

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.02.036.

安骐岷, 员学锋, 陈锦鸿, 等. 陕西省城镇化与生态环境质量时空交互关系研究[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 275-286.

An Qimin, Yuan Xuefeng, Chen Jinhong, et al. Study on the Spatiotemporal Interaction Between Urbanization and Eco-environmental Quality in Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 275-286.

陕西省城镇化与生态环境质量时空交互关系研究

安骐岷^{1,2,3}, 员学锋^{1,3}, 陈锦鸿^{1,3}, 赵雨^{1,2,3}

(1. 长安大学 土地工程学院, 西安 710064; 2. 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054; 3. 陕西省土地整治重点实验室, 西安 710064)

摘要: [目的] 推进具有中国特色的城镇化, 生态安全是必不可少的环节。同时城镇化是影响区域生态安全格局的重要因素, 厘清城镇化与生态环境质量之间的关系, 为陕西省城镇化开发和促进区域生态保护与高质量发展提供决策参考。[方法] 以陕西省为研究对象, 基于栅格尺度构建城镇化与生态环境质量评价体系, 在分析 2000—2020 年每隔五年陕西省城镇化与生态环境质量时空格局演变的基础上, 采用耦合协调度模型和双变量空间自相关模型剖析了二者耦合关系及时空变化特征。[结果] (1) 2000—2020 年间, 陕西省城镇化水平总体呈现稳步上升趋势, 综合城镇化率提高了 111.45%。整体 RSEI 均值呈稳步上升趋势, 生态环境呈现出好转的态势, 但地区间的差异依旧显著, 整体呈现“北低南高”的分布格局。(2) 陕西省城镇化与生态环境质量耦合协调度呈波动上升趋势, 陕西省内部各县域的生态环境与城镇化耦合协调发展长期存在明显差距, 但随着时间推移, 发展协调的地区逐渐增多。空间格局上以关中地区为核心总体呈现“中部高两边低”的分布特征。(3) 陕西省城镇化与生态环境质量的耦合协调存在一定短板, 相比之下陕北地区城镇化与生态环境质量耦合协调呈现相对滞后的情况。[结论] 2000—2020 年陕西省城镇化与生态环境质量的耦合协调关系存在明显差距但整体呈变好趋势, 建议在城镇化的道路上, 陕西省能够强化绿色生态发展能力、补齐生态短板、因地制宜, 优化区域发展空间布局, 加快形成区域良性互动格局, 制定出更加科学合理的乡村振兴政策。

关键词: 城镇化; 生态环境质量; 耦合协调度; 空间自相关; 陕西省

中图分类号: X321

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)02-0275-12

Study on the Spatiotemporal Interaction Between Urbanization and Eco-environmental Quality in Shaanxi Province

An Qimin^{1,2,3}, Yuan Xuefeng^{1,3}, Chen Jinhong^{1,3}, Zhao Yu^{1,2,3}

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Land Renovation, Xi'an 710064, China)

Abstract: [Objective] Urbanization is an important factor affecting the pattern of regional ecological security. Clarifying the relationship between urbanization and ecological environment quality can provide reference for decision-making in promoting regional ecological protection and high-quality development. [Methods] Based on the analysis of the temporal and spatial variation pattern evolution of urbanization and ecological environment quality in Shaanxi Province every five years from 2000 to 2020, we analyzed the temporal and spatial variation characteristics of the coupling relationship between urbanization and ecological environment quality by constructing an evaluation system of urbanization and ecological environment quality. [Results] The urbanization level of Shaanxi Province presented a steady upward trend, the average RSEI of Shaanxi

收稿日期: 2023-05-11

修回日期: 2023-05-30

资助项目: 陕西省土地整治重点实验室基金项目(211927190123)

第一作者: 安骐岷(1998—), 女(仡佬族), 贵州思南人, 硕士研究生, 研究方向为人地关系与区域可持续发展。E-mail: 18351812768@163.com

通信作者: 员学锋(1977—), 男, 陕西延安人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地利用与评价、人地关系与区域可持续发展。E-mail: zyx-fyun@chd.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

Province presented a steady upward trend, and the eco-environment presented a trend of improvement. However, the differences between regions were still significant, and the overall distribution pattern was low level in the north and high level in the south. The coupling coordination degree of the two showed a trend of fluctuation and rise. There was a significant gap between the coupling and coordinated development of eco-environment and urbanization in each county of Shaanxi Province, but with the passing of time, the number of coordinated development areas was gradually increasing. In contrast, the coupling coordination between urbanization and eco-environmental quality in northern Shaanxi Province showed a relatively backward situation. [Conclusion] There was an obvious gap in the coupling coordination relationship between urbanization and eco-environmental quality in Shaanxi Province, but the overall trend was getting better from 2000 to 2020. It is suggested that on the road of urbanization, Shaanxi Province should strengthen the ability of green ecological development, make up for the ecological weakness, adjust to local conditions, and formulate a more scientific and reasonable rural revitalization policy.

Keywords: urbanization; ecological environment quality; coupling coordination degree; spatial auto-correlation; Shaanxi Province.

城镇化作为研究人地关系必不可少的环节,是一个国家和地区实现工业化和现代化的必由之路,但快速城镇化进程也带来了日益严峻的资源环境保障问题^[1]。建设用地扩张、城市人口激增给自然生态环境带来了巨大的压力,环境污染、资源浪费、生态破坏等问题逐渐凸显^[2]。二十大提出要“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”,对经济发展提出了新的要求:要加快发展方式绿色转型,实施全面节约战略,发展绿色低碳产业,推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式。在生态文明建设和城镇化建设背景下,如何实现城镇化建设与生态环境的良性互动和协调发展是人地关系可持续性发展的关键。

城镇化与生态环境关系作为人地关系研究的重要内容一直受到国内外学者的关注。Grossman 和 Krueger 通过研究环境污染程度的关系提出了“库兹涅茨倒U型曲线”^[3];OECD 提出了脱钩理论,认为随着经济的发展,环境压力会先增大后减小,最终实现脱钩^[4]。国内学者在研究二者关系的基础上,更加注重二者耦合关系的理论分析和实证研究。在理论研究方面,方创琳等^[5-7]提出了城镇化与生态环境的交互耦合作用机制、耦合系统演化的主要阶段以及耦合系统所遵循的定律,并构建出特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应的理论框架和技术路径^[8],为后续的研究奠定了理论基础。在实证研究方面,国内外学者从国家^[9-10]、城市群^[11]、省域^[12]、城市^[13]等多尺度进行了相关研究,研究方法包括耦合协调度模型^[14]、VAR 模型^[15]、回归分析^[16]、模糊综合评价等^[17],如黄茂兴等^[18]通过构建耦合协调度模型以及回归模型分析了福建省生态文明建设和城镇化耦合协调的时空格局以及影响因素;王雅俊^[19]利用 PVAR 模型分析了中国西部地区工

业化、城镇化以及产业生态化三者之间的关系。关于城镇化与生态环境耦合协调关系的研究内容丰富,当前主要研究思路是考虑两个系统的耦合,但对于二者的协调分析大多是基于面板统计数据构建指标进行评价,缺乏时空动态演化规律及机制研究。

陕西省自 1999 年实施退耕还林生态工程以来,森林覆盖率由 1999 年的 30.92% 增长到 2020 年末的 46.39%,生态环境得到较大改善,但仍面临土地空废化、生态环境污损化、农业劳动主体老弱化等问题,为回应二十大对生态文明建设与乡村振兴的要求,践行“绿水青山就是金山银山”的理念,探索出一条生态和乡村经济协调发展、人与自然和谐共生之路,本文以陕西省为研究区域,利用土地利用、人口和经济等栅格数据对城镇化进行评价,并利用 MODIS 数据,基于 Google Earth Engine 云平台建立生态环境指数,在此基础上分析探索 2000—2020 年陕西省城镇化、生态环境的演变特征及二者的耦合协调关系,以为陕西省区域可持续发展提出建议。

1 研究区概况

陕西省位于中国西北地区,全省下辖 10 个地级市、30 个市辖区、5 个县级市、72 个县(图 1)。截至 2020 年 11 月 1 日零时,陕西省常住人口 3 952 万人。城镇化率达到 62.66%;GDP 为 26 181.86 亿元,占全国 2.58%。地跨黄河、长江两大水系,总面积 $2.056 \times 10^5 \text{ km}^2$,地势整体南北高,中间低。按照地形特征可以将陕西省划分为陕北黄土高原、关中平原和陕南秦巴山区。陕北地区地处黄土高原,土地利用以草地、耕地为主,依托其丰富的煤矿资源,经济发展水平较高。截至 2020 年末,陕北地区人口为 5 907 331 人,

占全省人口的 14.94 % ,GDP 为 5 691.15 亿元,占全省 GDP 的 21.74 % ;关中地区总体地势平坦,土地利用类型多以耕地、建设用地为主,依托产业、技术、政策等原因,其社会经济发展水平最高。截至 2020 年末,关中地区人口为 25 875 539 人,占全省人口的 65.46 % ,GDP 为 16 901.87 亿元,占全省 GDP 的 64.56 % ;陕南地区地形主要为山地丘陵,主要土地利用类型为林地、草地,是我国重要的生态保护区,加之受其地形特点和地理位置,经济发展水平较低。陕南地区人口为 7 746 129 人,占全省人口的 19.60 % ,全年 GDP 为 3 421.63 亿元,占全省 GDP 的 13.70 % 。

2 研究方法及数据来源

2.1 数据来源

本文的研究数据包括土地利用数据、人口数据、经济数据、MODIS 遥感数据产品(表 1)。其中土地利用数据来自中国科学院空天资讯创新研究院研究员刘良云团队发布的全球 30 m 地表覆盖精细分类产品,经济密度数据来自中国科学院资源环境科学与数据

中心,人口密度数据来自 Open Spatial Demographic Data and Research 中国区的人口密度,MODIS 遥感数据产品来源于 Google Earth Engine(GEE)。本文所采用的投影坐标系均为 Krasovsky_1940_Albers 坐标系,通过重采样统一分辨率为 1 km×1 km。

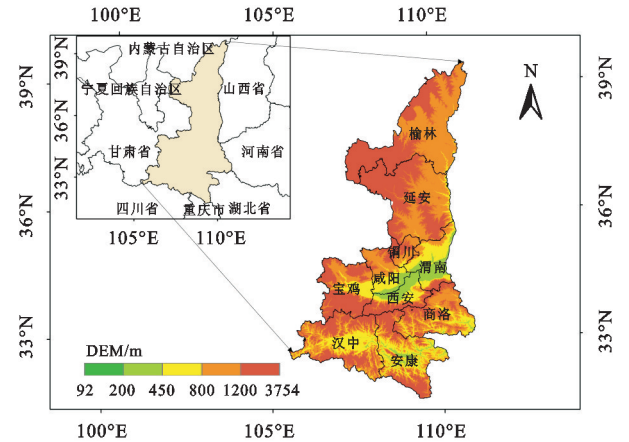


图 1 陕西省行政区划及高程

Fig. 1 Administrative division and elevation map of Shaanxi Province

表 1 数据来源及说明

Table 1 Data sources and description

数据	来源与处理	年份	数据类型	分辨率
土地利用/覆盖	中国科学院资源环境科学与数据中心 (https:// www.resdc.cn/)	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	30 m×30 m
人口密度	Open Spatial Demographic Data and Research (https:// www.worldpop.org/)	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	1 km×1 km
经济密度	中国科学院资源环境科学与数据中心(https:// www.resdc.cn/)	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	1 km×1 km
绿色分量(NDVI)	MOD13A1 V6 影像集,采用 16d 内最优像素合成,提供每个像素的植被指数(VI)	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	500 m×500 m
湿度分量(WET)	MOD09A1 V6 影像集,提供 Terra MODIS1-7	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	500 m×500 m
遥感生态指数	带 500 m 分辨率的表面光谱反射率的估计,并			500 m×500 m
干度分量(NDBSI)	对如气体、气溶胶和瑞利散射等进行大气校正	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	500 m×500 m
热度分量(LST)	MOD11A2 V6 影像集,提供 1 200×1 200 km			500 m×500 m
	网格内的每日陆地表面温度(LST)和发射率值	2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年	栅格	500 m×500 m

2.2 研究方法

2.2.1 城镇化综合评价模型 城镇化是一个包括人口、经济、社会和土地城镇化的复杂系统,以人口为核心,经济为动力,土地为保障^[20]。由于数据的可得性,本文暂不考虑社会城镇化指标,参考相关研究^[21],结合陕西省社会、经济发展情况及城镇化标准,本文拟选择人口密度、城镇经济密度和建设用地面积 3 个指标来确定城镇化综合评价模型。由于人口、经济和空间城镇化同等重要,且各城镇化系统由单一指标表征,因此权重均设定为 1/3 是合理的^[22],采用极差标准化法^[23]进行标准化后再等权重加权计

算得到综合城镇化发展。极差标准化公式及权重加权公式如下:

X_{ij} 为正向指标时:

$$A_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \tag{1}$$

X_{ij} 为负向指标时:

$$A_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \tag{2}$$

人口、经济和土地城镇化评价:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n (A_{ij} \times \omega_{ij}) \tag{3}$$

综合城镇化评价:

$$S = \sum_{j=1}^n z_j \times \omega_{ij} \quad (4)$$

式中: A_{ij} 为指标的标准化值; X_{ij} 表示 i 年第 j 项指标的值; $\min(X_{ij})$ 为标准值最小值; $\max(X_{ij})$ 为标准值的最大值; Z_{ij} 表示人口城镇化、经济城镇化和土地城镇化的评价; ω_{ij} 表示该项指标的权重, 本文采用等权重加权, 即 $\omega_{ij} = 1/3$; S 为综合城镇化评价得分, 即人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化的得分之和。

2.2.2 遥感生态指数 (Remote Sensing-based Ecological Index, RSEI) 参考相关研究^[24-25], 采用遥感

生态指数来表征陕西省生态环境质量是可行的。RSEI 是由徐涵秋^[26]于 2013 年提出的一个完全基于遥感技术, 以自然因子为主的遥感生态指数对城市的生态情况进行快速监测与评价的方法。该指数利用主成分分析技术 (Principal Components Analysis, PCA) 集成了植被指数、湿度、地表温度和建筑指数 4 个评价指标, 即:

$$RSEI = f(NDVI, WET, LST, NDBSI) \quad (5)$$

式中: 各指标计算方法^[27]见表 2。

表 2 遥感生态指数各指标计算方法

Table 2 Calculation methods of each index of RSEI

评价指标	计算方法
绿度分量 NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$
湿度分量 WET	$WET = (0.2408\rho_{blue} + 0.3132\rho_{green} + 0.1147\rho_{red} + 0.2489\rho_{NIR1} - 0.3122\rho_{NIR2} - 0.6416\rho_{SWIR1} - 0.5087\rho_{SWIR2})$
热度分量 LST	$LST = \frac{T}{(1 + \frac{\lambda T}{\rho}) \ln \epsilon} - 273.15$
	$NDBSI = \frac{SI + IBI}{2}; IBI = \frac{IBI_1}{IBI_2}$
干度分量 NDBSI	$SI = \frac{(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) - (\rho_{SWIR2} + \rho_{red})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) + (\rho_{SWIR2} + \rho_{red})}$
	$IBI_1 = \frac{2\rho_{SWIR2}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}} - (\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} + \frac{\rho_{green}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{green}}), IBI_2 = \frac{2\rho_{SWIR2}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}} + (\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} + \frac{\rho_{green}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{green}})$

2.2.3 耦合协调度模型 耦合是指两个及以上系统通过相互作用彼此影响以达到协调一致的现象^[28]。协调度是指两者相互影响的程度, 耦合协调度值越大, 则表明两系统之间的耦合情况越好, 且整个系统结构越趋于稳定, 反之则表明两系统之间的耦合情况越差且整个系统趋于无序。计算公式为:

$$C = \left[\frac{(U_1 \times U_2)}{(U_1 + U_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (7)$$

式中: C 为城镇化与生态系统的耦合度, U_1 表示城镇化综合评价价值; U_2 表示生态环境价值综合评价价值; D 为耦合协调度; T 为两系统综合评价指数, 以反映两系统发展情况对耦合协调水平的整体贡献。表示两系统之间的权重, 本文认为两系统之间同样重要, 因此赋值 $\alpha = \beta = 1/2$ 。

参照已有研究^[29], 将陕西省耕地利用生态效率和城镇化的耦合度、协调度计算结果划分成 4 个等级、10 大类型, 具体分类见表 3。

2.2.4 双变量空间自相关模型 一般来说, 简单的耦合关系也可以用相关性来描述, 全局自相关可分析研究区范围内各研究单元属性值的整体空间集聚特性及差异特征, 局部自相关可以弥补全局自相关分析不能具体刻画局部空间聚集效应的问题^[30]。因此,

本文采用双变量空间自相关模型来确定综合城镇化与生态环境指数之间的空间关系, 并检验两者关系间的有效性, $Moran's I \in [-1, 1]$, $Moran's I > 0$ 表示正相关, $Moran's I < 0$ 表示负相关。 $Moran's I = 0$ 表示属性值是随机分布的。全局空间自相关是用来判定研究区域内是否存在集聚状况, 但无法明确集聚状况发生的具体地点, 而局部区域自相关正好是处理和展示高值聚类 (H—H)、低值聚类 (L—L)、高低集聚 (H—L) 和低高集聚 (L—H) 的具体位置, 可以反映城镇化和生态环境在空间上的依赖性和关联性。

表 3 耦合协调度等级分类表

Table 3 Classification table of coupling coordination levels

耦合度	耦合等级	耦合协调度	耦合协调类型
$0.6 < C \leq 1$	高水平耦合阶段	$0.9 < D \leq 1$	优质协调状态
		$0.8 < D \leq 0.9$	良好协调状态
		$0.7 < D \leq 0.8$	中级协调状态
$0.4 < C \leq 0.6$	磨合阶段	$0.6 < D \leq 0.7$	初级协调状态
		$0.5 < D \leq 0.6$	勉强协调状态
		$0.4 < D \leq 0.5$	濒临失调状态
$0.2 < C \leq 0.4$	拮抗阶段	$0.3 < D \leq 0.4$	轻度失调状态
		$0.2 < D \leq 0.3$	中度失调状态
		$0.1 < D \leq 0.2$	重度失调状态
$0 < C \leq 0.2$	低水平耦合阶段	$0 < D \leq 0.1$	极度失调状态

3 结果与分析

3.1 2000—2020 年陕西省城镇化发展进程

2000—2020 年陕西省城镇化水平变化情况如图 2 所示,20 年间陕西省综合城镇化水平提高了 111.45%。其中,人口城镇化水平由 2000 年的 172.94 人/km² 增加至 2020 年的 191.56 人/km²,提升幅度为 10.77%;土地城镇化水平均值由 2000 年的 1.24% 增加至 2020 年的 2.65%,提升幅度为 113.71%;经济城镇化水平均值由 2000 年的 83.09 万元/km² 提升至 2020 年的 1 209.89 万元/km²,提升幅度为 1 356.12%。

从城镇化指标的时空变化来看,人口城镇化、土地城镇化和经济城镇化空间差异性显著,变化速率和方向也不尽相同。2000—2020 年陕西省 86.06% 地区的人口城镇化水平有所增加,13.94% 的地区人口密度有所下降,人口密度上升的区域主要分布在关中地区的西安市、咸阳市和铜川市等地区,均处于西安都市圈内,是关中平原城市群的核心区域,也是我国西部地区发展条件好,经济人口承载力最强的区域之一,随着时间的推移,人口密度提升显著,20 年间商洛市和渭南市人口密度略有下降,这主要与当地大力发展劳务输出有关。2000—2020 年陕西省人口城镇化水平高值区(800 人/km² 以上)主要分布在关中地区的西安市、渭南市、咸阳市和宝鸡市,陕南地区的汉中市、商洛市和安康市内 87% 以上

的区域人口密度处于 200 人/km² 以下,陕北地区地广人稀,延安市和榆林市内 95% 以上的区域人口密度低于 200 人/km²。2000—2020 年陕西省土地城镇化水平普遍呈现上升的趋势,其中提升幅度最大的地区位于关中地区的西安市、咸阳市以及汉中市市区,提升幅度达到了 45% 以上。关中地区的土地城镇化水平最高。经济城镇化作为 3 个城镇化指标中变化速率最大的指标,20 年间,陕西省经济城镇化水平呈现稳步增加的态势,增加的区域主要分布在各个市区以及周边地区,经济城镇化水平高值区(10 000 万元/km² 以上)主要集中在关中地区的西安市、咸阳市和宝鸡市,其中关中地区提升幅度最大的地区位于西安市的碑林区、新城区、莲湖区、雁塔区,陕北地区提升幅度较大的地区位于榆林市的神木县、府谷县、榆阳县。陕南地区提升幅度较大的地区位于汉中市汉台区、安康市汉滨区。整体来看,陕西省经济城镇化水平呈现出显著的空间差异性,经济城镇化水平变化速率呈现出关中>陕北>陕南的格局。

从变化速率来看,经济城镇化水平变化速率>土地城镇化水平变化速率>人口城镇化水平变化速率。相较而言,虽然土地城镇化和人口城镇化初始水平较高,但增长趋势较为平缓,尤其是人口城镇化,存在滞后性。因此,应秉承集约高效原则,促进城镇空间合理布局,加快劳动力、资金、技术、产业合理集聚,发挥规模效应。

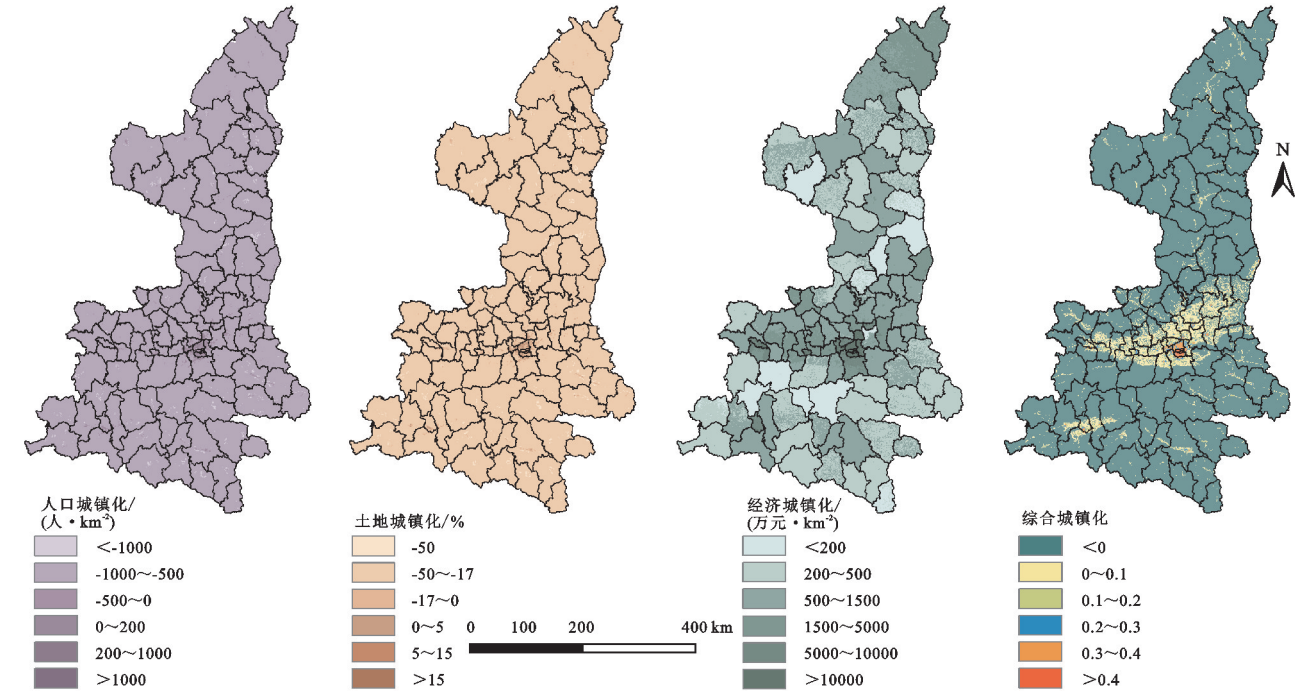


图 2 2000—2020 年陕西省各城镇化水平分布情况

Fig. 2 Distribution of urbanization levels in Shaanxi Province during 2000—2020

2000—2020 年陕西省综合城镇化水平时间变化情况如图 3 所示,从时间序列来看,20 年间,综合城镇化水平上边缘值呈波动上升的趋势,上边缘最低值出现在

2000 年为 0.759 6,持续上升至上边缘最高值,出现在 2015 年为 0.899 5,随后在 2020 年小幅下降至 0.891 9。综合城镇化水平下边缘值呈波动上升的趋势,下边缘最

低值出现在2000年,为0.162 1,持续上升至下边缘最高值,出现在2010年为0.251 7,随后的10年内持续小幅下降,直至2020年为0.211 6。综合城镇化水平中位数呈稳步上升趋势,中位数最低值出现在2000年为0.502 3,随后稳步上升至2020年,最高值为0.690 3。总的来看,陕西省综合城镇化水平总体呈稳步上升趋势,经历了“低水平发展—加速推进—减速推进”阶段。其中,2000—2010年,为快速增长时期,综合城镇化水平由0.499 5上升到0.638 9,经济发展为主要驱动力;2010—2020年,城镇化水平稳步发展,综合城镇化水平由0.638 9稳步上升到0.658 9,但增长速度有所减缓,这是提速转为提质的体现,从追求效果到追求精细化的可持续发展。

2000—2020年陕西省综合城镇化空间变化情况如图4所示,从空间分布上来看,陕西省的综合城镇化水平呈现“中间高四周低”的分布格局,空间差异明显。关中地区综合城镇化水平最高,关中城市群为陕

西省经济发展的核心区域,依靠区位优势发展迅速;陕南地区的综合城镇化水平次之,陕北地区的综合城镇化水平最低,这主要是因为陕北地区人口密度较低,建设用地面积较少。整体来看,陕西省综合城镇化水平呈现出显著的空间差异性,综合城镇化水平呈现出关中>陕南>陕北的格局。

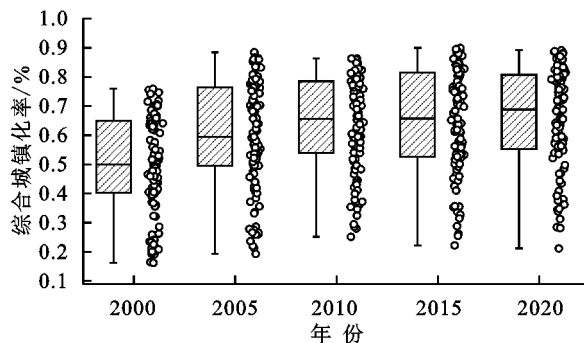


图3 2000—2020年陕西省综合城镇化水平时间变化情况

Fig. 3 Changes of comprehensive urbanization in Shaanxi Province during 2000—2020

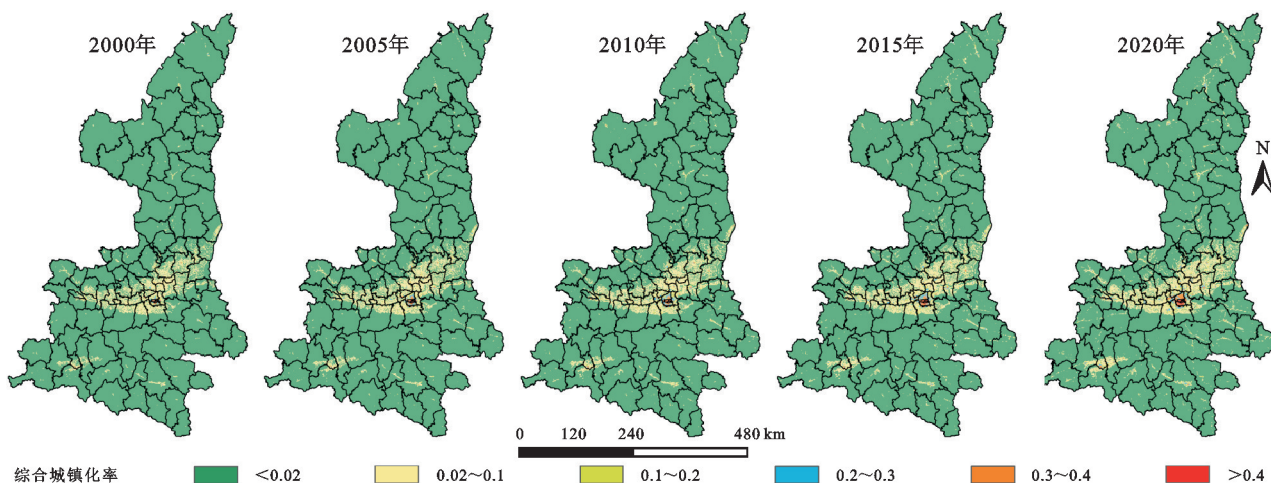


图4 2000—2020年陕西省综合城镇化水平空间变化情况分布

Fig. 4 Spatial change of comprehensive urbanization level in Shaanxi Province, 2000—2020

3.2 陕西省生态环境时空分布格局变化分析

研究以2000—2020年5年为时间间隔共五期遥感影像数据对其RSEI进行了定量反演,表4可以看出:(1)研究区整体的特征值 PC_1 的贡献率均达到了90%以上,且 PC_1 特征值未出现明显的下降,说明RSEI用来表征陕西省的生态环境质量是可行的。(2)分析 PC_1 中的4个指标的贡献率可知,NDVI绿度和WET湿度为正值,LST热度和NDBSI干度为负值,说明绿度和湿度对生态环境质量有促进作用,热度和干度对生态环境质量有抑制作用,与实际情况相符。

图5为2000—2020年陕西省各生态环境质量等级面积占比及变化情况,从空间分布来看,陕西省生态质量等级为“中”和“良”的面积较大;每年生态质量等级在“中”以上的综合面积占比均超过了61%。整体呈现“北低南高”的分布格局,其中陕南地区的汉中

市、安康市和商洛市行政范围内的大部分区域生态环境以及关中地区的宝鸡市、西安市和渭南市南部区域生态环境等级为良或优;宝鸡市东部、西安市北部、咸阳市南部、渭南市中部以及延安市北部地区的生态环境等级为“中”;生态环境较差的区域主要集中于陕北地区的榆林市,遥感生态指数较低,生态环境较差。整体来看,陕西省生态环境虽有所改善,但在陕北地区部分经济快速发展区域仍存在生态环境退化的情况,如何在保障经济高速发展的同时实现对生态环境的保护与改善仍是今后需要重点关注的问题。

图6为2005—2020年陕西省生态环境质量等级转移矩阵桑基图,从时间序列来看,2000—2005年,生态质量等级提高的面积共有8.03万 km^2 ,生态质量等级下降的面积有2.68万 km^2 ,提高面积比退化面积多出26.03%,其中中转优(4.5万 km^2)、较差转

良(1.96 万 km²)、差转较差(1.45 万 km²)贡献较大;2005—2010 年生态质量等级提高的面积共有 3.48 万 km²,生态质量等级下降的面积有 2.05 万 km²,提高面积比退化面积多出 6.96%,其中较差转良(1.32 万 km²)、中转优(1.44 万 km²)贡献较大;2010—2015 年生态质量等级提高面积共有 3.05 万 km²,生态质量等级下降的面积有 1.23 万 km²,提高面积比退化面积多出 8.86%,其中中转优(2.09 万 km²)贡献较大,此阶段陕西省生态环境质量仍然呈现变好的趋势,但变化速率略有下降;2015—2020 年生态质量等级提高的面积共有 1.37 万 km²,生态质量等级下降的面积有 1.94 万 km²,提高面积与退化面积基本持平,此阶段陕西省生态环境质量逐渐趋于稳定。

表 4 2000—2020 年陕西省 RSEI 主成分分析指标

Table 4 Principal component analysis index of RSEI Shaanxi Province in 2000—2020

年份	指标	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄
2000	NDVI	-0.4799	-0.8206	-0.2531	-0.1795
	LST	-0.5087	0.2559	0.5609	-0.6009
	WET	0.4965	-0.5106	0.7017	0.0172
	NDBSI	0.5142	-0.0196	-0.3590	-0.7787
	特征值	3.6664	0.2222	0.0774	0.0341
	贡献率/%	91.66	5.56	1.93	0.85
2005	NDVI	-0.4863	0.7957	-0.3298	-0.1472
	LST	-0.5075	-0.1800	0.5848	-0.6067
	WET	0.4942	0.5780	0.6481	0.0399
	NDBSI	0.5116	0.0194	-0.3594	-0.7802
	特征值	3.7145	0.1775	0.0795	0.0285
	贡献率/%	92.86	4.44	1.99	0.71
2010	NDVI	-0.4882	0.8413	-0.0155	-0.2318
	LST	-0.5004	-0.4043	0.6159	-0.4548
	WET	0.4969	0.3531	0.7711	0.1836
	NDBSI	0.5142	0.0639	-0.1607	-0.8401
	特征值	3.6672	0.1753	0.1198	0.0377
	贡献率/%	91.68	4.38	3.00	0.94
2015	NDVI	-0.4894	0.8156	-0.2896	-0.1072
	LST	-0.5054	-0.1752	0.5860	-0.6086
	WET	0.4956	0.5459	0.6711	0.0774
	NDBSI	0.5093	0.0786	-0.3498	-0.7824
	特征值	3.7671	0.1371	0.0745	0.0212
	贡献率/%	94.18	3.43	1.86	0.53
2020	NDVI	-0.4845	-0.8072	-0.3100	0.1323
	LST	-0.5085	0.2090	0.5269	0.6482
	WET	0.4948	-0.5515	0.6713	0.0203
	NDBSI	0.5117	-0.0233	-0.4191	0.7496
	特征值	3.7087	0.1864	0.0782	0.0268
	贡献率/%	92.72	4.66	1.95	0.67

3.3 2000—2020 年陕西省城镇化与生态环境耦合协调分析

为探究城镇化系统与生态环境系统两者间的耦合协调关系,本文选取 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年五期数据,利用耦合协调度模型计算陕西省生态环境与城镇化发展水平之间的耦合协调度(图 7)。从时间序列上来看,2000—2020 年,陕西省城镇化与生态环境耦合协调度整体处于提升阶段。陕西省城镇化与生态系统耦合协调度平均值从 2000 年的 0.169 提高至 2020 年的 0.240。其中,2000—2005 年,耦合协调度均值处于(0.1,0.2]区间,为低水平耦合阶段。2010—2020 年,耦合协调度平均值上升到(0.2,0.3]区间,为拮抗阶段;2000 年耦合协调度最低值出现在榆林市定边县为 0.057,最高值出现在西安市碑林区为 0.619。2020 年耦合协调度最低值出现在延安市吴起县为 0.088,最高值出现在西安市碑林区为 0.766。20 年间,关中地区西安市相关区县由中级协调类型进入到耦合协调阶段,其他区域基本保持稳定或略有提升;陕南地区的汉中市和安康市部分地区出现了集聚性的高值区域,均位于汉江流域附近,可见耦合协调度与水资源关系密切,2010 年开始,汉中市境内的耦合协调度有了较为明显的变化,耦合协调类型由极度失调转变为重度失调,说明在保护生态环境的前提下,陕南地区的经济发展水平有了进一步的提升;陕北地区由于地形地貌的限制,生态环境较差,地广人稀,除榆林市部分区县煤炭资源丰富之外,其他区县经济发展相对落后,研究早期除各区县主城区外,主要耦合协调类型为极度失调,从 2015 年开始陕北地区的耦合协调类型出现了明显的转变,耦合协调高值区域不断扩大,到 2020 年陕北大部分地区有所好转,这主要是因为退耕还林政策的实施,以及三北防护林建设、京津风沙源治理等工程,植被覆盖度不断提高,有效地改善了生态环境。

从空间分布上看,耦合协调度呈现出关中>陕南>陕北的分布趋势,其中耦合协调度的高值区域主要分布在关中地区的西安市及其周边地区,关中地区是陕西省的经济发展中心,城镇化水平较高,同时关中平原地势平坦,土壤肥沃,气候温暖,农业发达,生态环境较好,城镇化与生态环境的耦合协调度最高,关中地区以濒临失调、勉强失调和初级协调为主要协调类型;陕南地区属于城镇化发展滞后型,陕南地区地处秦岭以南,区域内自然资源丰富,生态环境良好,但是该地区经济基础相对薄弱,经济发展受生态保护限制较大,两者的耦合协调度相较于关中地区而言更低;陕北地区属于生态环境滞后型,陕北地区是黄土高原

的中心部分,水土流失严重,生态环境较差,城镇化与生态环境的耦合协调度较低,随着退耕还林等一系列

的政策实施,陕北地区的生态环境正在逐渐变好,二者之间的耦合协调度也有所提高。

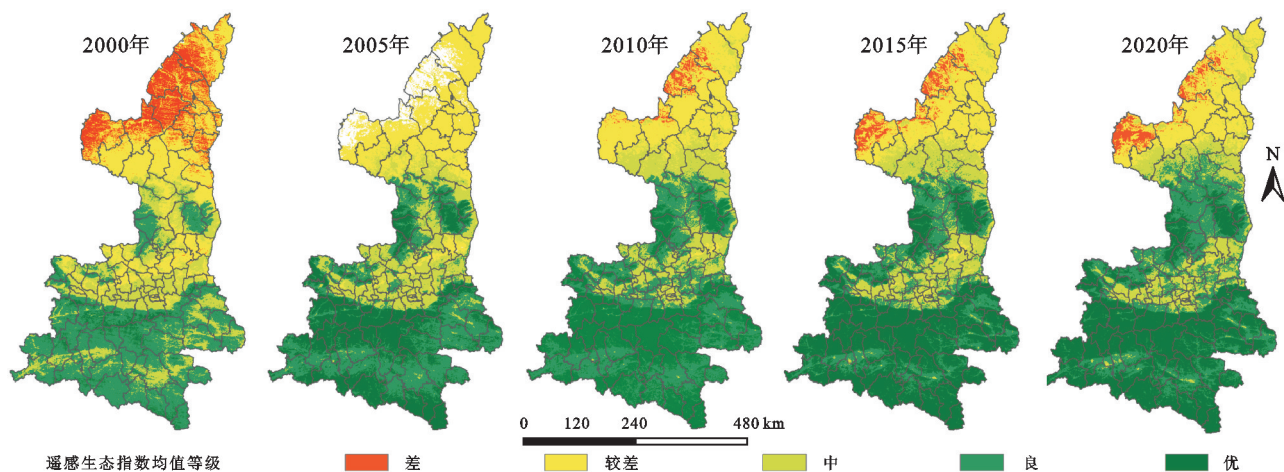


图5 2000—2020年陕西省生态环境质量等级分布

Fig. 5 Distribution of RSEI quality levels in Shaanxi Province in 2000—2020

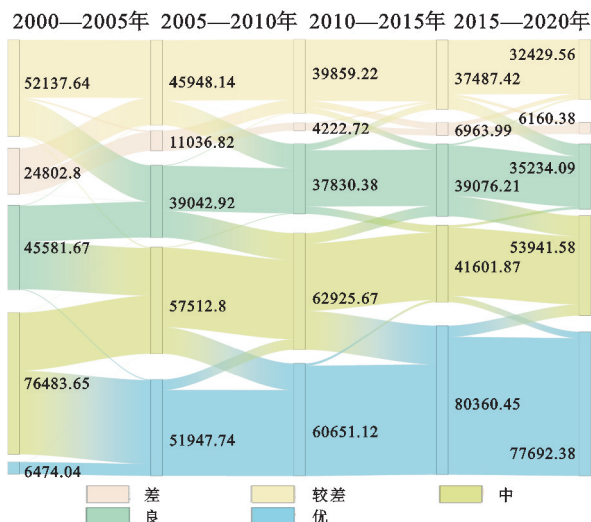


图6 2000—2020年陕西省生态环境质量等级转移矩阵桑基图

Fig. 6 Sanji diagram of the transfer matrix of ecological environment quality grade in Shaanxi Province from 2000 to 2020

整体来看,陕西省城镇化与生态环境耦合协调度较高的地区,如关中地区主要得益于关中平原区经济发展迅速,农村人口具有更多就近就业的机会,收入渠道的增加减少了农户对土地依赖的压力,进而促进了当地的生态环境质量往好的方向发展。而例如陕北地区由于一系列生态环境修复工程的实施,生态环境得以改善,越来越多的耕地转为林地、草地,农户的土地经营收入减少,导致更多劳动力流向城市等经济更发达的地方,人口城镇化水平提高,导致某些乡村出现土地空废化现象,从而对当地生态环境质量又起负向抑制作用。陕南地区由于经济城镇化水平相对较低,虽然区域本身自然资源丰富,但由于土地破碎化,山区耕地利用水平较低,导致农户为了追求耕地效益而减少对生态环境的重视,对生态环境质量起负向作用。因此,本文认为城镇化水平与生态环境质量二者之间既表现出互相抑制作用又表现出相互促进作用。

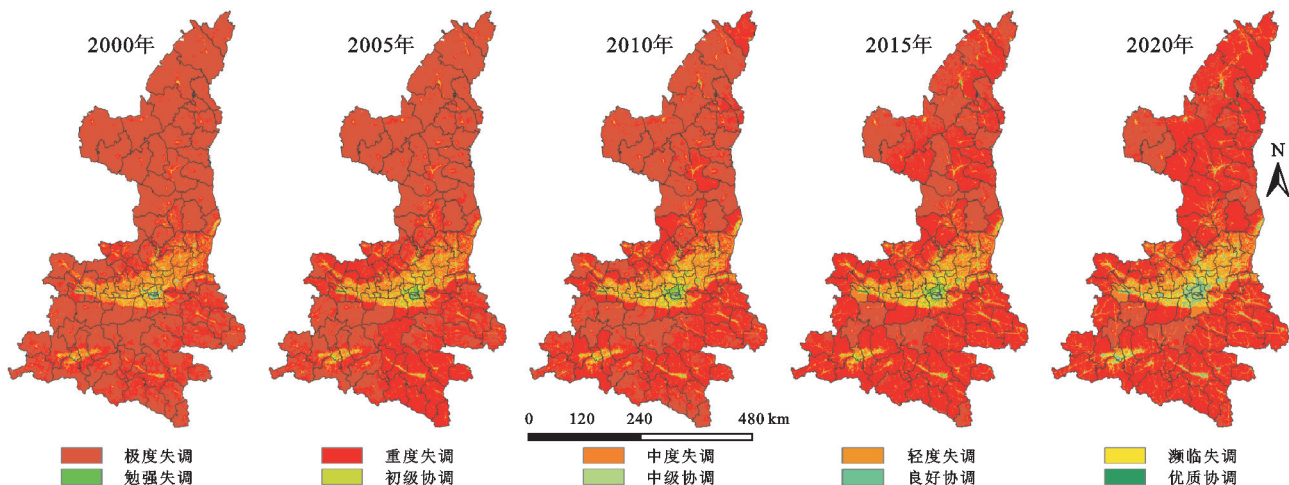


图7 2000—2020年陕西省城镇化与生态环境协调度发展空间演变格局

Fig. 7 Spatial evolution pattern of coordinated development of urbanization and Eco-environment in Shaanxi Province, 2000—2020

3.4 城镇化与生态环境耦合协调度空间自相关分析

为进一步揭示城镇化与生态环境之间的空间互动关系,借助 ArcGIS 10.7 进行空间自相关分析(图 8)。在 1% 的显著性水平下,2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的城镇化与生态环境之间的莫兰指数分别为:0.908 4,0.905 4,0.895 5,0.874 2,0.895。说明陕西省城镇化与生态环境之间存在极强的正相关性。2000—2020 年陕西省全局 Moran's *I* 指数略有下降,整体变化不大,说明陕西省空间聚集格局相对稳定。2000—2020 年陕西省城镇化与生态环境耦合协调度的集聚特征在空间格局上基本保持一致,其中城镇化与生态环境 H—H 区域占陕西省总面积的 13% 左右,主要分布在关中地区的西安市、咸阳市、宝鸡市、渭南市和汉中市的部分区县

县等区域,其他零星分布于陕北和陕南各区县主城区。2000—2020 年 H—H 分布面积减少了 1.32%, L—L 区分布面积减少了 15.72%。L—L 区主要分布在陕北地区和陕南汉中市和安康市的部分区县,陕北地区生态环境较脆弱,人口密度小,严重制约了城镇化的发展进程。研究期间陕北地区的黄龙、黄陵、志丹、子长、延川、神木和府谷等区县均由 L—L 区转变为了不显著区,说明这些地区的城镇化水平或生态环境水平有了不同程度的提高。2000—2020 年 H—L 区分布面积增加了 0.05%, L—H 区分布面积减少了 0.02%,在空间布局上基本维持稳定。整体来看,陕西省内部各县域的生态环境与城镇化耦合协调发展长期存在明显差距,但随着时间推移发展协调的地区逐渐增多。

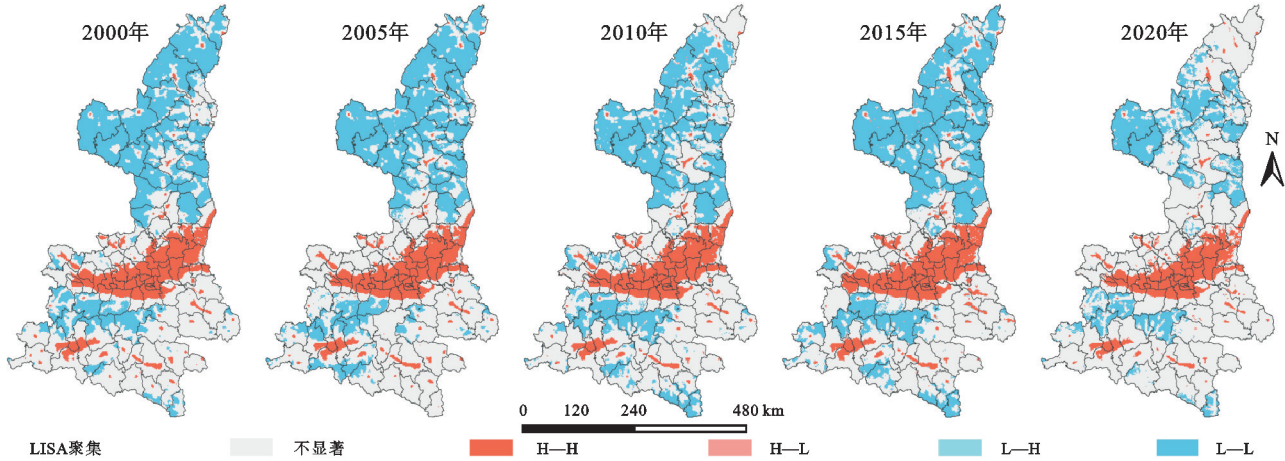


图 8 2000—2020 年陕西省城镇化与生态环境之间的局部 LISA 图

Fig. 8 Local LISA map of the relationship between urbanization and ecological environment in Shaanxi Province, 2000—2020

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文通过对陕西省生态环境质量和综合城镇化水平的实证分析,探究了陕西省城镇化水平和生态环境质量耦合协调关系,但仍存在以下问题值得探讨:在构建城镇化评价指标体系时,主要从人口城镇化、经济城镇化和土地城镇化 3 个方面构建指标,后续可增加社会城镇化、生态城镇化进行研究;其次,本文构建的耦合协调度模型尽管能够较为直观地刻画陕西省在城镇化推进过程中与生态环境的耦合变化及时空变化情况,但对其背后的机理及驱动力缺乏更深层次的探讨,所提出的方法能否有效地反映现实问题需要进一步进行检验。未来进一步协调两系统可持续发展与优化,特提出以下建议:

从陕西省城镇化与生态环境质量相对发展状况来看,各地区发展水平差异较为显著。城镇化水平较高的区域,如关中地区的西安市、咸阳市和铜川市等

地区,均处于西安都市圈内,是关中平原城市群的核心区域。生态环境质量在空间分布上存在明显的差异性。陕南地区的汉中市、安康市和商洛市行政范围内的大部分区域及关中地区的宝鸡市、西安市和渭南市南部区域由于位于亚热带地区,降水充沛,气候适宜,为植被的生长提供了天然的条件,秦岭山地正是位于这片区域,植被丰富,自然资源丰富,生态环境质量较好;陕北地区的榆林市处于黄土高原和毛乌素沙地的交界处,气候寒冷,水土流失比较严重,遥感生态指数较低,生态环境较差。因此,对矛盾突出的地区应提升城镇化质量,引导人口向周边经济较为发达的区域中心城区聚集,优化城镇布局,促进城市集约高效发展。

从陕西省城镇化与生态环境质量水平及两者耦合协调情况来看,陕西省整体处于生态环境较为滞后的水平,尽管生态环境质量水平发展协调的地区逐渐增多,但仍有提升空间。应逐渐突破薄弱环节,重视生态脆弱地区的综合管理,对生态环境较差的区域,如陕北地区

的榆林市,在生态优先的原则下,除了严格控制建设用地规模、严禁擅自改变生态用地和基本农田之外,应积极开展城乡建设用地的空间整理,实施异地城镇化战略,生态环境脆弱的地区,可以尝试推行生态移民的方式,适当进行迁村并点。

4.2 结论

本文以陕西省为研究对象,在分析 2000—2020 年每隔 5 a 陕西省城镇化与生态环境质量时空格局演变的基础上,采用耦合协调度模型和双变量空间自相关模型剖析了二者耦合关系及时空变化特征,主要结论如下:

(1) 2000—2020 年陕西省城镇化水平总体呈现稳步上升趋势,其中综合城镇化率提高了 111.45%,从空间分布上来看,陕西省的城镇化水平呈现“中间高四周低”的分布格局,空间差异明显。关中地区城镇化水平最高,陕南地区的城镇化水平次之,陕北地区的城镇化水平最低。

(2) 2000—2020 年陕西省整体 RSEI 均值呈稳步上升趋势,生态环境呈现出好转的态势,但地区间的差异依旧显著,整体呈现“北低南高”的分布格局,且发展的空间异质性逐渐趋于强化,其中,陕北地区神木市、榆林市的生态环境质量有所好转。关中地区生态环境质量等级由中转良、由良转优的地区不断增多,如宝鸡市、西安市和渭南市南部部分区域。陕南地区良转优的地区范围逐渐增多,如陕南地区的汉中市、安康市和商洛市部分行政范围。

(3) 基于综合城镇化率和 RESI 指数构建的耦合度模型能效地识别出陕西省城镇化和生态环境状况的耦合协调程度,整体来看,陕西省内部各县域的生态环境与城镇化耦合协调发展长期存在明显差距,但随着时间推移发展协调的地区逐渐增多。2010—2020 年两者经历了“重度失调—初级协调”的转变,协调程度不高但等级趋于不断优化。区域内部各地区耦合协调度均处于不断提升的状态,其中陕北地区神木市、府谷市耦合协调程度有所好转,关中地区良好协调地区范围逐渐扩大,陕南地区重度失调地区逐渐减少。空间格局上,以关中地区为核心总体呈现“中部高两边低”的分布特征,耦合协调度的空间差异在逐渐减小。

参考文献(References):

- [1] 邵佳,冷婧.湖南武陵山片区新型城镇化与生态环境耦合协调发展[J].经济地理,2022,42(9):87-95.
Shao J, Leng J. Types and spatial pattern of coupling coordination between the new-type urbanization and eco-environment in Wuling Mountainous Area of Hunan [J]. Economic Geography, 2022,42(9):87-95.
- [2] 吴大放,胡悦,刘艳艳,等.城市开发强度与资源环境承载力协调分析:以珠三角为例[J].自然资源学报,2020,35(1):82-94.
Wu D F, Hu Y, Liu Y Y, et al. Empirical study on the coupling coordination between development intensity and resources-and-environment carrying capacity of core in Pearl River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2020,35(1):82-94.
- [3] Pasche M. Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve[J]. Ecological Economics, 2002,42(3):399-416.
- [4] Ruffing K. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth[M]// Sustainability Indicators: A Scientific Assessment, Washington D C: Island Press, 2007.
- [5] 方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J].干旱区地理,2006(1):1-8.
Fang C L, Yang Y M. Basic laws of coupling system of urbanization and ecological environment[J]. Arid Land Geography, 2006(1):1-8.
- [6] 乔标,方创琳.城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J].生态学报,2005,25(11):3003-3009.
Qiao B, Fang C L. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(11):3003-3009.
- [7] 乔标,方创琳,黄金川.干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J].生态学报,2006,26(7):2183-2190.
Qiao B, Fang C L, Huang J C. The coupling law and its validation of the interaction between urbanization and eco-environment in arid area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(7):2183-2190.
- [8] 方创琳,周成虎,顾朝林,等.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J].地理学报,2016,71(4):531-550.
Fang C, Zhou C H, Gu C L, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations[J]. Acta Geographica Sinica, 2016,71(4):531-550.
- [9] Tretyakova E A. Assessing sustainability of development of ecological and economic systems: A dynamic method[J]. Studies on Russian economic development, 2014,25:423-430.
- [10] 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 Y B. Analysis of coupling rule between urbaniza-

- tion and eco-environment and positive test of China[J]. *Ecological Economy*, 2007(10):122-126.
- [11] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].*资源科学*, 2020, 42(1):159-171.
- Zhao J J, Liu Y, Zhu Y K, et al. Spatiotemporal different and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1):159-171.
- [12] 王秀明,张勇,奚蓉,等.广东省城镇化与生态环境耦合协调的空间特征及影响因素研究[J].*中国环境管理*, 2019, 11(3):100-106.
- Wang X M, Zhang Y, Xi R, et al. Spatial characteristics and driving factors of the coupling coordination between urbanization and ecological environment in Guanzhong Province[J]. *China Environmental Management*, 2019, 11(3):100-106.
- [13] 杨帆,安瓦尔·买买提明,阿里木江·卡斯木,克拉玛依市城镇化与生态环境耦合协调发展研究[J].*湖北农业科学*, 2023, 62(2):144-149, 178.
- Yang F, Maimiti A, Kasimu A. Study on the coupling and coordinated development of urbanization and ecological environment in Karamay City[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2023, 62(2):144-149, 178.
- [14] 邵雅静,杨悦,员学锋.黄河流域城镇化与生态系统服务的时空互动关系[J].*水土保持学报*, 2022, 36(3):86-93, 99.
- Shao Y J, Yang Y, Yuan X F. Analysis of the spatial and temporal interactions between urbanization and ecosystem services in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2022, 36(3):86-93, 99.
- [15] 陈晓红,周宏浩.城市精明发展与生态效率的协同测度及交互回应:以中国 276 个地级以上城市为例[J].*地理研究*, 2019, 38(11):2653-2665.
- Chen X H, Zhou H H. Dynamic coordinated relationships and interactive effects between urban smart development and ecological efficiency: A case study of 276 cities at prefecture level and above in China[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(11):2653-2665.
- [16] 付三泽.青岛市城市化与生态环境耦合协调关系研究[D].济南:山东大学, 2020.
- Fu S Z. Coupling coordination relationship between urbanization and the eco-environment in Qingdao city [D]. Jinan: Shandong University, 2020.
- [17] 张翔.山地城镇化与地质生态环境的相互影响研究[D].重庆:重庆大学, 2014.
- Zhang X. The Research of the interaction between urbanization and geological environment in mountainous regions: Example for Ba-nan of Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [18] 黄茂兴,张建威.生态文明建设与城镇化协调发展的时空格局及影响因素:以福建省为例[J].*福建师范大学学报:哲学社会科学版*, 2021, 49(1):40-54, 169-170.
- Huang M X, Zhang J W. Spatio-temporal pattern and influencing factors of coordinated development of ecological civilization construction and new urbanization: Taking Fujian as an example [J]. *Journal of Fujian Normal University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2021, 49(1):40-54, 169-170.
- [19] Wang Y J. Relationship between industrial, urbanization and industrial ecology in western China: A panel vector auto-regression model analysis [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(1):68-79.
- [20] 陈万旭,李江凤,朱丽君.河南省四化协调发展时空演变路径研究[J].*河南农业大学学报*, 2017, 51(2):282-292.
- Chen W X, Li J F, Zhu L J. Temporal and spatial evolution path of coordination development of urbanization, industrialization, informationization and agricultural modernization in Henan Province [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2017, 51(2):282-292.
- [21] 李仕川,郭欢欢,侯鹰,等.土地集约利用空间分异研究中指标标准化方法研究[J].*长江流域资源与环境*, 2015, 24(10):1771-1778.
- Li S C, Guo H H, Hou Y, et al. Methods of indicator normalization in the evaluation of spatial variation of intensive land use [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(10):1771-1778.
- [22] 邓楚雄,朱大美,李忠武,等.湘中丘陵区农业生态系统服务价值与城镇化水平弹性关系研究[J].*中国生态农业学报(中英文)*, 2021, 29(8):1453-1466.
- Deng C X, Zhu D M, Li Z W, et al. Estimation of elasticity relationship between agricultural ecosystem service values and urbanization [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture (in Chinese and English)*, 2021, 29(8):1453-1466.
- [23] 冯俊华,张路路.陕西省城镇化与生态环境协调度研究[J].*生态学报*, 2022, 42(11):4617-4629.
- Feng J H, Zhang L L. Coordination degree between new urbanization and ecological environment in Shaanxi Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(11):4617-4629.
- [24] 张秦瑞,赵良军,林国军,等.改进遥感生态指数的宜宾市三江汇合区生态环境评价[J].*自然资源遥感*, 2022, 34(1):230-237.
- Zhang Q R, Zhao L J, Lin G J, et al. Ecological environment assessment of three-river confluence in Yibin City using improved remote sensing ecological index [J]. *Remote Sensing of Natural Resources*, 2022, 34(1):230-237.

- (1):230-237.
- [25] 王渊,赵宇豪,吴健生.基于 Google Earth Engine 云计算的城市群生态质量长时序动态监测:以粤港澳大湾区为例[J].生态学报,2020,40(23):8461-8473.
Wang Y, Zhao Y H, Wu J S. Dynamic monitoring of long time series of ecological quality in urban agglomerations using Google Earth Engine cloud computing: A case study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(23): 8461-8473.
- [26] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
Xu H Q. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [27] 杨悦,赵雨,员学锋,等.乡村振兴背景下陕西省生态环境质量影响因素探究[J].生态与农村环境学报,2023,39(1):1-15.
Yang Y, Zhao Y, Yuan X F, et al. Study on the factors influencing ecological environment quality in Shaanxi Province in the context of rural revitalization[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(1): 1-15.
- [28] Morzillo A T, de Beurs K M, Martin-Mikle C J. A conceptual framework to evaluate human-wildlife interactions within coupled human and natural systems, *Ecology and Society*, 2014, 19(3): 732-740.
- [29] 薛选登,高佳琳.粮食主产区耕地生态足迹与粮食安全空间相关性分析[J].生态经济,2021,37(8):93-99.
Xue X D, Gao J L. Analysis of spatial correlation between ecological footprint of cultivated land and food security in main grain production areas[J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(8): 93-99.
- [30] 刘愿理,廖和平,张茜茜,等.西南喀斯特区贫困空间剥夺的识别及空间格局分析[J].农业工程学报,2019,35(15):284-294.
Liu Y L, Liao H P, Zhang X X, et al. Identification and spatial pattern analysis of poverty space deprivation in southwest karst area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(15): 284-294.
- ~~~~~
- (上接第 274 页)
- [28] Dou H, Li X, Li S, et al. Mapping ecosystem services bundles for analyzing spatial trade-offs in inner Mongolia, China-ScienceDirect[J]. *Journal of Cleaner Production*, 256 [2023-07-17]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120444.
- [29] 陈相标,丁文荣.石林喀斯特岩溶区生态系统服务时空演变及权衡协同关系[J].水土保持研究,2023,30(2):285-293.
Chen X B, Ding W R. Spatial-temporal Evolution and Trade-off Synergy Relationships of Ecosystem Services in Karst Area of Shilin[J]. *Research on Soil and Water Conservation*, 2023, 30(2): 285-293.
- [30] 丘海红,胡宝清,张泽.基于土地利用变化的广西近 20 年生态系统服务价值研究[J].环境工程技术学报,2022,12(5):1455-1465.
Qiu H H, Hu B Q, Zhang Z. Study on ecosystem service value of Guangxi in the past 20 years based on landuse change[J]. *Journal of Environmental engineering Technology*, 2022, 12(5): 1455-1465.
- [31] 王永琪,马姜明.基于县域尺度珠江—西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].生态学报,2020,40(21):7826-7839.
Wang Y Q, Ma J M. Effects of land use change on ecosystem services value in Guangxi section of the Pearl River-West River Economic Belt at the county scale[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(21): 7826-7839.
- [32] Zhang L L, Hu B Q, Zhang Z, et al. Research on the spatiotemporal evolution and mechanism of ecosystem service value in the mountain-river-sea transition zone based on "production-living-ecological space": Taking the Karst-Beibu Gulf in Southwest Guangxi, China as an example [J]. *Ecological Indicators*, 2023, 148: 109889.
- [33] 袁周炎妍,万荣荣.生态系统服务评估方法研究进展[J].生态科学,2019,38(5):210-219.
Yuan Z Y Y, Wang R R. A review on the methods of ecosystem service assessment[J]. *Ecological Science*, 2019, 38(5): 210-219.