

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.04.051.

陈锦鸿, 蒋宏飞, 员学锋, 等. 陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调时空分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(4): 338-346.

CHEN Jinhong, JIANG Hongfei, YUAN Xuefeng, et al. Spatial and Temporal Analysis of the Coupled Coordination of Urbanization and Ecological Efficiency of Cultivated Land Use in Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(4): 338-346.

陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调时空分析

陈锦鸿¹, 蒋宏飞¹, 员学锋^{1,2}, 赵雨^{1,2}

(1. 长安大学 土地工程学院, 西安 710064; 2. 陕西省土地整治重点实验室, 西安 710064)

摘要: [目的] 探究陕西省耕地利用生态效率与城镇化进程的耦合协调关系, 为陕西省城镇化开发和耕地保护相关政策制定提供理论依据。[方法] 基于陕西省 2005—2019 年各县域面板数据, 建立耕地利用生态效率评价指标体系和城镇化发展水平评价指标体系, 测算县域单元耕地利用生态效率及城镇化水平, 采用耦合协调度模型探索两者间的耦合协调关系, 利用空间自相关方法分析各县域单元耕地利用生态效率和城镇化发展的空间格局演化特征。[结果] 2005—2019 年陕西省耕地利用生态效率水平由 0.765 下降至 0.684, 但整体耕地利用生态效率值相对较高, 且县域间存在空间差异性, 各区县耕地利用生态效率以团块状聚集, 陕北、关中和陕南地区间差异随时间逐渐缩小; 2005—2019 年陕西省综合城镇化水平提高了 198.24%, 整体呈“中部高、南北低”的分布态势, 关中地区是人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化的核心区域, 变化速率整体表现为: 经济城镇化 > 人口城镇化 > 土地城镇化; 2005—2019 年, 陕西省县域单元耕地利用生态效率与城镇化耦合度等级主要处于低水平耦合向拮抗耦合过渡阶段, 25% 的区县耦合度有所提高; 2005—2019 年, 陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调类型以轻度失调、濒临失调和勉强协调 3 个等级为主。研究期内初级协调、勉强协调的区县数量不断增加, 整体发展态势不断向好。耦合协调度在空间上表现出较强的正相关性, 但在局部空间聚集性上存在明显内部差异。[结论] 2005—2019 年陕西省城镇化与耕地利用生态效率的耦合协调关系整体呈变好趋势, 未来陕西省应制定差异化的经济发展政策, 有序推进城镇化发展, 同时优化区域发展空间布局, 加快形成区域良性互动格局。

关键词: 耕地利用生态效率; 城镇化; 耦合协调模型; 空间自相关; 陕西省

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)04-0338-09

Spatial and Temporal Analysis of the Coupled Coordination of Urbanization and Ecological Efficiency of Cultivated Land Use in Shaanxi Province

CHEN Jinhong¹, JIANG Hongfei¹, YUAN Xuefeng^{1,2}, ZHAO Yu^{1,2}

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Land Consolidation, Xi'an 710064, China)

Abstract: [Objective] The coupled and coordination relationship between the ecological efficiency of cultivated land use and the urbanization process in Shaanxi Province was explored in order to provide a theoretical basis for the formulation of policies related to urbanization development and cultivated land protection in Shaanxi Province. [Methods] Based on the panel data of each county in Shaanxi Province from 2005 to 2019, we established system of ecological efficiency of cultivated land use and the evaluation index system of urbanization process, the ecological efficiency and urbanization level of county-level unit farmland use were measured, the coupling coordination degree model was used to explore the coupling coordination relationship between the two, and the spatial autocorrelation method was used to analyze the spatial pattern evolution

收稿日期: 2022-07-25

修回日期: 2022-09-09

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: 陈锦鸿 (1998—), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与评价。E-mail: 2020135028@chd.edu.cn

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>

characteristics of each county-level unit farmland use ecological efficiency and urbanization development. [Results] The level of ecological efficiency of cultivated land use in Shaanxi Province decreased from 0.765 in 2005 to 0.684 in 2019, but the overall ecological efficiency value of cultivated land use was relatively high and there was spatial variability among counties. The ecological efficiency of cultivated land use in each district and county clustered in clusters, and the differences between northern Shaanxi, central Shaanxi and southern Shaanxi gradually decreased over time. The overall urbanization level in Shaanxi Province had increased by 198.24% from 2005 to 2019, with an overall distribution trend of ‘high in the central part and low in the north and south’, with the central Shaanxi being the core area for population urbanization, economic urbanization and land urbanization, and the overall rate of change followed the order: economic urbanization > population urbanization > land urbanization. The level of coupling between the ecological efficiency of cultivated land use and urbanization in county units in Shaanxi Province was mainly in the transition stage from low-level coupling to antagonistic coupling from 2005 to 2019, with 25% of districts and counties increasing their coupling. The type of coupled coordination between urbanization and ecological efficiency of cultivated land use in Shaanxi Province from 2005 to 2019 was dominated by three grades: mildly dysfunctional, on the verge of dysfunctional and barely coordinated. The number of districts and counties with primary coordination and barely coordinated had been increasing during the study period, and the overall development trend had been improving. The degree of coupled coordination showed a strong positive correlation in space, but there were obvious internal differences in local spatial aggregation. [Conclusion] The coupled and coordinated relationship between urbanization and ecological efficiency of cultivated land use in Shaanxi Province from 2005 to 2019 showed an overall trend of becoming better. In the future, Shaanxi Province should formulate differentiated economic development policies to promote urbanization in an orderly manner, while optimising the spatial layout of regional development and accelerating the formation of a positive regional interaction pattern.

Keywords: ecological efficiency of cultivated land use; urbanization; coupled coordination model; spatial autocorrelation; Shaanxi Province

粮食安全是关系到我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题^[1]。改革开放以来,我国常住人口城镇化率由1978年的17.9%增长到2021年底的64.72%。快速城镇化推动我国社会经济发展的同时,也带来了日益严重的耕地非农化、非粮化、数量减少、质量下降等问题。2020年公布的《第二次全国污染普查公报》显示,2017年我国种植业氮氨排放量8.3万t,总磷排放量7.62万t,地膜使用量141.93万t,耕地利用的“逆生态”化效应逐渐累积,严重制约了耕地的可持续利用^[2]。耕地是保障国家粮食安全的根本所在^[3]。2022年中央一号文件明确提出要落实“长牙齿”的耕地保护硬措施。因此,在新型城镇化建设和生态文明建设背景下,探究耕地利用生态系统与城镇化系统间的交互耦合机制,对促进城镇化建设与耕地生态利用协调统一、保障国家粮食安全具有重要意义。

当前学术界关于城镇化与耕地利用之间关系的研究主要集中于两大方面:(1)城镇化进程对耕地数量、质量的影响机制。如宋蕾等利用系统动力学模型

对长寿区的耕地面积变化进行预测研究,探究其与城镇化进程间的关系,为快速城镇化地区耕地资源的合理利用提供借鉴^[4];王静怡等分析了我国近20年耕地面积的变化趋势及其影响因子,指出城镇化人口数量快速增长是影响耕地数量减少的主要驱动因子^[5];(2)城镇化与耕地利用效率间的耦合协调关系。如居尔艾提·吾布力等运用熵值法、多目标线性加权函数法和协调度模型等,分析了阿克苏市城镇化和耕地集约利用水平及二者间耦合协调关系^[6];李智礼等从单一维度出发,探讨了京津冀城市群人口城镇化与耕地利用间的耦合关系^[7]。自党的十八大以来,生态文明建设被纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局。部分学者开始关注城镇化与耕地利用生态效率之间的关系。朱佩佩运用变异系数法研究了河南省城镇化与耕地利用状况间的耦合协调关系^[8];Hou等运用GMM系统模型和阈值模型探究了长江经济带城市化对耕地利用生态环境的作用机制,发现城市化可通过影响耕地利用的投入产出组合进而影响耕地利用生态效率^[9]。综上所述,有关耕地利用生

态效率与城镇化耦合协调的研究区域主要集中于广东、江苏等沿海地区^[10-11]和河南、安徽等中部地区^[12],对于西北干旱地区相关研究较少。研究重点主要集中于城镇化对耕地利用数量、质量的影响,对两系统间的耦合协调关系探究较少。

陕西省位于黄河中游地区,是西北地区重要的经济省份,其城镇化进程关系着西部大开发战略的实施,陕西省同时也是重要的农业生产基地,其农业发展状况及耕地集约高效利用对构建全国粮食安全格局具有重要的影响。2019年9月,习近平总书记首次提出黄河流域生态保护和高质量发展的重大国家战略,在这样的背景下,对以往的城镇化发展方式和耕地利用方式都提出了新的要求。因此本文以陕西省县域为研究单元,基于2005—2019年耕地利用面板数据及统计数据,运用SBM模型和耦合协调度模型,探讨陕西省城镇化水平与耕地生态利用效率的时空变化情况以及耦合协调关系,以期对陕西省城镇化开发和耕地保护相关政策制定提供理论依据。研究陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调关系对于协调陕西省城镇化与耕地保护间的矛盾,保障粮食安全、实现区域可持续发展具有重大意义。

1 研究区概况

陕西省地处中国内陆腹地,黄河流域中游,地域跨度大。截至2019年末,陕西省常住人口3 944万人,常住人口城镇化率达到59.43%;GDP为25 793.17亿元,占全国2.61%。地形总体呈现出南北高、中间低的分布格局,从北到南依次为陕北黄土高原、关中渭河平原和陕南秦巴山区三大地貌区,地貌类型多样,区域差异明显;气候特征受地形和高差的影响明显,从北到南跨温带、暖温带和北亚热带3个气候带;土壤类型和耕作方式多样,耕地质量水平差异大。2019年末耕地总面积293.43万hm²,其中,旱地196.42万hm²,占耕地总面积的66.94%。81%的耕地分布在陕北高原和关中平原。

2 研究方法数据来源

2.1 数据来源

本文以陕西省县域为研究单元,部分市辖区在研究期内耕地资源较少或缺失,最终选取101个区县级行政单元。土地利用栅格数据来源于中国科学院资源环境与科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。按照国家土地利用分类方法,结合刘纪远等^[13]建立的LUCC分类系统,将土地利用类型分为6个一级类:耕地、林地、草地、水域、未利用土地和城乡、工矿、居

民用地;耕地利用生态效率以及城镇化水平等测算指标基础数据主要来源于《中国县域统计年鉴》(2000—2019)、《中国县(市)社会经济统计年鉴》(2000—2019)、《中国农村统计年鉴》(2000—2019)、《陕西省统计年鉴》(2000—2019)、《陕西区域统计年鉴》(2000—2019)等。

2.2 研究方法

2.2.1 耕地利用生态效率指标体系构建 基于耕地利用生态效率内涵与非期望产出下SBM-ML模型的基本要求,从投入、期望产出和非期望产出3个方面进行指标选取。在参考前人研究成果^[14-17]并多次实证分析的基础上,最终选取以下指标(详见表1)对陕西省耕地利用生态效率进行测度与分析,尽可能保证所选指标客观、全面地反映耕地利用状态。

表1 陕西省耕地利用生态效率评价指标体系

指标 群类	变量 符号	变量	变量 说明
投入指标	I_1	土地	农作物播种面积(hm ²)
	I_2	劳动力	第一产业从业人员(万人)
	I_3	化肥	农用化肥施用折纯量(t)
	I_4	农机	农用机械总动力(kW)
	I_5	农膜	农用薄膜使用量(t)
期望产出指标	O_1	社会效益	粮食总产量(t)
	O_2	经济效益	种植业产值(亿元)
非期望产出指标	O_3	碳排放	耕地利用碳排放总量(t)

目前用于量化耕地利用生态效率负外部性影响的非期望产出指标主要有农业生产过程中的面源污染和碳排放两类。碳排放相较于面源污染所包含范围更大,指标更具典型性,因此本文选取碳排放作为唯一非期望产出指标,计算公式如下:

$$P = \sum P_i = \sum Q_i \theta_i \quad (1)$$

式中: P 表示碳排放总量; P_i 表示各类碳源的排放量; Q_i 表示各类碳源的消耗量; θ_i 表示各类碳源的碳排放系数。参考李波^[18]、匡兵^[19]等的研究,选取农用机械总动力、农药、化肥施用折纯量、农用薄膜使用量4种碳源作为间接碳排放总量计算指标。各类碳源碳排放系数见表2。

表2 主要碳源碳排放系数

碳源	碳排放系数	来源
农用机械总动力	0.18 kg/kW	West and Marland ^[20]
化肥	0.8956 kg/kg	West and Marland ^[20]
农药	4.9341 kg/kg	Post and Kwon ^[21]
农膜	5.18 kg/kg	李波,张俊飏 ^[22]

2.2.2 城镇化指标体系构建 参考已有研究成果^[23-25],结合陕西省不同区域的社会经济发展现状,从人口、经济、土地3个维度综合分析,最终选取城市

人口密度、非农产业从业人员比重、人均 GDP、城镇经济密度、固定资产投资、建成区面积 6 个指标,利用熵值法对陕西省 2005—2019 年城镇化发展水平进行综合评价(表 3)。结果显示:城镇经济密度、非农产业从业人员比重、固定资产投资 3 个指标权重较高,分别为 0.201,0.185,0.168,表明研究期内陕西省城镇化发展水平总体受人口城镇化子系统和经济城镇化子系统影响较大。

表 3 陕西省综合城镇化评价指标权重

系统层	准则层	指标层	权重
城镇化	人口城镇化	城市人口密度(人/km ²)	0.157
		非农产业从业人员比重(%)	0.185
		人均 GDP(万元)	0.145
	经济城镇化	城镇经济密度(元/km ²)	0.201
		固定资产投资(万元)	0.168
	土地城镇化	建成区面积(km ²)	0.144

2.2.3 耦合协调度模型 耦合协调度模型用于分析事物的协调发展水平,耦合度可以反映系统间的相互依赖相互制约程度。协调度指耦合相互作用关系中良性耦合程度的大小,可以体现出协调状况稳定与否^[26],具体计算公式如下:

$$C=\left[\frac{u_1u_2}{\left(\frac{u_1+u_2}{2}\right)^k}\right]^{2\leq k\leq 5}\tag{2}$$

式中: C 为两系统间的耦合度指数, $(0\leq C\leq 1)$,值越大表明系统间的耦合度相关性越强; u_1,u_2 分别为耕地利用生态效率和综合城镇化指数; k 为调节系数,本研究取 2。

$$D=\sqrt{C\times T}\tag{3}$$

$$T=\alpha U_1+\beta U_2\tag{4}$$

式中: D 代表耦合协调度, $(0\leq D\leq 1)$; D 值越大表明系统间耦合协调程度越紧密; T 代表系统间综合协调指数; α 和 β 为待定系数, $(\alpha+\beta=1)$,根据系统间综合作用强度来确定,本研究认为耕地利用生态效率和综合城镇化指数同等重要,因此取 $\alpha=\beta=0.5$ 。

参照已有研究^[27-28],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 4。

2.2.4 空间自相关分析 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^[29],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]。为直观、全面展示陕西省各县域单元耕地利用生态效率和城镇化发展的空间格局演化特征,本文采用空间自相关分析法,利用 GeoDa 软件建立自相关分析的邻接权重矩阵,测算 2005—2019 年两系统耦合协调度的全

局 Moran's I 指数,并在 GIS 软件中进一步分析其局部空间的集聚特性。

表 4 耦合协调度等级分类表

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
$0.4<C\leq 0.6$	磨合阶段	$0.7<D\leq 0.8$	中级协调状态
		$0.6<D\leq 0.7$	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 耕地利用生态效率时空分析

选用基于规模报酬可变(VRS)假设的 SBM-Undesirable 模型,计算得到陕西省耕地利用生态效率静态值,依据地域差异将各效率结果分为陕北、关中、陕南三大区域,并计算其各年份效率均值(图 1)。研究期内陕西省耕地利用生态效率水平由 2005 年的 0.765 下降至 2019 年的 0.684。整体耕地利用生态效率值相对较高,但是尚未达到完全有效状态,耕地利用生态效率具有较大的提升空间。从地理区位来看,陕北、关中和陕南地区的年度耕地利用生态效率存在差异,但是随着时间变化差距逐渐缩小。其中陕南地区耕地利用生态效率均值呈现波动下降的趋势,由 2005 年的 0.843 下降至 2019 年的 0.653;关中地区整体比较稳定,效率均值变化不大;陕北地区呈现波动上升的趋势,效率均值由 2005 年的 0.672 提高到 2019 年的 0.720。分阶段来看,2005—2015 年,陕南地区耕地利用生态效率较高,关中和陕北地区差异不大,整体效率较低。这主要自然资源环境和区域发展状况有关。陕南地区自然资源丰富,气候适宜,具有较好的农业基础,人均耕地面积位于全省前列,耕地利用生态效率较高;关中地区是陕西省的经济发展中心,用地需求大,耕地开发利用潜力受经济和城镇化发展制约;陕北地区生态环境脆弱、农业设施基础条件差,耕地水土流失和土壤沙化严重,因此关中和陕北地区耕地利用生态效率相对较差,2018 年各区域耕地利用生态效率达到最大值,分别为:0.817,0.817,0.882。研究后期各区域耕地利用生态效率值波动较大,2016 年陕西省整体及各区域的耕地利用生态效率均值有比较明显的下降趋势,主要与自然灾害有关,2016 年陕西省发生洪涝、干旱、滑坡等 8 类自然灾害 428 次,涉及 10

个市 102 个县区,大面积农作物受灾,导致耕地利用生态效率整体较低。2017—2019 年各区域均有不同程度的下降趋势,陕南地区耕地利用生态效率值下降最快,由 2017 年的 0.818 下降至 2019 年的 0.653。主要是因为耕地资源的破碎化分布以及频繁自然灾害损毁,导致陕南地区无法大规模发展机械化农业,大量的农药化肥投入和劳动密集型粗放式生产方式使得该地区耕地利用生态效率水平与陕北、关中相比逐渐降低。

选取陕西省 2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年四期耕地利用投入产出数据进行效率测算分析,利用 GIS 软件进行空间可视化,采用自然断点法将各县域单元划分为低效率区、较低效率区、较高效率区和高效率区 4 类(图 2)。分析可知,陕西省县域耕地利用生态效率区域差异显著,空间分布不均衡,效率高值逐渐由西向东、由南向北开始转移。研究期内陕西省整体生态效率以团块状聚集,耕地利用生态效率从城市群中心向外部区域逐渐递减。2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年耕地利用生态效率值达到完全 DEA

有效区县数量分别为 11 个、15 个、11 个和 9 个,占比分别为 10.89%,14.85%,10.89%和 8.91%。较高效率或高效率区占比较低。其中耕地利用生态效率一直处于有效或高效的有高陵区、扶风县、兴平市、华阴市 4 个区县,且高陵区在研究期内耕地利用生态效率始终处于最高水平。

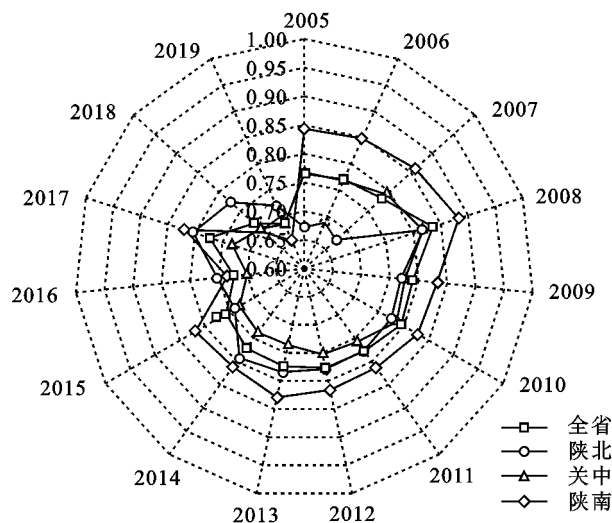


图1 2005—2019年陕西省及三大区域耕地利用生态效率均值

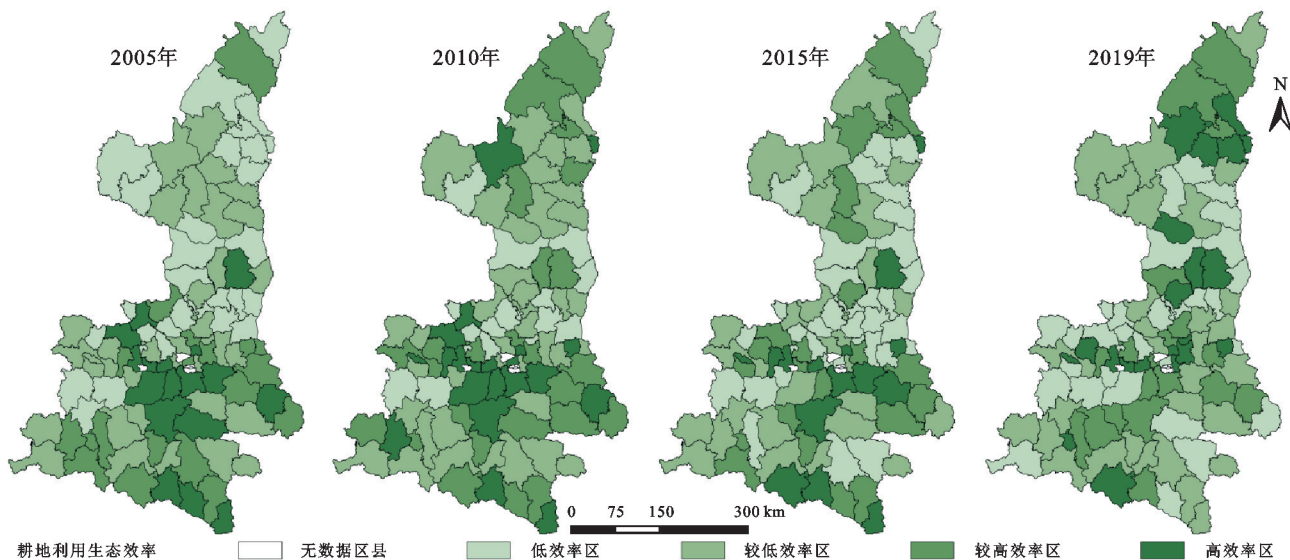


图2 陕西省 2005—2019 年耕地利用生态效率空间分布

3.2 2005—2019 年陕西省城镇化发展过程

以 2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年城镇化综合指数为基础,运用自然断点法将 101 个县域单元划分为高、较高、中等、较低、低 5 个等级(图 3)。从时间上来看,2005—2019 年陕西省综合城镇化水平呈提高态势,提高了 198.24%,其中人口城镇化指数由 0.30 增长到 0.60,年均增长率为 6.6%。经济城镇化指数从 0.13 增长到 0.48,年均增长率为 18.45%。土地城镇化水平提升 29.94%,年均增长率为 2%。变化速率整体表现为:经济城镇化>人口城镇化>土地城镇化。从空间上来看,陕西省综合城镇化水平整体

呈“中部高、南北低”分布特征,关中地区的综合城镇化水平普遍高于陕北和陕南地区。研究期内,关中、陕北和陕南地区的人口城镇化年均增长率分别为 1.78%,0.89%和 0.81%。关中地区地形平坦,自然资源禀赋好,是陕西省人口快速聚集的主要地区,西安市的未央区、莲湖区、新城区和碑林区等主城区人口城镇化水平最高。经济城镇化增长速率整体表现为:关中(74.76%)>陕北(43.58%)>陕南(23.74%),2010 年之后陕北地区经济城镇化率增速放缓,经济城镇化水平高和较高的地区主要分布在关中地区,包括西安市主城区,宝鸡市的凤翔县、岐山县和渭滨区,咸阳市的礼

泉县、乾县和泾阳县等地;中等地区分布在商洛市的洛南县、丹凤县和商南县等地,以及汉中市的洋县、西乡县和勉县等地,部分分布在延安市和榆林市;经济城镇化水平低的地区主要包括榆林市的子洲县、清涧县、横山区;延安市的甘泉县、富县、宜川县以及汉中市的宁强县和佛坪县、安康市的镇安县、皋兰县和镇

坪县。2005—2019 年陕西省土地城镇化的增长速率整体表现为:关中地区(1.85%)>陕北地区(1.79%)>陕南地区(1.55%),关中地区土地城镇化集聚特征最为明显。整体来看,陕西省城镇化发展过程具有显著的空间差异性,关中地区的西安市及周边地区是人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化的核心区域。

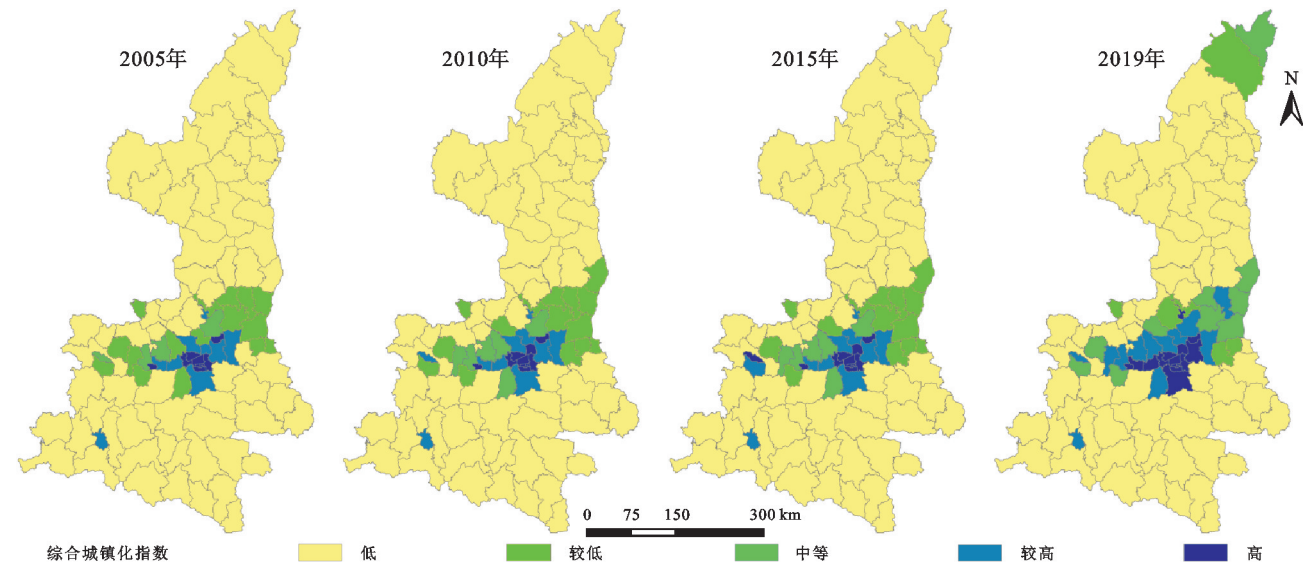


图 3 陕西省 2005—2019 年综合城镇化空间分布

3.3 耕地利用生态效率与城镇化耦合度动态分析

依据表 4 对陕西省 2005—2019 年的耦合度等级进行划分,分析可知,研究期内陕西省县域单元耕地利用生态效率与城镇化耦合度等级主要处于低水平耦合向拮抗耦合过渡阶段,两系统之间的整体耦合度不高。快速城镇化进程中,建设用地扩张对耕地利用产生了一定影响,使得两系统之间产生阻碍和对抗。

2005 年陕西省仅有 2 个高水平耦合区县,均位于西安市,磨合阶段和拮抗阶段的区县数量基本持平,分别有 37 个和 36 个,但空间分布存在明显差异性,磨合阶段的区县均分布在关中地区,区域聚集性明显,拮抗阶段区县则较为均匀地分布在陕北和陕南地区,低水平耦合的区县有 26 个,主要分布在陕南和陕北地区;2010 年两系统耦合度等级变化不大,高度耦合区县数量增加至 4 个,磨合阶段区县空间分布趋势和数量则均与 2005 年保持相同,拮抗阶段区县数量由 36 个变为 27 个,主要转为低水平耦合阶段,且主要发生在陕北地区;2015 年开始陕西省耦合协调度水平整体明显提升,高水平耦合阶段的数量在 2019 年达到 12 个,占总体的 11.88%,在空间上逐渐沿关中城市群发生扩散;拮抗阶段和低水平耦合阶段区县数量持续减少,至 2019 年分别下降至 33 个和 18 个。

整体上看,研究期间低水平耦合阶段区县数量由 2005 年的 26 个减少至 2019 年的 18 个,拮抗耦合阶

段和磨合阶段的区县数量上保持稳定,低水平耦合阶段减少的区县依次递进进入更高水平的耦合阶段,高水平耦合阶段的区县由 2005 年的 2 个增加至 2019 年的 12 个。2005—2019 年有 25% 的区县耦合度变得更高。

3.4 城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度动态分析

结合耦合协调类型划分标准对陕西省耦合协调类型进行划分(图 4),结果表明,陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度集中在 0.3~0.6,以轻度失调、濒临失调和勉强协调 3 个等级为主。2005 年陕西省耦合协调类型包括中级协调、初级协调、勉强协调、濒临失调、轻度失调和中度失调 6 种类型,分别有 6 个、5 个、12 个、31 个、39 个和 8 个。耦合等级在初级协调以上的区县均位于西安市,属于有效协调阶段,耦合等级在濒临协调以上占比达到 53.4%,主要分布在渭南市、咸阳市和宝鸡市,属于过渡阶段,轻度失调和中度失调占比分别为 38.6%,8%,主要分布在陕北和陕南地区,属于失调衰退阶段。2010 年,西安市秦都区、未央区和灞桥区进入良好协调类型,各协调阶段类型的数量分别为 3 个、2 个、4 个、18 个、40 个、29 个和 5 个,空间格局上与 2005 年保持一致,关中主要城市群仍位于前列梯队。2015 年开始过渡阶段区县成为主体,全省整体耦合协调度有所提升,这主要是因为党的十八大提出生态文明建设之后,各地

方政府开始关注城镇化发展所带来的农业生产问题,积极实施永久基本农田划定、强化耕地占补平衡、推进土地整治和高标准基本农田建设等一系列的政策手段来推动农业绿色发展。此阶段区域发展水平出现明显分化,有效协调阶段包含西安市、宝鸡市、咸阳市、铜川市、渭南市等多地;汉中市、安康市、榆林市处于过渡阶段;安康市、延安市少数区县处于失调衰退

阶段。综合来看,研究期内陕西省耕地利用生态效率与城镇化的耦合协调性类型为初级协调、勉强协调的区县数量不断增加;濒临失调状态的区县在整个研究期内基本保持稳定状态;而轻度失调和中度失调类型的县域数量持续降低,说明陕西省耕地利用生态效率和城镇化的耦合协调性整体发展态势不断向好,各区县的耦合协调发展提升空间较大。

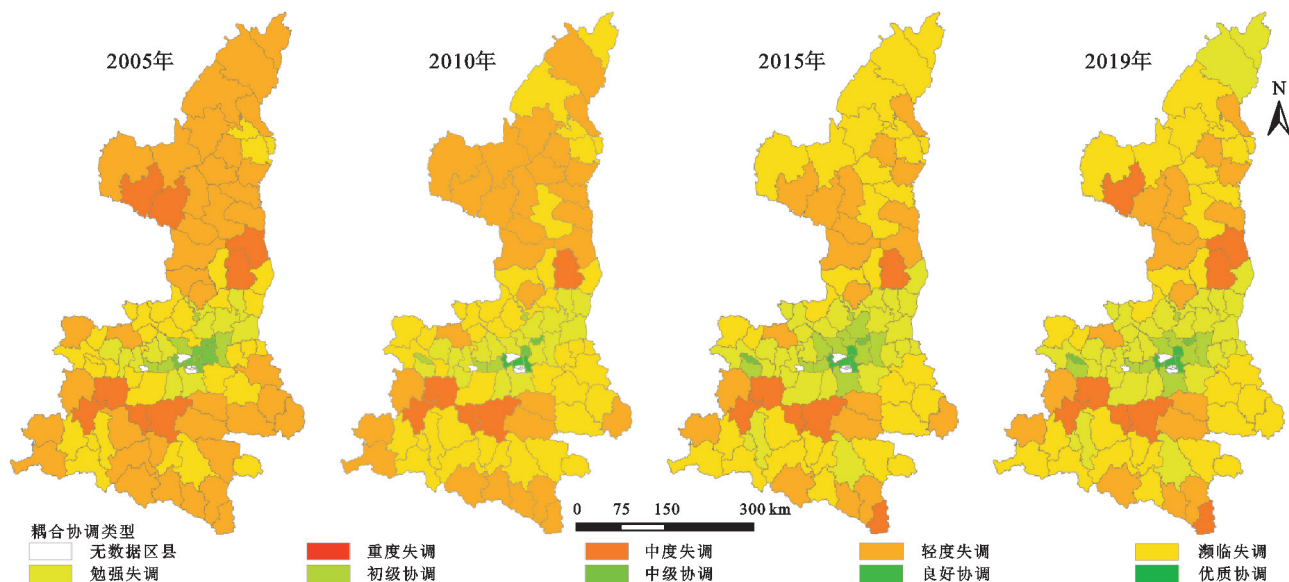


图4 陕西省2005—2019年耕地利用生态效率与城镇化耦合协调度空间分布

3.5 城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度空间自相关分析

2005—2019年两系统耦合协调度全局 Moran's I 指数计算结果见表5。2005年、2010年、2015年和2019年两系统的耦合协调度全局莫兰指数分别为0.443, 0.460, 0.464, 0.456, 均为正数且在1%的水平上通过了显著性检验,说明陕西省耕地利用生态效率和城镇化的耦合协调度在空间上表现出较强的正相关性。研究期内全局莫兰指数从0.443增长到0.456,略有上升,说明全省空间聚集格局相对稳定。

表5 耦合协调度全局 Moran's I 指数

年份	2005年	2010年	2015年	2019年
Moran's I 指数	0.443	0.460	0.464	0.456
Z 得分	7.285	7.711	7.720	7.45
p 值	0.001	0.001	0.001	0.001

通过计算局部 Moran's I 指数得出2005年、2010年、2015年、2019年的LISA聚集图(见图5),2005—2019年陕西省耕地利用生态效率与城镇化耦合协调度的H—H集聚区域和L—L集聚区在数量和空间格局上都保持相对稳定。其中2019年H—H集聚区总占比达到14.85%,在空间上以团聚状呈现,主要集中在关中地区,以西安市为中心环绕分布。L—L集聚区由2005年的12个区县增长到2010年的13个

区县后无新增,主要集中在陕北的延安市和陕南的安康市及周边区县。整体来看,陕西省耕地利用生态效率与城镇化耦合协调度聚集性在空间上呈现出关中高、陕北和陕南低的差异格局;从数量分布上看,研究期内H—H集聚区和L—L集聚区的县域单元数量一直保持在空间相关性显著区域的90%左右,说明其耦合协调度在空间上的集聚差异趋势。总的来说,陕西省内部各县域耕地利用生态效率与城镇化耦合协调发展长期存在明显差距,H—H集聚区依靠其区位优势始终保持在发展前列,但却又没有发挥出应有的辐射和溢出效应来带动全省整体协同发展。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文通过对陕西省各区县耕地利用生态效率和综合城镇化水平的实证分析,从县域尺度上深入探究了陕西省耕地利用生态效率和城镇化水平耦合协调关系,但仍存在以下问题值得探讨:受数据获取难度的影响,未能将相关指标更新最新年份;在构建两系统评价指标体系时,影响因子还不够全面,例如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,本研究在耕地利用生态

效率指标体系构建时,暂未考虑农业生产过程中的面源污染,这也将是未来本研究需要强化的地方。为未来进一步协调两系统可持续发展与优化,提出陕西省耕地利用生态效率与城镇化协调发展的建议:

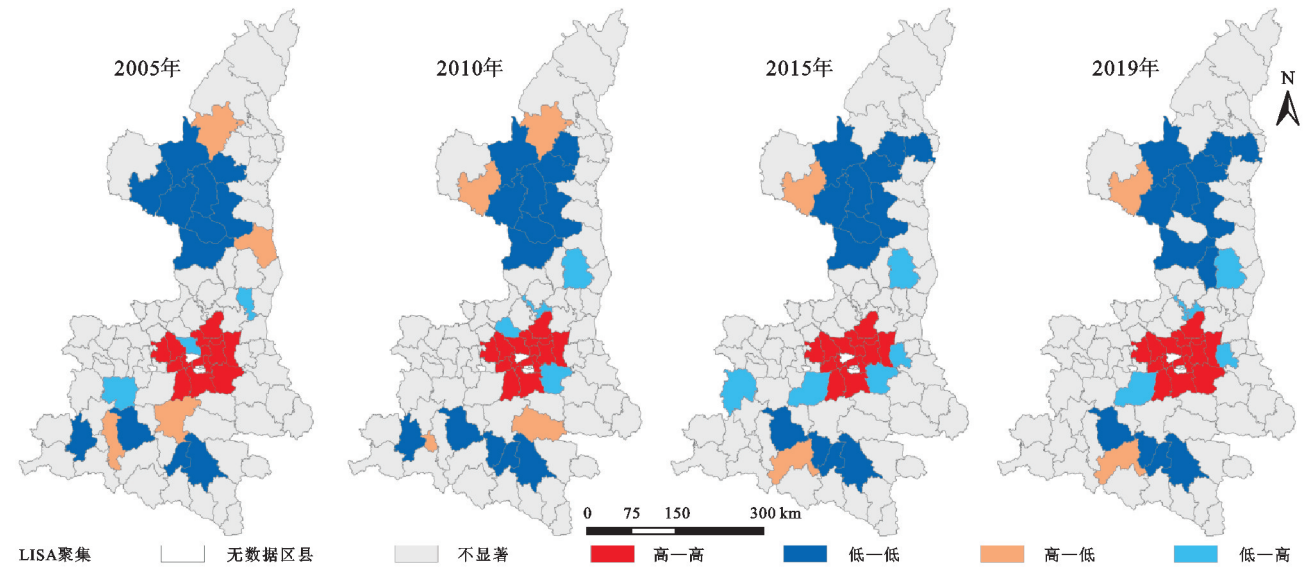


图 5 陕西省 2005—2019 年耕地利用生态效率与城镇化耦合协调度 LISA 聚集图

(1) 提升耕地利用生态水平,有序推进城镇化发展。当前陕西省耕地利用生态效率与综合城镇化耦合协调度整体处于提升阶段,两系统间的要素流动尚有优化空间,而且不同地区的耦合协调水平存在差异,因此需要结合当地实际情况,制定差异化的经济发展政策,尽可能降低城镇化建设过程对耕地利用及生态效应的负面影响;同时加大宣传耕地资源可持续利用的重要性,建立生态型耕地利用模式的激励机制,推动耕地利用效率的提升。

(2) 优化区域发展空间布局,加快形成区域良性互动格局。促进区域协调发展、协同发展,积极推进两系统在各区县间生产要素有序自由流动。支持和鼓励在各区县交界地区开展区域协同发展试点试验,建立区间利益分享和平衡机制。充分发挥 H—H 集聚区的引领作用和溢出效应,加强经济技术交流,促进以关中城市群为典型的先进地区向其他区域的技术扩散。以此推动周边区县耕地利用生态效率的提高。

4.2 结论

本文以陕西省县域为研究单元,借助相关数理统计方法,对陕西省各区县耕地利用生态效率和综合城镇化及其三大子系统的时空演变特征、发展现状进行测算分析。在此基础上,借助耦合协调度模型与空间自相关分析对两系统间的耦合协同关系进行探索,探究其在地理空间上的发展格局和集聚趋势,主要研究结论如下:

(1) 2005—2019 年,陕西省耕地利用生态效率水平由 0.765 下降至 0.684,陕北、关中和陕南地区间差异随时间逐步缩小,效率高值逐渐由西向东、由南

向北开始转移。县域耕地利用生态效率空间分布不均衡,研究期内各区县整体耕地利用生态效率以团块状聚集,耕地利用生态效率从城市群中心向外部区域逐渐递减。

(2) 2005—2019 年,陕西省综合城镇化水平提高了 198.24%,城镇化发展过程具有显著的空间差异性,整体呈“中部高、南北低”分布特征,关中地区综合城镇化水平普遍高于陕北和陕南地区,是人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化的核心区域。从变化速率来看,整体表现为:经济城镇化>人口城镇化>土地城镇化。

(3) 2005—2019 年,陕西省县域单元耕地利用生态效率与城镇化耦合度等级主要处于低水平耦合向拮抗耦合过渡阶段,两系统间的整体耦合度不高。研究期内低水平耦合阶段区县数量由 2005 年的 26 个减少至 2019 年的 18 个,拮抗耦合阶段和磨合阶段的区县数量上保持稳定,低水平耦合阶段减少的区县依次递进进入更高水平的耦合阶段,高水平耦合阶段的区县由 2005 年的 2 个增加至 2019 年的 12 个。

(4) 2005—2019 年,陕西省城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度集中在 0.3~0.6 之间,以轻度失调、濒临失调和勉强协调 3 个等级为主。研究期内初级协调、勉强协调的区县数量不断增加;濒临失调状态的区县基本保持稳定状态;轻度失调和中度失调类型区县数量持续降低,整体发展态势不断向好。耦合协调度在空间上表现出较强的正相关性,但在局部空间聚集性上存在明显内部差异,在极核区域的辐射带动下全省逐步形成 1 个集中 H—H 集聚区和两个分散 L—L 集聚区的空间特征。

参考文献:

- [1] 熊艳花,潘惠玲.新型城镇化背景下耕地保护问题及对策[J].中国农业综合开发,2022,19(5):14-16.
- [2] 刘玉洁,张安录,刘蒙罢.长江中下游粮食主产区城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度时空格局分析[J/OL].中国农业资源与区划,1-15[2022-10-20].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220107.1028.009.html>
- [3] 吴郁玲,张佩,李佳.长江经济带耕地利用效率时空演变特征及提升路径研究[J].农业现代化研究,2021,42(4):579-588.
- [4] 宋蕾,曹银贵,周伟,等.基于SD模型的三峡库区快速城镇化地区耕地利用模拟研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(4):818-827.
- [5] 王静怡,李晓明.近20年中国耕地数量变化趋势及其驱动因子分析[J].中国农业资源与区划,2019,40(8):171-176.
- [6] 居尔艾提·吾布力,安瓦尔·买买提明,薛东前.城镇化与耕地集约利用水平及其耦合协调发展:以新疆阿克苏市为例[J].干旱区研究,2019,36(6):1333-1343.
- [7] 李智礼,匡文慧,赵丹丹.京津冀城市群人口城镇化与土地利用耦合机理[J].经济地理,2020,40(8):67-75.
- [8] 朱佩佩.河南省新型城镇化与农业现代化协调发展研究[D].郑州:郑州大学,2020.
- [9] Hou Xianhui, Liu Jingming, Zhang Daojun, et al. Impact of urbanization on the eco-efficiency of cultivated land utilization: A case study on the Yangtze River Economic Belt, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019,238(C):117916.
- [10] 卢阳禄,王红梅,胡月明,等.新型城镇化与耕地集约利用协调发展时空演变研究:以广东省为例[J].农业现代化研究,2016,37(5):831-839.
- [11] 夏敏,张耀蓓.苏北县域城镇化与耕地集约利用耦合协调发展研究:以徐州市沛县为例[J].江西农业学报,2016,28(2):132-136.
- [12] 吴红,张晓玲.安徽省城镇化与耕地利用集约化的动态响应关系[J].农业工程学报,2017,33(12):262-269.
- [13] 刘纪远.国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J].遥感学报,1997,11(3):225-230
- [14] 杨朔,李世平,罗列.陕西省耕地利用效率及其影响因素研究[J].中国土地科学,2011,25(2):47-54.
- [15] 谢花林,张道贝,王伟,等.鄱阳湖生态经济区耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J].水土保持研究,2016,23(5):214-221.
- [16] 盖兆雪,孙萍,张景奇.环境约束下的粮食主产区耕地利用效率时空演变特征[J].经济地理,2017,37(12):163-171.
- [17] 刘海龙,王虎,谢亚林,等.集中连片特困区耕地生态效率的时空演变特征及影响因素分析:以吕梁山区为例[J].水土保持研究,2020,27(2):323-329.
- [18] 李波,张俊飏.基于我国农地利用方式变化的碳效应特征与空间差异研究[J].经济地理,2012,32(7):135-140.
- [19] 匡兵,卢新海,韩璟,等.考虑碳排放的粮食主产区耕地利用效率区域差异与变化[J].农业工程学报,2018,34(11):1-8.
- [20] Tristram O W, Gregg M. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002,91(1):217-232.
- [21] Post W. M, Kwon K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. Global Change Biology,2000,6(3):317-327.
- [22] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口资源与环境,2011,21(8):80-86.
- [23] 张引,杨庆媛,闵婕.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].地理学报,2016,71(5):817-828.
- [24] 税丽,潘洪义,张秋月,等.成渝城市群城市土地—耕地利用效率时空耦合研究[J].水土保持通报,2017,37(6):261-268.
- [25] 张浩,冯淑怡,曲福田.耕地保护、建设用地集约利用与城镇化耦合协调性研究[J].自然资源学报,2017,32(6):1002-1015.
- [26] 李子瑞,姜博,张余,等.东北三省新型城镇化与耕地集约利用协调性评价与预测[J].水土保持研究,2021,28(6):260-267.
- [27] 王宾,于法稳.长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究[J].华东经济管理,2019,33(3):58-63.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.