土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调及其影响因素

——以黄河下游沿岸城市为例

常婧琳[1]，马 瑛[1]，苏向辉[2]，付文凯[1]，瞿成龙[1]

（1.新疆农业大学 公共管理学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2.新疆农业大学 亚心校区管理委员会，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘　要：［目的］明晰黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合协调时空格局演变规律，揭示其影响因素作用方向，为助推黄河下游沿岸城市群绿色发展提供科学依据。［方法］基于 2012—2021 年黄河下游沿岸 17 个地级市的面板数据，采用综合指数模型与 Super-SBM 模型对其土地利用隐性形态和生态福利绩效进行测度，并运用 ArcGIS 可视化、核密度分析和耦合协调模型深入剖析各地市土地利用隐性形态、生态福利绩效水平及二者耦合协调度在时空维度上的演变趋势，借助 Tobit 回归模型探析影响因素。［结果］①各城市的土地利用隐性形态指数稳中有进，生态福利绩效水平经历了“先降后升”的阶段性演变过程。②研究期内黄河下游沿岸城市整体生态福利绩效和土地利用隐性形态的耦合协调度经历了“濒临失调—勉强协调”的转变，有向初级协调类变化的趋势。③对外开放，产业结构、空间聚集会对耦合协调产生显著的正向影响关系；科技创新、城市环境则对耦合协调具有明显的抑制作用；高程、坡度、教育水平并不会对耦合协调产生影响。［结论］未来应因地制宜促进土地合理利用，制定科学的环境保护政策，加强对城市的监控与管理，强化省会城市的辐射带动作用，促进城市间绿色协同发展。

关键词：土地利用隐性形态；生态福利绩效；耦合协调；影响因素；黄河下游沿岸城市

文献标识码：A　　**文章编号：**1000-288X(2025)01-0381-12　　**中图分类号：**F293.2，X171.1

文献参数：常婧琳，马瑛，苏向辉，等.土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调及其影响因素[J].水土保持通报，2025，45(1)：381-392. Chang Jinglin, Ma Ying, Su Xianghui, et al. Coupling coordination of land use recessive form and ecological welfare performance and its influencing factors [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(1): 381-392. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.01.039; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.01.039.

Coupling coordination of land use recessive form and ecological welfare performance and its influencing factors

—A case study in cities along Lower Yellow River

Chang Jinglin[1], Ma Ying[1], Su Xianghui[2], Fu Wenkai[1], Qu Chenglong[1]

(1.*College of Public Administration*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830052, *China*;
2.*Yaxin Campus Management Committee*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830052, *China*)

Abstract: [Objective] This study aimed to clarify the spatiotemporal pattern evolution law of the coupling coordination between the recessive form of urban land use and ecological welfare performance, reveal the direction of its influencing factors, and provide a scientific basis for promoting the green development of urban agglomerations along the Lower Yellow River. [Methods] Based on panel data from 17 prefecture-level cities along the Lower Yellow River from 2012 to 2021, the comprehensive index and Super-SBM models were used to measure the recessive form of land use and ecological welfare performance. In addition, ArcGIS visualization, kernel density analysis, and a coupled coordination model were used to deply analyze the

收稿日期：2024-08-31　　**修回日期：**2024-11-04　　**采用日期：**2024-11-06

资助项目：国家社会科学基金项目“三权分置”改革背景下新疆农村土地与金融融合发展机制与路径研究”(20BGL174)

第一作者：常婧琳(1999—)，女(汉族)，山西省运城市人，硕士研究生，研究方向为土地资源管理。Email：1320731906@qq.com。

通信作者：马瑛(1975—)，女(汉族)，山东省冠县人，教授，博士，硕士生导师，主要从事土地利用研究。Email：xndmy@qq.com。

evolution trend of the recessive form of land use, the performance level of ecological welfare, and the coupling coordination degree of them in the spatial and temporal dimensions, with the influencing factors analyzed using the Tobit regression model. [Results] ① The recessive form of land use in each city was stable but improved, and the ecological welfare performance experienced a phased evolution process of "first decreasing and then increasing." ② During the study period, the coupling coordination degree of the overall ecological welfare performance and the recessive form of land use of cities along the Lower Yellow River experienced a change from "near disharmony to barely coordination," and tended to change to primary coordination. ③ Opening to the outside world, industrial structure, and spatial agglomeration had significant positive effects on the coupling coordination; but scientific and technological innovation and the urban environment had obvious inhibitory effects on the coupling coordination. Meanwhile, elevation, slope, and education level did not affect the coupling coordination. [Conclusion] In the future, it is necessary to promote the rational use of land according to local conditions, formulate scientific environmental protection policies, strengthen the monitoring and management of cities, strengthen the leading role of provincial capitals, and promote green coordinated development among cities.

Keywords: recessive form of land use; ecological welfare performance; coupling coordination; influencing factors; cities along Lower Yellow River

黄河流域是中国重要的生态屏障,2022年6月印发的《黄河流域生态环境保护规划》中指出流域"生态环境脆弱,解决此问题就要协调生态保护与经济发展"[1]。黄河下游作为中原城市群和山东半岛城市群的人口、经济核心集聚区域,其快速城镇化与环境保护之间的矛盾十分突出[2]。

土地利用隐性形态作为土地产权、质量、投入、产出及经营方式等方面变化的综合反映[3]与代表流域内居民福祉及其城市经济可持续发展水平的生态福利绩效[4]密切相关。

因此,如何协调好黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态和生态福利绩效两者关系,提高土地利用所带来的生态福利,实现土地利用的经济、社会、生态效益高效统一,将是该区域高质量发展所面临的重要课题。

土地利用方式是人与自然互动最直接、最关键的体现[5]。土地利用转型的实质是土地利用形态的趋势性变化过程。目前学者大多关注包括数量和空间两重属性的显性形态,而对依附于显性形态且需通过调查、分析与测算等手段实现的隐性形态[6]的研究较少,大多通过综合指数模型[7]测度其综合水平;研究内容包括土地利用隐性形态空间分异[8]、影响因素[9-10]、对碳排放[11]、城乡融合发展[12-13]的影响效应及耕地或建设用地等特殊用地转型[14-15];研究尺度上多以市域[14]、城市群[16]及省域[11,17]为主。而生态福利绩效体现的是社会福利与生态消耗之比,衡量的是单位生态消耗下的福利产出[4];其度量指标包括单一的人均生态足迹[18]、资源消耗、环境污染和福利水平的综合体系[19-20],部分学者[21-22]也将环境污染作为非期望产出进行研究;研究方法主要是随机前沿生产函数[19]与数据包络分析[23];研究内容涵盖生态福利绩效的时空特征[19,22]、影响因素等[24]方面;研究尺度主要集中在省域[22,24]、市域等[19-20,23]层面。目前学者大多对土地利用与生态环境的相互关系进行研究,鲜有直接讨论土地利用隐性形态与生态福利绩效二者关系的成果。如Monteiro等[25]通过研究得出识别LULC变化并预测未来土地利用,有助于了解潜在的生态风险和生物多样性丧失;Wei等[26]通过分析生态网络的稳定性,对南昌市未来土地利用的空间布局变化进行了预测;宋佳鹏等[27]则从市域层面探讨土地利用转型与生态安全之间的影响关系;陈莹等[28]在省级层面上基于耦合协调模型探讨土地集约利用与生态福利绩效的关系。学者对黄河流域这一崭新地理单元的研究仍处于起步阶段。

因此,本研究采用综合指数模型和Super-SBM模型测度黄河下游沿岸17个城市2012—2021年的土地利用隐性形态指数和生态福利绩效水平,并综合运用ArcGIS可视化、核密度分析和耦合协调模型深入剖析各地市土地利用隐性形态、生态福利绩效及其耦合协调度在时空维度上的演变趋势,借助Tobit回归模型探析耦合协调系统影响因素的作用方向、作用程度,以深入认识两系统耦合协调的发展规律,为区域绿色高质量发展的政策制定提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 综合指数模型 采用综合指数模型,为消除

量纲差异，对原始数据先进行极差标准化处理，再通过熵值法测算各指标权重，最后采用线性加权法算出各地级市土地利用隐性形态综合指数。计算方法为[9,11]：

$$S=\sum_{j=1}^{m} w_j \cdot X_j \tag{1}$$

式中：X_j 为第 j 项评价指标标准化数值；w_j 为第 j 项评价指标权重；S 为土地利用隐性形态综合指数，取值区间为[0,1]。

1.1.2　*超效率 SBM 模型*　数据包络分析法通过构建一个包含所有决策单元的数据包络面，有效地避免了主观选择生产函数的难题，并且能够更为准确地反映出不同决策单元在生态福利绩效方面的效率差异，从而为政策制定和资源配置提供更加可靠的学术支持。故本文采用 Super-SBM 模型测算 2012—2021 年黄河流域下游沿岸城市的生态福利绩效值，具体形式为[20,22-23]：

$$\min P_{SE}=\frac{1+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1-\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^+}{y_{rk}}} \tag{2}$$

$$\begin{cases}\sum_{j=1,j\neq k}^{n} x_{ij}\lambda_j - s_i^- \leqslant x_{ik} & (i=1,2\cdots m)\\ \sum_{j=1,j\neq k}^{n} y_{rj}\lambda_j + s_r^+ \geqslant y_{rk} & (r=1,2\cdots s)\\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1;\ \lambda_j\geqslant 0;\quad s_i^-\geqslant 0;\ s_r^+\geqslant 0 & \end{cases} \tag{3}$$

式中：P_{SE} 为相对效率值；x_{ik} 为输入变量；y_{rk} 为输出变量；m 为投入指标的个数；s 为产出指标的个数；s_i^- 为投入的松弛变量；s_r^+ 为产出的松弛变量；λ_j 为权重变量。

1.1.3　*非参数 Kernel 密度估计*　本文采用非参数 Kernel 密度估计[11,13]，通过概率密度分布的波峰高度、宽度、偏度以及数量来分析黄河流域下游沿岸城市土地利用隐性形态指数及生态福利绩效指数分布特征以及演进趋势。其计算公式为：

$$f(u)=\frac{1}{Nh}\sum_{i=1}^{N}K\left(\frac{u_i-u}{h}\right) \tag{4}$$

式中：$f(u)$ 为核密度估计值；N 为观测值数目；h 为带宽；u_i 为样本观测值；u 为均值；$k\left(\frac{u_i-u}{h}\right)$ 为核函数。

1.1.4　*耦合协调度模型*　用耦合度、协调度和耦合协调度刻画土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合协调模型为[29]：

$$C=2\times\sqrt{\frac{v\times\delta}{(v+\delta)^2}} \tag{5}$$

$$T=\alpha v+\beta\delta \tag{6}$$

$$D=\sqrt{C\cdot T} \tag{7}$$

式中：C 为土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合度；T 为土地利用隐性形态与生态福利绩效的协调度；D 为土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合协调度，其值越大表示耦合协调程度越高，耦合协调分级标准详见表 1；V，δ 分别为土地利用隐性形态指数、生态福利绩效指数；α，β 分别为土地利用隐性形态、生态福利绩效的权重，鉴于两个系统同等重要，故取 $\alpha=\beta=0.5$。根据耦合协调度数值的大小，可以将其划分为不同的类型[19]（表 1）。

表 1　耦合协调度的划分标准及其类型

Table 1　Classification criteria and types of coupling coordination degree

负向耦合（失调衰退）		正向耦合（协调发展）	
D 值	耦合协调程度	*D* 值	耦合协调程度
[0.000,0.099]	极度失调	[0.500,0.599]	勉强协调
[0.100,0.199]	严重失调	[0.600,0.699]	初级协调
[0.200,0.299]	中度失调	[0.700,0.799]	中级协调
[0.300,0.399]	轻度失调	[0.800,0.899]	良好协调
[0.400,0.499]	濒临失调	[0.900,0.100]	优质协调

1.1.5　*Tobit 模型*　由于耦合协调的测算结果具有非负截断性，对于受限因变量模型的估计采用最小二乘法（OLS）会得到有偏的结果，因此采用面板 Tobit 模型[30]。此模型能有效避免参数估计过程中的不一致性和偏差问题，同时为了减少多重共线性，在一定程度上消除量纲和异方差的影响，将自变量指标数据进行对数处理，构建如下模型：

$$Y_{it}=\alpha_0+\sum_{j=1}^{m}\alpha_j\ln(X_{j,it})+\varepsilon_{it} \tag{8}$$

式中：Y_{it} 表示黄河下游沿岸城市第 i 个地市第 t 年的耦合协调值（因变量）；a_0 为常数项；$X_{j,it}$ 为影响因素（自变量）；a_j 为回归参数；ε_{it} 为随机误差项，独立且服从期望为 0 的正态分布。

1.2　研究区域与数据来源

以 2008 年国务院批复的《黄河流域防洪规划》为依据，将河南省郑州市桃花峪作为黄河中下游的分界点，下游沿岸城市涉及河南、山东两省共计 17 个地级市。因莱芜市 2018 年后并入济南市，为保持数据前后一致性，将莱芜市数据归入济南市。黄河下游沿岸城市在全国经济发展格局中有重要地位，以滩地为主，土壤深厚肥沃，自然资源丰富，是重要的粮食生产区，也是国家生态安全的关键组成部分。

本文所采取的经济社会统计指标数据，均源于《中国城市统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》、EPS 数据库以及各地市的统计年鉴，目地在于确保数据的权威性与全面性。对于海拔高度与坡度等地理数据的处理，则采用中国科学院资源环境科学数据中心网站（http：// www. resdc. cn/Default. aspx）提供的 DEM 矢量数据，以保障其科学性与准确性。针对部分年份指标数据存在的缺失问题，采用插值法进行数据补充。

2 土地利用隐性形态与生态福利绩效评价指标体系构建

2.1 土地利用隐性形态指标构建

在土地利用隐性形态内涵的基础上并借鉴已有研究[3,9]从投入、产出、利用强度及产权变化 4 个维度形成综合性的指标体系[11,27]（表 2）。投入方面选取地均固定资产投入、地均从业人员量及地均财政支出作为衡量标准，分别体现了土地利用经济、劳动力及社会投入水平；土地利用产出选取地均 GDP 和地均第二产业产值及地均第三产业产值予以表征，分别代表了经济效益、工业化进程及产业结构变化程度；土地利用强度选取人口密度和地均用电量予以表征，两项指标分代表人口集聚状况与能源消费强度；土地产权方面选取城镇化率表征。

表 2 土地利用隐性形态指标体系

Table 2 Implicit morphological index system of land use

系统层	准则层	指标层	指标类型	权 重
土地利用隐性形态	土地投入	地均固定资产投入元/km^2	+	0.130 5
		地均财政支出元/km^2	+	0.122 3
		地均从业人员量人/km^2	+	0.069 2
	土地产出	地均 GDP 元/km^2	+	0.121 8
		地均第二产业产值元/km^2	+	0.114 8
		地均第三产业产值元/km^2	+	0.185 1
	土地利用强度	地均用电量/(10^4 kW·h·km^{-2})	+	0.129 1
		人口密度人/km^2	+	0.081 5
	土地产权变化	城镇化率%	+	0.045 7

2.2 生态福利绩效指标构建

基于投入产出视角，借鉴龙亮军等[31]的研究成果结合指标选取的科学、系统、可比性和可获取性等原则，本文采用资源消耗和环境污染表征投入指标，土地资源消耗、水资源消耗及能源消耗作为投入指标表征资源消耗；环境污染指标主要由城市“三废”（即工业废水、工业废气及固体废弃物）的污染排放所构成（表 3）。将“环境污染”作为投入变量，一方面是借鉴先前学者的相关研究[19]，另一方面可以理解为是福利水平增进过程所需付出的“环境恶化”成本“投入”[32]。本文从经济福利、社会福利和生态福利 3 个维度衡量黄河下游沿岸城市的福利产出。

表 3 生态福利绩效指标体系

Table 3 Indicator system of ecological welfare performance

类 别	一级指标	二级指标	三级指标	性质
投入变量	资源消耗	土地资源消耗	人均建设用地面积/(m^2/人)	+
		能源消耗	人均用电量/(kW·h/人)	+
		水资源消耗	人均用水量/(t/人)	+
	环境污染	废水排放	人均工业废水排放量/(t/人)	−
		废气排放	人均工业二氧化硫排放量/(t/人)	−
			人均工业烟粉尘排放量/(t/人)	−
		固废排放	人均生活垃圾清运量/(t/人)	−
产出变量	福利水平	经济福利	人均 GDP 元/人	+
			人均社会消费零售品总额元/人	+
			城镇居民人均可支配收入元/人	+
		社会福利	万人普通高校在校学生数/人	+
			万人卫生技术人员数/人	+
		生态福利	建成区绿化覆盖率/%	+

3 结果与分析

3.1 土地利用隐性形态时空分异特征

3.1.1 土地利用隐性形态时间格局分析 由图 1 可以看出，河南省及山东省的土地利用隐性形态指数基本保持稳定且随着时间推移有小幅度的提升，但二者指数均处于中等水平，河南省土地利用隐性形态指数略高于山东省，10 a 均值高达 0.30，山东省指数略低

(0.27)。依据核密度估计方法，绘制研究期内黄河流域下游沿岸 17 个城市的土地利用隐性形态综合指数核密度曲线(图 2)。2012—2021 年，曲线重心不断右移，表明研究期内土地利用隐性形态指数稳步提升，并向更高阶的形态转型；2012—2018 年波峰的高度呈现出持续递减的趋势，宽度逐渐扩展，这一变化模式揭示了该时段内各城市土地利用隐性形态的差异呈现出不断加剧的态势，这可能是因为济南、郑州等省会城市经济发展速度快，土地利用程度高，而部分城市则相对滞后，经济社会发展与土地利用不均，加剧土地利用隐性形态极化现象；2018—2021 年波峰高度上升，宽度减小表明 2018—2021 年各地级市差异减小，原因在于随着“绿水青山就是金山银山”和“黄河流域生态保护和高质量发展”等绿色发展理念和重大国家战略的相继提出，地方政府开始大力开展产业结构调整和生态环境保护，加强各类政策协调配合，给土地利用隐性转型提供新动力，缩小了各地级市间差异。

3.1.2　土地利用隐性形态空间格局分析　通过对 2012，2015，2018 和 2021 年黄河流域下游沿岸 17 个城市土地利用隐性形态综合指数的分析，采用自然断点法将土地利用隐性形态分为 4 类，并据此绘制了相应的空间分布图(图 3)。

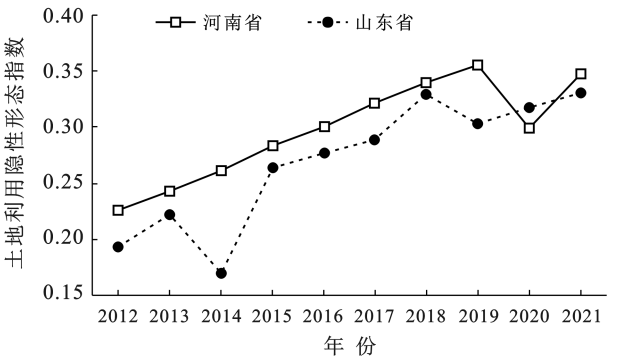

图 1　河南和山东省 2012—2021 年土地利用隐性形态指数变化

Fig.1　Changes in recessive morphology index of land use in Henan and Shandong Province from 2012 to 2021

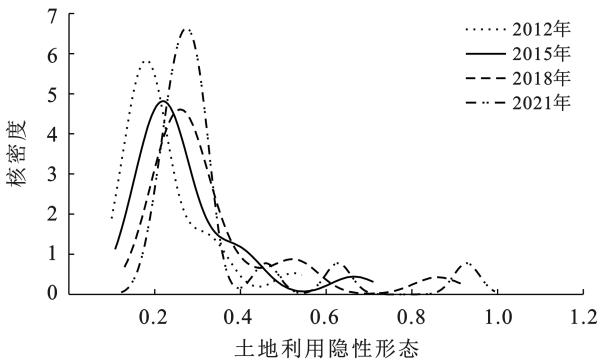

图 2　黄河下游沿岸城市 2012—2021 年土地利用隐性形态时序演变

Fig.2　Temporal evolution of recessive form of land use in cities along Lower Yellow River from 2012 to 2021

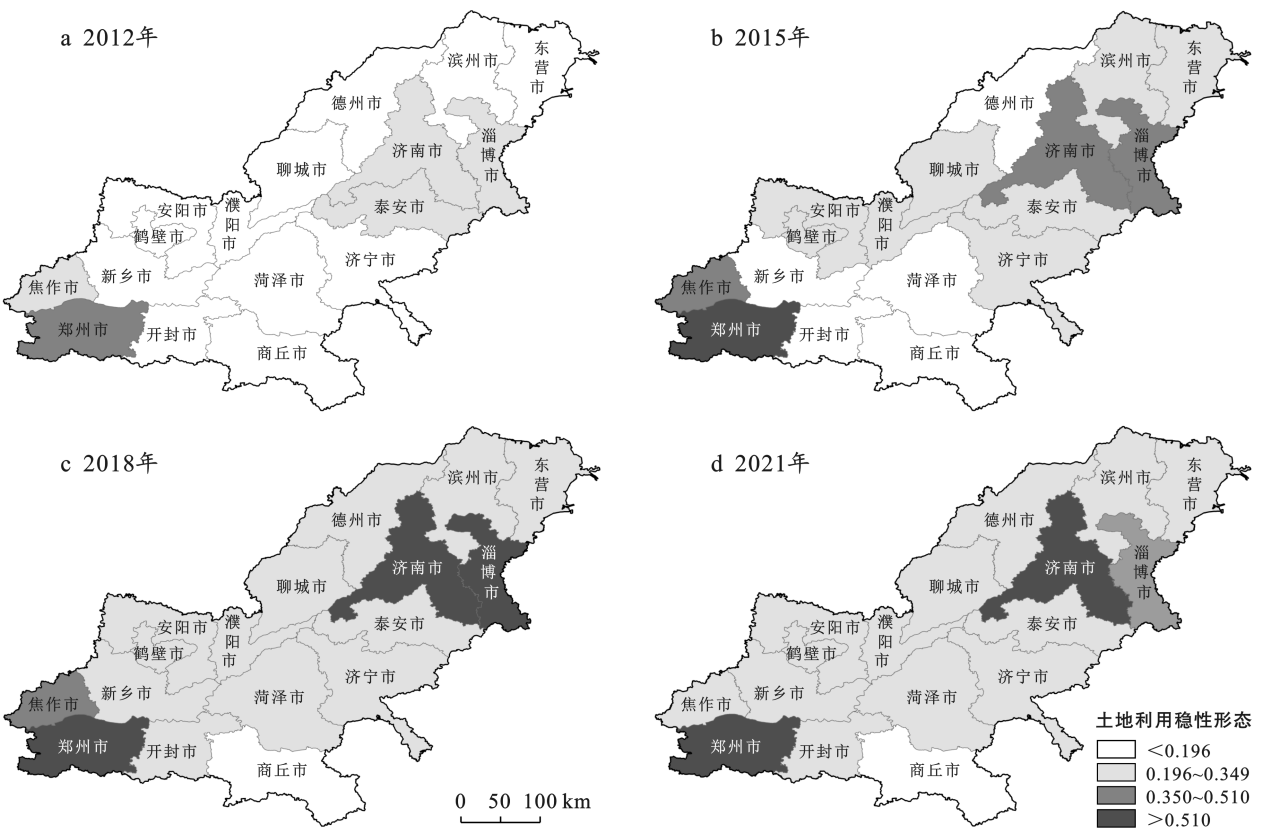

图 3　黄河下游沿岸城市 2012—2021 年土地利用隐性形态指数空间格局演变

Fig.3　Spatial pattern evolution of land use recessive form index in cities along Lower Yellow River from 2012 to 2021

2012—2021 年，黄河流域下游沿岸城市土地利用隐性形态指数呈现典型双核心集聚分布特征，高值区主要分布在郑州和济南两个省会城市及其周围区域，且集聚态势逐渐强化，总体呈两端高中间低的空间分布特征，这是因为省会城市具有一定的“溢出效应”，经济辐射强，资源集中，促进周边土地高效利用，形成双核心集聚。而中小城市的绩效水平提升相对缓慢，商丘邻近区域出现土地利用隐性形态低值集聚区，原因在于，相较于其他地区，商丘及其邻近区域在产业结构上更偏向于传统农业，产业附加值较低，转型动力相对不足，中小城市向高阶形态转型还需注入调整产业结构、促进经济发展的强心针。

3.2 生态福利绩效时空分异特征

3.2.1 生态福利绩效时间格局分析 黄河下游沿岸城市的整体生态福利绩效水平呈现先下降后上升的趋势(图 4)，其整体均值由 2012 年的 0.519 下降到 2015 年的 0.419，又逐步提升到 2021 年的 0.707。为了进一步分析研究区生态福利绩效水平分布的流动性及演化特征，绘制核密度曲线(图 5)。总体来看，2012—2021 年黄河流域下游沿岸城市各地市生态福利绩效水平呈现先收敛后极化的趋势。2012—2015 年峰值升高，表示各地级市生态福利绩效差距越来越小，原因可能是在环境保护“十二五”规划大背景下，国家及地方政府加大了对黄河流域生态保护的投入，推动了区域间的协同发展；2015—2018 年波峰宽度呈扩大态势，表明在此期间各地级市的生态福利绩效差异逐渐增大；2018—2021 年，波峰右移，峰值略有降低，出现“双峰”现象，表明整体水平升高，极化现象明显。尽管整体趋势向好，但黄河下游各城市在经济发展、资源禀赋等方面仍存在较大差异，郑州、济南等城市可能由于经济基础较好、产业结构优化等原因，在生态福利绩效方面取得更快进展，而像东营、滨州等则由于资源枯竭，发展受限等因素，进展相对缓慢。

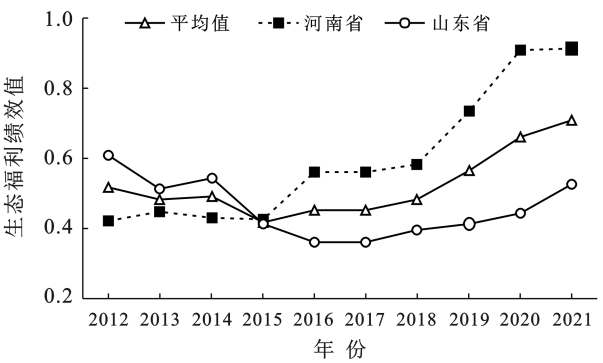

图 4 河南和山东省 2012—2021 年生态福利绩效水平变化

Fig.4 Change of ecological welfare performance level of Henan, Shandong Province from 2012 to 2021

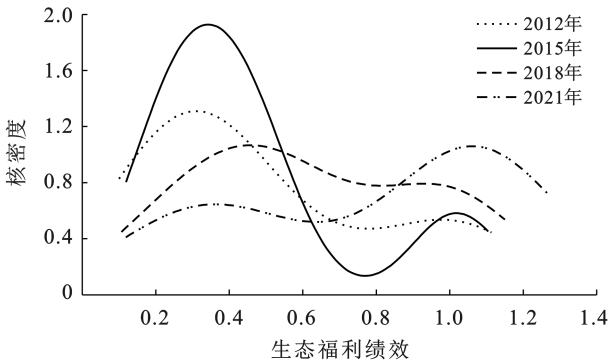

图 5 黄河流域下游沿岸城市 2012—2021 年生态福利绩效水平时序演变

Fig.5 Temporal evolution of ecological welfare performance level in cities along Lower Yellow River from 2012 to 2021

3.2.2 生态福利绩效空间格局分析 根据 2012，2015，2018 和 2021 年黄河流域下游沿岸 17 个城市生态福利绩效测度结果，采用自然断点法，经过调整后，将生态福利绩效分为 4 类并绘制时空分布图(图 6)。研究表明，黄河流域下游沿岸城市生态福利绩效与上述土地利用隐性形态分布态势基本相同，呈现出“双核心”空间特征，郑州、济南 2 个省会城市及其周边地区是生态福利绩效中高值主要分布区，表明省会城市作为社会经济发展的中心，可以带动周边城市共同发展，通过产业转移、技术交流等方式促进周边城市生态福利绩效的提升；高值区域由 4 个增加到 10 个，低值区域由 8 个减少到 4 个，其他区域为较低、较高区域，镶嵌分布于高值与低值区域之间，高值区与较高区逐渐连成一片，有吞掉低值区的趋势，这说明黄河下游沿岸城市生态福利绩效正向更高方向发展。研究区前期工业排放相对较多，且“高投入高污染”模式弊端显现，降低居民的生态福祉，随着 2019 年黄河流域生态保护和高质量发展座谈会的召开，黄河流域生态保护和高质量发展政策不断出台落实，下游城市生态福利绩效水平进一步提升。

3.3 土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调性时空分异特征分析

3.3.1 耦合协调度的时间格局分析 由图 7 可知，2012—2021 年黄河流域下游沿岸城市的耦合度(C)、协调度(T)及耦合协调度(D)整体都呈现缓慢增长的趋势，但耦合协调均值处于中等水平，普遍存在着土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调程度不高的情况，山东、河南二者均为人口大省，人口聚集程度高且发达的工业体系以及周边的辐射带动导致此现象的产生。各地级市土地利用隐性形态与生态福利绩效两系统指数的耦合协调度计算结果显示(表 4)，研究期内大部分沿岸城市处于由失调向协调变化的

过程，这与政府积极整治退化土地，改善生态环境，加强土地宏观调控，合理布局土地利用，提高人民幸福度的政策是分不开的。

由图 7 可以看出，淄博、东营、德州及滨州等城市属于山东主要工业发展城市，三废排放量较高，环境污染指标投入较多，而地均 GDP 低资本投入与劳动力投入相对不足导致二者处于失调状态，但整体呈缓慢上升趋势。

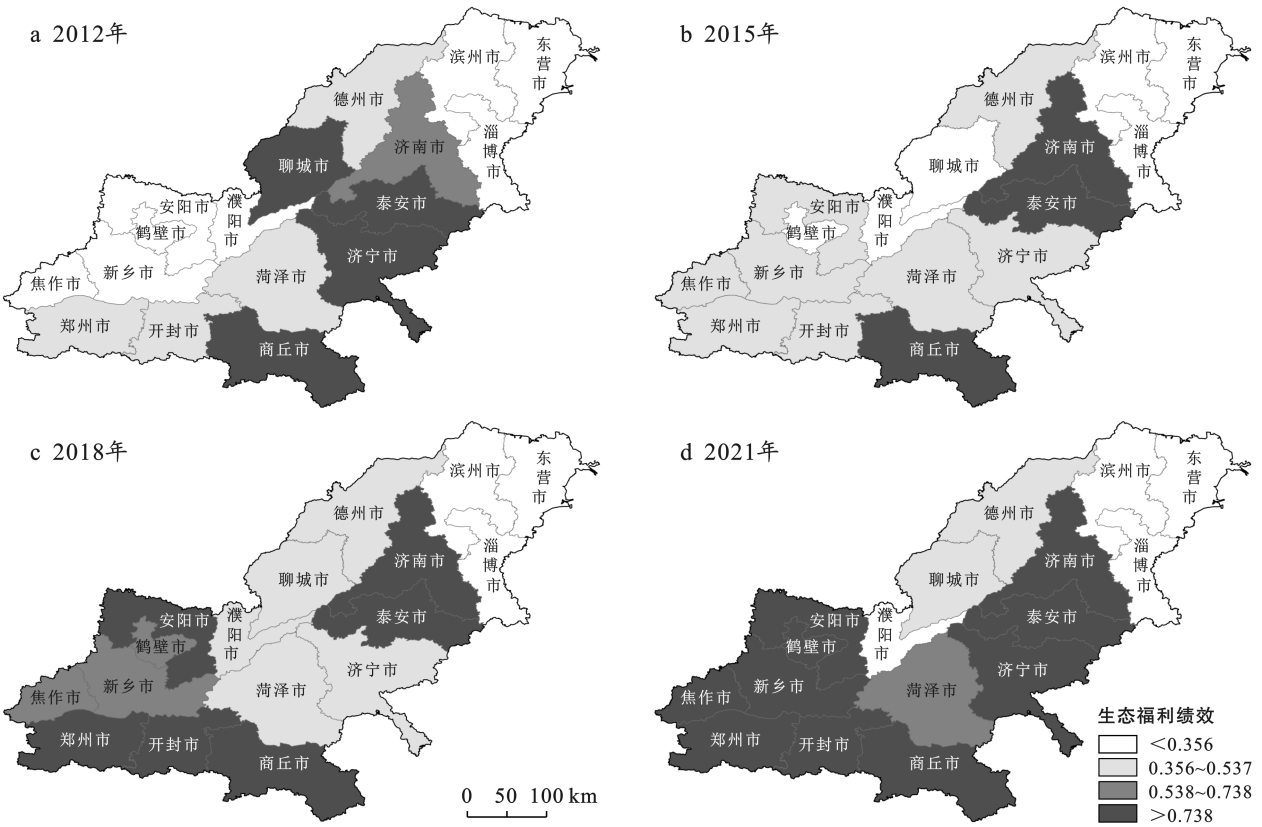

图 6　黄河下游沿岸城市 2012—2021 年生态福利绩效空间格局演变特征

Fig.6　Spatial pattern evolution of urban ecological welfare performance in cities along Lower Yellow River from 2012 to 2021

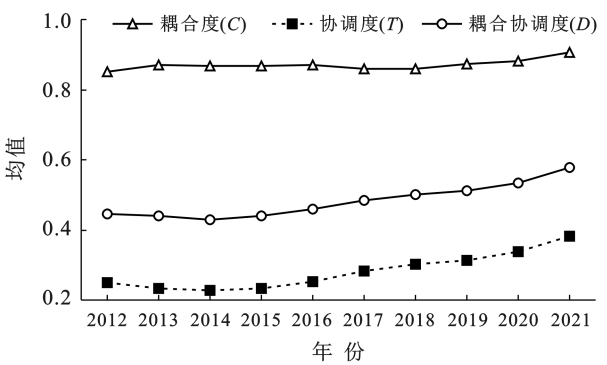

图 7　黄河流域下游沿岸城市 2012—2021 年耦合度、协调度及耦合协调度的均值变化

Fig.7　Mean changes of coupling, coordination and coupling coordination degrees in cities along Lower Yellow River from 2012 to 2021

3.3.2　耦合协调度的空间格局分析　鉴于耦合协调模型存在的局限性，当两系统指数相对较低时，可能产生耦合度偏高的现象，为此参考周迪等人[33]的研究成果，将其划分为 4 种类型：高协调度高耦合度（HH 型）、高协调度低耦合度（HL 型）、低协调度高耦合度（LH 型）以及低协调度低耦合度（LL 型）4 类。2012 年 HH 型、HL 型、LH 型及 LL 型城市分别有 2，4，7 和 4 个，所占比例分别为 11.76%，23.53%，41.18%，23.53%；2021 年 HH 型、HL 型、LH 型及 LL 型城市分别有 4，3，7 和 3 个，所占比例分别为 23.53%，17.65%，41.18%，17.65%。2012—2021 年，高协调城市由 32.59%增为 41.18%，低协调城市由 64.71%降为 58.83%，高耦合城市由 52.94%变为 64.71%，低耦合城市由 47.06%变为 35.3%，符合上述表明的耦合协调整体升高的态势。从图 8 可以看出，HH 型城市多为省会及其周边地区，此类地区土地利用及经济发展过程中，政府注重生态环境保护，经济与生态保护均衡发展，所以土地利用隐性形态与生态福利绩效能体现出较好的同步性；LL 型城市如滨州、东营、淄博多位于城市群边缘欠发达地区，一直走“高消耗、高污染、高投入、低产出”的经济发展之路，相对于土地利用隐性形态指数来说生态福利绩效水平相对较低，导致其协调水平不高。

表 4 黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调值(D)变化

Table 4 Changes of coupling coordination value (D) between recessive form of urban land use and ecological welfare performance in cities along Lower Yellow River

区域	2012 年		2015 年		2018 年		2021 年	
	D	耦合协调等级	D	耦合协调等级	D	耦合协调等级	D	耦合协调等级
郑州	0.508	勉强协调	0.665	初级协调	0.860	良好协调	0.928	优质协调
开封	0.411	濒临失调	0.439	濒临失调	0.621	初级协调	0.640	初级协调
安阳	0.390	轻度失调	0.417	濒临失调	0.525	勉强协调	0.570	勉强协调
鹤壁	0.266	严重失调	0.331	轻度失调	0.438	濒临失调	0.506	勉强协调
新乡	0.413	濒临失调	0.439	濒临失调	0.501	勉强协调	0.660	初级协调
焦作	0.396	轻度失调	0.440	濒临失调	0.503	勉强协调	0.578	勉强协调
濮阳	0.421	濒临失调	0.332	轻度失调	0.652	初级协调	0.661	初级协调
商丘	0.538	勉强协调	0.560	勉强协调	0.573	勉强协调	0.601	初级协调
济南	0.616	初级协调	0.695	初级协调	0.706	中级协调	0.805	良好协调
淄博	0.282	中度失调	0.338	轻度失调	0.387	轻度失调	0.487	濒临失调
东营	0.279	中度失调	0.292	中度失调	0.141	严重失调	0.295	中度失调
济宁	0.580	勉强协调	0.447	濒临失调	0.480	濒临失调	0.598	勉强协调
泰安	0.593	勉强协调	0.505	勉强协调	0.544	勉强协调	0.587	勉强协调
德州	0.409	濒临失调	0.400	濒临失调	0.437	濒临失调	0.452	濒临失调
聊城	0.569	勉强协调	0.413	濒临失调	0.467	濒临失调	0.507	勉强协调
滨州	0.344	轻度失调	0.327	轻度失调	0.319	轻度失调	0.355	轻度失调
菏泽	0.539	勉强协调	0.469	濒临失调	0.478	濒临失调	0.642	初级协调

注:D 为耦合协调度;数据根据耦合协调模型由作者计算得到。

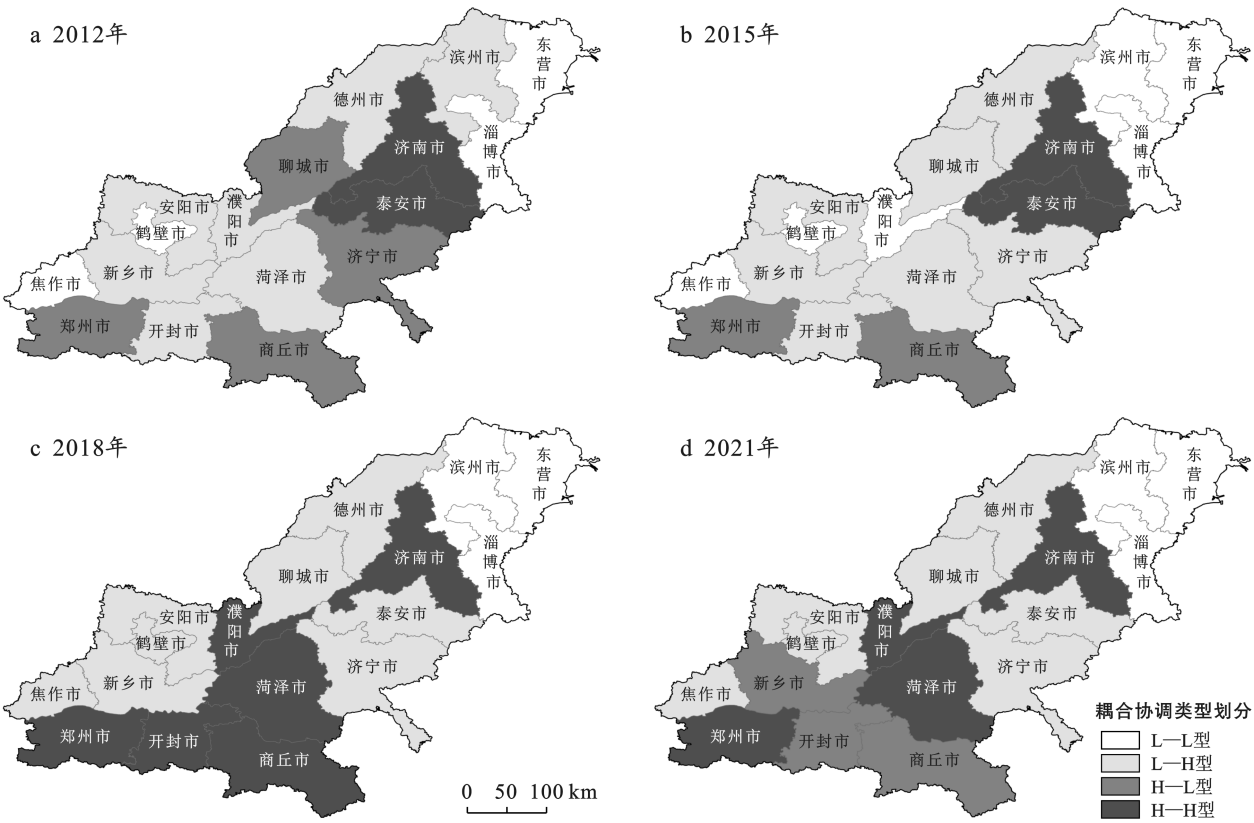

图 8 黄河下游沿岸城市 2012—2021 年耦合协调类型

Fig.8 Coupling coordination types in cities along lower Yellow River from 2012 to 2021

4　土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调影响因素分析

4.1　影响因素选取

土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调受到多种因素共同作用，考虑黄河流域区域特征，从自然区位、经济发展和社会文明 3 个维度选取高程、坡度、空间聚集、对外开放、产业结构、科教投入、教育水平、城市环境 8 个影响因子作为自变量（表 5），以耦合协调度作为因变量，用 Tobit 模型探析影响因素作用方向及程度[34]。

表 5　土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调影响因素

Table 5　Influencing factors of coupling and coordination between recessive forms of land use and ecological welfare performance

维 度	变量名称	变量说明
自然区位	高 程	城市平均高程/m
	坡 度	城市平均坡度/(°)
	空间聚集	城市建成区面积/土地面积/%
经济发展	对外开放	当年实际使用外资/元
	产业结构	第三产业产值/生产总值/%
社会文明	科技创新	科技、教育投入总和/地方财政投入/%
	教育水平	万人普通中小学生数量所
	城市环境	人均园林绿地面积/(km^2/人)

4.2　影响因素回归结果与分析

基于 2012—2021 年面板数据，采用 Tobit 回归模型，对黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调系统影响因素进行检验，回归估计结果详见表 6。由表 6 可知，不同影响因子存在较大差异，对外开放，产业结构、空间聚集会对耦合协调产生显著的正向影响关系；科技创新、城市环境会对耦合协调产生显著的负向影响关系。但是高程、坡度、教育水平并不会对耦合协调产生影响关系。

（1）自然区位维度。空间聚集在 5%的显著水平下对耦合协调系统呈正向影响，系数为 0.14。说明城市建成区面积是多方面因素综合作用的结果，包括城市人口规模、行政级别高低、经济发展水平以及产业结构布局等。如 2021 年济南建成区约等于 2.85 个淄博，经济体量约等同于 2.72 个淄博，城市发展尤为强劲。空间集聚通过人口集聚效应与发展规模效应，促进土地资源的高效利用，并对公共基础设施与人居环境提出更高要求，进而有助于实现土地利用效率与生态福利的双赢，推动高质量耦合的协调发展。高程和坡度分别对耦合协调系统呈负向和正向影响，但是结果均不显著。高程限制城市建设用地，坡度影响城市开发难度。在黄河下游平原与丘陵交错的地貌特征下，自然地理条件对土地利用效率与生态福利绩效耦合的制约作用较弱，体现了相对平坦的地势对城市发展的有利条件。

表 6　黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态与生态福利绩效耦合协调系统影响因素的 Tobit 模型检验结果

Table 6　Test results of Tobit model on influencing factors of coupling coordination system of urban land use recessive form and ecological welfare performance in Lower Yellow Rivers

项 目	黄河下游沿岸城市
高 程	−0.028(−1.112)
坡 度	0.080(1.485)
空间聚集	0.140**(6.306)
对外开放	0.028**(3.135)
产业结构	0.324**(11.133)
科技创新	−0.044**(−3.451)
教育水平	−0.023(−0.947)
城市环境	−0.203**(−10.325)

注：括号内为 Z 值，括号外为回归系数；***，**，* 分别表示通过 1%，5%和 10%的显著性检验。

（2）经济发展维度。产业结构在 5%的显著水平下对耦合协调系统呈正向影响，系数为 0.324。表明第三产业比重增加促进了产业结构高级化，有利于改善居民生态福祉。实施“退二进三”策略，不仅优化了产业结构与土地资源利用，还有效控制了城市扩张中的环境污染，缓解了经济发展带来的生态压力。对外开放在 5%的显著水平下对耦合协调系统呈正向影响，系数为 0.028。表明外资引进促进了技术和管理经验交流，推动了技术创新，加强了研究区土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合协调发展。

（3）社会文明维度。科技创新在 5%的显著水平下对耦合协调系统呈负向影响，系数为 0.044。这可能与黄河流域下游城市科教支出下降及绿色技术研发不足有关，尽管长远看科教投入对城市绿色发展至关重要，但因为其周期长、回报缓慢以及成果难以量化等原因，其在研究期内存在滞后效应。城市环境在 5%的显著水平下对耦合协调系统呈负向影响，系数为 0.203。城市绿化覆盖率的增加，不仅会加剧黄河流域人地矛盾的问题，也会使得城市有限的资本资源和土地资源难以发挥最大的经济社会作用，反而限制了城市的经济发展，因此，城市绿化水平短时间内难以对耦合协调到促进作用。教育水平对耦合协调系统呈负向影响，但是结果不显著。大规模学校建设往往需占用大量土地资源，在土地有限情况下过度土地开发、破坏原有植被等，都会影响到所占土地的生境

质量，进而影响耦合协调度，但由于城市规划以及土地管理的日益严格，学校在建设的过程中会注重植被和绿化覆盖建设，弱化了其负向作用，导致万人普通中小学生所的增加对耦合协调系统负向影响不够显著。

5 结论和建议

5.1 结 论

（1）黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态基本保持稳定且随时间的推移有小幅度的提升，已逐步形成以省会城市为核心的土地利用隐性形态指数第一梯队，基本呈现两端高中间低的特征，“一体化”趋势有所加强。

（2）黄河下游沿岸城市生态福利绩效相对稳定，整体呈逐年渐进式上升趋势，各省会城市及其邻近区域是生态福利绩效高水平的主要集中地，对周边城市产生了不同强度的辐射与带动作用，促使这些城市从原先多类型连片分布的状态，逐渐向第一梯度城市群体“郑州—济南”转变，核心集聚趋势加强。

（3）黄河流域下游沿岸城市土地利用隐性形态与生态福利绩效的耦合协调度经历了“濒临失调类—勉强协调类”的转变，有向初级协调类变化的趋势。

（4）影响因素方面，自然区位中坡度和空间聚集均对黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态和生态福利绩效耦合协调起到正向影响，高程虽起到负面影响但不显著；经济发展维度中对外开放和产业结构都对耦合协调起到显著的积极作用；社会文明维度中科技创新与城市环境抑制了耦合协调度水平的提升，教育水平也是负面影响但是影响不显著。

5.2 建 议

（1）促进土地合理利用。研究结果证明黄河下游沿岸城市土地利用隐性形态指数普遍偏低且极化现象越来越明显，因此资源应适当向小城市倾斜，合理规划引导人口、产业等要素的流动，进一步推进新型智慧城市试点建设工作，推动城市土地利用向绿色化、低碳化、高效化方向发展。

（2）因地制宜制定科学合理的环境保护政策。针对东营、淄博、滨州等非期望产出排放相对较高的城市，地方政府应鼓励环保生产，同时增强对技术落后企业与工厂的改造支持，推动其采纳先进清洁生产方法，提升资源利用效能。

（3）政府相关部门应当强化城市的监管与治理职能，促进城市间的协调联动作用。对于目前处于失调衰退型的城市，诸如淄博、德州、滨州及东营等地，应着重实施土地资源的合理调配政策，进行区域生态环境的修复治理，构建省级层面的精准帮扶体系，通过优势城市带动发展滞后城市，以改善其协调程度。针对轻度、中度及濒临失调的过渡型城市，应强化监控，助力其耦合协调度升级至更高层次。

参考文献（References）

[1] 董洁芳，武荣伟，赵艳芬.黄河流域生态环境质量时空演变及驱动力分析[J].水生态学杂志，2024，45(3)：60-69.
Dong Jiefang, Wu Rongwei, Zhao Yanfen. Spatial-temporal evolution and driving force analysis of eco-environmental quality in the Yellow River basin [J]. Journal of Hydroecology, 2024, 45(3): 60-69.

[2] 周园，曹威威，杨迅周，等.基于改进引力模型的黄河下游沿岸城市空间联系特征分析[J].地域研究与开发，2021，40(6)：63-68.
Zhou Yuan, Cao Weiwei, Yang Xunzhou, et al. Urban spatial linkage characteristics along the Lower Yellow River based on improved gravity model [J]. Areal Research and Development, 2021, 40(6): 63-68.

[3] 龙花楼.论土地利用转型与土地资源管理[J].地理研究，2015，34(9)：1607-1618.
Long Hualou. Land use transition and land management [J]. Geographical Research, 2015, 34(9): 1607-1618.

[4] 王珺，张贵祥.中国三大城市群生态福利绩效的空间差异及协调发展研究[J].城市发展研究，2023，30(7)：21-27.
Wang Jun, Zhang Guixiang. Spatial differences and coordinated development of ecological welfare performance of three major urban agglomerations in China [J]. Urban Development Studies, 2023, 30(7): 21-27.

[5] 丁孝媛，叶长盛，胡海平，等.环鄱阳湖城市群土地利用功能转型及其驱动机制[J].农业工程学报，2024，40(7)：298-308.
Ding Xiaoyuan, Ye Changsheng, Hu Haiping, et al. Land use function transformation and its driving mechanism in Poyang Lake city cluster of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(7): 298-308.

[6] 龙花楼.土地利用转型的解释[J].中国土地科学，2022，36(4)：1-7.
Long Hualou. Explanation of land use transitions [J]. China Land Science, 2022, 36(4): 1-7.

[7] 周贵鹏，龙花楼.农村居民点土地利用隐性形态三维测度及其耦合协调演化研究：以河南省为例[J].地理科学进展，2023，42(6)：1082-1097.
Zhou Guipeng, Long Hualou. Three-dimensional measurement and coupling and coordination evolution of recessive land use morphology of rural settlements: A case of Henan Province [J]. Progress in Geography, 2023, 42

(6)：1082-1097.

[8] 曲艺，龙花楼.城市土地利用隐性形态空间分异及其影响因素：以中国 289 个地级以上城市为例[J].经济地理，2016，36(10)：1-8.
Qu Yi，Long Hualou. Spatial differentiation of the recessive morphology of urban land use and its influential factors：A case study of 289 prefecture-level cities in China [J]. Economic Geography，2016，36(10)：1-8.

[9] 蒲佳豪，陈松林，杜峯屹.2000—2020 年福建省土地利用隐性转型的影响因素[J].水土保持通报，2023，43(6)：402-411.
Pu Jiahao，Chen Songlin，Du Fengyi. Factors influencing recessive transformation of land use in Fujian Province during 2000—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2023，43(6)：402-411.

[10] Liao Liuwen，Long Hualou，Ma Enpu. Factors influencing the recessive morphology of farmland use under labor changes based on production input willingness and behavior of farmers [J]. Journal of Geographical Sciences，2023，33(12)：2467-2488.

[11] 张玥，代亚强，陈媛媛，等.土地利用隐性转型与土地利用碳排放空间关联研究[J].中国土地科学，2022，36(6)：100-112.
Zhang Yue，Dai Yaqiang，Chen Yuanyuan，et al. The study on spatial correlation of recessive land use transformation and land use carbon emission [J]. China Land Science，2022，36(6)：100-112.

[12] 龙花楼，陈坤秋.基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J].地理学报，2021，76(2)：295-309.
Long Hualou，Chen Kunqiu. Urban-rural integrated development and land use transitions：A perspective of land system science [J]. Acta Geographica Sinica，2021，76(2)：295-309.

[13] 杨新，陆汝成，庞彩萍，等.中国边境地区土地利用转型与城乡融合发展效率互动关系研究[J/OL].世界地理研究[2025-01-25]. http：// kns. cnki. net/kcms/detail/31.1626.P.20240620.1523.002.html.
Yang Xin，Li Bingyang，Pang Caiping，et al. Study on the interaction between land use transformation and efficiency of urban-rural integration development in border areas of China [J/OL]. World Regional Studies [2025-01-25]. http：// kns. cnki. net/kcms/detail/31.1626.P.20240620.1523.002.html.

[14] Wang Lingzhi，Liang Anqi，Li Xinyao，et al. Understanding recessive transition of cultivated land use in Jilin Province，China (1990—2020)：From perspective of productive-living-ecological functions [J]. Land，2023，12(9)：1758.

[15] Qu Yanbo，Zhan Lingyun，Wei Chuanchen，et al. Interactive transition of cultivated land and construction land during China's urbanization：A coordinated analytical framework of explicit and implicit forms [J]. Land Use Policy，2024，138：107049.

[16] 梁膑月，曹春，李锦超，等.近 20 年兰西城市群生态系统服务价值对土地利用转型的时空响应[EJ/OL].环境科学[2025-01-25]. http：// kns. cnki. net/KCMS/detail/detail.aspx? filename＝HJKZ2023092001F&dbname＝CJFD&dbcode＝CJFQ.
Liang Binyue，Cao Chun，Li Jinchao，et al. Spatial-temporal response of ecosystem service value of Lanxi urban agglomeration to land use transformation in recent 20 years [EJ/OL]. China Industrial Economics [2025-01-25]. http：// kns. cnki. net/KCMS/detail/detail. aspx? filename ＝ HJKZ2023092001F&dbname ＝ CJFD&dbcode＝CJFQ.

[17] 马丽君，程久苗，程建，等.土地利用隐性转型影响因素分析[J].中国土地科学，2019，33(7)：81-90.
Ma Lijun，Cheng Jiumiao，Cheng Jian，et al. Analysis of the influencing factors for recessive transformation of land use [J]. China Land Science，2019，33(7)：81-90.

[18] Dietz T，Rosa E A，York R. Environmentally efficient well-being：Is there a Kuznets curve? [J]. Applied Geography，2012，32(1)：21-28.

[19] 徐维祥，徐志雄，刘程军.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，2021，36(1)：114-130.
Xu Weixiang，Xu Zhixiong，Liu Chengjun. Coupling analysis of land intensive use efficiency and ecological well-being performance of cities in the Yellow River basin [J]. Journal of Natural Resources，2021，36(1)：114-130.

[20] 肖黎明，肖沁霖.黄河流域城市生态福利绩效格局分异及空间收敛分析[J].软科学，2021，35(2)：46-53.
Xiao Liming，Xiao Qinlin. Study on the differentiation and spatial convergence of urban ecological welfare performance patterns in the Yellow River basin [J]. Soft Science，2021，35(2)：46-53.

[21] Zhang Qiufeng，Kong Qingshen，Zhang Mingyue，et al. New-type urbanization and ecological well-being performance：A coupling coordination analysis in the middle reaches of the Yangtze River urban agglomerations，China [J]. Ecological Indicators，2024，159：111678.

[22] 方时姣，肖权.中国区域生态福利绩效水平及其空间效应研究[J].中国人口·资源与环境，2019，29(3)：1-10.
Fang Shijiao，Xiao Quan. Research on regional ecologi-

cal well-being performance and spatial effect in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2019,29(3):1-10.

[23] 王紫彦,牛莉芹,程占红.生态福利绩效时空演化及影响因素研究:以山西省为例[EJ/OL].干旱区地理[2024-12-23]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.x.20240925.1800.004.html.
Wang Ziyan, Niu Liqin, Cheng Zhanhong. Temporal and spatial evolution of ecological welfare performance and its influencing factors: A case of Shanxi Province [EJ/OL]. Arid region geography [2024-12-23]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.x.20240925.1800.004.html.

[24] Wang Jinfang, Xiao Hui, Hu Mingxing. Spatial spillover effects of forest ecological security on ecological well-being performance in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2023,418:138142.

[25] Monteiro B C G C, Garcia J R, Fernandes M M, et al. Prediction of land use/land cover and environmental estimation of carbon stocks in the Atlantic forest: A study in the state of Sergipe, Brazil [J]. Cleaner and Circular Bioeconomy, 2024,9:100113.

[26] Wei Xiaojian, Zhao Li, Zhang Fuqing, et al. Multi-scenario simulation prediction of land use in Nanchang based on network robustness analysis [J]. Ecological Indicators, 2024,167:112599.

[27] 宋家鹏,陈松林.福建省土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调分析[J].水土保持研究,2020,27(4):301-307.
Song Jiapeng, Chen Songlin. Coupling relationship and coordination between recessive land use morphology and land eco-security in Fujian Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020,27(4):301-307.

[28] 陈莹,吴秀兰.土地集约利用与生态效率的耦合协调发展研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1025-1035.
Chen Ying, Wu Xiulan. Coupling and coordinated development of land intensive use and ecological efficiency [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019,28(5):1025-1035.

[29] 杨欣,杜梦晴,肖豪立,等.湖北省县域新型城镇化与耕地利用生态效率时空耦合关系研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(10):2180-2190.
Yang Xin, Du Mengqing, Xiao Haoli, et al. Coupling relationship between new-type urbanization and farmland utilization eco-efficiency at county-level in Hubei Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(10):2180-2190.

[30] 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.

[31] 龙亮军.基于两阶段Super-NSBM模型的城市生态福利绩效评价研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(7):1-10.
Long Liangjun. Evaluation of urban ecological well-being performance of Chinese major cities based on two-stage super-efficiency network SBM Model [J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(7):1-10.

[32] 龙亮军.中国主要城市生态福利绩效评价研究:基于PCA-DEA方法和Malmquist指数的实证分析[J].经济问题探索,2019(2):69-79.
Long Liangjun. Measurement and evaluation of urban ecological well-being performance of 35 major cities in China based on PCA-DEA and malmquist index method [J]. Inquiry into Economic Issues, 2019(2):69-79.

[33] 周迪,王雪芹.中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J].自然资源学报,2019,34(11):2305-2316.
Zhou Di, Wang Xueqin. Research on coupling degree and coupling path between China's carbon emission efficiency and industrial structure upgrade [J]. Journal of Natural Resources, 2019,34(11):2305-2316.

[34] 关哲,邵战林,潘佩佩,等.京津冀城市群土地利用效率与生态福利绩效耦合协调及影响因素研究[J].地域研究与开发,2024,43(1):16-22.
Guan Zhe, Shao Zhanlin, Pan Peipei, et al. Coupling analysis of land utilization efficiency and ecological well-being performance of cities in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. Areal Research and Development, 2024,43(1):16-22.