

# 山西省生态经济系统协调度演变格局及其影响因素

胡雪

(山西晋中理工学院 经济与管理学院, 山西 晋中 030621)

**摘要:** [目的] 探究山西省生态经济系统协调发展程度及其影响因素, 为推动该地区生态经济协调高质量发展提供理论支撑与科学参考。[方法] 基于 2000—2020 年 5 期土地利用数据, 采用修正后的单位面积生态系统服务当量因子, 结合生态系统服务价值(ESV)评估模型、生态经济协调度模型以及地理探测器与空间分析法对山西省 ESV、经济发展以及生态经济协调度进行综合研究。[结果] 2000—2020 年山西省 ESV 由 3 241.73 亿元下降至 3 189.70 亿元, 呈现出先增后减的动态变化特征, 除林地 ESV 增加外, 其余土地利用类型 ESV 均出现不同程度的下降, 其中耕地下降幅度最大, 降幅为 5.42%; ESV 空间分布格局较为稳定, 高值区分布在太行山、太岳山以及吕梁山等山区地带, 低值区分布在太原盆地、长治盆地、临汾盆地以及运城盆地等人类活动密集地区, 且范围有所增扩。2000—2020 年山西省生态经济系统协调度指数为一 0.001 9, 处于低度失调状态, 其经历了由低度协调向低度失调转变的过程, 生态经济协调关系出现恶化, 空间上呈现出南高北低的分布格局, 生态经济系统可持续协调发展面临极大挑战。NDVI 和城镇化率对协调度的影响程度远大于其他影响因素, 其次是 GDP、人口密度、工业化率和土地开发强度, 其余影响因素对生态经济系统协调度的影响程度较小, 且社会经济因素对生态经济系统协调度的影响程度明显大于自然环境因素。[结论] 人类社会经济活动是影响生态经济系统协调度的关键因素, 合理开发和有效利用区域水土资源是实现山西省生态经济系统协调可持续发展的关键。

**关键词:** 生态经济系统; 生态系统服务价值(ESV); 协调度; 时空演变; 影响因素; 山西省

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2023)02-0285-08

**中图分类号:** TP79, F062.2

**文献参数:** 胡雪. 山西省生态经济系统协调度演变格局及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 285-292. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20230215.002; HU Xue. Evolution pattern of ecosystem coordination and its influencing factors in Shanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(2): 285-292.

## Evolution Pattern of Ecosystem Coordination and Its Influencing Factors in Shanxi Province

Hu Xue

(School of Economics and Management, Jinzhong Institute of Technology, Jinzhong, Shanxi 030621, China)

**Abstract:** [Objective] The degree of coordinated development of ecological and economic systems in Shanxi Province and the factors influencing that development was determined in order to provide theoretical support and a scientific reference for promoting coordinated and high-quality ecological and economic development in the region. [Methods] Based on land use data of five periods from 2000 to 2020, we used the modified ecosystem service equivalent factor per unit area, combined with an ecosystem service value (ESV) assessment model, an ecological-economic coordination degree model, and a geographic probe and spatial analysis method to conduct a comprehensive study of ESV, economic development, and ecological-economic coordination degree in Shanxi Province. [Results] ESV in Shanxi Province from 2000 to 2020 decreased from RMB 324.173 billion to RMB 318.970 billion, showing a dynamic change characteristic of first increasing and then decreasing, except for the continued increase of forest land ESV. ESV for all other land use types decreased to different degrees, among which arable land decreased the most (5.42%). The ESV spatial distribution pattern was relatively stable, with high value areas located in mountainous areas such as the Taihang

收稿日期: 2022-11-01

修回日期: 2022-11-30

资助项目: 宁夏回族自治区自然科学基金项目“粮食安全背景下的宁夏牧草产业发展与牧草生产者决策行为研究”(2022AAC03324)

第一作者: 胡雪(1995—), 女(汉族), 山西省晋中市人, 硕士研究生, 研究方向为生态经济与绩效评价。Email: 895721628@qq.com。

Mountains, the Taiyue Mountains, and the Luliang Mountains, and low value areas located in areas with intensive human activities such as the Taiyuan Basin, the Changzhi Basin, the Linfen Basin, and the Yuncheng Basin. The range has expanded over time. NDVI and urbanization rate had a greater influence on the coordination degree than GDP, population density, industrialization rate, and land development intensity. The remaining factors had a smaller influence on the coordination degree. The degree of influence of other factors on the coordination degree of eco-economic system was smaller, and the degree of influence of socio-economic factors on the coordination degree of the eco-economic system was significantly larger than that of natural environmental factors. [Conclusion] Human socio-economic activities were the key factors affecting the coordination degree of the eco-economic system. The rational development and effective utilization of regional water and soil resources were the key to understanding the coordinated and sustainable development of the eco-economic system in Shanxi Province.

**Keywords: eco-economic system; ecosystem service value (ESV); coordination degree; spatial and temporal evolution; influencing factors; Shanxi Province**

21 世纪以来,快速的城镇化与工业化进程在促进国民经济发展的同时,也加剧了人类社会经济活动对生态环境的影响程度,不断地改变和重塑着地表的生态格局与过程,并造成一系列的区域生态环境问题,从而严重阻碍了区域生态经济系统的协调可持续发展<sup>[1-2]</sup>。特别是当前中国正处于生态、经济、社会高质量发展的关键时期,如何协调好社会经济发展与生态环境保护以及资源耗竭间的相互作用关系不仅是实现区域可持续发展的基本要求,也是实现区域高质量发展的现实需求<sup>[3]</sup>。生态经济协调度(EEH)是测度和衡量区域生态经济协调可持续发展的重要指标<sup>[2,4]</sup>,可以有效地反映出区域生态与经济协调发展程度,成为生态学、经济学以及生态经济学等相关学科领域重点研究的内容之一。积极开展生态经济协调度研究,定量测度生态与经济协调发展程度,揭示其关键影响因素及互作机制,不仅有利于生态建设和经济发展的精准调控,而且可为实现区域生态保护与高质量发展提供科学依据<sup>[2-3,5]</sup>。近年来,如何实现生态经济协调发展已经成为可持续发展研究的重要内容,国内外学者针对生态环境与经济关系的互作关系及其协调发展进行了丰富的实践和探讨,并取得了丰富的研究成果。总体来看,学术界关于生态环境与经济发展协调度的研究主要集中在以下几个方面:①理论研究层面。学者们普遍认为,生态环境是社会经济发展的基础和根本,两者之间存在着内在的有机联系,生态建设与经济发展应相辅相成,相互促进<sup>[6-7]</sup>;③实证研究层面。由于学科体系和研究视角的差异性,不同学者从不同学科体系视角出发,综合运用模型法、能值分析法、足迹家族法、物质流模型以及系统动力学等方法对不同空间尺度下生态与经济协调发展程度<sup>[8]</sup>、互作关系<sup>[9]</sup>、时空演变规律<sup>[10]</sup>、空

间分异格局及其驱动因素<sup>[10-11]</sup>、区划类型与发展模型等<sup>[12]</sup>进行了探讨和研究。③实际应用层面。生态与经济协调发展的理论与实践探讨为中国区域绿色发展、循环经济与生态产业发展提供了强有力的理论与实践支撑。此外,由于生态环境与经济协调发展问题的综合性与复杂性,在实践应用过程中需要综合考虑生态学、经济学以及地理学等众多学科,并在此基础上进行更深层次的讨论<sup>[13]</sup>。相关研究为进一步推进区域生态环境与社会经济协调发展的深入研究提供了科学参考与借鉴。

生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)可以定量和综合表征区域生态环境变化过程,且与社会经济发展密切相关<sup>[14]</sup>。基于土地利用变化数据,通过分析 ESV 变化与经济关系的互作关系衡量区域生态与经济的协调发展水平为区域生态经济协调度研究提供了新思路和新途径<sup>[15]</sup>,也为探讨生态与经济的协调发展机制奠定了坚实基础。但总结发现,现有研究多侧重于对生态与经济协调状况进行空间探索性分析,对于生态与经济协调发展时空分异特征的影响因素与驱动机制解析不足,研究尺度多以区域、流域以及城市群为主,基于县域尺度进行生态经济系统协调度的研究还比较薄弱。因此,本研究基于山西省 2000—2020 年 5 期土地利用变化数据,综合运用 ESV 评估模型、生态经济协调度模型、地理探测器模型以及空间分析法对其生态与经济系统协调度时空演变格局及其影响因素进行综合研究,以期为促进生态经济系统协调发展,实现区域生态保护与高质量发展提供科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

山西省地处中国中部,黄土高原东部地区,地理

位置位于  $34^{\circ}35'—40^{\circ}42'N, 110^{\circ}15'—114^{\circ}32'E$ , 属于温带大陆性季风气候区, 年平均气温  $9.2^{\circ}C$ , 年均降水量介于  $358—624\text{ mm}$  之间, 该省总面积  $1.57 \times 10^5\text{ km}^2$ , 共辖 11 个地级市, 117 个县区, 总人口 3 480 万人。山西省是黄土高原水土流失最为严重的地区之一, 地势东北高、西南低, 地面起伏不平, 河谷纵横, 生态环境脆弱, 自实施退耕还林还草工程以来, 植被覆盖度显著增加, 土地利用发生显著变化。同时山西省也是中国重要的能源产业富集区, 生态环境与经济发展间的矛盾严重阻碍了该地区生态经济系统的可持续发展。在全面实施高质量发展的新时期, 探索实现生态经济协调发展路径对山西省实现生态保护与高质量发展至关重要。

### 1.2 数据来源与处理

本研究所用数据主要包括土地利用数据、统计数据 and 影响因素数据。其中, 土地利用数据包括 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年 5 期分辨率为  $30\text{ m}$  土地利用栅格数据, 该数据由中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>) 提供, 是基于不同时期 Landsat TM/ETM 遥感影像, 通过人工目视解译获得, 其解译总精度达  $92\%$  以上, 包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 大类。社会经济统计数据来源 2001—2021 年相应年份的《山西省统计年鉴》。影响因素数据是本文在借鉴相关研究成果基础上, 结合山西省实际状况, 选取海拔、坡度、NDVI、降水量、气温、城镇化率、土地开发强度、人口密度、道路密度、GDP、第三产业比重和区位优势度 13 项指标

对山西省生态经济系统协调度时空变化的影响因素进行综合分析。

### 1.3 研究方法

1.3.1 ESV 评估方法 本文基于谢高地等<sup>[16]</sup>提出的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”, 结合山西省生态基本特征与实际生产能力状况, 采用研究区农作物粮食产量和粮食价格进行修正, 将当量基准由全国农田平均粮食产量调整为研究区的农田平均粮食产量。在没有人力投入情况下, 自然生态系统提供的经济价值是现有农田单位面积提供食物生产服务经济价值的  $1/7$ <sup>[17]</sup>。根据山西省 2000—2020 年主要粮食作物(小麦、玉米和大豆等)产量、播种面积以及平均粮食收购价格, 计算得出山西省 1 个当量因子的经济价值量为  $1\ 397.77\text{ 元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 从而得到山西省单位面积生态系统服务价值系数表(表 1)。其计算公式为:

$$\alpha = \frac{f}{F} \quad (1)$$

$$E_i = \alpha \cdot E_{i0} \quad (2)$$

$$ESV = \sum S_k \cdot VC_k \quad (3)$$

式中:  $\alpha$  为研究区修正系数, 经测算  $\alpha$  为  $0.793\ 5$ ;  $f$  为研究区单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $F$  为全国单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $E_i$  为第  $i$  类生态系统修正后的当量因子;  $E_{i0}$  为谢高地制定的第  $i$  类生态系统的当量因子;  $ESV$  为研究区生态系统服务价值(元);  $S_k$  为第  $k$  类生态系统的面积( $\text{hm}^2$ );  $VC_k$  为生态系统第  $k$  单位面积生态系统服务价值系数。

表 1 山西省不同生态系统单位面积生态服务价值

Table 1 Ecological service values per unit area of different ecosystems in Shanxi Province 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$

一级类型	二级类型	单位面积生态服务价值				
		耕地	林地	草地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	1 397.77	461.26	601.04	740.82	27.96
	原材料生产	545.13	4 165.35	503.20	489.22	55.91
	气体调节	1 006.39	6 038.37	2 096.66	712.86	83.87
调节服务	气候调节	1 355.84	5 688.92	2 180.52	2 879.41	181.71
	水文调节	1 076.28	5 716.88	2 124.61	26 236.14	97.84
	废物处理	1 942.90	2 404.16	1 845.06	20 756.88	363.42
支持服务	保持土壤	2 054.72	5 619.04	3 131.00	573.09	237.62
	维持生物多样性	1 425.73	6 303.94	2 613.83	4 794.35	559.11
文化服务	提供美学景观	237.62	2 907.36	1 216.06	6 206.10	335.46

1.3.2 生态经济协调度计算 生态经济协调度指数不仅可以有效地反映区域生态与经济之间的相互作用关系与强度, 同时也能反映两者之间的协调发展程度<sup>[8,18]</sup>。本文在借鉴相关研究的成果上, 采用魏伟等<sup>[6]</sup>提出的生态经济协调度指数来反映研究生态经济发展过程的相互影响程度及其耦合互动程度, 主要

是通过采用研究区评价单元  $ESV$  的变化率与  $GDP$  的变化率的比值来构建生态与经济协调度, 这种比值是一个参考值, 用以表征当年经济发展与固有生态之间的协调关系, 它能较好地反映环境变化与经济发展过程中二者相互影响、相互制约或推动的程度<sup>[6]</sup>。其计算过程为:

$$R_{ESV} = \frac{R_{ESV,m} - R_{ESV,n}}{R_{ESV,n}} \quad (4)$$

$$R_{GDP} = \frac{R_{GDP,m} - R_{GDP,n}}{R_{GDP,n}} \quad (5)$$

$$C_{EEH} = \frac{R_{ESV}}{R_{GDP}} \quad (6)$$

式中： $R_{ESV}$  为研究区生态系统服务价值变化率(%)；

$R_{ESV,m}$ ,  $R_{ESV,n}$  分别为研究始末 ESV(元)； $R_{GDP}$  为研究区 GDP 变化率(%)； $R_{GDP,m}$ ,  $R_{GDP,n}$  分别为研究始末 GDP(元)。当  $C_{EEH}$  值为正时,生态与经济发展处于协调发展状态,当  $C_{EEH}$  值为负时,生态与经济发展处于失调状态。在参考相关研究成果的基础上,根据  $C_{EEH}$  值将研究区生态经济协调类型进一步划分为 4 类(表 2)。

表 2 山西省生态经济系统协调度( $C_{EEH}$ )类型划分

Table 2 Classification of eco-economic system coordination types in Shanxi Province

$C_{EEH}$ 值	$C_{EEH} \geq 1$	$0 \leq C_{EEH} < 1$	$-1 \leq C_{EEH} < 0$	$C_{EEH} < -1$
协调类型	高度协调	低度协调	低度失调	高度失调

1.3.3 地理探测器 地理探测器是一种用于分析地理现象空间异质性并揭示其驱动因素的统计学方法,其核心思想是:如果某一因素影响某一地理对象,那么该因素与该地理对象的空间分布应在空间上保持一致<sup>[19]</sup>。与其他模型相比,该模型考虑了因素之间的空间异质性,被广泛地应用在疾病防治和生态环境治理中<sup>[20]</sup>。其计算公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (7)$$

式中: $q$  为生境质量影响因素的探测值, $q \in [0, 1]$ ;  $h$  为自变量的分类序号;  $L$  为评价单元的总数;  $N_h$ ,  $N$  分别为每个分区和区域内总数目;  $\sigma_h^2$ ,  $\sigma^2$  分别为每个分区的方差和区域内生境质量的总方差。由于生态经济系统协调发展受自然地理环境因素和社会经济发展因素的综合影响,且山西省地形条件复杂,区域社会经济差异较大。

## 2 结果与分析

### 2.1 山西省 ESV 时空变化特征分析

从表 3 可以看出,研究期间山西省 ESV 呈现出先增加后下降的动态变化特征,总体呈下降趋势,由 3 241.73 亿元下降至 3 189.70 亿元,共减少 52.03 亿元。2000—2010 年山西省 ESV 呈增加态势,由 3 241.73 亿元增加至 3 258.45 亿元,共增加 16.72 亿元,增长率为 0.52%,其中 2005—2010 年增加量最大,为 11.51 亿元,增长率为 0.35%。不同土地利用类型 ESV 变化存在显著差异,其中,耕地与未利用地 ESV 呈下降趋势,分别下降了 17.21 和 0.004 亿元,而林地、草地和水域 ESV 分别增加 16.32, 15.33 和 2.28 亿元,主要原因该时期是中国进行大规模生态恢复的黄金时期,山西省大力实施退耕还林(草)、三北防护林工程、天然林资源保护以及水资源保护等重点

生态恢复工程,使得林地、草地和水域面积的不断增长,10 a 间林地、草地和水域面积分别增加了 0.54%, 0.32% 和 2.35%,ESV 总量随之增加。2010—2020 年山西省 ESV 呈现出快速下降趋势,由 2010 年的 3 258.45 亿元下降至 2020 年的 3 189.70 亿元,共减少 68.75 亿元,下降幅度为 2.11%,其中 2015—2020 年下降幅度最大,下降幅度超过 1.40%。不同土地利用类型 ESV 变化中,除林地 ESV 呈增加态势外,其余土地利用类型 ESV 均出现不同程度的减少,其中草地 ESV 减少量最大(40.91 亿元),下降率为 5.38%,其对该时段 ESV 减少量的贡献率为 59.51%。主要是该时期山西省城镇化和工业化进程加快,经济社会发展迅速,人口大量涌入城市,建设用地面积大幅度增加,不断占用更多的耕地、草地资源,导致耕地、草地和水域面积分别下降 3.82%, 3.74% 和 8.56%,而建设用地面积增加 79.52%,加速了 ESV 的下降。因此,在经济社会转型发展的关键时期,合理配置土地利用类型,科学提升区域 ESV,是促进生态与经济协调发展的关键举措。

从山西省 ESV 空间分布来看(图 1),山西省 ESV 空间分布格局较为稳定,ESV 高值区主要分布在山西省东部的太行山、中部的太岳山以及西部的吕梁山等山区地带,该类地区地势较高,城镇化水平和道路密度均低于山西省的平均水平,对该类地区的生态系统扰动较小;此外,ESV 高值区地处中国集中连片特困地区,是生态和贫困治理的重点区域,多年来的生态建设工程促进了该地区的植被恢复,使得该地区生态用地面积快速增加,这也是该地区 ESV 较高的重要原因之一。ESV 低值区主要分布在太原盆地、长治盆地、临汾盆地以及运城盆地等地区,且有向东扩张的趋势。ESV 低值区地势相对平坦,水热资源较为丰富,是人口聚集和社会经济快速发展的地

区,2020 年该地区人口密度约为 308 人/kmm<sup>2</sup>,远高于山西省人口密度的平均水平(223 人/km<sup>2</sup>),地区生产总值占全省的 51.06%,高强度的人类社会经济活

动导致城市建设用地面积急速扩张,不断侵占生态用地,导致周围生态系统受到剧烈的人为干扰,在一定程度上降低了该区域的 ESV 水平。

表 3 山西省 2000—2020 年生态系统服务价值变化

Table 3 Changes in the value of ecosystem service values in Shanxi Province during 2000—2020

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用地	总计
2000	675.71	1 724.21	744.61	96.92	0.29	3 241.73
2005	672.72	1 729.05	747.69	97.19	0.29	3 246.94
2010	658.50	1 740.52	759.94	99.20	0.29	3 258.45
2015	648.97	1 742.07	745.29	99.58	0.29	3 236.20
2020	639.11	1 745.65	719.03	85.71	0.20	3 189.70

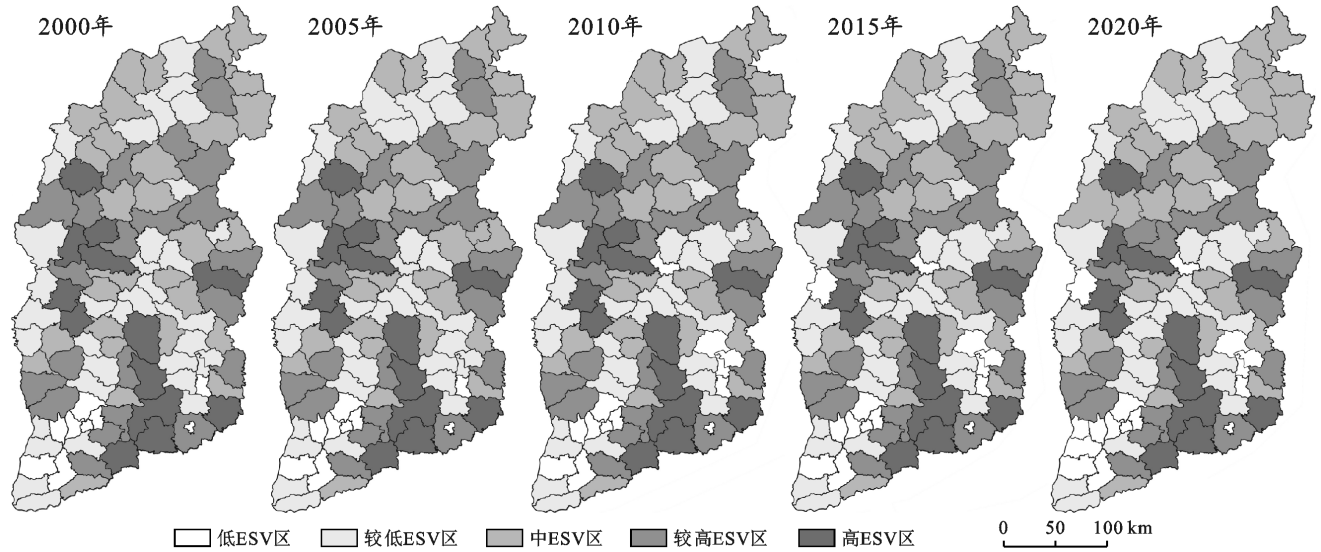


图 1 山西省 2000—2020 年生态服务系统价值(ESV)空间分布格局

Figure 1 Spatial distribution pattern of ecosystem service values (ESV) in Shanxi Province from 2000 to 2020

## 2.2 山西省经济发展时空演化特征分析

从图 2 可以看出,2000—2020 年山西省经济发展取得了长足的发展,经济增长态势十分显著,其地区 GDP 总量由 1 845.7 亿元增加至 17 651.9 亿元,翻了近 10 倍,年均增长率为 40.78%;其中,2000—2005 年,2005—2010 年是山西省地区 GDP 总量的快速增长时期,其地区 GDP 总量分别增加了 2 384.8 和 4 673.4 亿元,年均增长率分别为 25.84% 和 22.09%,主要是该时段内山西省通过实行资源驱动型经济发展战略,特别是煤炭为主的资源型产业的迅速发展,极大地促进了山西省经济的迅速增长和城镇居民收入的持续增加。2010—2020 年山西省经济发展速度逐渐放缓,其地区 GDP 由 8 903.9 亿元增加至 17 651.9 亿元,年均增长率 9.82%,一方面经济的转型发展对煤炭资源开发利用技术提出了新要求,导致社会失业率和企业负债率增加;另一方面国家和地区生态文明建设以及生态环境保护政策的颁布和实施,增强了对地区经济发展的约束作用。从山西省 GDP 空间变化来看,研

究期间山西省 GDP 空间分布发生显著变化,高值区主要集中在南部地区晋城市、运城市和长治市以及北部的大同市等煤炭资源富集地区,而低值区主要分布在吕梁山区和太行山区等生态脆弱的欠发达地区。从不同时期来看,2000—2005 年和 2005—2010 年处于快速发展时期,高 GDP 区县域占比增加 10.19%,低和较低 GDP 区县域占比分别减少 9.75% 和 2.85%;自 2010 年以后,研究区 GDP 呈缓慢增加态势,高 GDP 区县域占比由 13.89% 下降至 0.93%,而低和较低 GDP 区县域占比分别增加 8.33% 和 6.48%。

## 2.3 生态经济系统协调度时空演化特征分析

从图 3 中可以看出,山西省生态经济系统协调度类型主要包括低度失调、低度协调和高度协调 3 种类型。2000—2020 年山西省生态经济系统协调度为 -0.001 9,处于低度失调状态,说明研究期间生态经济系统协调发展水平较低。从不同时期来看,2000—2005 年和 2005—2010 年 CEEH 值分别为 0.001 2 和 0.003 2,均处于低度协调状态,且协调程度呈增加态

势,该时段内山西省全面实施退耕还林(草)工程,推进生态恢复建设,同时积极进行经济建设和社会发展,ESV 和 GDP 不断增加,促进了生态经济系统的协调发展。2010—2015 年和 2015—2020 年 CEEH 值分别为  $-0.0207$  和  $-0.0292$ ,表明生态经济系统协调度下降,处于低度失调状态,说明该时段内经济

社会的发展对区域生态环境产生了严重的负效应,经济社会发展与生态保护相悖,长此以往,将不利于区域生态经济系统的可持续发展。总体来看,山西省生态经济系统协调度经历了由低度协调向低度失调转变的过程,生态经济协调关系出现恶化,生态经济系统可持续发展面临极大挑战。

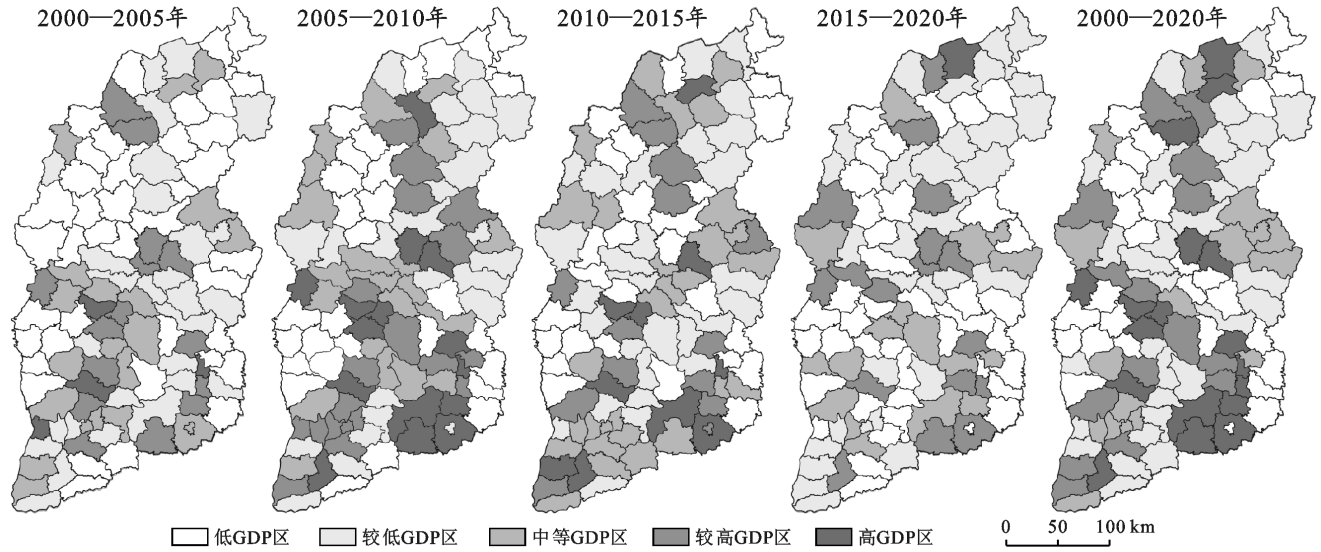


图 2 山西省 2000—2020 年 GDP 空间分布格局

Figure 2 Spatial distribution pattern of GDP in Shanxi Province, 2000—2020

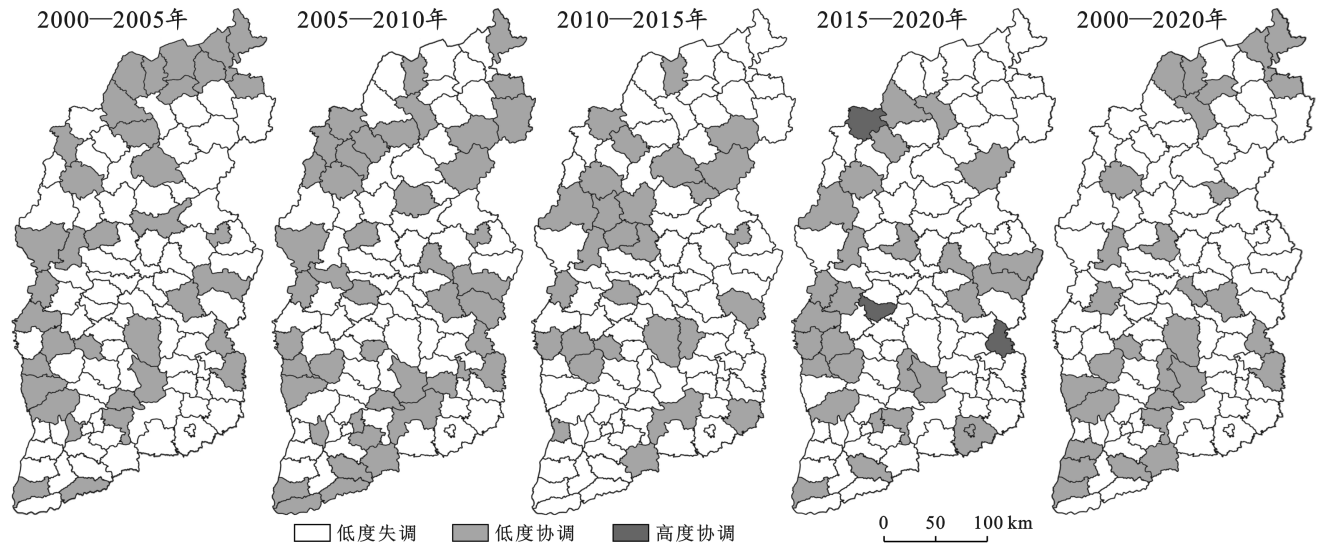


图 3 山西省 2000—2020 年生态经济耦合协调度变化

Figure 3 Changes in ecological and economic coupling coordination in Shanxi Province, 2000—2020

从山西省生态经济系统协调度空间演化过程来看,2000—2005 年山西省各县以低度失调为主,低度失调县域总数为 37 个,占全部县域总数的 65.74%,生态与经济发展矛盾突出,生态经济协调可持续性较低;2005—2010 年山西省生态经济协调类型发生较大变化,低度协调县域占比增加 7.41%,主要分布在太行山南麓和吕梁山西北地区,研究区生态经济系统

协调发展态势持续好转。2010—2015 年山西省生态经济协调类型中低度协调县域总数出现下降,14.82%的县域转变为低度失调,主要集中分布在南部和中部地区。2015—2020 年山西省生态经济协调度呈现出整体好转,局部恶化的变化特征,低度失调县域数量减少,低度协调县域数量增多,其中,黎城县、孝义市和偏关县上升至高度协调类型,这与国家

和地方在这一时期大力实施生态环境保护政策息息相关。目前,山西整体经济生态环境恶化区面积远大于协调区,且在地域分布上并不均衡,部分区域出现了两极分化现象<sup>[21]</sup>。

#### 2.4 生态经济系统协调度影响因素分析

从图 4 可以看出,不同影响因素对生态经济系统协调发展的影响决定力  $q$  值存在显著的差异性。其中,NDVI 和城镇化率对生态经济系统协调度的影响程度远大于其他影响因素,决定力  $q$  值分别为 0.463, 0.413, 是生态经济系统协调度空间分异的主要影响因素。其次是 GDP、人口密度、工业化和土地开发强度,决定力  $q$  值分别为 0.376, 0.344, 0.317 和 0.302,而其余影响因素决定力  $q$  值均小于 0.3,对生态经济系统协调度的影响程度较小。此外,可以明显看出,社会经济因素对生态经济系统协调度的影响程度明显大于自然环境因素,说明人类活动强度是影响和改变区域生态经济协调发展的关键。

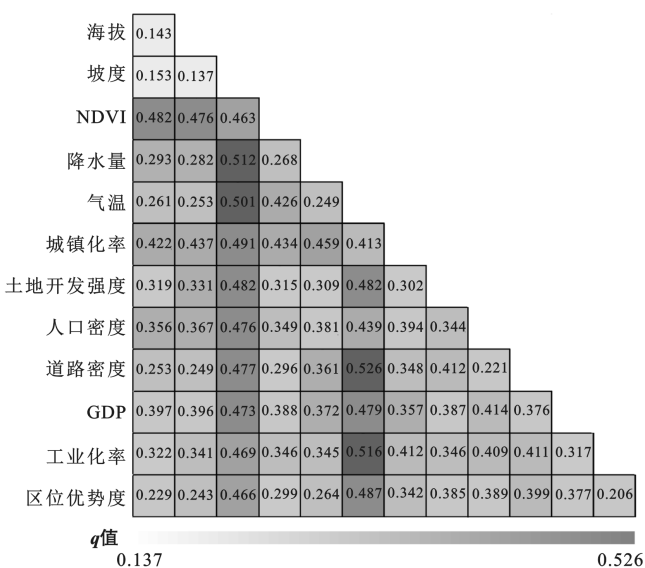


图 4 山西省生态经济系统协调度影响因素的交互作用

Figure 4 Interaction of factors influencing eco-economic coordination in Shanxi Province

从交互作用来看(图 4),NDVI 和城镇化率与其他因素的交互作用明显高于其他因素间的交互作用,其中,城镇化率  $\cap$  GDP (0.526)、NDVI  $\cap$  降水量 (0.512)、城镇化率  $\cap$  工业化率 (0.505) 和 NDVI  $\cap$  气温 (0.501) 的交互作用力最大,而且任意两个因子间的交互决定力均高于单个因子的决定力,说明生态经济系统协调度的空间分异格局受到多个因素的综合影响。整体来看,自然环境因素对生态经济系统协调度的决定力  $q$  值小于社会经济因素,但两者交互后,决定力  $q$  值显著提升,其中城镇化率因子交互作用达

0.501,说明社会经济因素显著增强了自然因素对生态经济系统协调度的影响程度。

### 3 讨论

山西省位于黄土高原东部地区,生态环境极为脆弱,同时也是中国重要的能源产业富集区,长期以来以能源驱动为导向的经济发展模式,造成区域生态环境与社会经济间的矛盾和冲突加剧,生态经济系统协调可持续发展受到严重挑战。因此,探究资源型地区生态经济系统协调发展状态及其影响因素不仅有助于实现区域可持续发展,也是实现高质量发展的重要内容。2000—2020 年山西省生态经济系统协调度评价结果及其空间演变特征基本上反映了其生态环境与经济发展模式的相互关系。2000—2010 年山西省 ESV 呈现出快速增加趋势,这与杨翠翠等<sup>[21]</sup>和刘海龙等<sup>[22]</sup>研究结果趋势一致,主要原因是该时期是中国大规模实施生态恢复的黄金时期,特别是退耕还林(草)工程、三北防护林工程、退牧还草以及流域综合治理等生态建设项目的逐步实施,山西省土地利用发生显著改变,植被盖度明显增加,生态环境质量逐步改善。值得注意的是,该时期也是山西省煤炭资源产业快速发展时期,社会经济发展迅速,对生态环境产生一定的威胁和破坏,但大规模的生态恢复带来的生态价值大于社会经济发展对生态环境所带来的损失,因此生态经济系统协调度有所增加。2010—2020 年生态恢复规模不断放缓,由植被恢复逐渐转向生态系统结构和功能的优化和调控,以此实现生态系统的提质增效。此外山西省城镇化和工业化进程的纵深发展,加剧了社会经济发展对生态环境质量的影响程度,特别是城乡建设用地的扩增,致使部分生态用地被侵占和破坏,导致区域 ESV 快速下降,这也是该时期生态经济系统协调度下降的主要原因。因此,在区域生态保护与高质量发展背景下,通过转变经济发展方式,优化经济产业结构,实现科技创新和产业转型升级,是缓解经济发展与生态环境关系,实现生态经济协调可持续发展的重要途径。

生态经济系统具有丰富的内涵和外延,而其协调发展问题的综合性和不确定性加剧了相关研究的复杂性<sup>[2,10]</sup>。本文通过单位面积 ESV 和单位面积 GDP 以及两者变化率的比值构建生态经济系统协调度指数,该方法较之于传统的静态评估方法更具有科学性与实践意义,不仅有效反映区域生态与经济之间的相互作用关系与强度,还能反映两者之间的协调发展程度<sup>[8,18]</sup>,被广泛地应用于生态经济系统协调发展研究中<sup>[1-6,8,18,23]</sup>,其评价结果具有一定的科学性和合理

性。但受研究数据资料的限制,难以对生态环境和经济发展做出全面的刻画和解析,特别是生态经济系统协调度评价方法尚未形成统一的研究范式和评价体系,且不同研究方法在研究结果上存在着较大的差异性,难以辨识其优劣性,故此未来的研究中仍需进一步加强相关参数的优化设置,从而优化协调度指数,为区域生态经济协调可持续高质量发展提供科学参考依据<sup>[24]</sup>。

## 4 结论

(1) 2000—2020年山西省生态系统整体呈现出恶化趋势。ESV由3 241.73亿元增加至3 258.45亿元再下降至3 189.70亿元,其中,耕地、草地和水域ESV分别下降36.59、25.58和11.21亿元,林地增加21.45亿元,而未利用地呈小幅下降趋势。ESV空间格局较为稳定,高值分布在太行山、太岳山以及吕梁山等山区地带,低值区分布在太原盆地、长治盆地、临汾盆地以及运城盆地等地区,且范围有所增扩。

(2) 2000—2020年山西省生态经济系统整体处于低度失调状态,空间分布以低度失调为主,且呈现出南高北低分布格局。其中,2000—2010年生态经济系统协调度上升,处于低度协调状态,2010—2020年生态经济系统协调度下降,处于低度失调状态。整体来看,山西省生态经济系统协调度经历了由低度协调向低度失调转变的过程,生态经济协调关系出现恶化。

(3) NDVI和城镇化率是生态经济系统协调度的主要影响因素,其次是GDP值、人口密度、工业化率和土地开发强度,而其余影响因素对生态经济系统协调度的影响程度最小。整体来看,社会经济因素对生态经济系统协调度的影响程度明显大于自然环境因素。

### [参 考 文 献]

- [1] 魏晓旭,赵军,魏伟,等.基于县域单元的中国生态经济系统协调度及空间演化[J].地理科学进展,2014,33(11):1535-1545.
- [2] 程静,陈红翔,韩永贵.三江源地区生态经济系统协调度评价及其时空演变特征[J].水土保持研究,2022,29(6):336-343.
- [3] 杨小龙,武国胜,林惠花.基于LUCC的福建省生态系统功能与经济协调度动态变化研究[J].福建师范大学学报(自然科学版),2020,36(5):55-64.
- [4] 张伟丽,王伊斌,李金晓,等.黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调网络分析[J].生态经济,2022,38(10):179-189.
- [5] 苏飞,张平宇.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展评价:以大庆市为例[J].地理科学进展,2009,28(3):471-477.
- [6] 魏伟,石培基,魏晓旭,等.中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变[J].生态学报,2018,38(8):2636-2648.
- [7] 马丽,金凤君,刘毅.中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J].地理学报,2012,67(10):1299-1307.
- [8] 张伟丽,王伊斌,李金晓,等.黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调网络分析[J].生态经济,2022,38(10):179-189.
- [9] 苏胜亮.宁夏回族自治区生态环境与经济发展耦合协调研究[J].水土保持研究,2021,28(2):367-374.
- [10] 朱玉鑫,姚顺波.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展研究:以陕西省为例[J].生态学报,2021,41(9):3331-3342.
- [11] 王鹏,刘小鹏,姚晓艳,等.基于能值分析的宁夏生态经济系统可持续发展评价[J].生态经济,2018,34(1):70-73.
- [12] 张雅杰,马国创.荆州市域县市区生态经济耦合协调关系与发展模式研究[J].生态经济,2016,32(12):92-96.
- [13] 高群.国外生态—经济系统整合模型研究进展[J].自然资源学报,2003,18(3):375-384.
- [14] 程静,黄越.宁夏回族自治区生态系统服务价值时空演变及其驱动力[J].水土保持研究,2021,28(2):382-389.
- [15] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.基于CA-Markov模型的惠州市生态与经济协调度时空演变特征及模拟预测[J].生态与农村环境学报,2020,36(2):161-170.
- [16] 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.
- [17] 王鹏,刘小鹏,王亚娟,等.黄土丘陵沟壑区生态移民过程及其生态系统服务价值评价:以宁夏海原县为例[J].干旱区地理,2019,42(2):433-443.
- [18] 范胜龙,张珊珊,邱凌婧,等.福建省长汀县生态环境建设与经济发展的协调关系研究[J].中国农业大学学报,2018,23(3):175-184.
- [19] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [20] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于景观结构的生态移民安置区生态风险评价:以宁夏红寺堡区为例[J].生态学报,2018,38(8):2672-2682.
- [21] 刘海龙,丁娅楠,王跃飞,等.山西省城镇化与生态系统服务时空相关性及其空间效应分析[J].水土保持学报,2022,36(1):124-134.
- [22] 杨翠翠,秦明星,张亚军,等.山西省生态系统服务价值与经济协调发展的时空演化研究[J].天津农业科学,2022,28(7):64-71.
- [23] 刘海龙,石培基,李生梅,等.河西走廊生态经济系统协调度评价及其空间演化[J].应用生态学报,2014,25(12):3645-3654.
- [24] 祖皮艳木·买买提,玉米提·哈力克,肉孜·阿基,等.基于生态系统服务价值变化的焉耆盆地环境与经济协调发展[J].应用生态学报,2015,26(3):875-883.