

兰州-西宁城市群城市化与生态系统 服务价值耦合协调关系

何黎明¹, 李小玲¹, 马晓梅¹, 刘逸瑞¹, 王成¹, 应泓康²

(1. 青海大学土木水利学院, 青海 西宁 810016; 2. 江西财经大学公共管理学院, 江西 南昌 330013)

摘要: [目的] 揭示兰州-西宁(简称“兰西”)城市群城市化与生态系统服务价值的耦合协调规律, 为区域协同发展提供实证依据。[方法] 以兰西城市群为研究区域, 采用熵权-TOPSIS法测度综合城市化水平, 当量因子法核算生态系统服务价值, 结合耦合协调模型分析耦合度、协调度及耦合协调度。[结果] ① 城市化综合水平由 2015 年 0.120 7 升至 2024 年 0.914 6, 经济与空间城市化驱动作用最突出; ② 生态系统服务总价值呈“升-降”趋势, 2022 年达峰值 2.97×10^{11} 元, 2024 年降至 2.70×10^{11} 元, 调节服务常年占比最高, 文化服务从 7.66×10^9 元增至 1.00×10^{10} 元; ③ 耦合协调度(D)历经了“中度失调—勉强耦合—优质耦合”的转变, 2024 年回落至 0.931 2, 仍维持优质, 整体呈“失调-耦合-优质耦合”演化过程。[结论] 研究期内二者耦合协调关系具有显著阶段性, 整体由失调迈向优质耦合, 但受城市化内部各维度发展不均衡及生态服务价值结构变动影响, 协调状态存在波动。未来应注重城市化各维度均衡推进, 强化生态系统供给与支持服务保护, 实现区域可持续发展。

关键词: 城市化; 生态系统服务; 耦合协调; 兰西城市群

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)02-0330-10

中图分类号: F229.27, X171.1

文献参数: 何黎明, 李小玲, 马晓梅, 等. 兰州-西宁城市群城市化与生态系统服务价值耦合协调关系[J]. 水土保持通报, 2026, 46(2): 330-339. He Liming, Li Xiaoling, Ma Xiaomei, et al. Coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem service value in Lanzhou-Xining urban agglomeration [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(2): 330-339.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.02.036

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.02.036

Coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem service value in Lanzhou-Xining urban agglomeration

He Liming¹, Li Xiaoling¹, Ma Xiaomei¹, Liu Yirui¹, Wang Cheng¹, Ying Hongkang²

(1. School of Civil Engineering and Hydraulic Engineering, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;
2. School of Public Administration, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang, Jiangxi 330013, China)

Abstract: [Objective] The coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem service value in the Lanzhou-Xining urban agglomeration was investigated in order to provide an empirical basis for regional synergistic development. [Methods] The Lanzhou-Xining urban agglomeration was selected as the study area. The comprehensive urbanization level was measured using the entropy weight-TOPSIS method, ecosystem service values were calculated using the equivalent factor method, and the coupling degree, coordination degree, and coupling coordination degree were analyzed using a coupling coordination model. [Results] ① The comprehensive urbanization level increased from 0.120 7 in 2015 to 0.914 6 in 2024, with economic and spatial urbanization identified as the most prominent driving factors. ② The total ecosystem service value showed an “increase-decrease” trend, peaking at 2.97×10^{11} yuan in 2022 and declining to 2.70×10^{11} yuan in 2024. Regulation services consistently accounted for the highest proportion, while cultural services increased from 7.66×10^9 yuan to 1.00×10^{10} yuan. ③ The coupling coordination degree (D-value) evolved from “moderate disorder” to

收稿日期: 2025-06-18

修回日期: 2025-12-16

采用日期: 2025-12-19

资助项目: 青海大学研究生科研创新项目“兰西城市群城镇化与生态环境耦合协调关系及驱动机制研究”(2025-GMKY-28)

第一作者: 何黎明(2001—), 男(汉族), 江西省抚州市人, 硕士研究生, 研究方向为城乡规划与区域可持续发展。Email: h362528@163.com。

通信作者: 李小玲(1983—), 女(土族), 青海省海东市人, 博士, 副教授, 主要从事生态经济与区域可持续发展等方面的研究。Email: lxlsource@163.com。

“barely coupling” and then to “quality coupling”. Although it declined to 0.931 2 in 2024, it remained at the quality coupling level, following an overall trajectory of “disorder-coupling-quality coupling”. [Conclusion] The coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem service value exhibits distinct stages during the study period, transitioning from disorder to quality coupling overall. However, fluctuations in coordination are influenced by imbalanced development across urbanization dimensions and dynamic changes in ecosystem service value structure. In the future, emphasis should be placed on promoting balanced development across all urbanization dimensions and strengthening the conservation of ecosystem provision and support services to support sustainable development in the Lanzhou-Xining urban agglomeration.

Keywords: urbanization; ecosystem services; coupling coordination; Lanzhou-Xining urban agglomeration

城市化作为现代化的必由之路,正以史无前例的速度重塑全球人地关系。截至2023年,全球城市化率已达57.4%,中国城市化率突破66.2%,形成“以人为核心,以生态为基”的新型城市化范式^[1]。在此进程中,生态系统服务作为自然环境对人类福祉的直接馈赠,通过供给服务(粮食、水资源)、调节服务(气候调节、水质净化)、支持服务(土壤形成、生物多样性维持)及文化服务(景观美学、休闲体验)四大维度,构成城市化可持续发展的物质基础与环境保障^[2]。联合国环境规划署^[3]指出,全球约60%的生态系统服务正处于退化状态,快速城市化带来的生态用地挤压与环境污染等问题,进一步加剧了其价值损耗,因而深入揭示城市化与生态系统服务之间的耦合机制具有重要意义。

城市化与生态系统服务的互动关系是全球人地系统研究的核心议题。国外研究经历了从单一服务分析向多服务综合评估的演进,早期工作集中于城市化对特定生态系统服务的影响机制,如探讨城市空间扩张对局地碳循环过程的干扰机制^[4];随着系统思维与空间分析技术的发展,研究逐渐转向多服务协同评估与空间耦合建模^[5],或从土地利用变化视角分析城市景观格局对生态系统服务功能的影响^[6]。这些进展为理解城市化进程中生态服务的响应机制提供了重要的方法论基础。国内研究起步于21世纪初,早期以价值核算为主,谢高地等^[7]构建了适合中国国情的生态系统服务价值评估体系,为区域生态保护提供了量化基础;钱大文等^[8]对祁连山南坡生态系统服务价值时空演变的研究,进一步揭示了自然与人文因素对生态服务变化的复合驱动效应。随着城市化与生态环境矛盾日益凸显,研究视角逐步转向二者耦合关系的探讨。Li Baojie等^[9]以中国南京市为例,较早开展了城市化对生态系统服务影响的综合评估,推动了中观尺度耦合研究的实证探索。在此基础之上,后续研究进一步聚焦于城市化多维度特征与生态服务价值之间的相互作用机制,如梁龙武等^[10]、卢辞等^[11]、杜峯屹等^[12]分别以京津冀城市

群、黄河三角洲和闽东南为例,解析了城市化多维系统与生态服务的时空耦合特征,为区域协调发展提供了政策依据。目前,现有研究已初步形成“影响-耦合-调控”的分析框架,但仍存在局限性,一方面,研究对象多集中于中东部发达城市群,对西部生态脆弱地区的关注相对不足,难以揭示生态约束背景下城市化与生态服务的独特耦合规律;另一方面,多数研究侧重于城市化对生态系统服务的单向影响,对二者之间的动态反馈机制,尤其是不同城市化维度与生态服务类型之间的精细互馈关系的研究仍较为薄弱。

本研究以西部生态脆弱区的兰州-西宁(简称“兰西”)城市群为案例,通过构建“人口-经济-社会-空间”城市化综合评价体系与“供给-调节-支持-文化”生态系统服务价值核算框架,尝试解析多维度城市化与多类型生态服务之间的对应耦合关系,以增强机制分析的精细性,为理解生态约束条件下城市化与生态系统服务的复杂互馈关系提供实证补充;通过量化分析兰西城市群城市化与生态系统服务价值的耦合协调状态,为该区域生态保护与城市发展的协同管理提供参考,也可为同类地区的可持续发展路径探索提供借鉴。

1 研究区概况

兰西城市群地处黄河上游(100°—104°E, 35°—37°N)。跨甘肃、青海两省,涵盖兰州、西宁、海东市全境以及白银市的白银区、平川区、靖远县、景泰县,定西市的安定区、陇西县、渭源县、临洮县,临夏州东乡族自治县、永靖县、积石山保安族东乡族撒拉族自治县,海北州的海晏县,海南州的共和县、贵德县、贵南县,黄南州的同仁市、尖扎县,总面积 $9.75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13]。研究区位于青藏高原东北缘与黄土高原过渡带,是连接华北、西北与西南的枢纽。地形呈西高东低,西北部祁连山东段为高山戈壁,中部为黄河、湟水谷地(海拔1 500~2 500 m),东南部为陇中黄土高原(海拔1 000~2 000 m)。属温带大陆

性气候,年均降水量 200~600 mm,昼夜温差显著。生态系统兼具草原、荒漠、山地森林与河谷湿地,受干旱气候与人类活动叠加影响,土地荒漠化、水土流失、草原退化及湿地萎缩问题突出,生态屏障功能衰减。社会经济层面,2024年 GDP 8.67×10^{11} 元,兰州以能源化工、装备制造为支柱,西宁聚焦新能源与特色农牧加工,双核心引领效应显著;城市化率 63.68%,城镇体系形成以兰州、西宁为双核心,白银、海东等为节点城市,乡镇为基层单元的层级结构特征;陇海—兰新铁路、京藏高速等构建立体交通网络,进一步强化了区域枢纽地位。当前,兰西城市群虽依托“一带一路”倡议与黄河流域生态保护和高质量发展战略,迎来基础设施互联互通、生态保护共抓、产业协同发展等机遇,但生态脆弱性与城市化进程衍生的水资源短缺、土地资源承载压力增大等问题,仍是制约区域可持续发展的核心挑战。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

行政边界矢量数据源自中国科学院资源环境科学数据中心发布的全国行政区划数据集(矢量数据,网址: <http://www.resdc.cn>);数字高程模型(DEM)数据为地理空间数据云平台获取的 ASTERGDEM 数字高程数据(空间分辨率 30 m,时间基准 2020 年,网址: <http://www.gscloud.cn>);土地利用/覆盖数据采用武汉大学遥感信息工程学院发布的《中国 30 m 分辨率土地利用/覆盖数据集(CLOUDs)》(空间分辨率 30 m,时间序列 2015—2024 年,网址: <http://www.whu.edu.cn>),该数据集基于多源遥感影像解译,包含耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 大一级类及 16 个二级类,为生态系统服务价值评估提供核心数据源。所有数据经标准化处理后,通过 ArcGIS 10.7 进行空间配准与叠加分析,确保数据的空间精度与统计口径一致性。社会经济数据方面,GDP、人均 GDP、人均社会消费品零售额等城市化水平测度指标,主要依据相应年份的《中国城市统计年鉴》《甘肃省统计年鉴》《青海省统计年鉴》及相关市(州、县)国民经济和社会发展统计公报整理;粮食产量、作物种植结构等农业经济数据,源自《全国农产品成本收益资料汇编》及地方农业统计年报。对于具有明显时间趋势的连续变量(如年度 GDP、人口等),若缺失年份前后数据完整,则基于线性拟合进行插值补充,以反映其随时间的变化趋势;对于无明显时间趋势或受年度波动影响较大的指标(如部分农业统计指标),不适宜采用时间趋势外推,该类

数据主要依据空间或时间上的相似性进行填补,具体选用地理邻近、经济发展水平相近的同类区域同年数据,或采用目标区域相邻年份的数值,通过取均值或直接替代的方式进行补充,确保研究数据的全面性和准确性。

2.2 研究方法

2.2.1 评价体系构建

城市化水平评价指标体系构建遵循科学性、系统性、综合性与可操作性原则,紧密围绕城市化核心内涵,结合兰西城市群的地域特点和发展实际,从多维度分析发展水平,在已有研究的基础上^[14-18],从人口、经济、社会、空间 4 个维度进一步选取 10 个指标构建指标体系,测评兰西城市群城市化发展水平(表 1)。

表 1 兰西城市群城市化水平综合测度指标体系及权重
Table 1 Comprehensive measurement indicator system and weights of urbanization level in Lanzhou-Xining urban agglomeration

维度	指标	属性	权重
人口城市化	城市人口比重/%	正	0.103 0
	人口密度/(人·km ²)	正	0.143 1
	市区常住人口/万人	正	0.067 6
经济城市化	第三产业占 GDP 的比重/%	正	0.069 5
	人均 GDP/万元	正	0.109 4
	城镇居民人均可支配收入/元	正	0.097 9
社会城市化	每万人拥有病床数/张	正	0.105 3
	人均社会消费品零售额/元	正	0.081 9
空间城市化	人均拥有道路面积/m ²	正	0.102 5
	人均公园绿地面积/m ²	正	0.119 8

2.2.2 熵权-TOPSIS 法

熵权法旨在给指标进行客观赋权,避免主观性影响;TOPSIS 法在熵权法确定的指标权重基础上,通过测算评价对象与理想解、负理想解的距离实现优劣排序,判断评价对象的优劣水平^[19]。计算步骤如下:

正向指标处理:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} + 0.000 01 \quad (1)$$

负向指标处理:

$$X'_{ij} = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} + 0.000 01 \quad (2)$$

式中: $\max X_{ij}$ 表示第 j 个指标数据的最大值; $\min X_{ij}$ 代表第 j 个指标数据的最小值; X'_{ij} 代表 i 年第 j 个指标的标准化值。

(1) 指标占比。

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}} \quad (3)$$

(2) 指标熵值。

$$\theta_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

(3) 指标权重。

$$\omega_j = \frac{1 - \theta_j}{\sum_{j=1}^m (1 - \theta_j)} \quad (5)$$

(4) 基于熵权法计算出的各个指标权重(ω_j),构建加权矩阵。

$$Z_{ij} = \omega_j \times X'_{ij} \quad (6)$$

(5) 确定最优/劣解。

$$Z_j^+ = \{ \max Z_{ij} | i=1,2,3 \dots n \} \quad (7)$$

$$Z_j^- = \{ \min Z_{ij} | i=1,2,3 \dots n \} \quad (8)$$

(6) 计算欧式距离。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij} - Z_j^+)^2} \quad (9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \quad (10)$$

(7) 各年份的相对接近度 C 值。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (11)$$

式中: n 为样本总数; m 为指标总数; C_i 代表型城市化发展质量指数。 C_i 值越大,发展质量越高;反之,则发展质量越低。

2.2.3 当量因子法

为核算兰西城市群各年份的各类生态系统服务价值及总价值,本研究基于谢高地等^[20]在 Costanza 生态系统服务价值量化框架基础上改良的当量因子法,针对兰西城市群开展测算方法的本地化建构。首先通过地类匹配分析,确定区域内旱田、林地、草地、水域、裸地分别对应该表中的农田、森林、草地、水系、未利用地类型,建设用地因无生态服务功能其价值界定为零;针对林地与草地的区域特征,对其二级服务类型的当量因子取平均值作为区域专属因子;对于未利用地以裸地、沙地为主且地处半干旱区的区域特征,参考谢高地等^[21]在《青藏高原生态资产的价值评估》中构建的、符合青藏高原特点的价值当量表,对未利用地的生态服务当量进行本地化调整,其余地类沿用基准因子,构建了兰西城市群生态系统服务价值当量表(表 2)。在此表基础上进一步以修正后的全国当量表为基数,结合研究区社会经济数据修正单位面积粮食产量经济价值,计算具体土地利用类型的生态系统服务价值,计算公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^s \frac{m_k p_k q_k}{M} \quad (12)$$

式中: E_a 为单位面积农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元/hm²); s 为参与计算的农作物总种类数; k 为农作物种类; m_k 为 k 种农作物种植面积(hm²); p_k 为 k 种农作物某年的全国平均价格(元/t); q_k 为 k 种农作物产量(t/hm²); M 为所有农作物的种植面积(hm²)。

表 2 兰西城市群的各土地类型的生态系统服务价值当量值

Table 2 Ecosystem service value equivalents of different land types in Lanzhou-Xining urban agglomeration

生态系统服务功能		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
一级类型	二级类型						
供给服务	食物生产	0.85	0.25	0.23	0.8	0	0
	原料生产	0.40	0.58	0.34	0.23	0	0
	水资源供给	0.02	0.30	0.19	8.29	0	0
调节服务	气体调节	0.67	1.91	1.21	0.77	0	0.02
	气候调节	0.36	5.71	3.19	2.29	0	0.05
	净化环境	0.10	1.67	1.05	5.55	0	0.01
	水文调节	0.27	3.74	2.34	102.24	0	0.03
支持服务	土壤保持	1.03	2.32	1.47	0.93	0	0.05
	维持养分循环	0.12	0.18	0.11	0.07	0	0
	生物多样性	0.13	2.12	1.34	2.55	0	0.08
文化服务	美学景观	0.06	0.93	0.59	1.89	0	0.02

$$ESV = \sum_{x=1}^t \sum_{y=1}^z e_{xy} \times E_a \times A_y \quad (13)$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务总价值; t 为生态

系统服务功能类型的总数; z 为生态系统类型的总数; x 为生态系统服务功能类型; y 为生态系统类型; e_{xy} 为第 y 种生态系统的第 x 种生态服务功能相对于

农田生态系统提供生态服务单价的当量因子; E_a 为单位面积农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元); A_y 为第 y 类生态系统面积(hm^2)。

2.2.4 耦合协调模型

耦合协调模型是分析多系统间相互作用强度与协调匹配程度的方法,可通过耦合度反映系统相互作用程度,通过协调度反映系统匹配水平,最终得到耦合协调度表征系统协同状态。为分析兰西城市群城市化水平与生态系统服务价值的协调程度,引用耦合协调度模型,对二者相互协调情况进行分析,计算公式为

$$C = 2 \times \frac{\sqrt{u_1 \times u_2}}{\sqrt{(u_1 + u_2)^2}} \quad (14)$$

$$T = a \times u_1 + b \times u_2 \quad (15)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (16)$$

式中: C 为耦合度,取值在 $0 \sim 1$ 之间; u_1 为标准化后的城市化水平; u_2 为标准化后的生态系统服务价值; T 为城市化与生态服务价值协调指数, a , b 为二者的系数,代表对整体的贡献程度,基于现有研究^[22-23],认为二者同等重要,即 $a=b=0.5$; D 为耦合协调度,取值为 $0 \sim 1$ 之间。 D 值越大,代表耦合协调度越强,反之则越弱。根据现有学者的研究成果^[24],将耦合协调度水平按照 D 值大小进行划分(表3)。

表3 耦合协调水平及划分标准
Table 3 Coupling coordination levels and classification criteria

D 值	耦合协调阶段	分类
$0 \leq D < 0.1$		极度失调
$0.1 \leq D < 0.2$	失调阶段	严重失调
$0.2 \leq D < 0.3$		中度失调
$0.3 \leq D < 0.4$		轻度失调
$0.4 \leq D < 0.5$	过渡阶段	濒临失调
$0.5 \leq D < 0.6$		勉强耦合
$0.6 \leq D < 0.7$		初级耦合
$0.7 \leq D < 0.8$		中级耦合
$0.8 \leq D < 0.9$	协调阶段	良好耦合
$0.9 \leq D < 1.0$		优质耦合

3 结果与分析

3.1 兰西城市群城市化水平分析

由表4可知,2015—2016年兰西城市群城市化各维度指数变化较大,主要是由于统计体系迭代校准与政策效能集中释放的双重影响,前者为2016年国家统计制度优化,修正了2015年因口径模糊、采集粗放产生的偏差,推动基础数据从“经验估算”向“精准计量”转型,直接影响指数计算;后者表现为同期产业结构调整、城市空间扩张等政策落地,驱动“第三产业占比”

“人均GDP”等核心指标显著变化,政策红利集中释放形成发展动能,二者叠加引起指数变化。2016年后,指数随原始指标稳步增长,印证该阶段是城镇化“精准统计体系构建”与“政策驱动发展”的双重转折点。

表4 2015—2024年兰西城市群城市化各维度及综合发展水平指数

Table 4 Indices of different dimensions and comprehensive development levels of urbanization in Lanzhou-Xining urban agglomeration (2015—2024)

年份	发展水平指数				
	人口城市化	经济城市化	社会城市化	空间城市化	综合城市化
2015	0.203 7	0.032 6	0.063 4	0.027 6	0.120 7
2016	0.063 0	0.135 4	0.117 3	0.044 1	0.092 8
2017	0.167 9	0.259 7	0.291 4	0.245 1	0.232 0
2018	0.264 2	0.391 8	0.325 0	0.389 8	0.336 5
2019	0.488 1	0.507 4	0.465 6	0.516 3	0.496 7
2020	0.763 8	0.567 2	0.567 2	0.786 7	0.675 3
2021	0.856 9	0.672 0	0.726 3	0.831 1	0.773 5
2022	0.895 5	0.718 7	0.687 5	0.972 4	0.809 2
2023	0.905 4	0.833 6	0.909 8	0.918 5	0.886 8
2024	0.905 3	0.920 5	0.967 6	0.896 8	0.914 6

2017—2020年,伴随兰西城市群规划深度落地,人口城市化进入快速集聚期,2021年后逼近阈值转入“存量优化”阶段;经济城市化持续递增(2015—2024年从0.032 6升至0.920 5),彰显产业升级、经济规模扩张的基础性支撑作用;社会城市化经历“低速起步(2015—2017)—快速突破(2018—2021)—调整优化(2022—2024)”的变化过程,2022年的短暂回落与后续回升,映射公共服务供给从“规模覆盖导向”向“质量提升导向”的转型逻辑;空间城市化前中期(2015—2022年)因城镇外延扩张呈指数增大态势,2023年后的回落是空间开发模式从“增量扩张”向“存量优化”切换的信号,彰显城镇空间利用效率提升的进阶路径。

从综合城市化发展时序演变来看,综合城市化指数整合多维度互动效应,呈现“协同演进”的阶段特征。2015—2016年,因人口、社会、空间维度滞后于经济发展,多维度协同不足导致指数低迷;2017—2022年,政策驱动下人口集聚、经济增长、社会完善与空间扩张形成“共振”,指数从0.232 0跃升至0.809 2;2023—2024年,尽管人口城市化增速放缓,空间城市化出现收缩,但经济城市化的质量升级与社会城市化的内涵发展形成补位,推动综合指数突破0.9,表明兰西城市群城市化步入高质量协同阶段。这一演变轨迹为后续解析城市化与生态系统服务价值的耦合关系,提供了“阶段分化-协同互动”的关键分析维度。

从各维度对兰西城市群的城市化贡献度来看

(图 1),人口维度在 2015 年以 62% 的绝对占比主导城市化,随后因人口集聚速度放缓,城市化进入“存量阶段”,贡献度骤降至 2016 年的 18%,后续稳定在 25%~28%,表明人口驱动从规模扩张转向结构优化;经济维度 2015 年贡献度仅 10%,2016 年跃升至 38%,后维持在 21%~29%,2023—2024 年回升至 23%~25%,体现了产业升级对城市化的持续赋能以及经济驱动的“中期突破,长期稳定”特性;社会维度贡献度从 2015 年 19% 升至 2016 年 33%,后续保持 21%~30%,2023—2024 年稳定在 26% 左右,反映了公共服务均等化、社会福利完善的持续支撑作用;空间维度 2015—2016 年贡献度不足 15%,2017 年后快速升至 25%~30%,2022 年达 30%,2023 年后回落至 24%~26%,对应城镇空间从外延扩张向内涵提质的转型。整体而言,各维度贡献度的动态调整,反映了兰西城市群城市化“动力源迭代,多维度协同深化”的特征,初期依赖人口集聚,中期叠加经济增长与空间扩张,后期转向经济、社会、空间的“质量型协同”,人口驱动则从“绝对主导”回归“均衡支撑”。

3.2 兰西城市群生态系统服务价值分析

由表 5 可知,2015—2024 年,兰西城市群生态系统服务总价值呈现波动变化特征。总价值在 2016 年降至低谷,2022 年达峰值后逐步回落,反映了生态系统服务的动态响应过程。其中,草地、林地、水域是核心贡献者,草地价值在 2022 年突破 1.78×10^{11} 元,后因土地利用转换或气候波动回落;林地与水域价

值同步在 2020—2022 年快速升高,主要受区域生态修复、湿地保护政策的驱动影响,2023 年后回落,既因城镇化“存量优化”对湿地、山体等生态敏感区的局部挤占,也受生态修复边际效益递减、气候变化扰动,以及耕地向生态农业转型的短期价值重构影响,映射城镇化与生态调控互动下的动态平衡过程;耕地价值呈“升—降—波动”的变化趋势,2020 年的峰值源于耕地质量提升策略,后续回落反映农业用地的功能转型;未利用地价值虽然基数低,但逐年递增,体现其生态功能的渐进释放。综上所述,生态系统服务价值的变化,既受自然要素驱动,更与城市化进程中土地利用转型、生态政策干预深度关联。

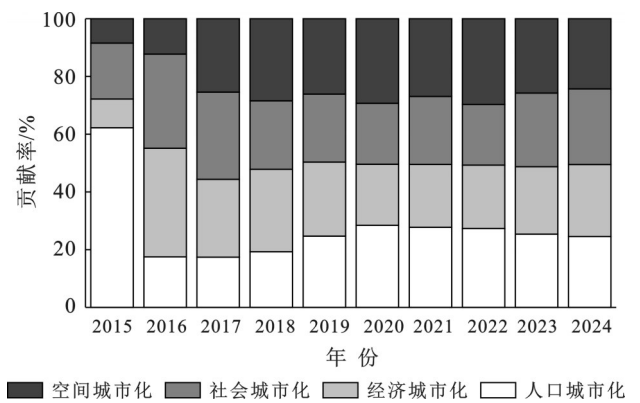


图 1 2015—2024 年兰西城市群各维度对综合城市化水平指数的贡献度

Fig.1 Contribution of different dimensions to comprehensive urbanization level index in Lanzhou-Xining urban agglomeration (2015—2024)

表 5 2015—2024 年兰西城市群各类土地利用类型生态系统服务价值及总价值
Table 5 Ecosystem service values and total value of different land use types in Lanzhou-Xining urban agglomeration (2015—2024)

年份	生态服务价值/元						总价值
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2015	6.85×10^9	1.10×10^{10}	1.25×10^{11}	6.17×10^{10}	0	1.11×10^8	2.05×10^{11}
2016	6.25×10^9	1.01×10^{10}	1.15×10^{11}	5.67×10^{10}	0	1.06×10^8	1.88×10^{11}
2017	6.53×10^9	1.07×10^{10}	1.20×10^{11}	5.96×10^{10}	0	1.11×10^8	1.97×10^{11}
2018	6.81×10^9	1.13×10^{10}	1.25×10^{11}	6.31×10^{10}	0	1.22×10^8	2.06×10^{11}
2019	7.15×10^9	1.17×10^{10}	1.29×10^{11}	6.56×10^{10}	0	1.26×10^8	2.13×10^{11}
2020	9.08×10^9	1.47×10^{10}	1.57×10^{11}	8.15×10^{10}	0	1.61×10^8	2.62×10^{11}
2021	8.44×10^9	1.36×10^{10}	1.43×10^{11}	7.42×10^{10}	0	1.51×10^8	2.39×10^{11}
2022	1.02×10^{10}	1.64×10^{10}	1.78×10^{11}	9.21×10^{10}	0	2.03×10^8	2.97×10^{11}
2023	9.88×10^9	1.60×10^{10}	1.75×10^{11}	9.04×10^{10}	0	2.05×10^8	2.92×10^{11}
2024	9.15×10^9	1.48×10^{10}	1.62×10^{11}	8.37×10^{10}	0	1.89×10^8	2.70×10^{11}

2015—2024 年,兰西城市群生态系统服务价值呈现“调节服务主导,多类型协同波动”的特征(图 2)。其中,调节服务始终占据绝对主导,2022 年达峰值 (2.11×10^{11} 元),其变化与林地、水域等生态系统的质量优化及面积变化密切相关;供给、支持、文化服务为次核心层级,供给服务在 2022 年跃升至 2.22×10^{10}

元,其增长映射出草地、耕地等生态系统生产功能的阶段性强化,得益于区域农业提质策略的推进及草地资源的合理开发利用;支持服务同步提升至 5.29×10^{10} 元,表明生态系统在物质循环、养分保持等核心功能的稳定性提升依赖于林地、水域生态的持续改善;文化服务持续增长至 1.10×10^{10} 元,体现出生态旅

游开发等文化体验类功能的逐步释放,反映了兰西城市群对生态系统文化价值的挖掘与拓展进程。总服务价值与各类型协同演变,2015—2022年因生态修复、湿地保护等政策驱动波动上升,2022年达峰值(2.97×10^{11} 元);2023—2024年回落,表明城市化加速对生态用地的挤占效应已超越政策增益,导致生态系统结构与功能受损。这种波动既彰显生态政策对服务价值的正向赋能,也暴露了城市化扩张的负向影响。

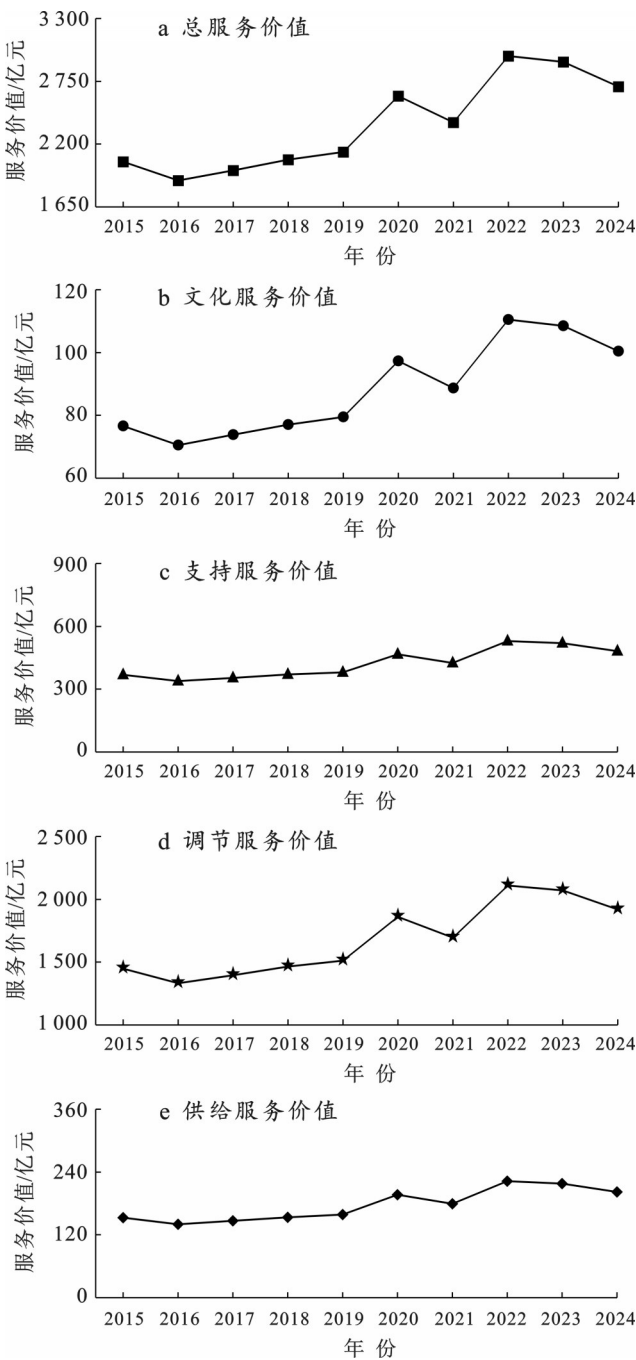


图2 2015—2024年兰西城市群各项生态系统服务价值变化
Fig.2 Changes in different ecosystem service values in Lanzhou-Xining urban agglomeration (2015—2024)

3.3 兰西城市群城市化与生态系统服务价值耦合协调关系分析

从城市化水平与生态系统服务总价值的动态关联来看,2015—2024年二者关系呈现出明显的阶段性演变特征(表6)。

2015—2018年为低协调阶段,该阶段城市化水平在0.1207~0.3365之间波动,其中2016年出现回落(表4),表明城市化初期扩张模式较为粗放。与此同时,生态系统服务价值也处于较低水平,2016年降至 1.88×10^{11} 元。此时期城市化对生态空间的占用较为显著,两者协调程度较低,耦合协调度处于“失调”至“濒临失调”状态。2019—2022年进入协调提升阶段。城市化水平从0.4967稳步上升至0.8092,年均增幅显著。生态系统服务价值同步增长,2022年达到峰值(2.97×10^{11} 元)(表5)。这一同步上升趋势主要得益于城市化发展模式向质量提升转型,以及林地保护、湿地恢复等生态工程的实施,共同促进了生态系统服务功能的增强。两者耦合协调度也由“勉强耦合”逐步进入“优质耦合”区间。2023—2024年表现为高位调整阶段,城市化水平趋于高位稳定,2024年达到0.9146。然而,生态系统服务价值出现连续下降,从2023年的 2.92×10^{11} 元回落至2024年的 2.70×10^{11} 元。该变化在一定程度上反映了高强度城市化背景下,生态空间持续承压、生态修复边际效益减弱等问题突出。尽管耦合协调度处于优质耦合范围,但其小幅回落表明,在城市化发展后期,维持生态系统服务功能面临持续压力。

表6 2015—2024年兰西城市群城市化与生态系统服务价值耦合协调关系

Table 6 Coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem service value in Lanzhou-Xining urban agglomeration (2015—2024)

年份	耦合度 (C)	协调度 (T)	耦合协调度 (D)	耦合水平分类
2015	0.7764	0.0918	0.2670	中度失调
2016	1.0000	0.0000	0.0032	极度失调
2017	0.9359	0.1253	0.3424	轻度失调
2018	0.9602	0.2317	0.4717	濒临失调
2019	0.9313	0.3603	0.5793	勉强耦合
2020	0.9998	0.6935	0.8327	良好耦合
2021	0.9599	0.6468	0.7880	中级耦合
2022	0.9976	0.9359	0.9663	优质耦合
2023	1.0000	0.9583	0.9789	优质耦合
2024	0.9899	0.8760	0.9312	优质耦合

4 讨论

现有研究围绕“城市化-生态系统服务”耦合关系形成了系列共识。如城市化进程与生态系统服务价值间存在显著的阶段依赖性。即城市化初期因空间扩张对生态用地的挤占,易导致生态服务价值下降,而随着城市化质量提升与生态保护政策完善,二者可逐步实现协同发展^[25-26]。本研究中兰西城市群的演化轨迹与这一规律总体契合,例如2015—2016年城市化快速扩张引发的生态服务价值低谷,以及2022年后绿色发展导向下的耦合协调升级,均印证了“发展-保护”矛盾的阶段性调和逻辑。

本研究结果与既有成果相比存在三方面显著差异。①发展阶段的差异。东部城市群已进入“存量优化”阶段,生态服务价值波动更多依赖产业结构高端化与市场驱动的生态补偿机制^[27-28];而兰西城市群处于“加速城市化”与“质量转型”交织期,生态服务价值提升更依赖阶段性政策,呈现“政策驱动型协同”特征,这与“东部城市群的内生性协同”形成鲜明对比。②生态系统的敏感性差异。东部城市群生态系统韧性较强,生态服务价值对城市化的响应相对平缓^[29];兰西地处黄河上游生态屏障区,草地、林地等生态用地的服务功能对干扰更敏感,2023年后价值回落既反映城市化胁迫,也凸显脆弱条件下生态系统恢复力的有限性,这一特征在东部研究中较少被关注。③耦合阶段的驱动机制存在差异。现有研究多将耦合协调的提升归因于经济发展方式转变^[30],本研究则发现,兰西城市群的耦合升级除经济因素外,社会城市化(公共服务均等化)与空间城市化(生态友好型规划)的协同作用更为突出,2024年二者对综合城市化的贡献度合计达51%,这一“社会-空间双轮驱动”模式为西部生态脆弱区的耦合协调提供了新解释。

综上所述,本研究以西部典型城市群为案例,分析了“城市化-生态系统服务”耦合在经济欠发达、生态脆弱区的阶段性特征与驱动机制,为区域差异化人地协调管理提供了理论参考。

5 结论

(1) 兰西城市群城市化发展呈现从规模扩张到高质量转型的阶梯式演进。2015—2024年,兰西城市群综合城市化水平由0.1207持续提升至0.9146,经历了由初步调整到多维推进的发展过程。其中,人口城市化经历快速集聚后转向平稳优化;经济城市化保持稳定增长,始终是核心驱动力;社会城市化

稳步推进并在后期加快;空间城市化在前中期扩张显著,后期转为结构优化。整体驱动结构由早期经济单极拉动逐步转变为经济、社会与空间多元协调并进,表明城市化进程趋于均衡与深化。

(2) 生态系统服务价值呈现政策与城市化交互下的动态变化。研究期内,生态系统服务总价值由2016年的低谷(1.88×10^{11} 元)上升至2022年峰值(2.97×10^{11} 元),2024年出现回落。其中,草地生态系统贡献最大,调节服务长期保持主导地位。价值变化主要受城市化进程中土地格局变化和生态修复政策的共同影响。城市化扩张初期导致生态空间有所压缩,而2018年后实施的生态工程对服务功能提升起到积极作用,但近年因生态修复边际效益减弱和城市化存量优化影响,服务价值出现小幅回调,折射出城市化胁迫与政策增益的动态博弈。

(3) 城市化与生态系统服务价值的耦合协调关系逐步改善。城市化与生态系统服务价值的耦合协调遵循“冲突失调—修复调适—协同耦合”演进路径。彰显兰西城市群发展逻辑从“开发优先”向“绿色协同”的根本性转变。

参考文献(References)

- [1] 中共中央 国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[Z]. (2021-03-11) [2025-12-27]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm. Communist Party of China Central Committee & State Council. Outline of the 14th five-year plan for national economic and social development and the long-range objectives through the year 2035 of the People's Republic of China [Z]. (2021-03-11) [2025-12-27]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis[R]. (2025-05-09). Washington, D. C.: Island Press, 2005. <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>.
- [3] United Nations Environment Programme. Global environment outlook-6: Healthy planet, healthy people [R]. (2022-03-31). Nairobi: Unep, 2022. <https://www.unep.org/resources/report/global-environment-outlook-6>.
- [4] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, et al. A social-ecological perspective on urban ecosystem services [J]. Ecology Letters, 2011, 14(11): 1148-1158.
- [5] Gómez-Baggethun E, Barton D N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning [J]. Ecological Economics, 2013, 86: 235-245.
- [6] Halecki W, Stachura T. Evaluation of soil hydrophysical parameters along a semiurban small river: Soil ecosystem

- services for enhancing water retention in urban and suburban green areas [J]. *Catena*, 2021, 196: 104910.
- [7] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.
- [8] 钱大文, 曹广民, 杜岩功, 等. 2000—2015年祁连山南坡生态系统服务价值时空变化[J]. *生态学报*, 2020, 40(4): 1392-1404.
Qian Dawen, Cao Guangmin, Du Yangong, et al. Spatio-temporal dynamics of ecosystem service value in the southern slope of Qilian Mountain from 2000 to 2015 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(4): 1392-1404.
- [9] Li Baojie, Chen X, Wu J, et al. Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services: Case study of Nanjing City, China [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 71: 416-427.
- [10] 梁龙武, 王振波, 方创琳, 等. 京津冀城市群城市化与生态环境时空分异及协同发展格局[J]. *生态学报*, 2019, 39(4): 1212-1225.
Liang Longwu, Wang Zhenbo, Fang Chuanglin, et al. Spatiotemporal differentiation and coordinated development pattern of urbanization and the ecological environment of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(4): 1212-1225.
- [11] 卢辞, 李明鸿. 黄河三角洲城市化与生态系统服务价值的耦合关系[J]. *国土与自然资源研究*, 2023(6): 20-26.
Lu Ci, Li Minghong. The coupling relationship between urbanization and ecosystem service value in the Yellow River delta [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2023(6): 20-26.
- [12] 杜峯屹, 陈松林, 蒲佳豪. 闽东南地区城镇化与生态系统服务的时空耦合分析[J]. *环境科学*, 2024, 45(7): 4152-4163.
Du Fengyi, Chen Songlin, Pu Jiahao. Spatiotemporal coupling analysis of urbanization and ecosystem services in southeastern Fujian [J]. *Environmental Science*, 2024, 45(7): 4152-4163.
- [13] 国家发展改革委 住房和城乡建设部. 兰州-西宁城市群发展规划: 发改规划[2018]423号 [EB/OL]. (2018-03-13). [2025-12-27]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5434948.htm.
National Development and Reform Commission, Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Lanzhou-Xining urban agglomeration development plan: NDRC planning [2018] No. 423 [EB/OL]. (2018-03-13). [2025-12-27]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5434948.htm.
- [14] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. *生态学报*, 2015, 35(7): 2244-2254.
Wang Shaojian, Fang Chuanglin, Wang Yang. Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [15] 沈星如, 孙超, 赵赛帅, 等. 基于时序遥感的城市化和生态环境耦合协调关系空间异质性发展分析: 以长三角沿海城市带为例[J/OL]. *生态学杂志*, 2025: 1-18. (2025-11-19). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.q.20251119.1607.010.html>.
Shen Xingru, Sun Chao, Zhao Saishuai, et al. Analysis of spatial heterogeneous development of the coupling and coordination relationship between urbanization and ecological environment using time-series remote sensing: A case study in the coastal urban belt of the Yangtze River Delta [J/OL]. (2025-11-19). *Chinese Journal of Ecology*, 2025: 1-18. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.q.20251119.1607.010.html>.
- [16] 汪伦焰, 蒋赞美, 李慧敏, 等. 河南省城市化与生态环境耦合协调状态的时空格局[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(5): 311-318.
Wang Lunyan, Jiang Zanmei, Li Huimin, et al. Spatial and temporal pattern of urbanization and ecological environment coupling coordination in He'nan Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(5): 311-318.
- [17] 张凯莉, 冯荣荣, 刘潭, 等. 黄河流域城市化与生态系统服务价值协调性及障碍因素研究[J]. *干旱区地理*, 2022, 45(4): 1254-1267.
Zhang Kaili, Feng Rongrong, Liu Tan, et al. Coordination and obstacle factors of urbanization and ecosystem service value in the Yellow River basin [J]. *Arid Land Geography*, 2022, 45(4): 1254-1267.
- [18] 张永彬, 李春雨, 刘明月, 等. 2000—2020年京津冀城市群城市化与生态环境耦合分析[J]. *应用科学学报*, 2025, 43(3): 475-490.
Zhang Yongbin, Li Chunyu, Liu Mingyue, et al. Coupling analysis of urbanization and ecological environment in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration from 2000 to 2020 [J]. *Journal of Applied Sciences*, 2025, 43(3): 475-490.
- [19] 张琳, 贺家睿. 基于熵权-TOPSIS法的绿色城市发展水平评价研究: 以济南市为例[J]. *工程管理学报*, 2024, 38(1): 71-76.
Zhang Lin, He Jiarui. Evaluation of green city development level based on entropy weight-TOPSIS method: Taking Jinan City as an example [J]. *Journal of Engi-*

- neering Management, 2024, 38(1):71-76.
- [20] Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhen Lin, et al. Dynamic changes in the value of China's ecosystem services [J]. *Ecosystem Services*, 2017, 26:146-154.
- [21] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2):189-196.
Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2):189-196.
- [22] 乔蕻强. 兰州市城市化与生态系统服务价值的耦合关系定量研究[J]. *水土保持通报*, 2017, 37(4):333-337.
Qiao Hongqiang. Quantitative coupling between urbanization of Lanzhou City and its ecosystem service value [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(4):333-337.
- [23] 衡筱. 黄河流域城镇化与生态系统服务耦合协调关系的时空演变特征及影响因素分析[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2024.
Heng Xiao. Analysis of spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of coupling coordination relationship between urbanization and ecosystem services in the Yellow River basin [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A & F University, 2024.
- [24] 任保平, 杜宇翔. 黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(2):119-129.
Ren Baoping, Du Yuxiang. Coupling coordination of economic growth, industrial development and ecology in the Yellow River basin [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(2):119-129.
- [25] 刘耀彬. 中国城市化与生态环境耦合规律与实证分析[J]. *生态经济*, 2007(10):122-126.
Liu Yaobin. Analysis of coupling rule between urbanization and eco-environment and positive test of China [J]. *Ecological Economy*, 2007(10):122-126.
- [26] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(2):211-220.
Huang Jinchuan, Fang Chuanglin. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment [J]. *Geographical Research*, 2003, 22(2):211-220.
- [27] 金琦, 许尔琪, 张红旗, 等. “一带一路”典型区土地利用变化热点区判别与其影响因素[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(5):53-65.
Jin Qi, Xu Erqi, Zhang Hongqi, et al. Hotspots identification and influencing factors of land use change in the typical region of the belt and road initiative [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(5):53-65.
- [28] 陈雯, 兰明昊, 孙伟, 等. 长三角一体化高质量发展: 内涵、现状及对策[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(6):1403-1412.
Chen Wen, Lan Minghao, Sun Wei, et al. Integrated high-quality development of the Yangtze River delta: Connotation, current situation and countermeasures [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6):1403-1412.
- [29] 段维利, 余新晓, 陈丽华, 等. 京津冀城市群城镇化与生态建设对生态系统服务价值的影响[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(4):404-411.
Duan Weili, Yu Xinxiao, Chen Lihua, et al. Impact of urbanization and ecological construction on the ecosystem services value in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(4):404-411.
- [30] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1):105-112.
Liu Yaobin, Li Rendong, Song Xuefeng. Analysis of coupling degrees of urbanization and ecological environment in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1):105-112.

(上接第329页)

- [27] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. *中国工业经济*, 2022(5):100-120.
Jiang Ting. Mediation and moderation effects in empirical research on causal inference [J]. *China Industrial Economics*, 2022(5):100-120.
- [28] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. *中国工业经济*, 2019(8):5-23.
Huang Qunhui, Yu Yongze, Zhang Songlin. Internet development and manufacturing productivity improvement: Mechanisms and Chinese experience [J]. *China Industrial Economics*, 2019(8):5-23.
- [29] 张勋, 万广华, 张佳佳, 等. 数字经济、普惠金融与包容性增长[J]. *经济研究*, 2019, 54(8):71-86.
Zhang Xun, Wan Guanghua, Zhang Jiajia, et al. Digital economy, inclusive finance, and inclusive growth [J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54(8):71-86.
- [30] Elhorst J P. Matlab software for spatial panels [J]. *International Regional Science Review*, 2014, 37(3):389-405.