

黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设耦合协调性

栾贻锦^{1,2}, 王艳慧^{1,2}, 孙玥^{1,2}, 彭春花^{1,2}, 吕卓玥^{1,2}

(1. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048;

2. 首都师范大学 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048)

摘要: [目的] 揭示土地集约利用与生态文明建设之间的耦合协调发展水平, 为推动黄河流域城市的可持续发展和相关政策的制定与实施提供科学决策依据。[方法] 以黄河流域 57 个城市为研究区, 以 2011—2021 年为研究区间, 分别构建土地集约利用与生态文明建设综合评价模型, 并利用相对发展度模型、耦合协调度模型、核密度估计和空间自相关模型, 分析城市尺度上土地集约利用与生态文明建设的耦合发展状况以及时空演变态势。[结果] ① 2011—2021 年, 黄河流域城市土地集约利用和生态文明建设综合水平呈上升趋势, 但不同地区间差异较大, 土地集约利用整体水平仍然较低。② 除个别经济发达的省会城市, 绝大多数城市土地集约利用水平滞后于生态文明建设, 仅有济南市和太原市在 2021 年达到了同步发展状态。③ 黄河流域土地集约利用和生态文明建设水平的耦合协调度总体呈上升趋势, 大多数城市由失调逐步转为协调状态, 并呈现为东高西低以及明显的空间集聚特征。[结论] 黄河流域城市应通过加强区域联动、差异化土地利用战略和核心城市辐射带动, 提升土地集约利用与生态文明的耦合协调水平, 以推动流域经济高质量发展。

关键词: 土地集约利用; 生态文明建设; 耦合协调性; 时空演变; 黄河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)04-0347-13

中图分类号: F301.24

文献参数: 栾贻锦, 王艳慧, 孙玥, 等. 黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设的耦合协调性[J]. 水土保持通报, 2025, 45(4): 347-359. Luan Yijin, Wang Yanhui, Sun Yue, et al. Coupling and coordination of intensive land use and ecological civilization construction at cities in Yellow River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(4): 347-359. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.04.021; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.04.021.

Coupling and coordination of intensive land use and ecological civilization construction at cities in Yellow River basin

Luan Yijin^{1,2}, Wang Yanhui^{1,2}, Sun Yue^{1,2}, Peng Chunhua^{1,2}, Lü Zhuoyue^{1,2}

(1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. Key Laboratory of 3 D Information Acquisition and Application, MOE, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: [Objective] The level of coupled and coordinated development between intensive land use and ecological civilization construction were explored, in order to provide a scientific foundation for promoting sustainable urban development of cities in the Yellow River basin and guiding the formulation and implementation of relevant policies. [Methods] Fifty-seven cities in the Yellow River basin were selected as the study area and using data from 2011 to 2021. A comprehensive evaluation model was constructed to assess both intensive land use and ecological civilization construction. The coupled development of intensive land use and ecological civilization construction at the urban scale was analyzed using several methods, including the relative development degree model, coupled coordination degree model, kernel density estimation, spatial autocorrelation analysis, and spatiotemporal evolution dynamics. [Results] First, the overall level of urban land intensive use and ecological

收稿日期: 2025-02-14

修回日期: 2025-04-23

采用日期: 2025-04-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“社会生态韧性视角下的农村多尺度动态贫困测度及模拟”(42171224)。

第一作者: 栾贻锦(1999—), 女(汉族), 山东省济南市人, 硕士研究生, 主要研究方向为地理信息系统方法与应用。E-mail: 2230902137@cnu.edu.cn。

通信作者: 王艳慧(1977—), 女(汉族), 河南省驻马店市人, 教授, 主要研究方向为时空大数据建模方法与应用。E-mail: huiwangyan@sohu.com。

civilization construction in the Yellow River basin increased steadily from 2011 to 2021. However, there were significant regional disparities, and the overall intensive land use was still low. Second, except for some economically developed provincial capitals, the level of land-intensive utilization in most cities lagged behind that of ecological civilization construction. Only Jinan City and Taiyuan City achieved a state of synchronous development by 2021. The degree of coupling and coordination between intensive land use and ecological civilization construction in the Yellow River basin has generally increased, with most cities gradually shifting from a dysfunctional to a more coordinated state. This pattern is characterized by higher coordination levels in the eastern regions and lower levels in the western regions, along with notable spatial agglomeration effects. [Conclusion] To promote high-quality economic development across the Yellow River basin, cities should enhance the coordination between intensive land use and ecological civilization construction through strengthened regional linkages, tailored land use strategies, and the radiating influence of core cities.

Keywords: land intensive use; ecological civilization construction; coupling coordination; spatial and temporal evolution; Yellow River basin

高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务,推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节。建设生态文明、推动绿色低碳循环发展,不仅可以满足人民日益增长的优美生态环境需要,而且可以推动实现更高质量、更有效率、更加公平、更可持续、更为安全的发展。土地是承载区域经济发展的重要场所,但随着工业化和城镇化水平的快速推进,大量耕地被占用,土地无序扩张和粗放利用的例子屡见不鲜,导致了土地资源的浪费。重生产,轻建设,轻生态的传统发展观对区域生态环境格局产生了显著影响,人地矛盾突出^[1]。在当前的发展背景下,缓解城市化和工业化进程中人地矛盾,实现城市土地资源高效利用与生态环境保护的协同增效,是未来的紧迫任务^[2]。因此,深入探讨高质量发展进程中土地集约利用与生态文明建设的耦合关系,揭示两者耦合机理和协调发展水平,对实现区域可持续发展具有很强的现实意义。

土地集约利用是指在有限的土地资源条件下,通过提高土地的利用效率和产出率,以较少的土地面积获得更多的产出或效益,是促进土地利用效率和产出效益共同提升的动态过程^[3]。生态文明建设是指在人类社会经济发展过程中,坚持人与自然和谐共生的原则,通过合理利用和保护自然资源与环境,实现经济、社会 and 环境的可持续发展,二者相互影响。土地的集约高效利用为城市发展带来更大的经济效益,促进生态文明建设,在生态文明建设水平较高的城市,会吸引更多人力、资本集聚,有利于土地实现集约化^[4]。因此,土地集约利用与生态文明建设协调发展能促进中国新型城镇化发展,增强城市可持续发展潜力、建设资源节约型环境友好型社会。

目前,多数学者对土地集约利用与和生态文明建设相关内容展开了较为广泛的研究。现有研究主

要集中在二者的效益评价、耦合协调研究等方面。研究对象主要涵盖了全国、省级、市级、城市群等^[5-8]不同层面。在耦合协调研究方面,耦合协调度模型被广泛用作评估多个系统平衡发展的指标^[9],它通过耦合度来解释各个子系统之间的相互依赖关系,采用协调度来全面评估和研究整个系统。然而,现有研究主要聚焦于土地集约利用与其他系统,如城市化^[10]、经济发展^[11]、产业结构和协同集聚^[12]或生态文明建设与其他系统,如绿色发展^[13]、旅游业^[14]、经济发展等^[15]之间的耦合协调关系。也有许多研究侧重于生态环境或土地利用效率的某一具体方面的耦合。例如,粮食、经济与生态协调下的土地利用效率^[16],或城市化、能源与生态效率的耦合关系^[17]。总体来看,针对土地集约利用和生态文明建设整体耦合协调的系统性研究仍然较少。此外,大多数研究集中在省级或市级尺度,以及经济发展较为均衡的区域,而对于跨市域和流域尺度、生态环境脆弱且经济发展不平衡的大范围区域的耦合协调研究仍有待进一步深化。黄河流域范围广阔,自然禀赋、气候特征和土地利用开发模式均存在显著的空间差异,区域发展极不平衡,经济发展水平也存在明显差距。作为中国重要的生态安全屏障,同时也是人口活动和经济发展的重要区域,高强度的经济开发活动和土地粗放利用给黄河流域生态环境保护带来了胁迫^[18]。黄河流域生态保护和高质量发展已经上升为国家战略,实现流域可持续发展必须深入研究各区域的土地利用效率及其与生态文明建设的互动关系,探索因地制宜的协调发展路径。鉴于此,本文以黄河流域为研究区,系统挖掘区域内2011—2021年不同城市的土地集约利用和生态文明建设的耦合关系,为各城市高质量可持续协调发展和相关政策的制定与实施提供科学决策依据。

1 研究区概况

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓,呈“几”字形流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南和山东9省区,于山东省东营市注入渤海(图1)。黄河流域面积 $7.95 \times 10^5 \text{ km}^2$,2021年,黄河流域9省区年末总人口为 4.21×10^8 人,占全国人口的30%,地区生产总值为 2.87×10^{13} 元,占全国生产总值的25.08%。黄河流域是中华文明的重要发祥地之一。流域内农业发达,是中国重要的粮食生产基地,同时,黄河流域也是中国重要的能源和重工业基地,拥有丰富的煤炭、石油和天然气资源^[19]。基于数据的可获取性,暂未将流域内的州、盟等纳入研究区范围。

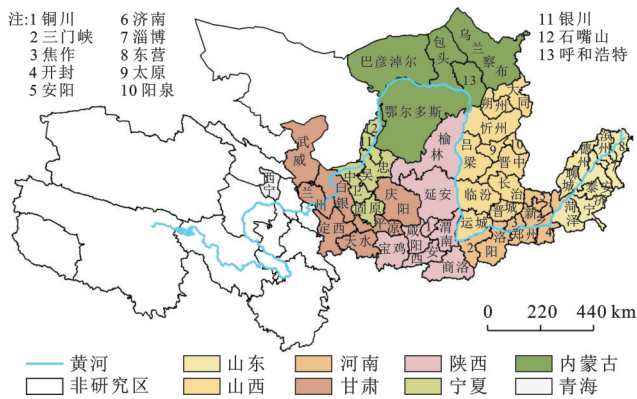


图1 黄河流域城市位置

Fig.1 Locations of cities in Yellow River basin

2 数据来源与研究方法

2.1 数据源与预处理

本研究选取2011—2021年黄河流域所涵盖的57个地级市及1个县,共计57个城市作为分析对象。所采用的社会经济统计数据主要源自《中国城市统计年鉴》及《中国城市建设统计年鉴》。部分缺失数据通过各地市发布的《国民经济和社会发展统计公报》及《统计年鉴》进行了相应的补充。对于个别缺失的数据,采用线性插值法进行补充,复合指标数据经过计算整理而得。用于绘制各类图件的行政区划边界矢量数据来源于国家基础地理信息数据(<https://www.resdc.cn>)。上述数据在使用前均进行了清洗、连接、时空配准等数据预处理工作。

2.2 指标体系的构建

在遵循系统性、层次性、代表性、独立性和可操作性基础上,结合土地集约利用与生态文明建设的耦合关系,参考现有研究成果^[20-22],从城市土地投入力度、土地利用程度、土地产出水平和土地集约利用发展趋势4个方面,选取12项指标构建土地集约利

用评价指标体系(表1)。其中,地均固定资产投资额、地均地方财政一般预算内支出、地均劳动人员数体现单位土地面积资本与劳动力的投入程度;人口密度、人均城市道路面积、人均城市建设用地面积体现土地集约利用强度;地均地方财政一般预算内收入、地均社会消费品零售额、地均二、三产业产值体现土地经济效益产出情况;人口数量、GDP值、固定资产投资与建设用地增长弹性系数体现经济产出与增长对土地资源的依赖程度以及人口增长与城市扩张的协调程度。在生态文明建设评价方面,选用PSR模型,设立生态文明建设压力、状态及响应3个准则层^[23],结合数据可获取性,构建生态文明建设水平评价指标体系(表1)。其中,城市化率、单位GDP二氧化硫排放量和能源效率(单位GDP能耗)体现城市扩张压力和资源压力,人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率和 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度体现区域生态环境变化状态,生活垃圾无害化处理率、污水处理率和绿色投资(环境投资占GDP比重)体现政府为改善生态压力与状态所采取的行动。

2.3 土地集约利用与生态文明建设水平评价

2.3.1 基于熵权法的综合评价模型

为消除量化单位对数据的影响,采取极差法对原始数据进行标准化(区分正负指标),并运用熵权法确定指标权重^[24],最后构建综合评价模型对土地集约利用及生态文明建设综合评价值进行计算。

$$U_{i,t}(U_{i,t,2}) = \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^q \omega_j Y'_{i,t,j} \quad (1)$$

式中: $U_{i,t,1}$ 和 $U_{i,t,2}$ 分别为第 t 年第 i 个地区的土地集约利用和生态文明建设水平; j 为指标; m 为指标个数; q 为年份个数; ω 为指标权重; Y' 为标准化后的值。 U 值越大,表示黄河流域城市土地集约利用或生态文明建设发展水平越高;反之,则越低。同时 $0 \leq U \leq 1$ 。

2.3.2 相对发展度模型

根据土地集约利用与生态文明建设耦合协调发展的内涵,在理想状态下,二者是同步优化的,但在现实中二者很难达到同步发展状态,因此在前文求得土地集约利用和生态文明建设综合评价值的基础上,计算相对发展度,分析两系统发展滞后情况。在参考相关研究的基础上确定相对发展度类型划分标准^[25]。

$$E_i = U_{i,t,1}/U_{i,t,2} \quad (2)$$

式中: E 表示相对发展度。当 $0 \leq E \leq 0.9$ 时,土地集约利用滞后于生态文明建设;当 $1.1 \leq E \leq +\infty$ 时,生态文明建设滞后于土地集约利用;当 $0.9 < E < 1.1$ 时,两系统发展处于基本同步的状态。

表 1 城市土地集约利用与生态文明建设耦合协调度评价指标体系
Table 1 Evaluation indicator system of urban land intensive use and ecological civilization construction coupling and coordination

目标层	系统层	准则层	指标层	性质	权重
土地集约利用与生态文明建设耦合发展水平	土地集约利用	土地投入	地均固定资产投资总额/(万元·km ⁻²)	+	0.1165
			地均地方财政一般预算内支出/(万元·km ⁻²)	+	0.0994
			地均劳动人员数/(人·km ⁻²)	+	0.1278
		土地利用	人口密度/(人·km ⁻²)	+	0.0926
			人均道路面积/m ²	+	0.0282
			人均城市建设用地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	+	0.0727
			地均地方财政一般预算内收入/(万元·km ⁻²)	+	0.1562
		土地产出	地均社会消费品零售总额/(万元·km ⁻²)	+	0.1556
			地均二三产业产值/(万元·km ⁻²)	+	0.1368
			人口与建设用地增长弹性系数/%	+	0.0027
	土地可持续发展	GDP与建设用地增长弹性系数/%	+	0.0049	
		固定资产投资与建设用地增长弹性系数/%	+	0.0065	
		城市化率/%	-	0.1353	
	生态文明建设	压力	单位GDP工业二氧化硫排放量/(kg·万元 ⁻¹)	-	0.0336
			能源效率/单位GDP能耗/%	-	0.0346
			人均公园绿地面积/m ²	+	0.2019
		状态	建成区绿化覆盖率/%	+	0.0595
			PM _{2.5} 日均质量浓度/(μg·m ⁻³)	-	0.1273
			生活垃圾无害化处理率/%	+	0.0248
		响应	污水处理率/%	+	0.0507
绿色投资(环境污染治理投资占GDP比重)/%			+	0.3324	

注：“-”为负向指标，“+”为正向指标。

2.4 耦合协调时空演变分析

2.4.1 耦合协调度模型

城市土地集约利用与生态文明建设两系统既相互促进又相互制约。尽管相对发展度能反映两系统的超前滞后水平,但无法反映两系统相互作用的紧密程度,是否往协调方向发展,协调程度有多大。因此引入耦合协调度模型,测算黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设水平发展的耦合协调程度^[26]。计算公式为

$$C_{it} = 2 \times \left[\frac{U_{it,1} \times U_{it,2}}{(U_{it,1} + U_{it,2})^2} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$T_{it} = \alpha U_{it,1} + \beta U_{it,2} \quad (4)$$

$$D_{it} = (C_{it} \times T_{it})^{1/2} \quad (5)$$

式中: C_{it} 代表第 t 年第 i 地区两系统的耦合度, $0 \leq C \leq 1$, C 值越接近1,两系统耦合程度越高,表明两系统之间联系越紧密; T_{it} 为两系统的协调指数,体现系统内部运作的和谐程度和目标的一致性; α 和 β 为各子系统的权重,一般 α 和 β 之和为1,本研究中认为两系统同等重要,故分别赋值0.5。 D_{it} 表示两系统耦合协调度, $0 \leq D \leq 1$, D 值越高,表明两系统协调能力

强,可以更好地适应变化和处理复杂情况,有利于提高系统性能和稳定性; i 为地区; t 为年份。

本文借鉴有关研究成果^[27],结合黄河流域自身土地集约利用水平和生态文明建设水平对两系统耦合协调度类型进行划分(表2,3)。

2.4.2 核密度估计

核密度估计是在概率论中用来估计未知的密度函数,属于非参数检验方法之一。核密度图是一种用于估计数据分布的图形工具,它通过平滑数据点生成一个连续的概率密度函数,从而显示数据的分布情况^[28]。本文采用核密度估计方法对土地集约利用与生态文明建设的动态演变情况进行分析,计算公式为

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K \left(\frac{x_i - x}{h} \right) \quad (6)$$

式中: N 为样本总量; K 为随机核函数; i 为地区; x 为样本数据点; h 为密度估计带宽,带宽越大,密度估计越平滑,偏差越大。

2.4.3 空间自相关

运用空间自相关分析方法,研究黄河流域土地集约利用和生态文明建设耦合协调度的集聚和空间

布局特征。空间自相关反映一个地理空间单元的属性值与其邻近空间单元的属性值之间的统计关联程度^[29]。其核心度量为莫兰指数(Moran's I),分为全局空间自相关(global Moran's I)和局部空间自相关

(local Moran's I)。全局空间自相关主要采用莫兰指数来衡量每个空间单元属性值与其他空间单元的整体关联程度,能够揭示耦合协调度在研究区范围内是否表现出显著的空间聚集模式。

表2 土地集约利用与生态文明建设耦合度划分标准

Table 2 Classification standards for coupling degree between urban land intensive use and ecological civilization construction

耦合度	类型	类型特征
$0 \leq C \leq 0.3$	低水平耦合	两系统处于较低水平的耦合阶段,表明此时两系统之间的相互依赖程度较低,相互较为独立。此时土地开发利用仍然粗放,利用效率和效益偏低,对生态环境破坏程度小,两系统之间缺乏有效的协同机制来实现整体优化
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗性耦合	两系统之间的相互作用加强,二者出现一定程度的相关性,但这种关系是错综复杂的拮抗作用,一个系统的发展可能会抑制或阻碍另一个系统的发展
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合性耦合	由于生态文明建设的内在要求,迫使土地利用规划与管理加强,土地利用效率提高,同时投入更多资源进行生态治理与修复,生态环境质量逐渐得到改善
$0.8 < C \leq 0.9$	良性耦合	两系统进入良性耦合阶段,土地集约利用效率提升,生态环境得到改善,两者协同推进
$0.9 < C \leq 1.0$	高水平耦合	两系统进入高水平耦合阶段,相互作用强,联系紧密,协同工作,共同推动系统整体向预定目标发展

表3 土地集约利用与生态文明建设耦合协调度划分标准
Table 3 Classification standards for coupling coordination degree between urban land intensive use and ecological civilization construction

耦合协调度	协调程度	具体范围	类型
$0 \leq D < 0.4$	失调衰退	[0.0,0.1)	极度失调
		[0.1,0.2)	严重失调
		[0.2,0.3)	中度失调
		[0.3,0.4)	轻度失调
$0.4 \leq D < 0.6$	过渡调和	[0.4,0.5)	濒临失调
		[0.5,0.6)	基本协调
		[0.6,0.7)	初级协调
$0.6 \leq D \leq 1.0$	协调发展	[0.7,0.8)	中级协调
		[0.8,0.9)	高级协调
		[0.9,1.0]	极度协调

全局自相关计算公式为

$$I = \frac{n \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n W_{pq} (X_p - \bar{X})(X_q - \bar{X})}{\left(\sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n W_{pq} \right) \sum_{p=1}^n (X_p - \bar{X})^2} \quad (7)$$

式中: I 为莫兰指数; n 为研究区地级市数; p, q 分别为第 p 个地区和第 q 个地区; W_{pq} 为空间权重矩阵; X_p 和 X_q 为样本属性值; \bar{X} 为样本平均值。 $-1 \leq I \leq 1$,若 I 为负值,表示协调度与周边空间单元趋于分散分布,空间发展失衡; I 为正值表示协调度相似区域出现规模集聚效应; $I = 0$,表示协调度在空间上呈随机分布^[30]。

局部空间自相关侧重于揭示具体单元或区域的空间聚集特征,通过计算每个城市及其邻近城市之间的耦合协调度的相关性,能够识别高值集聚(高一

高)、低值集聚(低—低)以及异质集聚(高一低或低—高)区域。计算公式为

$$I_i = \frac{\sum_{p=1, q \neq 1}^n W_{pq} (X_p - \bar{X})(X_q - \bar{X})}{\sum_{p=1}^n (X_p - \bar{X})^2} \quad (8)$$

式中: I_i 为局部莫兰指数,描述区域与周围区域显著相似值之间区域的空间集聚程度。采用 Z 检验法对全局自相关指数进行统计检验,如果指数在0.01的显著性水平下均为正值,且 $Z > 2.58$,说明存在显著的空间相关性。

3 结果与分析

3.1 土地集约利用与生态文明建设水平

3.1.1 土地集约利用水平演变特征

从研究区57个城市整体变化出发,2011—2021年黄河流域城市土地集约利用水平为0.02~0.90,并以2013年和2020年为时间分水岭,增长速度先升后降(图2),总体呈现上升趋势。相较于基期(2011年)土地集约利用水平有显著提升,得分从0.10提升至0.17,增幅达64%。但整体的土地集约利用水平仍然偏低,年均值仅为0.15。流域不同区段中,下游土地集约利用水平最高,中游次之,上游最低,且中、上游与下游水平差距较大。由此可见,流域整体土地集约利用低受中、上游水平影响较大。从城市间土地集约利用水平变化角度看,57个城市中有40个城市年均增长率超过5%,其中延安、郑州、乌兰察布、榆林及西安的土地集约利用水平提升最快,年均增长率大于9%;鄂尔多斯市出现了负增长。从土地集约

利用各子系统变化看,年均值排序为:土地产出>土地投入>土地利用>土地可持续发展。土地利用在2011—2014年一直呈现出较高的发展水平,但其增速缓慢。土地投入和土地产出水平呈显著增长趋势,在2015年后均超过了土地利用。其中,土地产出水平的增速最快。然而,土地可持续发展一直处于较低的发展水平,明显低于其他土地集约利用子系统,并且无明显的变化趋势。因此可见,建设用地的快速扩张并未明显带动GDP值、人口数量以及固定资产投资的增长,土地粗放利用情况普遍。尽管黄河流域土地集约利用水平持续增长,但中、上游地区提升土地集约利用任重道远,各城市发展水平参差不齐,土地潜力未得到充分挖掘,土地集约利用水平提升仍有较大的提升空间。

图3呈现了2011年、2015年、2018年、2021年4个时期的黄河流域城市土地集约利用水平空间分布,发现2011—2021年土地集约利用水平整体的空间格局基本未变,大致呈现由东南向西北“高一低一高”的分布格局,区域差异明显。具体而言,2011年和2015年整体空间分布变化不大,水平高的城市主要集中在研究区东南部,中部零星分布几个高值城市,较低的区域连片分布,集中在中西部和南北边缘,面

积广大。其中包括榆林、延安、忻州、吕梁、临汾、武威、白银等城市,这些城市大多集中于黄河“几”字湾附近,一部分受土地荒漠化与水土流失等问题影响,一部分受资源型城市产业单一且工矿废地多的影响导致土地集约利用水平较低^[31]。2018年分布于山东和河南的高值城市数量明显减少,其中包括济宁、泰安、东营、鹤壁、濮阳。到2021年,东部高值城市数量回增;中、上游地区城市大多处于较低水平且变化较为稳定,下游城市与西安和太原土地集约利用水平高,但城市间发展水平差异大,未能与周边城市形成有效协同。

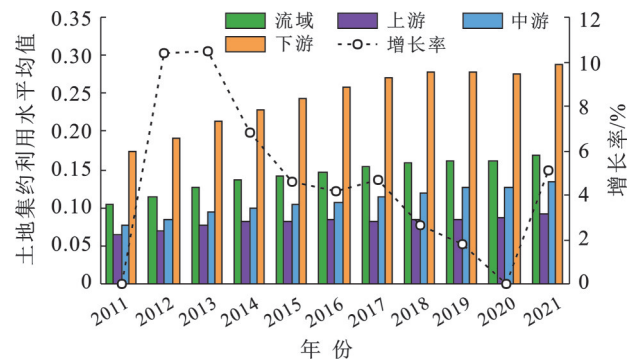


图2 2011—2021年黄河流域土地集约利用水平
Fig.2 Land intensive use levels of Yellow River basin from 2011 to 2021

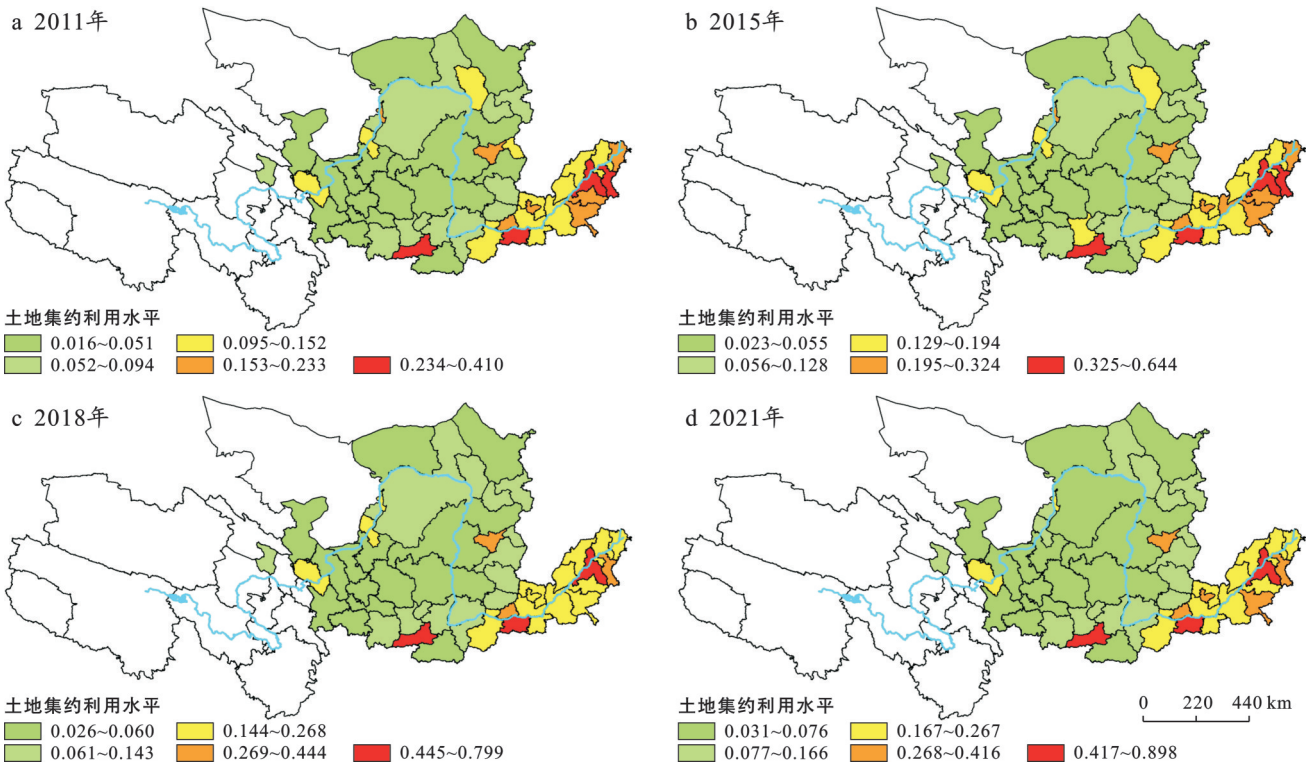


图3 2011—2021年土地集约利用水平空间分布
Fig.3 Spatial distribution of comprehensive value of land intensive use during from 2011 to 2021

3.1.2 生态文明建设水平演变特征

以2012年、2015年和2020年为时间分水岭,黄

河流域57个城市生态文明建设水平增长速度先升后降再升(图4)。2011—2021年发展水平较高,呈增长

趋势,生态文明建设水平从0.43增长到0.56。从流域不同区段变化看,2011—2018年中游地区城市始终保持领先,生态文明建设水平高于上游和下游。上游和下游地区生态文明建设增长速度增长快,年均增速均高于4%。从城市间生态文明建设水平变化来看,有23个城市年均增速位于5%~8%之间,其中固原、开封、天水、白银增长速度最快,庆阳、平凉、济宁等城市生态文明建设水平增长也较为明显,银川、渭南、东营和乌兰察布年均增速最低。从生态文明建设的各子系统来看,年均值排序为:响应>状态>压力。由此看来,响应子系统为生态文明建设水平贡献较大,因此也为中游地区城市生态文明建设水平高提供了依据。具体来看,中游地区主要包括山西、陕西和内蒙古部分城市,这些城市以资源型城市为主,发展过程中对生态环境造成了较大破坏,因此中游地区城市对生态文明建设的响应程度最高。尽管如此,生态文明的建设涉及多个方面,经济发展的压力、产业结构调整滞后性、政策执行的不稳定性、区域间协调的困难以及生态系统的复杂性与脆弱性均会在不同程度上影响该水平的发展态势。

生态文明建设的空间分布(图5)在这4个时期空间变化较大,基本呈北部边缘地区较低,而西南部与

东部地区相对较高的格局。高水平城市多位于甘肃、陕西和山东,呈现出连片发展的趋势,且其重心逐渐向流域西南部偏移,主要包括咸阳、武威、延安、泰安、东营等,这部分城市生态文明建设水平高的原因可能与政策层面的高度重视以及环境治理力度的加大密切相关。低水平城市多分布在内蒙古、山西和河南,由流域边缘逐渐向中心扩散,这些城市由于产业结构的非合理性、土壤盐碱化问题以及水资源短缺等自然与社会经济因素的影响,阻碍了生态文明建设。

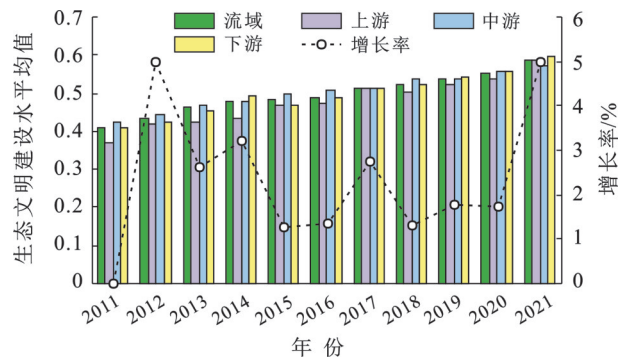


图4 2011—2021年黄河流域生态文明建设水平
Fig.4 Ecological civilization construction levels of Yellow River basin from 2011 to 2021

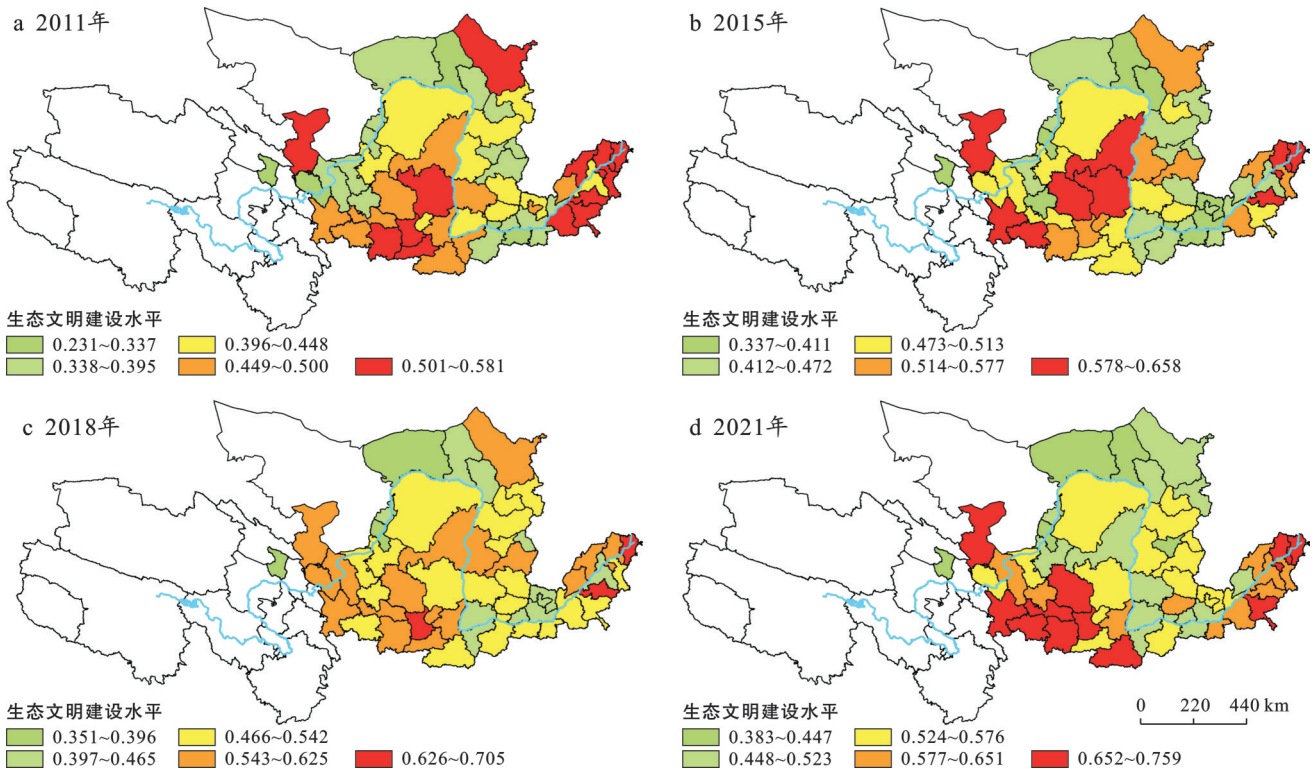


图5 2011—2021年生态文明建设水平空间分布
Fig.5 Spatial distribution of comprehensive value of ecological civilization construction from 2011 to 2021

2011—2018年,东部与中部的高值城市数量逐渐减少,降低为低等级水平,同时低值城市数量也不

断减少,这部分城市主要位于山西省内。2018—2021年,东部与西南部高值城市数量突增,这部分

城市生态文明建设水平由原来的较低水平升级为较高水平。由此可见,生态文明建设水平并不是达到一定程度以后就保持稳定的,各城市要注意维护生态文明建设成果,以防水平倒退,环境再次受到污染。

3.2 相对发展类型分析

为了探究两系统的相对发展状态,依据分类标准,将各城市的相对发展类型划分为3种类型(表4):生态文明滞后于土地集约利用、两者同步发展以及土地集约利用滞后于生态文明。根据划分情况,生态文明建设滞后型城市由2011年的1个,增加到2021年的2个,包括郑州与西安,两市土地集约利用具有高效性,在快速城市化进程中土地经济密度不断提升,相比之下生态环境保护与治理工作相对滞后。同步发展型城市2011年、2015年为0个,到2021年逐渐增加至济南与太原2个城市。2018—2021年,济南与西安相对类型发生了较大变化。济南由生态文明建设滞后状态转为二者同步发展状态,在此期间,济南开始系统性规划新旧动能转换,产业转型升级,腾笼换鸟,不仅优化了土地利用结构,还提高了单位土地产出,促进了土地集约化利用。西安市土地集约利用程度同样飞速提升,单位建设用地固定资产投资不断增加。2018年后西安市出台了一系列政策,如《西安市建设项目用地控制指标》,强化土地节约集约利用。

表4 主要年份土地集约利用与生态文明建设相对发展类型划分

Table 4 Classification of relative development types between urban land intensive use and ecological civilization construction in key years

年份	生态文明建设滞后	同步发展	土地集约利用滞后
2011	郑州	无	其余所有城市
2015	济南、郑州	无	其余所有城市
2018	济南、郑州	西安	其余所有城市
2021	郑州、西安	太原、济南	其余所有城市

然而,截至2021年,研究区域内仍有高达93%的城市处于土地集约利用滞后于生态文明建设的状态,可以看出黄河流域土地集约利用水平明显滞后于生态文明建设水平。黄河流域中上游城市生态脆弱,土地承载能力先天不足,部分城市为生态保护牺牲开发机会,经济发展受限于水资源短缺,且中、下游以能源经济为主导的城市,产业单一且工矿废地多,土地资源被破坏。除此之外,黄河流域面积广,但总体经济发展水平落后,单位土地面积的投入与

产出低,黄河流域生态保护和修复工程的实施,虽然在一定程度上提高了区域的生态文明建设水平,但对于因生态保护而限制开发或减少土地利用强度的地区,缺乏合理的补偿机制,导致这些地区在土地利用和经济发展上面临困境。而黄河流域生态治理历史悠久,上游地区污染排放少,中下游通过一系列措施生态得到改善,加之政策导向与资金支持,流域生态文明建设水平高。

3.3 耦合协调时空演变格局

3.3.1 时空演变分析

图6为2011—2021年黄河流域57个城市土地集约利用与生态文明建设的耦合度(C值)、耦合协调度(D值)和综合协调指数(T值)变化特征。可以看出,其耦合协调性总体呈稳定上升趋势。

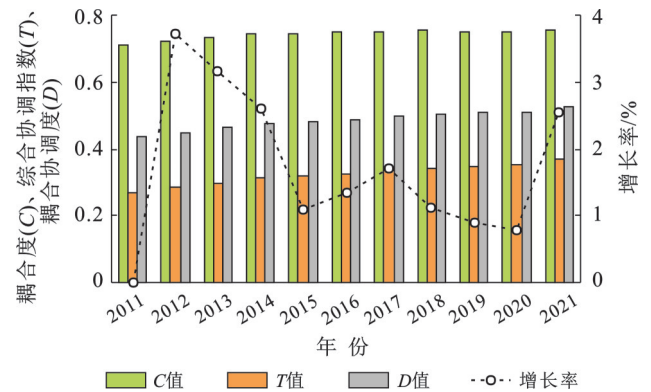


图6 2011—2021年耦合度、发展度、协调指数的均值变化
Fig.6 Average changes of coupling degree, development degree and coordination index from 2011 to 2021

具体来看:①耦合度介于0.3~0.9之间,各年耦合度均值由0.71上升至0.76,整体耦合水平高,依据前文划分标准(表2),呈磨合性耦合。通过对各城市耦合度进一步划分得出,高水平耦合城市较多,为15个,良性耦合为14个,磨合型为24个,拮抗型为4个。较高耦合度的城市主要有太原、乌海、济南、淄博、郑州、焦作和西安等。这部分城市土地集约利用与生态文明建设两个系统相互作用关系紧密,相互影响大。拮抗型城市主要有乌兰察布、延安、商洛、武威、庆阳和定西,这些城市土地集约利用与生态文明建设相互作用关系逐渐紧密,但相互作用方向不明确。②耦合协调度整体水平中等,介于0.3~0.8之间,年均值为0.48,由0.43上升至0.52,增长率以2011年和2020年为节点,先升后降再升,耦合协调程度在此期间内上升幅度不大。根据前文划分标准,耦合协调状态由濒临失调升级为基本协调,但尽管目前处于基本协调状态,整体协调水平仍然较低,土地集约利用与生态文明建设相互促进的良性作用有

待进一步提高。具体分析城市间耦合协调状态的变化并结合前文划分标准,发现 2011—2021 年失调衰退状态城市由 21 个降至 6 个,这 6 个城市包括巴彦淖尔、乌兰察布、武威、定西、吴忠和中卫;过渡调和状态城市由 32 个增加至 39 个,协调发展状态城市由 4 个增至 12 个,主要有太原、东营、济宁、泰安、开封、鹤壁、焦作和濮阳,表明这些城市土地集约利用与生态文明建设相互联系紧密,且相互促进的程度较强。③综合协调指数与耦合度和耦合协调度有相同的发展趋势,研究期间由 0.27 上升至 0.37,由于土地集约利用水平整体偏低,导致综合协调指数较低。尽管两系统耦合程度高,但系统内部运作的和谐程度和目标的一致性较低,这也决定了两系统协调程度较低。

运用 Kernel 密度估计法对土地集约利用与生态文明建设耦合协调发展水平的时序演变特征进一步剖析。如图 7 所示,一方面,曲线的中心持续向右迁移,表示整体耦合协调水平稳步提升,土地集约利用与生态文明建设两大系统正逐步朝着相互促进、协同发展的方向演进。另一方面,曲线主峰高度逐渐降低、波幅宽度显著增大。这一变化模式揭示了在 2011—2021 年 57 个城市两系统耦合协调发展水平的绝对差异呈现出扩大的趋势。同时,可以看出右拖尾现象显著,表明研究区内存在个别城市的耦合协

调发展水平远超其他城市的突出表现。除此之外,2011 年和 2018 年的核密度曲线具有明显的双峰分布,但随着时间的推移,逐渐趋向于单峰形态,右峰逐渐消失。这一现象说明,极化程度在研究期间内有所减弱。

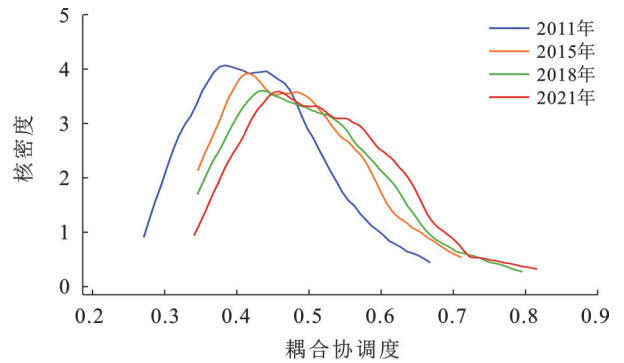


图 7 2011—2021 年黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设耦合协调度时间演变核密度

Fig.7 Kernel density estimation results of coupling coordination degree between urban land intensive use and ecological civilization construction in Yellow River basin from 2011 to 2021

根据前文划分标准,将黄河流域 58 个城市划分为轻度失调、濒临失调、基本协调、初级协调、中级协调和高级协调,并绘制 2011,2015,2017,2021 年耦合协调度的空间分布图(图 8)。

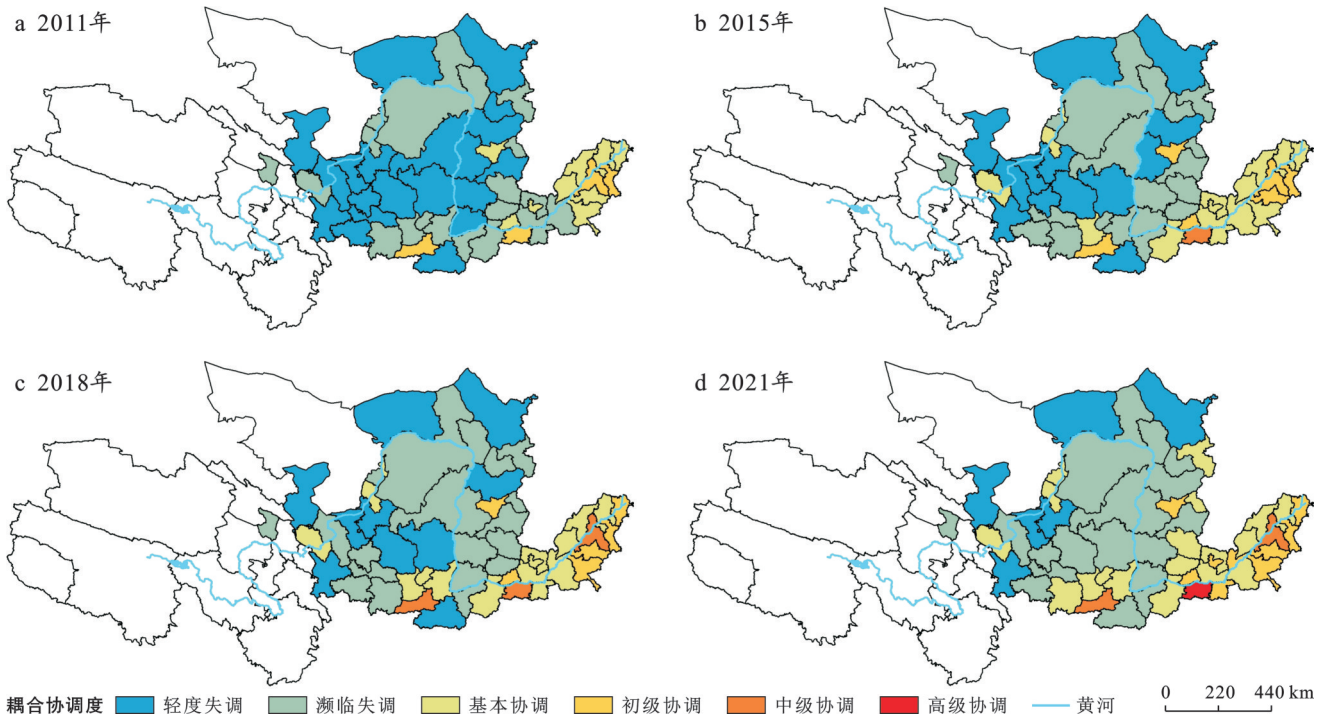


图 8 2011—2021 年黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设主要年份耦合协调度空间分布

Fig.8 Spatial distribution of coupling coordination degree between urban land intensive use and ecological civilization construction in Yellow River basin in major years from 2011 to 2021

从图8可以看出,耦合协调度在2011—2021年大致呈“东南高、西北低”的分布格局,耦合协调度整体提升,区域间协调性增强。但相较于2011年,2021年的空间格局发生了较大变化,其中流域中部与东部变化最大。轻度失调区由北中部向西南收缩,面积大范围减小,2021年仅流域西北边缘部分城市依然处于轻度失调状态,主要包括中卫、吴忠、定西、武威、巴彦淖尔和乌兰察布,而濒临失调区在此期间内则沿相同方向大面积扩张。东部协调状态由2011年集中分布于山东,逐渐向北扩展至河南、山西和陕西,且协调状态不断升级,初级、中级与高级协调范围不断扩大。郑州协调等级提升最大,由初级协调提升至高级协调,其土地集约利用与生态文明建设不仅水平高,二者的协同发展趋势也较强。总体来看,2011—2021年处于协调状态的城市由22%提升到57%,轻度失调城市占比由36%下降至10%,转化为濒临失调状态。虽然流域两系统耦合协调度不断提升,但除东部发达城市外,绝大部分地区仍处于失调状态,土地集约利用与生态文明建设的矛盾依然突出,二者的目标及措施未能形成有效协同。

3.3.2 空间聚类格局

根据以上年份耦合协调度空间分布数据,计算

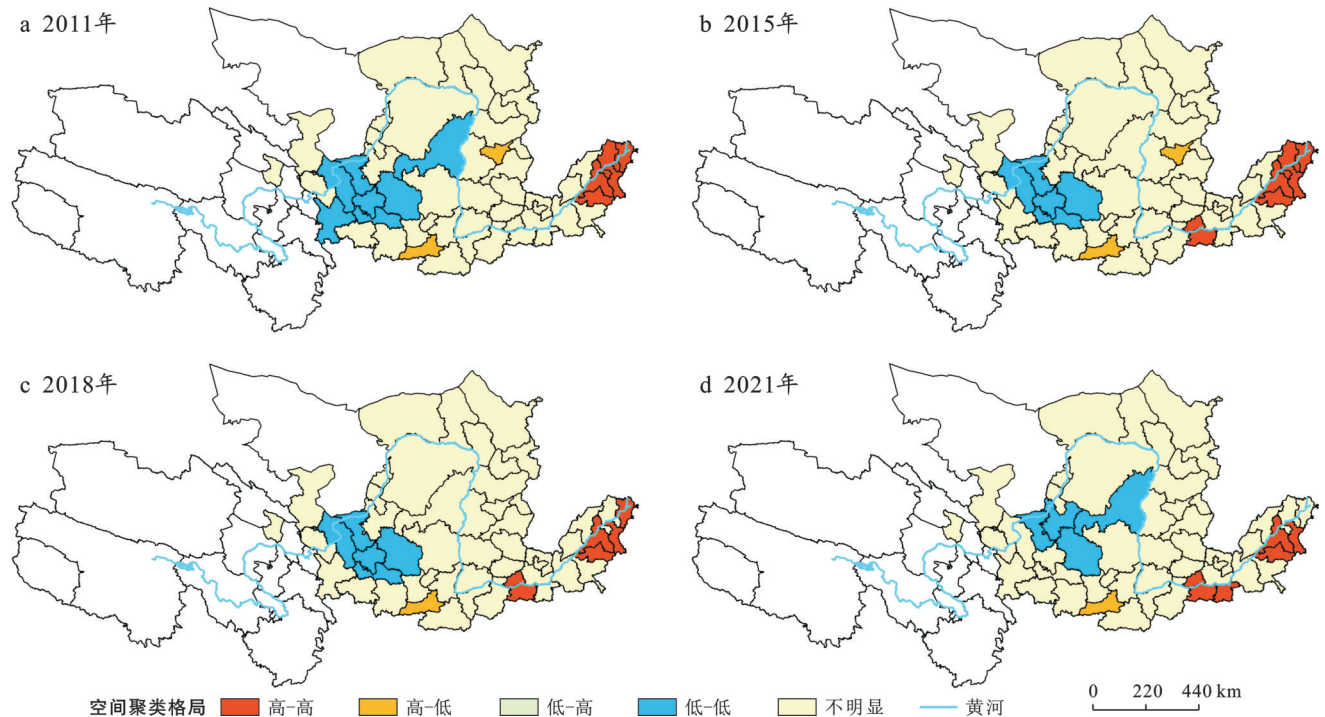


图9 2011—2021年主要年份黄河流域57个城市耦合协调度空间集聚格局
Fig.9 Spatial agglomeration pattern of coupling coordination degree of 57 cities in Yellow River basin in major years from 2011 to 2021

“高-高”型指城市自身及其邻近城市的耦合协调水平均较高,这类城市主要分布在黄河中游和下游地区。在这4个时期,该集聚类型的城市数量先升后

降,空间分布主要表现为2个团块。①分布在山东省内的“高-高”集聚型城市。2011—2021年,此处该类型城市数量不断减少。这些城市原本的高值集聚

表5 2011—2021年黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设主要年份年全局自相关指数

Table 5 Global autocorrelation index between urban land intensive use and ecological civilization construction in Yellow River basin in major years from 2011 to 2021

指数	年份			
	2011	2015	2018	2021
莫兰指数(Moran's I)	0.49	0.47	0.46	0.47
Z得分	6.13	5.83	5.81	5.90
p 值	0.00	0.00	0.00	0.00
显著性水平	0.01	0.01	0.01	0.01

图9为主要年份耦合协调发展的空间聚类格局,多数城市被归类为“不显著”型,其余城市则形成了3种显著的集聚类型,即“高-高”型,“低-低”型和“高-低”型。其中,“高-高”型与“低-低”型集聚模式主要以组团形式显现。

了4个时期的莫兰指数(表5)。结果显示,莫兰指数在0.01的显著性水平下均为正值,且Z值均通过显著性检验(即 $Z > 2.58$)。这表明耦合协调度在空间上存在显著正相关性,研究区内的各城市在空间上展现出集聚的趋势。

现象在减弱,空间异质性增强,原本集聚的高值城市开始分散,城市发展更加不平衡,城市间的正向溢出效应减弱,城市间的联系不再像之前那样紧密。②位于河南省内的“高-高”城市。2011—2021年,此处该类型城市数量不断增加,这部分区域空间异质性有所降低,集聚效应增强,城市间的联系和合作更加紧密,城市间的相互依赖性增加。

“高-低”型指城市自身耦合协调水平较高,而其邻近城市耦合协调水平较低,其空间分布主要以单个城市的形式出现,具体为西安市和太原市。这两个城市分别形成了以自己为中心的“中心—外围”结构。作为区域的中心,拥有较高的资源集聚和经济活动,而周边城市则作为外围,资源和活动较少。但随着时间的推移,西安市的空间集聚性逐渐减弱,在2018—2021年转为“不显著”类型,空间差异性随之增强。“高-低”型集聚也反映出城市间的功能分化,需在区域规划和发展中关注城市间的不平衡,增强中心城市的辐射能力。应通过政策调整和资源优化配置减少黄河流域城市土地集约利用与生态文明建设空间异质性,促进区域协调发展。

“低-低”型指城市自身及其邻近城市的耦合协调水平均较低,于上游地区连片分布。上游地区受限于自然条件,复杂的地形条件增加了交通基础设施建设和区域联系的难度,限制了区域间的经济联系和协同发展。2011—2021年,此集聚类型的城市数量逐年减少,流域西北边缘地带低值中心向内部逐渐收缩,表明耦合协调水平较低的城市得到了发展,区域之间的协调发展差异缩小。一定程度上反映了尽管西部城市面临生态基础薄弱、经济发展滞后的挑战,但部分城市仍积极寻求解决之道。例如,宁夏的固原市在污染治理方面采取了有力措施,自“十三五”以来,其大气环境质量已连续5年位居全区之首。

4 结论

本文以2011—2021年黄河流域57个城市为研究对象,计算和评价土地集约利用水平和生态文明建设程度,揭示其时空演变特征,并进一步构建两者的耦合协调度模型,运用核密度估计和空间自相关来分析两系统间协调关系的时空变化。

(1) 2011—2021年黄河流域城市土地集约利用和生态文明建设综合水平均呈上升趋势,但土地集约利用整体水平仍然较低。同时不同地区的综合发展水平存在明显的空间差异,土地集约利用水平呈“东高西低”的分布格局,生态文明建设水平呈北部边缘地区较低、西南部与东部地区相对较高的格局。

(2) 除个别经济发达的省会城市,绝大多数城市土地集约利用滞后于生态文明建设,仅有济南和太原在2021年达到了同步发展状态。

(3) 土地集约利用和生态文明建设水平的耦合协调度总体呈上升趋势,多数城市由失调逐步转为协调状态,空间分布呈现为东高西低以及明显的空间集聚特征。然而,尽管流域内两系统正逐步朝着相互促进、协同发展的方向发展,仍有很多城市依旧处于失调状态。

5 建议

基于上述研究结论,为提高土地集约利用与生态文明建设协调性,促进区域可持续发展,本文提出如下对策建议。

(1) 因地制宜选择土地利用战略。黄河流域上中下游自然条件,产业布局及经济发展水平各异,提升土地集约利用需因地制宜。上游以草地、未利用地为主,湿地资源丰富,应重保护水资源、治理盐碱化,避免过度开发;中游荒漠、草地、耕地多,水土流失严重,建设用地增速超城镇化,需提高土地利用效率;下游建设用地扩张,土地利用强度高,耕地面积减少,需严守耕地红线,创新土地利用方式,提升技术效率。

(2) 发挥核心城市辐射带动作用。省会城市在区域发展中居核心地位,理论上应发挥引领带动作用,促进区域经济协同增长。以太原市为例,需扩大经济规模,加速增长,加强与省内中小城市产业布局协调,吸纳人才,吸引外资。同时,完善黄河流域省会城市基础设施建设,如交通、通信、能源等,强化辐射能力,提升区域物流效率与通达性。

(3) 加强流域协同推进要素配置整合。黄河流域生态保护和高质量发展作为国家重大战略,面临流域广阔、城市众多及区域差异显著的挑战。加强流域协同,旨在促进经济、社会、资源与环境协调发展,解决发展不平衡问题。需共同应对流域性挑战,依托城市群作为主要发展载体,强化城市群内外协同,构建分工明确、功能完备的区域协调发展体系。

受数据的可获取性影响,本文测度的指标体系还需进一步完善和优化。另外,本文只研究了土地集约利用与生态文明建设耦合协调的时空演化,在未来的研究中,应分析两者之间更为具体的影响机制。

参考文献(References)

- [1] Li Jianguo, Sun Wei, Li Mingyue, et al. Coupling coordination degree of production, living and ecological spaces and its influencing factors in the Yellow River

- Basin [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 298: 126803.
- [2] Su Xuyang, Fan Yamei, Wen Chuanhao. Systematic coupling and multistage interactive response of the urban land use efficiency and ecological environment quality [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 365: 121584.
- [3] 袁庆雯, 刘艳芳, 赵金梅, 等. 宁夏开发区土地集约利用时空分布特征与驱动因素分析[J]. *干旱区地理*, 2024, 47(5): 861-871.
- Yuan Qingwen, Liu Yanfang, Zhao Jinmei, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and driving factors of land intensive utilization in development zones of Ningxia [J]. *Arid Land Geography*, 2024, 47(5): 861-871.
- [4] 梁丽英, 梁彦庆, 黄志英, 等. 生态文明背景下健康城市发展与土地集约利用耦合协调关系研究: 以京津冀为例[J]. *生态经济*, 2020, 36(4): 88-94.
- Liang Liying, Liang Yanqing, Huang Zhiying, et al. Study on relationship of coupling coordination between the development of healthy city and the intensive use of land under the background of ecological civilization: A case from Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(4): 88-94.
- [5] 朱庆莹, 陈银蓉, 胡伟艳, 等. 中国土地集约利用与区域生态效率耦合协调度时空格局[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(4): 234-243.
- Zhu Qingying, Chen Yinrong, Hu Weiyang, et al. Spatio-temporal pattern of coupling coordination degree between land intensive use and regional ecological efficiency in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(4): 234-243.
- [6] 田俊峰, 王彬燕, 王士君. 东北三省城市土地利用效益评价及耦合协调关系研究[J]. *地理科学*, 2019, 39(2): 305-315.
- Tian Junfeng, Wang Binyan, Wang Shijun. Urban land use efficiency and its coupling relationship in the three provinces of Northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(2): 305-315.
- [7] 刘少坤, 王嘉佳, 林树高, 等. 北部湾经济区城市土地集约利用与经济高质量发展耦合协调关系及障碍诊断[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(3): 317-326.
- Liu Shaokun, Wang Jiajia, Lin Shugao, et al. The coupling coordinated relationship and obstacle diagnosis between urban intensive land-use and high-quality economic development in Beibu Gulf economic zone [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(3): 317-326.
- [8] 白玉娟, 洪增林, 薛旭平, 等. 关中平原城市群土地集约利用与生态文明建设耦合性研究[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3): 272-280.
- Bai Yujuan, Hong Zenglin, Xue Xuping, et al. Research on coupling of intensive land use and ecological civilization construction of urban agglomeration in Guanzhong Plain [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(3): 272-280.
- [9] Pan Huanhuan, Du Ziqiang, Wu Zhitao, et al. Assessing the coupling coordination dynamics between land use intensity and ecosystem services in Shanxi's coalfields, China [J]. *Ecological Indicators*, 2024, 158: 111321.
- [10] 郑惠, 周兴, 黄冬婷, 等. 2009—2018年广西城市化与城市土地集约利用时空耦合协调发展[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(1): 267-275.
- Zheng Hui, Zhou Xing, Huang Dongting, et al. Coordinated development of time and space coupling between urbanization and urban land intensive use in Guangxi Zhuang Autonomous Region during 2009—2018 [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(1): 267-275.
- [11] Gong Shaoyan. Study on the coupled coordination degrees between urban land intensive use system and social economic development: A case of Shandong Province [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 726/727/728/729/730/731: 4827-4830.
- [12] Gong Qunxi, Guo Gengxuan, Li Sipan, et al. Examining the coupling coordinated relationship between urban industrial co-agglomeration and intensive land use [J]. *Land*, 2021, 10(5): 499.
- [13] Hu Xinyu, Dong Chun, Wang Yihan. Coupled and coordinated analysis of urban green development and ecological civilization construction in the Yangtze River delta region [J]. *Sustainability*, 2023, 15(7): 5955.
- [14] 余洁, 吴泉蓉. 黄河流域旅游经济与生态文明耦合协调发展研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(5): 181-189.
- Yu Jie, Wu Quanrong. Spatial-temporal pattern of coordinated development of tourism economy and ecological civilization in the Yellow River basin [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(5): 181-189.
- [15] 刘晓曼, 吕娜, 侯鹏, 等. 生态文明建设与社会经济发展耦合协调关系的定量测度: 以浙江省安吉县为例[J]. *生态学报*, 2023, 43(21): 8973-8984.
- Liu Xiaoman, Lü Na, Hou Peng, et al. Quantitative investigation of the coupling coordination relationship between ecological civilization construction and socio-economic development: An empirical study in Anji County, Zhejiang Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(21): 8973-8984.
- [16] Liu Wei, Zhan Jinyan, Zhao Fen, et al. Exploring the coupling relationship between urbanization and energy eco-efficiency: A case study of 281 prefecture-level

- cities in China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021,64:102563.
- [17] Liu Jingming, Hou Xianhui, Wang Zhanqi, et al. Study the effect of industrial structure optimization on urban land-use efficiency in China [J]. *Land Use Policy*, 2021,105:105390.
- [18] 武占云. 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*, 2020(19):19-21.
Wu Zhanyun. The path of improving land use efficiency in the Yellow River basin from the perspective of ecological civilization [J]. *China Development Observation*, 2020(19):19-21.
- [19] 李新越, 班凤梅, 毕旭, 等. 黄河流域减污降碳协同效应的时空特征及影响因素分析[J]. *环境科学研究*, 2024, 37(12):2610-2621.
Li Xinyue, Ban Fengmei, Bi Xu, et al. Spatio-temporal characteristics and influencing factors of the synergistic effects of pollution and carbon emission reduction in the Yellow River basin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2024, 37(12):2610-2621.
- [20] 赵丹丹, 胡业翠. 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*, 2016, 35(11):2105-2115.
Zhao Dandan, Hu Yecui. Quantitative study of the interaction between intensive land use and urbanization in three urban agglomerations of China [J]. *Geographical Research*, 2016, 35(11):2105-2115.
- [21] Li Guangdong, Fang Chuanglin, Pang Bo. Quantitative measuring and influencing mechanism of urban and rural land intensive use in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(5):858-874.
- [22] 周璟茹, 赵华甫, 吴金华. 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*, 2017, 31(11):55-61.
Zhou Jingru, Zhao Huaifu, Wu Jinhua. Study on relationship and evolution characteristics of intensive land-use and carbon emission of Guanzhong urban agglomeration [J]. *China Land Sciences*, 2017, 31(11):55-61.
- [23] 马小宾, 章锦河, 郭丽佳, 等. 生态环境研究中压力-状态-响应模型应用的陷阱与改善[J]. *生态学报*, 2024, 44(12):4923-4932.
Ma Xiaobin, Zhang Jinhe, Guo Lijia, et al. Traps and improvements of PSR model: An eco-environmental perspective [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(12):4923-4932.
- [24] 田时中, 丁雨洁. 长三角城市群绿色化测量及影响因素分析:基于26城市面板数据熵值-Tobit模型实证[J]. *经济地理*, 2019, 39(9):94-103.
Tian Shizhong, Ding Yujie. Greenization measurement of urban agglomeration in Yangtze River delta and its influence factors: An empirical study based on the entropy-Tobit model of 26 cities' panel data [J]. *Economic Geography*, 2019, 39(9):94-103.
- [25] 刘浩, 张毅, 郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(10):1805-1817.
Liu Hao, Zhang Yi, Zheng Wensheng. Evaluation on spatio-temporal development and interaction of intensive urban land use and urbanization: Case studies of the cities in the Bohai rim region [J]. *Geographical Research*, 2011, 30(10):1805-1817.
- [26] 明庆忠, 刘浩然, 史鹏飞. 文旅产业与新型城镇化耦合协调态势及影响因素研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2025, 41(4):142-151.
Ming Qingzhong, Liu Haoran, Shi Pengfei. Coupling coordination between cultural tourism industry and new-type urbanization and its influencing factors [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2025, 41(4):142-151.
- [27] 项晓. 江西宜丰县对“两山理论”的转化路径与实践经验[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2023.
Xiang Xiao. Transformation path and practical experience of “two mountains theory” in Yifeng County, Jiangxi Province [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2023.
- [28] 尹章才, 康自强. 时间地理支持下的核密度估计研究进展[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(1):64-72.
Yin Zhangcai, Kang Ziqiang. Advances in kernel density estimation supported by time geography [J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(1):64-72.
- [29] 朱庆莹, 胡伟艳, 赵志尚. 耕地多功能权衡与协同时空格局的动态分析:以湖北省为例[J]. *经济地理*, 2018, 38(7):143-153.
Zhu Qingying, Hu Weiyan, Zhao Zhishang. Dynamic analysis on spatial-temporal pattern of trade-offs and synergies of multifunctional cultivated land: Evidence from Hubei Province [J]. *Economic Geography*, 2018, 38(7):143-153.
- [30] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. *地理研究*, 2019, 38(4):844-855.
Deng Chuxiong, Zhong Xiaolong, Xie Binggeng, et al. Spatial and temporal changes of land ecosystem service value in Dongting Lake area in 1995—2015 [J]. *Geographical Research*, 2019, 38(4):844-855.
- [31] 薛建春, 张安录, 曹力博, 等. 黄河流域产业集聚与产业结构对城市土地利用效率的影响效应研究[J]. *统计与决策*, 2023, 39(14):119-124.
Xue Jianchun, Zhang Anlu, Cao Libo, et al. Study on the effect of industrial agglomeration and industrial structure on urban land use efficiency in the Yellow River Basin [J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(14):119-124.