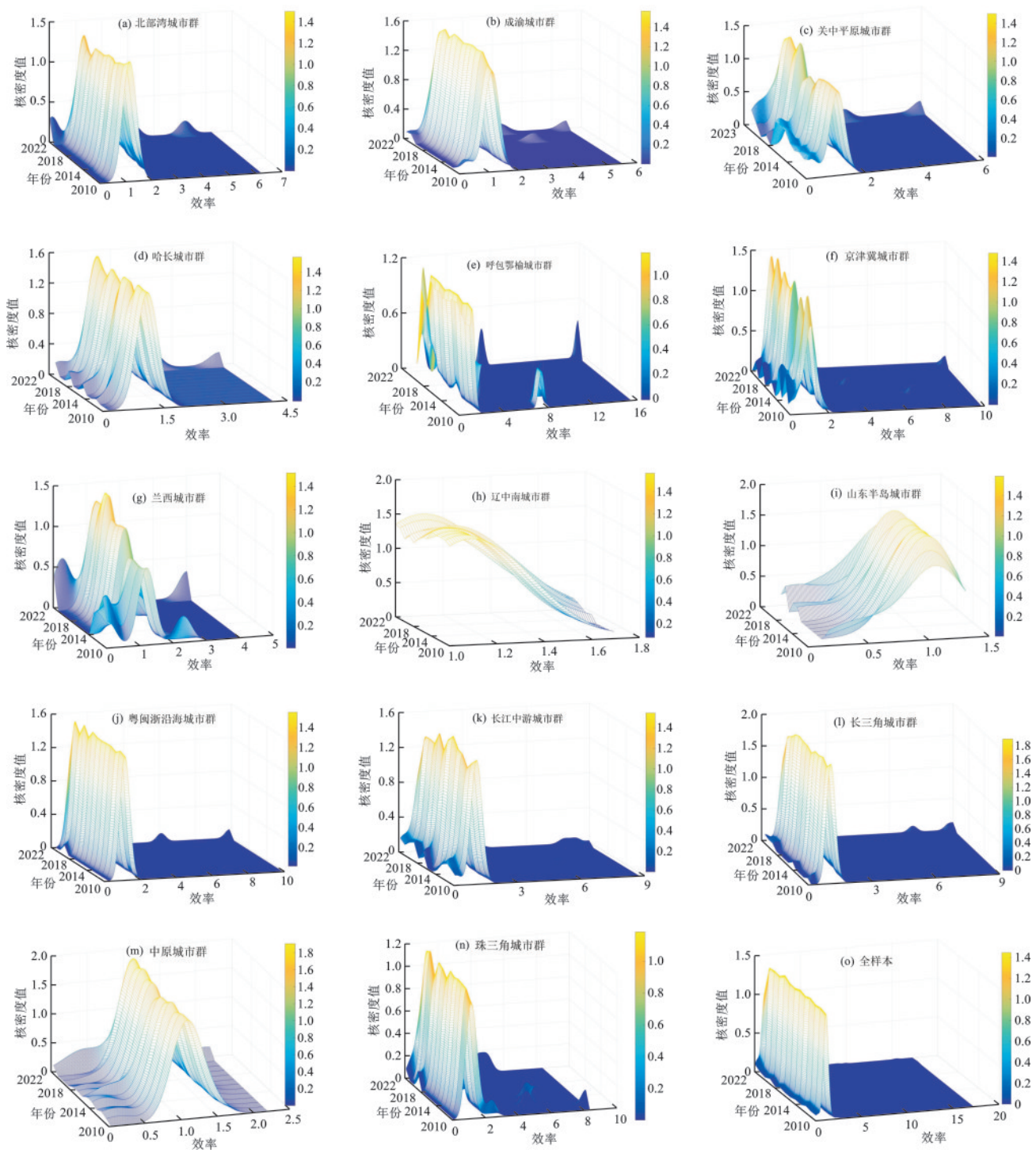


图5 全样本及14个城市群国土空间综合利用效率三维核密度图

Fig.5 Three-dimensional kernel density plots of comprehensive territorial space utilization efficiency for the full sample and 14 urban agglomerations

从位置分布来看,国土空间综合利用效率有先向左移动后向右移动的趋势,但整体变化不大,基本保持稳定。而呼包鄂榆和珠三角城市群多峰形态明显,并且波峰的跨度逐渐拉大。呼包鄂榆城市群作为北方重要的能源化工基地和生态屏障区。城市群内能源矿产高度富集但分布不均,且产业分化特点突出。鄂尔多斯、榆林以能源经济为主导,形成高附

加值产业;包头依托稀土发展重工业与新材料;呼和浩特则向服务业转型。从而导致呼包鄂榆和珠三角城市群国土空间综合利用效率水平出现多极化趋势,城市间的发展差距日益扩大,开始出现多层级分化的趋势,城市间“马太效应”变得显著。从主峰分布形态来看,关中平原城市群和山东半岛城市群的主峰宽度变宽,意味着2个城市群内部的国土空间综

合利用效率水平的离散程度呈上升趋势;北部湾、成渝、哈长、京津冀、兰西、粤闽浙沿海、长江中游、长三角和中原城市群主峰高度上升且宽度变小,说明这些城市群内各城市国土空间综合利用效率水平的差异正在缩小;辽中南和呼包鄂榆城市群没有明显的波峰,表明没有明显的密度集中区域,城市群内部各城市间的国土空间利用效率水平存在明显的差异。从分布形态来看,呼包鄂榆、京津冀、兰西、辽中南和珠三角城市群的核密度曲线具有明显的右拖尾特征,说明这几个地区国土空间综合利用效率水平差异较大,在城市群内部存在个别城市远超其他城市的现象。其他城市群的核密度曲线则不存在拖尾特征,说明国土空间综合利用效率发展水平较为均衡。

2.3.2 Markov 链分析 采用四分位法将国土空间利用效率划分为低水平(Ⅰ)、中低水平(Ⅱ)、中高水平(Ⅲ)和高水平(Ⅳ)4类,继而计算出马尔可夫转移概率矩阵,以洞悉城市群国土空间发展利用效率的时空动态演变特征。从表 5 可以看出,传统 Markov 矩阵对角线上转移概率大于非对角线上转移概率,对角线上转移概率平均值为 0.585。具体来说,低水平和高水平发生趋同概率较大,分别为 65.63% 和 72.27%,中低水平和高水平发生趋同概率相对较小,分别为 45.65% 和 50.43%。表明国土空间利用效率水平处于低水平和高水平状态的城市群保持原有状态概率较大,存在明显的路径依赖,而中低利用效率和中高利用效率梯度的城市群“路径突破”概率增大。国土空间利用效率发展状态转移主要集中在“Ⅰ-Ⅱ”“Ⅱ-Ⅲ”和“Ⅲ-Ⅳ”,转移概率分别为 25.69%、22.41%、22.01%。因此,对于国土空间综合利用效率水平处于低水平和中低水平的城市群,需要精准施策,推动人、地、业等资源要素互补流动等实现要素整合治理,为其向高水平跃迁赋能。

表 5 传统 Markov 转移概率矩阵					
Table 5 Traditional Markov transition probability matrix					
等级	频数	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Ⅰ	526	0.656	0.257	0.057	0.030
Ⅱ	534	0.269	0.457	0.224	0.050
Ⅲ	512	0.054	0.222	0.504	0.220
Ⅳ	529	0.026	0.045	0.207	0.723

由于传统马尔可夫链未能考虑区域间的空间相互作用。因此,本研究基于地理权重,借助空间马尔可夫链的方法探究空间因素对于各城市群国土空间综合利用效率的影响。由表 6 可知,受相邻城市群国土空间利用效率水平的影响,空间 Markov 概率转移

矩阵比传统 Markov 概率转移矩阵发生较为显著变化。国土空间综合利用效率水平表现出较强的“空间溢出”效应。即与水平较低的城市群相邻,该城市群所处状态向下转移概率增大;与高水平的城市群相邻,该城市群所处状态向上转移概率增大。随着相邻城市群国土空间综合利用效率水平的提升,中高水平城市群向上转移的概率整体呈先下降后上升趋势,分别为 24.64%、19.77%、17.36% 和 32.09%;中低水平城市群向下转移的概率呈波动下降趋势,分别为 33.93%、35.62%、25.07% 和 23.77%。不同邻域类型对国土空间综合利用效率的影响有所差异。与高利用效率的城市群为邻时,被观测类型的空间滞后产生的正向效应大于与低利用效率的城市群为邻的空间滞后产生的负向效应。也就是说,各城市群国土空间综合利用效率水平状态转移更易受到高水平邻域的正向带动作用。当中低水平城市群的邻域城市群为低水平时,其向下转移概率为 24.64%,而当其邻域城市群为中高水平和高水平时,其向上转移概率为 4.03% 和 11.48%。因此,应积极发挥高水平城市群的溢出效应,通过高水平城市群的辐射能力带动周围城市群国土空间利用效率水平提升。

3 讨论

国土空间是以自然地理环境为基底,通过物质循环、能量流动和信息传递,形成山、水、林、田、湖、草、海、居等多尺度嵌套的人地耦合系统^[44]。国土空间的发展变化受自然力量、经济社会力量、人群多元价值选择等共同影响。因此,在综合考量社会经济发展水平的基础上,从城镇空间、农业空间与生态空间协同优化的视角出发,多维度提升国土空间开发利用的适宜性,对于推动城市均衡的地域开发、促进空间秩序协调与实现区域高质量发展具有重要意义。选取中国 14 个城市群为研究对象,构建多维度的评价指标体系,对 2010—2022 年国土空间利用效率的动态演变特征进行测度与分析。重点回答在新型城镇化与区域协调发展的背景下,如何在有限的国土空间内实现高效配置与可持续利用。

从中国城市群国土空间综合利用效率水平来看,整体处于中等偏低水平,且平均值呈波动下降态势,而各个空间效率存在明显差异,呈现城镇>生态>农业的时序格局。该现象说明不同空间系统间协调不足、结构性低效。城镇空间效率的持续提升主要得益于人口与产业的高度集聚、交通基础设施完善及经济规模效应的显现。而农业空间效率受制于耕地质量差异、规模经营偏小、土地利用碎片化及要素替

代能力不足,其提升速度相对滞后。生态空间效率在严格保护约束下呈先上升-后下降-再上升的波动趋势,反映了生态文明建设的阶段性推进成效及空间保护与开发之间的动态平衡。反映出中国城市群在国土空间利用优化过程中仍面临多系统功能协同不足、空间结构非最优的问题;从城市群国土空间综合利用效率的区域差异来看,组间差异是总体差异的主要来源,说明城市群在资源禀赋、主体功能定位及发展模式上的差异是效率分化的重要驱动力。尤其是呼包鄂榆城市群内部效率差异显著,资源型城市比例高、产业结构路径依赖明显;而其与关中平原城市群间的效率差距最大,表明不同发展模式和空间布局策略对国土空间效率产生长期影响。此外,部分东部沿海城市群效率水平较高,或可归因于区域一体化发展、产业集聚及要素高效配置对空间利用效率的积极作用;从城市群国土空间综合利用效率的空间分布动态演进来看,具有显著的空间溢出效应与路径依赖性。高效率城市群通过产业分工深化、要素外溢及治理经验扩散等方式,对周边区域形成持续正向带动作用;低效率城市群受制于既有产业结构及开发模式限制,短期内跃迁难度较大。而中等效率梯度城市群更容易借助邻近高效率区域的溢出效应实现效率水平的“路径突破”。表明城市群国土空间利用效率的提升不仅是单个城市群内部优化的结果,更依赖于区域间协同发展与空间联动机制。

表 6 空间马尔科夫转移矩阵
Table 6 Spatial Markov transition matrix

滞后类型	$t/t+1$	n	I	II	III	IV
I	I	122	0.738	0.213	0.025	0.025
	II	56	0.339	0.393	0.232	0.036
	III	69	0.015	0.232	0.507	0.246
	IV	64	0.031	0.063	0.266	0.641
II	I	98	0.674	0.255	0.061	0.010
	II	73	0.356	0.425	0.213	0
	III	86	0.035	0.233	0.535	0.198
	IV	65	0.015	0.046	0.169	0.769
III	I	252	0.635	0.266	0.068	0.032
	II	347	0.251	0.481	0.228	0.040
	III	288	0.063	0.247	0.517	0.174
	IV	266	0.034	0.049	0.211	0.707
IV	I	104	0.596	0.289	0.067	0.048
	II	122	0.238	0.434	0.213	0.115
	III	134	0.067	0.157	0.455	0.321
	IV	146	0.014	0.027	0.192	0.767

基于以上分析,城市群国土空间优化的政策建议主要为:1)在国土空间开发利用过程中应以生态文明为理念,统筹考虑城镇、农业与生态空间的功能提升与结构优化。其中,城镇空间应注重产业合理布局与功能集约化发展,提升土地利用效率,优化人口与产业聚集格局,强化基础设施与公共服务的均衡配置,推动绿色低碳城市建设与智慧城市发展,实现经济发展、资源节约与生态环境保护的协调统一。农业空间方面,应加强农业生产污染物回收与治理,改变传统生产方式,鼓励发展生态、绿色的现代农业。生态空间则应严格保护和修复自然生态功能区,完善生态红线制度,维护生物多样性和生态系统服务能力,实现可持续发展目标。2)提升城市群国土空间利用效率,应坚持差异化引导与系统性统筹相结合,根据不同城市群的发展阶段、资源禀赋和功能定位,实施有针对性的空间优化策略。对于集聚能力突出的城市群,应继续发挥其空间集聚和规模经济优势,通过提升要素配置效率与空间治理能力,进一步巩固其在区域发展格局中的引领作用。同时,应推动区域内外联动的互助发展模式,打破城市群内部及城市群之间资源配置与要素流通的制度性约束,集聚更多优质资源,推动优势城市群培育成为区域协调发展的新增长极。通过强化高水平城市群的辐射带动功能,引导其正向空间溢出效应向中低效率城市群扩散,促进整体国土空间利用效率的协同提升。3)推动跨城市群的资源与要素流动,建立区域联动机制,充分发挥高效率城市群的溢出效应,从而带动中低效率城市群国土空间利用效率的提升。目前,中国城市群之间存在明显的发展不均衡现象,高水平城市群在经济、产业及资源配置方面具备显著优势,应积极发挥其辐射和带动作用。通过构建东部沿海城市群与中西部城市群的“帮扶机制”,可最大化发挥东部成熟城市群的正向空间溢出效应,促进中西部地区产业升级、资源优化配置和空间利用效率提升,实现区域协调发展与国土空间优化布局的双重目标。

4 结 论

1)中国城市群国土空间综合利用效率平均值变化较为平缓且波动下降,表明距离实现国土空间优化提升目标仍有较大差距。从城镇空间、农业空间、生态空间 3 个系统来看,区域整体呈现出城镇空间利用效率>生态空间利用效率>农业空间利用效率的时序格局。中国城市群城镇空间和农业空间利用效率平均值变化呈波动上升趋势,而生态空间利用效率平均值呈先上升后下降再上升的变化趋势,体现

出生态文明建设进程持续性的成效。

2)区域差异主要来自城市群间的区际差异。城市群空间效率差异总体呈缩小趋势,但不同城市群内部演化路径存在明显分化。其中,呼包鄂榆城市群内部差异最为显著,且与关中平原城市群间的效率差异最大,说明资源禀赋、功能定位与发展模式的差异是驱动城市群效率分化的重要因素。

3)国土空间利用效率存在显著的空间溢出效应,并呈正向带动的方向性。空间马尔科夫转移分析表明,处于高水平或低水平的城市群具有较强的路径依赖性,而处于中等梯度的城市群具有较高的“路径突破”概率。同时,城市群间空间效率状态更容易受到邻近高效率区域的正向溢出影响,验证了国土空间利用在区域尺度上的空间联动性特征。

参考文献:

- [1] Fang Chuanglin, Yu Danlin. Urban agglomeration: An evolving concept of an emerging phenomenon[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 162: 126-136.
- [2] He Li, Shen Jing, Zhang Yang. Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 206: 1115-1125.
- [3] Sun Xiao, Crittenden J C, Li Feng, et al. Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 622/623: 974-987.
- [4] Song Xiaopeng, Hansen M C, Stehman S V, et al. Global land change from 1982 to 2016[J]. *Nature*, 2018, 560(7720): 639-643.
- [5] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗[N]. *人民日报*, 2022-10-26(1).
Xi Jinping. Hold high the great banner of socialism with Chinese characteristics and strive in unity to build a modern socialist country in all respects [N]. *People's Daily*, 2022-10-26(1).
- [6] 白中科,周伟,王金满,等. 试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(2): 1-11.
Bai Zhongke, Zhou Wei, Wang Jinman, et al. Overall protection, systematic restoration and comprehensive management of land space[J]. *China Land Science*, 2019, 33(2): 1-11.
- [7] 贾恪,于艳华,晨光,等. 基于“三生”功能的呼包鄂乌一体化发展区国土空间格局优化策略研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(12): 169-178.
Jia Ke, Yu Yanhua, Chen Guang, et al. Optimization of territorial spatial pattern in the Hohhot-Baotou-Ordos-Wulanchabu integrated development area based on the "production-living-ecology" functions [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(12): 169-178.
- [8] 席广亮,甄峰,方创琳,等. 形流融合视角的都市圈国土空间优化与协调发展[J]. *地理学报*, 2025, 80(2): 272-287.
Xi Guangliang, Zhen Feng, Fang Chuanglin, et al. Territorial spatial optimization and coordinated development of metropolitan regions from the perspective of "form-flow integration" [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2025, 80(2): 272-287.
- [9] 魏建飞,袁悠燃,李强,等. 黄河流域国土空间效率时空变化及障碍因子分析[J]. *干旱区地理*, 2025, 48(6): 1055-1066.
Wei Jianfei, Yuan Youran, Li Qiang, et al. Spatio-temporal variation and obstacle factors of territorial spatial efficiency in the Yellow River basin [J]. *Arid Land Geography*, 2025, 48(6): 1055-1066.
- [10] 司润磊,胡业翠,李军,等. 城市群国土空间利用综合效率及整治路径[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(3): 174-180.
Si Runlei, Hu Yecui, Li Jun, et al. Comprehensive utilization efficiency and regulation path of land and space of urban agglomeration [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(3): 174-180.
- [11] Li Jun, Zhu Yan, Liu Juqing, et al. Parcel-level evaluation of urban land use efficiency based on multisource spatiotemporal data: A case study of Ningbo City, China [J]. *Transactions in GIS*, 2021, 25(6): 2766-2790.
- [12] Ferreira M D P, Féres J G. Farm size and Land use efficiency in the Brazilian Amazon [J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: e104901.
- [13] Meng Yuan, Zhang Fengrong, An Pingli, et al. Industrial land-use efficiency and planning in Shunyi, Beijing [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 85(1): 40-48.
- [14] Gong Wenchao. A study on the effects of natural resource abundance and foreign direct investment on regional eco-efficiency in China under the target of COP26 [J]. *Resources Policy*, 2023, 82: e103529.
- [15] Xie Hualin, Chen Qianru, Lu Fucui, et al. Spatial-temporal disparities, saving potential and influential factors of industrial land use efficiency: A case study in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Land Use Policy*, 2018, 75: 518-529.
- [16] 魏建飞,高威,李强,等. 长江经济带国土空间效率差异演进及驱动机理研究[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(5): 101-112.
Wei Jianfei, Gao Wei, Li Qiang, et al. Analysis on spatial differences and driving mechanisms of territorial space efficiency in the Yangtze River economic belt [J]. *China Land Science*, 2023, 37(5): 101-112.
- [17] Xie Baopeng, Wang Quanxi, Huang Beiyang, et al. Coordinated state analysis and differential regulation of territorial spatial functions in underdeveloped regions: A case study of Gansu Province, China [J]. *Sustainability*,

- 2022,14(2):e950.
- [18] Chen Han, Meng Chunyu, Cao Qilin. Measurement and influencing factors of low carbon urban land use efficiency: Based on non-radial directional distance function [J]. Land, 2022, 11(7): e1052.
- [19] 魏建飞, 刘玖榕, 李强, 等. 河南省县域国土空间效率格局演变及关联网络特征[J]. 地域研究与开发, 2025, 44(1): 54-61.
- Wei Jianfei, Liu Jiurong, Li Qiang, et al. Spatial evolution and correlation network of territory spatial efficiency in counties of Henan Province [J]. Areal Research and Development, 2025, 44(1): 54-61.
- [20] 马明, 毛理虎, 李久林, 等. 长三角地区城市土地绿色利用效率与高质量发展互动协调效应[J]. 水土保持学报, 2025, 39(5): 276-289.
- Ma Ming, Mao Lihu, Li Jiulin, et al. Exploring interactive coordination effect between urban green land use efficiency and high-quality development in Yangtze River Delta Region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(5): 276-289.
- [21] Li Sinan, Zhao Xiaoqing, Pu Junwei, et al. Optimize and control territorial spatial functional areas to improve the ecological stability and total environment in karst areas of Southwest China [J]. Land Use Policy, 2021, 100: e104940.
- [22] 李秀霞, 徐龙, 江恩赐. 基于系统动力学的土地利用结构多目标优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 247-254.
- Li Xiuxia, Xu Long, Jiang Enci. Multi-objective optimization of land use structure in western Jilin Province based on system dynamics [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(16): 247-254.
- [23] Zhao Xiaoqing, Li Sinan, Pu Junwei, et al. Optimization of the national land space based on the coordination of urban-agricultural-ecological functions in the karst areas of southwest China [J]. Sustainability, 2019, 11(23): e6752.
- [24] 张帅, 宋成镇, 王成新. 财政分权对黄河流域城市土地利用效率的驱动效应[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(10): 22-30.
- Zhang Shuai, Song Chengzhen, Wang Chengxin. Driving effect of fiscal decentralization on spatial transfer characteristics of urban land use efficiency in the Yellow River basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024, 38(10): 22-30.
- [25] 王德起, 庞晓庆. 京津冀城市群绿色土地利用效率研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 68-76.
- Wang Deqi, Pang Xiaoqing. Research on green land-use efficiency of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. China Population Resources and Environment, 2019, 29(4): 68-76.
- [26] 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 Wenying, Chen Zeyu, Sun Jiafeng, 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.
- [27] 肖卫东, 施国庆, 朱虎啸, 等. 三区空间视角下江苏省国土空间利用生态效率时空分异及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(12): 2591-2604.
- Xiao Weidong, Shi Guoqing, Zhu Huxiao, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of territory use eco-efficiency in Jiangsu Province from the perspective of three-zone space [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(12): 2591-2604.
- [28] 卢新海, 陶向前, 匡兵, 等. 环保考核、政府环境注意力与城市土地绿色利用效率[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 104-112.
- Lu Xinhai, Tao Xiangqian, Kuang Bing, et al. Environmental assessment, environmental attention of government and green utilization efficiency of urban land [J]. China Land Science, 2023, 37(8): 104-112.
- [29] 薄立明, 尹力, 魏伟, 等. 主体功能区视角下山东省国土空间格局演变及驱动因素分析[J]. 地理与地理信息科学, 2024, 40(1): 37-46.
- Bo Liming, Yin Li, Wei Wei, et al. Evolution characteristics and influencing factors of territorial spatial pattern in Shandong from the perspective of major function oriented zoning [J]. Geography and Geo-Information Science, 2024, 40(1): 37-46.
- [30] Ma Lindong, Xu Weixiang, Zhang Wenyu, et al. Effect and mechanism of environmental regulation improving the urban land use eco-efficiency: Evidence from China [J]. Ecological Indicators, 2024, 159: e111602.
- [31] 陈美景, 王庆日, 白中科, 等. 基于双碳目标的黄河流域资源型城市国土空间利用效率时空特征及影响因素[J]. 中国土地科学, 2024, 38(4): 101-112.
- Chen Meijing, Wang Qingri, Bai Zhongke, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of territorial space use efficiency of resource-based cities in the Yellow River basin based on the dual carbon targets [J]. China Land Science, 2024, 38(4): 101-112.
- [32] 顾荣华, 朱玉林. 区域土地利用对国土空间生态优化的影响机理及实证研究: 以江苏省为例[J]. 经济地理, 2021, 41(11): 201-208.
- Gu Ronghua, Zhu Yulin. Impact mechanism of regional land use on the ecological optimization: A case study of Jiangsu Province [J]. Economic Geography, 2021, 41(11): 201-208.
- [33] 李彤辉, 韩素波, 李强, 等. 京津冀县域景观格局演进对国土空间生态效率的影响研究[J]. 地理与地理信息科学, 2025, 41(4): 35-43.
- Li Tonghui, Han Subo, Li Qiang, et al. Impact of county-level landscape pattern evolution on ecological efficiency of land space in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Geography and Geo-Information Science, 2025, 41(4): 35-43.

- [34] Zheng Huazhu, Wu Yongjiao, He Hongming, et al. Urban land use eco-efficiency and improvement in the western region of China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 412: e137385.
- [35] 刘晶晶, 宋冰洁, 苏峥, 等. 顾及生态系统服务的黄河流域国土空间利用效率评估与影响因素[J]. *农业工程学报*, 2025, 41(5): 268-279.
- Liu Jingjing, Song Bingjie, Su Zheng, et al. Evaluation and influencing factors of territorial space utilization efficiency considering ecosystem services in the Yellow River basin [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(5): 268-279.
- [36] 方创琳. 新发展格局下的中国城市群与都市圈建设[J]. *经济地理*, 2021, 41(4): 1-7.
- Fang Chuanglin. China's urban agglomeration and metropolitan area construction under the new development pattern [J]. *Economic Geography*, 2021, 41(4): 1-7.
- [37] 张伟丽, 王伊斌, 魏瑞博. 城市群内城市高质量发展趋同俱乐部时空演进及机理[J]. *地理学报*, 2023, 78(12): 3109-3128.
- Zhang Weili, Wang Yibin, Wei Ruibo. Spatiotemporal evolution and mechanism about high-quality development convergence clubs of cities within urban agglomerations [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(12): 3109-3128.
- [38] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- National bureau of statistics. China urban statistics year-book [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023.
- [39] 国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- National bureau of statistics. China energy statistics year-book [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023.
- [40] Lian Xin. Review on advanced practice of provincial spatial planning: Case of a western, less developed province [J]. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 2018, 6(3): 185-202.
- [41] 耿艺伟, 李效顺, 陈姜全, 等. 中国国土空间韧性及效率的耦合关系及跃迁机制[J]. *生态学报*, 2024, 44(14): 6003-6019.
- Geng Yiwei, Li Xiaoshun, Chen Jiangquan, et al. Coupling relationship and transition mechanism between resilience and efficiency in China's territorial space [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(14): 6003-6019.
- [42] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [43] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio [J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515-531.
- [44] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统[J]. *经济地理*, 1991, 11(3): 1-6.
- Wu Chuanjun. The core of study of geography: Man-land relationship areal system [J]. *Economic Geography*, 1991, 11(3): 1-6.
- 上接第275页
- [24] 张晓瑞, 郭龙坤, 王振波. 基于InVEST-PLUS耦合模型的合肥市生境质量评价及模拟预测[J]. *环境科学*, 2025, 46(6): 3772-3783.
- Zhang Xiaorui, Guo Longkun, Wang Zhenbo. Habitat quality evaluation and simulation prediction in Hefei City based on InVEST-PLUS coupled modeling [J]. *Environmental Science*, 2025, 46(6): 3772-3783.
- [25] Tang Feng, Fu Meichen, Wang Li, et al. Land-use change in Changli County, China: Predicting its spatio-temporal evolution in habitat quality [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 117: e106719.
- [26] 杨思远. 武冈市景观格局演变与生境质量关联研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2025.
- Yang Siyuan. Relationship between landscape pattern evolution and habitat quality in Wugang City [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2025.
- [27] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [28] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生境质量时空演变及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 12-22.
- Yang Jie, Xie Baopeng, Zhang Degang. Spatial-temporal evolution of habitat quality and its influencing factors in the Yellow River Basin based on InVEST model and GeoDetector [J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(4): 12-22.
- [29] 余慧婕, 张方敏, 马赫, 等. 基于遥感生态指数的淮河流域生态环境质量时空演化及其驱动因素分析[J]. *环境科学*, 2024, 45(7): 4112-4121.
- Yu Huijie, Zhang Fangmin, Ma He, et al. Spatio-temporal evolution and driving factors of ecological environment quality in the Huaihe River basin based on RSEI [J]. *Environmental Science*, 2024, 45(7): 4112-4121.
- [30] 朱啟莲, 方发永, 余万洋, 等. 基于InVEST模型的乌江流域生境质量时空演变及其驱动因素分析[J]. *水土保持学报*, 2025, 39(3): 371-380.
- Zhu Qilian, Fang Fayong, Yu Wanyang, et al. Analysis of spatio-temporal evolution of habitat quality and its driving factors in the Wujiang River basin based on the InVEST model [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2025, 39(3): 371-380.