

DOI: 10.5846/stxb201911292592

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. 生态学报, 2021, 41(9): 3331-3342.

Zhu Y X, Yao S B. The coordinated development of environment and economy based on the change of ecosystem service value in Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3331-3342.

# 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

朱玉鑫<sup>1,2</sup>, 姚顺波<sup>1,2,\*</sup>

1 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100

2 西北农林科技大学资源经济与环境管理研究中心, 杨凌 712100

**摘要:**为探讨生态环境与经济发展间的协调程度, 选取 2000、2005、2010 和 2015 年 4 期的陕西省 107 个县(区)数据, 利用单位面积生态系统服务价值和人均 GDP 构建环境经济协调度指数。结合空间自相关分析和空间杜宾模型等方法, 分析了环境经济协调度指数的时空演变特征及驱动因素。研究表明: (1) 从时间上看, 陕西省环境经济协调度指数整体呈现缓慢下降趋势; 从空间上看, 大部分县(区)已处于基本协调和适度协调状态, 并形成了陕北地区优于陕南地区, 陕南地区优于关中地区的空间格局。(2) 陕西省环境经济协调度指数具有显著的空间正相关性, 高高集聚和低低集聚效果比较明显。(3) 退耕还林工程、城镇化水平、产业结构、降水量是提升协调度指数的关键因素, 气温则是制约协调度发展的约束要素。未来应因地制宜实施差异化的发展战略, 以实现环境与经济协调发展。

**关键词:**生态系统服务价值; 环境经济; 协调发展; 空间自相关; 空间杜宾模型

## The coordinated development of environment and economy based on the change of ecosystem service value in Shaanxi Province

ZHU Yuxin<sup>1,2</sup>, YAO Shunbo<sup>1,2,\*</sup>

1 College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 Research Center for Resource Economics and Environment Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

**Abstract:** In order to evaluate the coordination degree between ecological environment and economic development, we selected the panel data of 107 counties of Shaanxi Province in 2000, 2005, 2010, and 2015, and built the coordination degree index between the environment and economy according to the per unit area change of Ecosystem Service Value (ESV) and Gross Domestic Product (GDP). The temporal and spatial evolution characteristic of coordination degree of environment and economy and its driving factor were discussed by using the spatial autocorrelation and spatial Dubin model. The results showed that: (1) The coordination degree index showed a downward trend during the study period. From the spatial perspective, most counties were still in a state of basic and moderate coordination. The coordination degree in northern Shaanxi was better than that in the southern Shaanxi, and the coordination degree in southern Shaanxi was better than that in the Guanzhong. (2) The coordination degree of the study area showed significantly positively spatial autocorrelation and obviously high-high and low-low agglomeration characteristics. (3) The Grain for Green project, urbanization expansion, industrial structure and annual average precipitation play significant roles in improving the

基金项目: 国家自然科学基金项目(71773091)

收稿日期: 2019-11-29; 网络出版日期: 2021-03-09

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaoshunbo@163.com

coordination degree of environment and economy, while the average temperature will inhibit its development. In future, the differentiated development strategies should be implemented according to local conditions to achieve coordinated development of environment and economy.

**Key Words:** ecosystem service value; environment and economy; coordinated development; spatial autocorrelation; spatial Dubin model

可持续发展已经成为当今社会的共识<sup>[1]</sup>,如何协调好经济增长与环境恶化及资源耗竭的关系是可持续发展的基本要求,也是实现可持续发展的必由之路<sup>[2]</sup>。协调度是研究环境与经济协调发展的重要工具之一,旨在定量反映环境与经济的协调发展程度,即二者目前是处于失调状态还是协调状态,然后根据协调度的变化趋势及时采取调控措施,从而为区域的可持续发展提供理论依据<sup>[3-4]</sup>。

近年来,对环境与经济协调关系的探讨已成为可持续发展研究的热点领域之一。从已有成果来看,国内外学者对环境与经济协调度的研究主要集中在三个方面:一是环境与经济协调发展理论方面,学者们认为环境与经济存在着有机联系,生态建设与经济发展应该相互适应,相互促进<sup>[1,5]</sup>;二是环境与经济协调发展评价方面,国内外学者综合运用多种研究方法包括综合指标评价法<sup>[6]</sup>、能值分析法<sup>[7]</sup>、生态足迹法<sup>[8]</sup>、系统动力学模型法<sup>[9]</sup>、时空变化规律法<sup>[10]</sup>等开展了大量研究,国外学者将土地利用变化引入经济发展与生态环境协调度研究中,重点探讨经济与环境相互作用关系<sup>[11-12]</sup>,而国内学者侧重于从经济、环境、社会、文化、信息、城镇化等多角度出发<sup>[13-14]</sup>,选择单个系统<sup>[15]</sup>或多个系统<sup>[16]</sup>,测度、分析其协调性并进行相应评价;三是环境与经济协调发展的应用方面,由于生态环境与经济协调发展问题具有综合性与复杂性的特点,故需要综合考虑生态学、经济学、社会学及地理学等众多学科,并在此基础上进行更高层次的讨论<sup>[17]</sup>。

以上研究均为学术界进一步探讨环境与经济的协调发展机制奠定了重要基础。从研究内容看,已有研究多侧重于对环境与经济的协调状况进行空间探索性分析,聚焦于二者协调发展时空分异特征和运用空间计量模型进行驱动因素分析的文章尚不多见。从研究区域看,主要涉及全国、区域、省域、城市群、市及流域,以县域为单位进行经济与环境的协调发展研究还比较单薄,因而还存在很大的研究空间。综上所述,本文以陕西省 107 个县(区)为研究对象,考虑到土地利用变化是影响全球环境变化的重要因素之一,对生态系统服务和功能具有重要影响<sup>[18]</sup>,且生态系统提供的服务功能是实现可持续发展的基础,其价值变化是区域生态环境变化的综合化与定量化结果<sup>[19-20]</sup>,故本文以单位面积生态系统服务价值(Ecosystem Services Value, ESV)表征不同区域间生态环境状况<sup>[21]</sup>,以人均国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)表征经济发展水平<sup>[22]</sup>,通过构建环境经济协调度指数<sup>[23]</sup>,来衡量区域经济发展与生态环境的协调发展水平,结合全局 Moran's *I* 指数和 LISA 集聚图分析环境经济协调度指数的时空演变特征,并运用空间杜宾模型进行环境经济协调度指数的驱动因素分析。通过客观评价陕西省环境经济协调性问题,寻求二者的协调发展之路,从而为可持续发展战略提供科学依据,也为同类地区的环境、经济建设提供参考意见。

## 1 数据和方法

### 1.1 研究区概况

陕西省位于中国西北部,介于 105°29'—111°15'E 和 31°42'—39°35'N 之间,整体呈南北狭长状,南北长约 880 km,东西宽 200—500 km,总面积 20.58×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>(图 1)。将陕西省作为研究区域原因有三:从地理环境角度来看,陕西省位于西北内陆腹地,地形地貌复杂多样,主要由陕北高原、关中平原以及陕南秦巴山区三部分构成,大部分地区气候干燥,整体上属大陆性季风气候,年平均气温 7—16 °C,年平均降水量 566.4 mm,南北差异分明;从社会经济角度来看,陕西是西部地区的经济大省,2018 年末国内生产总值达 25793.17 亿元,城镇化率达 59.4%,经济发展迅速,但也呈现出地区发展不均衡的特征;从生态建设角度来看,陕西生态环境脆

弱,水土流失严重,是退耕还林工程的重点实施与推进省份,截止 2018 年,陕西省累计退耕还林工程投资 304.0468 亿元,完成退耕造林面积  $268.9133 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

1.2 指标选取与数据来源

协调度指数能反映不同系统间相互作用的强弱程度以及协调程度,本文以单位面积 ESV 表征不同区域间生态环境状况<sup>[21]</sup>,以人均 GDP 表征不同区域间经济发展水平<sup>[22]</sup>,借鉴已有成果<sup>[13,23]</sup>,计算陕西省各县(区)的环境经济协调度指数,并作为本文的被解释变量。另外,根据相关研究选取城镇化水平、年底总人口、产业结构作为影响协调度指数的社会经济因素<sup>[24-25]</sup>,选取降水、气温作为影响协调度指数的自然因素<sup>[26]</sup>。陕西作为生态环境脆弱区,初始生态资源禀赋以及退耕还林工程的实施也影响着环境与经济的协调发展,因此选取滞后 1 期的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)作为初始生态资源禀赋的替代变量,选取退耕还林工程财政支出作为退耕还林工程替代变量。

本文的研究样本为陕西省 107 个县(区),研究时段为 2000、2005、2010、2015 年共 4 个时段。土地利用类型数据来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),分辨率为 30 m×30 m;气温、降水数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/site/index.html>),运用 ArcGIS 10.5 中的克里金插值法(Kriging)进行空间差值处理得到各县(区)平均气温、年均降水量的栅格数据;NDVI 数据来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),借助 ENVI 软件采用最大值合成法(MVC)将年度最大 NDVI 用于作为当年的 NDVI 值,分辨率为 500 m×500 m;其他社会经济数据来自《陕西省统计年鉴》、《陕西区域》及《中国县域统计年鉴》。各变量的具体设计方式如表 1 所示。

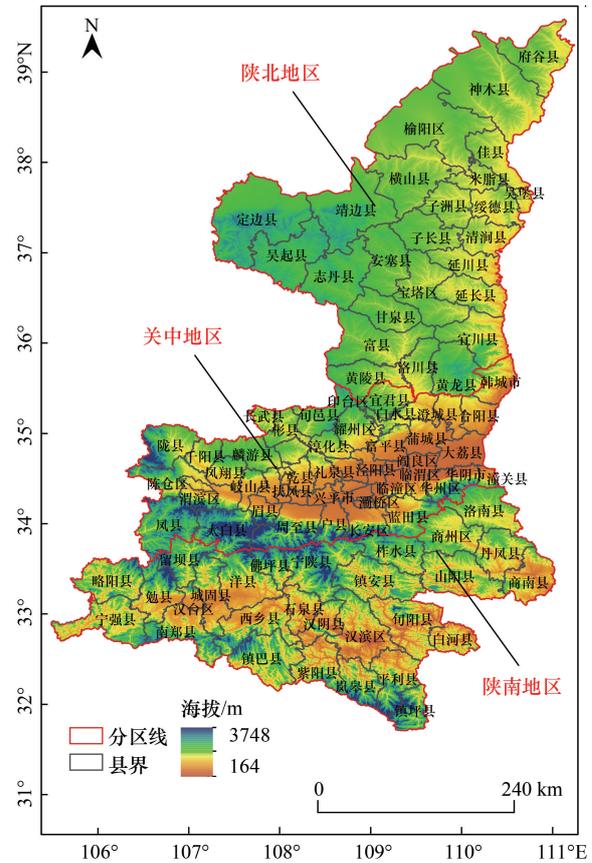


图 1 陕西省位置示意图

Fig.1 Location map of Shaanxi Province

表 1 变量选取及描述性统计

Table 1 Variables and descriptive statistics

变量类型 Variable type	变量代号 Variable code	变量名称 Variable name	变量说明 Variable declaration	均值 Mean	标准误差 Standard error
被解释变量 Dependent variable	XTD	协调度	利用协调度模型计算	0.5419	0.1334
解释变量 Independent variables	Invest	退耕还林工程 财政支出	利用退耕还林工程每年新增认定面积 和补偿标准计算财政支出金额/亿元	0.1611	0.2034
	Urban	城镇化水平	建设用地面积/总面积/%	10.0670	18.2100
	Pop	人口规模	年底总人口/万人	34.6721	21.7583
	IS	产业结构	第二产业比重/%	43.0585	18.1091
	Pre	年均降水量	数据提取/cm	67.9640	24.1637
	Tem	年均气温	数据提取/°C	11.9999	1.9330
	NDVI_1	初始资源禀赋	滞后 1 期的归一化植被指数	0.7826	0.1403

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 生态系统服务价值计算

生态系统服务(Ecosystem Services, ES)是指人类为了生存或提高生活质量以直接或间接的方式从生态系统中获得的效益<sup>[27-28]</sup>,其价值的定量评估对维护区域生态安全、促进区域经济和协调环境协调发展具有重要意义<sup>[29]</sup>。本文采用谢高地等<sup>[30]</sup>改进的单位面积价值当量因子方法测算陕西省生态系统服务价值。

##### (1) 1 个标准单位 ESV 当量因子的确定

1 个标准单位 ESV 当量因子的价值相当于当年陕西省平均粮食单产经济价值的 1/7<sup>[31]</sup>,计算公式为:

$$C = \frac{1}{7} \times P \times Q \quad (1)$$

式中,  $C$  为 1 个标准单位 ESV 当量因子的价值(元/hm<sup>2</sup>);  $P$  为陕西省粮食平均价格(元/kg);  $Q$  为陕西省粮食单位面积产量(kg/hm<sup>2</sup>)。依据《全国农产品成本收益汇编(1991—2016)》和《陕西省统计年鉴(1991—2016)》可得到 2000、2005、2010、2015 年小麦、玉米和稻谷 3 种粮食作物的平均价格分别为 0.8857 元/kg、1.2590 元/kg、1.9827 元/kg、2.0207 元/kg, 单位面积产量分别为 2849.9300 kg/hm<sup>2</sup>、3195.5600 kg/hm<sup>2</sup>、3686.7400 kg/hm<sup>2</sup>、3991.4800 kg/hm<sup>2</sup>。为消除物价波动对价值变化的干扰,本研究引入陕西省居民消费价格指数将各年份粮食均价数据调整至 2015 年的价格水平<sup>[32]</sup>,计算得到 2000、2005、2010、2015 年陕西省 1 个标准单位 ESV 当量因子的价值分别为 524.8530、783.0647、1199.2949、1152.2085 元/hm<sup>2</sup>。

##### (2) 不同土地利用类型单位面积 ESV 系数的修正

根据陕西省实际的土地利用类型特征,修正的单位面积生态系统服务价值当量表<sup>[30]</sup>改进的“中国陆地生态系统单位面积服务价值当量表”,以及 Costanza 等<sup>[27]</sup>在研究中设置的建设用地单位面积服务价值当量,计算出各年份陕西省不同土地利用类型单位面积 ESV(表 2),计算公式为:

$$C_k = \text{当量} \times C, k = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

式中,  $C_k$  为单位面积上土地利用类型  $k$  的 ESV(元/hm<sup>2</sup>);  $C$  为 1 个标准单位 ESV 当量因子的价值(元/hm<sup>2</sup>); 当量数据参考谢高地等研究成果的表 1<sup>[30]</sup>;  $k$  为土地利用类型,包括耕地、林地、草地、水域、未利用地和建设用地 6 种,前 5 种分别对应当量表中的农田、森林、草地、水域和荒漠<sup>[30]</sup>。

表 2 陕西省不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数/(元/hm<sup>2</sup>)

Table 2 The per unit area ecosystem service value (ESV) coefficients of different land use types in Shaanxi Province

年份 Year	耕地 Cropland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water body	建设用地 Built-up land	未利用地 Unused land
2000	2073.1693	9769.2634	8166.7123	65926.7823	0	341.1544
2005	3093.1056	14575.4443	12184.4868	98360.7573	0	508.9921
2010	4737.2149	22322.8759	18661.0288	150643.4335	0	779.5417
2015	4551.2234	21446.4402	17928.3637	144728.9048	0	748.9355

##### (3) ESV 的计算

陕西省 ESV 计算公式为:

$$ESV = \sum_{k=1}^6 A_k \times C_k \quad k = 1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

式中,  $ESV$  为陕西省生态系统服务总价值(元);  $A_k$  为土地利用类型  $k$  的面积(hm<sup>2</sup>);  $C_k$  为土地利用类型  $k$  的单位面积 ESV(元/hm<sup>2</sup>);  $k$  为土地利用类型。

#### 1.3.2 协调度指数计算

协调度指数不仅能反映经济发展与区域环境相互影响的强弱,还能反映二者间的协调程度。借鉴已有研究,本文构建了 ESV 和 GDP 的协调度指数,并划分了不同的协调度等级<sup>[13]</sup>(表 3)。

(1) 数据标准化处理

为了消除不同量纲对协调度指数计算结果的影响,本文采用极差法<sup>[13,25]</sup>分别对 2000、2005、2010 年以及 2015 年的单位面积 ESV 和人均 GDP 数据进行标准化处理,标准化公式为:

$$PESV = \frac{PESV_0 - PESV_{\min}}{PESV_{\max} - PESV_{\min}} \quad (4)$$

$$PGDP = \frac{PGDP_0 - PGDP_{\min}}{PGDP_{\max} - PGDP_{\min}} \quad (5)$$

式中, PESV、PGDP 分别表示单位面积 ESV、人均 GDP 标准化后的数值; PESV<sub>0</sub>、PGDP<sub>0</sub> 分别表示单位面积 ESV、人均 GDP 的原始值; PESV<sub>max</sub>、PGDP<sub>max</sub> 分别表示单位面积 ESV、人均 GDP 的最大值; PESV<sub>min</sub>、PGDP<sub>min</sub> 分别表示单位面积 ESV、人均 GDP 的最小值。

(2) 协调度指数计算

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (6)$$

$$C = \frac{\sqrt{PESV \times PGDP}}{\left(\frac{PESV + PGDP}{2}\right)^2} \quad (7)$$

$$T = \alpha PESV + \beta PGDP \quad (8)$$

式中, *D* 为协调度,  $D \in [0, 1]$ , *D* 越大, 表明该地区 ESV 和 GDP 的协调性越好; *C* 为耦合度; *T* 为综合指数; PESV 表示单位面积 ESV; PGDP 表示人均 GDP;  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为单位面积 ESV 和人均 GDP 的待定权数, 由于经济发展以环境质量为前提, 而环境质量又受到经济发展的影响<sup>[5]</sup>, 故认为经济发展与生态环境同等重要, 取  $\alpha = \beta = 0.5$ 。

表 3 经济发展与环境状况协调度等级

Table 3 Level of coordination degree between economic development and environmental conditions

等级 Level	重度失调 High maladjustment	中度失调 Mid maladjustment	基本协调 Basic coordination	中度协调 Mid coordination	高度协调 High coordination
<i>D</i>	(0, 0.2000]	(0.2000, 0.4000]	(0.4000, 0.6000]	(0.6000, 0.8000]	(0.8000, 1]

1.3.3 空间自相关分析

为衡量和检验环境经济协调度指数的空间依赖程度和空间差异程度, 本文分别采用全局空间自相关 Moran's *I* 指数和局部空间自相关指标 (Local Indicators of Spatial Association, LISA) 进行计算<sup>[33-34]</sup>, 计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (D_i - \bar{D}) (D_j - \bar{D})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (9)$$

$$I_i = \frac{(D_i - \bar{D}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (D_j - \bar{D})}{S^2} \quad (10)$$

式中, *I* 为全局 Moran's *I*, 反映研究区整体的空间相关性和空间差异性; *I<sub>i</sub>* 为局部 Moran's *I*, 反映地区 *i* 与其邻近地区 *j* 之间协调度指数空间差异程度及其显著性。 *D<sub>i</sub>*、*D<sub>j</sub>* 分别表示第 *i*、*j* 地区的协调度指数,  $\bar{D}$  为平均值,

*n* 表示研究区样本总数, 方差  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2$ , *w<sub>ij</sub>* 表示行标准化的基于距离函数建立的空间权重矩阵,  $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$ 。

采用标准化统计量 *Z* 对全局 Moran's *I* 和局部 Moran's *I* 进行显著性检验, 计算公式为:

$$Z = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}} \quad (11)$$

式中,  $E(I)$  为  $I$  的均值,  $\text{VAR}(I)$  为  $I$  的方差。 $Z$  值显著为正, 表明协调度指数存在空间正相关性;  $Z$  值显著为负, 表明存在空间负相关性;  $Z$  值为零, 表明不存在空间相关性。若局部 Moran's  $I$  通过了显著性检验, 则协调度指数可形成高高集聚(HH)、低低集聚(LL)、高低集聚(HL)和低高集聚(LH)四种集聚形式。

### 1.3.4 空间计量模型

空间计量模型与普通计量模型的区别在于是否引入了空间效应, 前者充分考虑了面板数据存在的区域差异性和截面维度的区域依赖性, 主要包括空间杜宾模型(Spatial Durbin Model, SDM)、空间自回归模型(Spatial Autoregressive Model, SAR)以及空间误差模型(Spatial Error Model, SEM)<sup>[35]</sup>。

$$Y_{it} = \rho WY_{it} + \alpha X_{it} + \lambda WX_{it} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

$$\varepsilon_{it} = \theta W\varepsilon_{it} + \varphi_{it} \quad (13)$$

式中,  $Y_{it}$  为空间计量模型中的被解释变量, 表示  $i$  县(区)  $t$  年的环境经济协调度指数;  $X_{it}$  为解释变量;  $W$  为基于距离函数建立的空间权重矩阵,  $WY_{it}$ 、 $WX_{it}$ 、 $W\varepsilon_{it}$  分别表示空间权重矩阵与被解释变量、解释变量、随机误差项的交乘项;  $\rho$  为空间自回归系数,  $\alpha$  为解释变量回归系数,  $\lambda$  为空间溢出系数;  $\varepsilon_{it}$  为随机误差项,  $\varphi_{it}$  为正态分布的随机误差项,  $\theta$  为随机误差项的空间自相关系数;  $i$  为县(区),  $t$  为年份。当  $\rho=0$  而  $\theta \neq 0$  时, 式(12)为 SEM 模型; 当  $\lambda=0$  而  $\rho \neq 0$  时, 式(12)为 SAR 模型; 当  $\theta=0$ ,  $\rho \neq 0$  且  $\lambda \neq 0$  时, 式(12)为 SDM 模型。

## 2 结果分析

### 2.1 环境经济协调度的时间变化特征

运用协调度指数计算公式得到陕西省 2000、2005、2010、2015 年 4 个时段的环境经济协调度指数(表 4)。由表 4 可知, 陕西省、陕北地区、关中地区以及陕南地区 2000 年的环境经济协调度指数为 0.5572、0.5768、0.5393 和 0.5741, 2010 年调整为 0.5439、0.6360、0.5082 和 0.5307, 2015 年下降为 0.5264、0.5899、0.5005 和 0.5196。从地区差异角度看, 关中地区和陕南地区环境经济协调度变化趋势与陕西省相同, 呈现缓慢下降趋势, 而陕北地区环境经济协调度呈现上升趋势。2000—2010 年单位面积 ESV 和人均 GDP 有所增长, 但人均 GDP 的增长率大于 ESV, 经济快速发展的同时 ESV 没有大幅度提升, 影响了环境经济的协调发展, 2015 年单位面积 ESV 轻微下降, 人均 GDP 依旧增长, 协调度指数呈现负增长趋势。

表 4 陕西省环境经济协调度指数统计

Table 4 Statistics of coordination degree index in Shaanxi Province

地区 Region	单位面积 ESV/(万元/hm <sup>2</sup> ) Per unit area ESV				人均 GDP/(万元/人) Per capital GDP				协调度指数 Coordination degree index			
	2000	2005	2010	2015	2000	2005	2010	2015	2000	2005	2010	2015
陕西省	0.6108	0.9228	1.4237	1.3624	0.4200	0.9701	2.5425	4.3478	0.5572	0.5400	0.5439	0.5264
陕北地区	0.6266	0.9544	1.4968	1.4326	0.4045	1.4811	4.1056	5.4234	0.5768	0.6143	0.6360	0.5899
关中地区	0.5151	0.7924	1.1892	1.1343	0.5039	0.9576	2.4448	4.5928	0.5393	0.5101	0.5082	0.5005
陕南地区	0.7811	1.1458	1.8107	1.7397	0.2720	0.5379	1.3355	2.9152	0.5741	0.5314	0.5307	0.5196

### 2.2 环境经济协调度的空间变化特征

参考江孝君等<sup>[13]</sup>协调度等级划分方式, 将陕西省环境经济协调度划分为 5 种类别, 并利用 ArcGIS 10.5 软件绘制陕西省各县(区)环境经济协调度的空间分布图(图 2), 并对不同协调度等级的县(区)数量进行统计(表 5)。

从不同协调度等级县(区)数量统计情况来看(表 5), 2000 年陕西省环境经济协调度处于失调状态的县(区)有 4 个, 处于协调状态的县(区)有 103 个, 其中 3 个县(区)为高度协调。与 2000 年相比, 2005、2010 年

处于失调状态和协调状态的县(区)数量基本保持不变,但高度协调状态的县(区)数量上升。2015年仍有2个县(区)处于重度失调状态,中度失调的县(区)数量上升为12个,处于基本协调、中度协调和高度协调状态的县(区)共有93个,比2000年减少10个,可能的原因是2000—2015年间陕西省经济快速发展的同时,ESV没有得到最大的提升,使得一些县(区)的协调度有所下降。

表5 陕西省环境经济协调度等级及县(区)数量统计

Table 5 Coordination degree classification and quantity statistic in Shaanxi Province

等级 Level	2000年		2005年		2010年		2015年	
	数量/个 Quantity	所占比重 Ratio/%	数量/个 Quantity	所占比重 Ratio/%	数量/个 Quantity	所占比重 Ratio/%	数量/个 Quantity	所占比重 Ratio/%
重度失调 High maladjustment	2	1.8692	2	1.8692	2	1.8692	2	1.8692
中度失调 Mid maladjustment	2	1.8692	4	3.7383	4	3.7383	12	11.2150
基本协调 Basic coordination	70	65.4206	79	73.8318	78	72.8972	68	63.5514
中度协调 Mid coordination	30	28.0374	18	16.8224	19	17.7570	21	19.6262
高度协调 High coordination	3	2.8037	4	3.7383	4	3.7383	4	3.7383

从空间分布上看(图2),2000—2015年,除神木县、府谷县、志丹县、渭滨区、未央区属于高度协调以及杨陵区、莲湖区属于重度失调外,陕西省大部分县(区)环境经济协调度呈现基本协调和中度协调状态,表明2000年到2015年这些县(区)GDP增加的同时,ESV也得到了很大改善。2015年与前3个时段相比,不同协调度等级的空间集聚性更加明显。具体来看,处于中度协调和高度协调的县(区)主要分布在陕北地区,这些县(区)面积共 $6.4370 \times 10^6 \text{hm}^2$ ,占陕西省总面积的31.4453%;处于重度失调和中度失调的县(区)主要分布在关中地区,县(区)面积共 $1.6282 \times 10^6 \text{hm}^2$ ,所占比重为7.9537%,而陕南地区以基本协调状态的县(区)居多,县(区)面积共 $12.4054 \times 10^6 \text{hm}^2$ ,所占比重为60.6010%,表明陕北地区的环境经济协调度好于陕南地区,陕南地区好于关中地区。

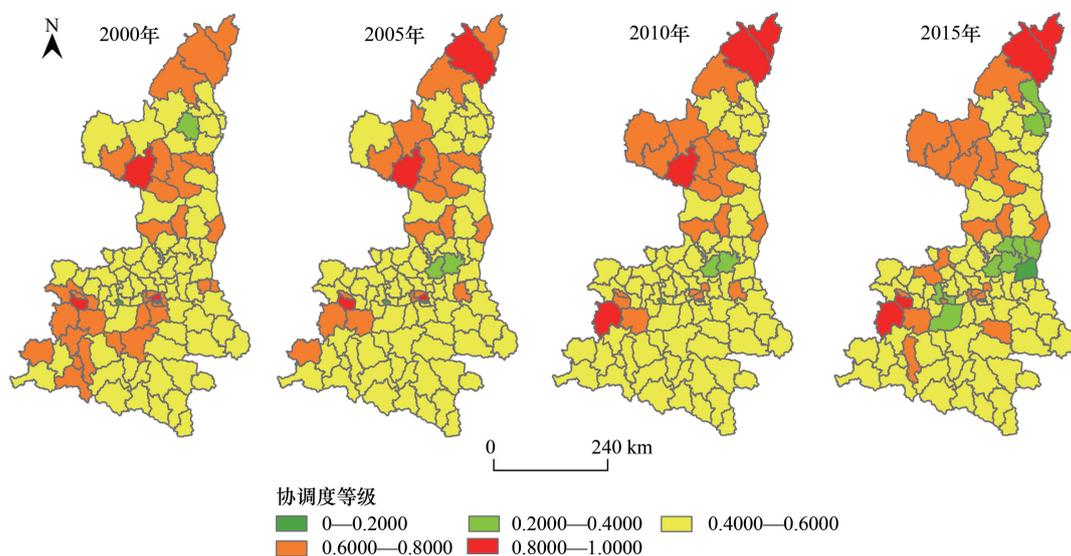


图2 2000—2015年陕西省各县(区)协调度的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of coordination degree in Shaanxi Province from 2000 to 2015

## 2.3 环境经济协调度空间自相关分析

### 2.3.1 全局空间自相关

基于 ArcGIS 10.5 软件计算分析陕西省 2000—2015 年 4 期的环境经济协调度的全局 Moran's  $I$  指数(表 6),得到 2000、2005、2010、2015 年协调度指数全局 Moran's  $I$  值分别为 0.2428、0.3460、0.4301 和 0.3365; $Z$  得分分别为 3.8601、5.4029、6.7089 和 5.1902; $P$  值均为 0。表明陕西省环境经济协调度具有显著的空间正相关性,存在明显的空间集聚特征,且环境经济协调度的空间集聚性呈现先上升后下降的变化趋势。

表 6 陕西省各县(区)协调度指数全局空间自相关检验表

Table 6 Significance test Global Moran's  $I$  of coordination degree index in Shaanxi Province

年份 Year	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
Moran's $I$	0.2428	0.3460	0.4301	0.3365
$Z$	3.8601	5.4029	6.7089	5.1902
$P$	0	0	0	0

### 2.3.2 局部空间自相关

利用 ArcGIS 10.5 软件得到陕西省环境经济协调度 LISA 分布图(图 3),在 1%的显著性水平下,将协调度划分为 4 种类型:(1)高高集聚型(HH):区域自身与邻域协调度均较高;(2)低低集聚型(LL):区域自身与邻域协调度均较低;(3)高低集聚型(HL):区域自身协调度较高,邻域较低;(4)低高集聚型(LH):区域自身协调度较低,邻域较高。由图 3 可知,2000—2015 年陕西省环境经济协调度的空间集聚特征呈现陕北地区高、关中地区低的分布格局。具体表现为:

(1)高高集聚区:陕西省环境经济协调度的高高集聚区主要集中在陕北榆林市的府谷县、神木县以及延安市的吴起县、志丹县、安塞县、甘泉县和富县。陕北作为生态脆弱区和重要生态功能区,退耕还林工程的实施不仅改善了生态环境,提升了陕西省 ESV,也为经济发展创造了良好条件,区域合作日益完善,劳动力、资金、技术等要素流动频繁,县区间空间溢出效应明显,核心县(区)和周边县(区)的生态环境与经济协调度的提升。

(2)低低集聚区:陕西省环境经济协调度的低低集聚区主要分布在咸阳市的永寿县、乾县、武功县、礼泉县、兴平市,渭南市的蒲城县,西安市的莲湖区、雁塔区、周至县以及宝鸡市的扶风县。这些县(区)位于关中平原,经济发展活跃,人类活动频繁,随着城镇化扩张,人类用地需求增加,一定程度上造成生态资源的占用与破坏,使得生态系统服务价值流失,不利于生态、经济协调发展,从而与周边协调度县(区)集聚分布形成低低集聚区。

(3)高低集聚区和低高集聚区:陕西省环境经济协调度的高低集聚区和低高集聚区的县(区)数量较少,分布比较零散。高低集聚区主要分布在低低集聚区的周围,包括宝鸡市的眉县和西安市的未央区、灞桥区、雁塔区、长安区,这些县(区)位于城市的核心区,极易吸收周边县(区)的资源要素,一定程度上影响了周边县(区)的协调性发展。而低高集聚区主要分布在高高集聚区的周围,包括宝鸡市的千阳县、陈仓区和延安市的富县,这些县(区)的协调度指数与邻域县(区)存在差异,形成了中心低四周高的空间集聚形态。

## 2.4 环境经济协调度驱动因素分析

### 2.4.1 空间关系检验与模型选择

由表 6 可知,2000—2015 年环境经济协调度的 Moran's  $I$  指数为正(0.2428—0.4301),且在 1%的显著性水平上通过检验,表明环境经济协调度存在显著的空间溢出效应,可采用空间计量模型分析其成因。

关于采用何种模型,本文参照如下原则进行筛选<sup>[35]</sup>:(1)依据豪斯曼检验判断使用固定效应还是随机效应模型,结合 Elhorst<sup>[36]</sup>指出的研究时段较短时空间面板模型选择随机效应是相对有效的,故本文选择随机效应模型;(2)依据赤池信息准则 AIC 选择解释力较高的模型,AIC 的值越低,说明模型的解释力越高;(3)依据 Log L、 $R^2$ 、 $\text{Sigma}^2$  统计量的大小判断不同模型拟合度的高低,Log L、 $R^2$  统计值越大, $\text{Sigma}^2$  统计值越小,说明模型的拟合程度越高。参照以上流程和筛选方法,本文最终选择 SDM 模型的随机效应进行空间回归分析,并选

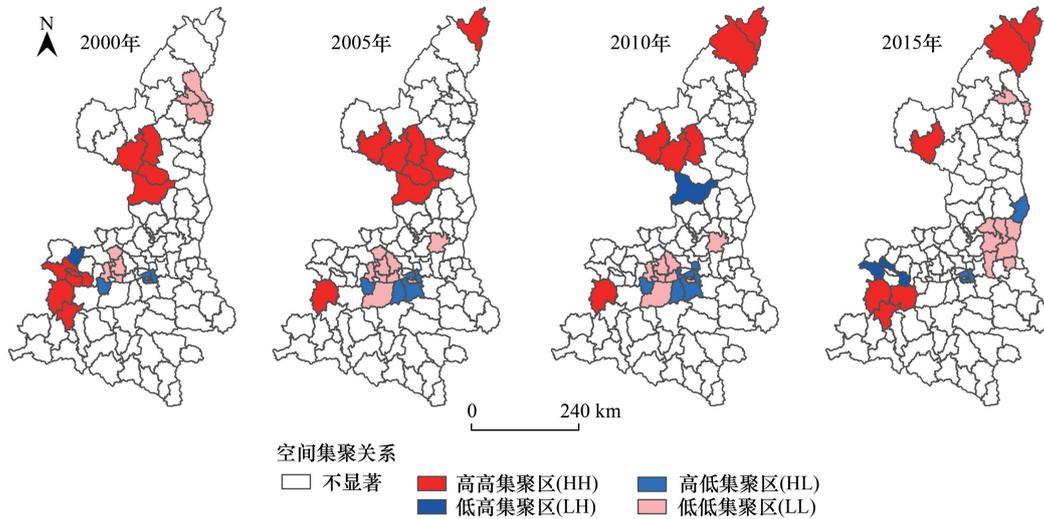


图 3 2000—2015 年陕西省协调度的 LISA 集聚图

Fig.3 The LISA aggregation of coordination degree in Shaanxi Province from 2000 to 2015

择距离倒数的平方作为空间权重。

### 2.4.2 回归结果分析

本文基于 stata15.0 计量软件利用 SDM 模型进行环境经济协调度的驱动因素分析,并建立了 OLS 模型作为 SDM 模型的参照(表 7)。

表 7 模型回归结果分析

Table 7 Result of model regression analysis

变量 Variables	模型 Model(1):OLS		模型 Model(2):SDM		模型 Model(3):SDM		
	系数 Coefficient	标准误差 Standard error	系数 Coefficient	标准误差 Coefficient	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	总效应 Total effect
Invest_3	0.0207	0.0224	0.0825***	0.0194	0.0797***	-0.1803***	-0.1006*
Urban <sup>2</sup>	-0.0001***	0.0000	-0.0001***	0.0000	-0.0001***	0.0002***	0.0001**
Urban	0.0061***	0.0018	0.0092***	0.0018	0.0089***	-0.0229***	-0.0140**
Pop	0.0000	0.0004	-0.0004	0.0004	-0.0004	-0.0021*	-0.0025**
IS	0.0030***	0.0003	0.0029***	0.0004	0.0029***	-0.0015*	0.0014
Tem	-0.0328***	0.0038	-0.0309***	0.0082	-0.0306***	0.0342	0.0036
Pre	0.0012***	0.0002	0.0010***	0.0004	0.0010***	0.0003	0.0013*
NDVI_1	-0.0133	0.0386	0.0136	0.0287	0.0125	0.0413	0.0538
W×Invest_3			-0.1603***	0.0406			
W×Urban <sup>2</sup>			0.0002***	0.0001			
W×Urban			-0.0201***	0.0056			
W×Pop			-0.0015*	0.0009			
W×IS			-0.0018***	0.0007			
W×Tem			0.0352	0.0221			
W×Pre			-0.0000	0.0007			
W×NDVI_1			0.0322	0.0856			
_cons	0.7024***	0.0463	0.3494	0.1903			
ρ(rho)			0.2471**	0.1030			
Sigma <sup>2</sup>			0.0028***	0.0009			
R <sup>2</sup>	0.4757		0.6342				
Log L			541.9683				

\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著; Invest\_3 表示滞后 3 期的退耕还林工程财政支出,是退耕还林工程的替代变量,模型结果显示财政支出滞后 3 期为最佳滞后期,此时退耕还林工程对环境经济协调度的边际贡献最大;NDVI\_1 表示滞后 1 期的归一化植被指数; W 为空间权重矩阵

表 7 中,空间自相关系数  $\rho$  的估计值为 0.2471,且通过了 5% 的显著性水平检验,表明本县(区)环境经济协调度的提升对邻近县(区)有一定的辐射作用,也再次证明了环境经济协调度存在显著的空间溢出效应。从变量系数看,如模型(2),除人口规模和初始资源禀赋外,各变量的估计系数均通过 1% 显著性水平的检验。退耕还林工程在 1% 的显著性水平下对协调度产生显著的正向影响,平均边际贡献为 0.0825,即在其他因素不变的情况下,退耕还林工程财政支出平均增加 1 亿元,可以使协调度指数增加 0.0825 个单位。可以看出,退耕还林工程对陕西省环境经济协调度具有显著的促进作用。城镇化水平的一次项系数为 0.0092,二次项系数为 -0.0001,城镇化水平与环境经济协调度间呈“倒 U 型”关系,即城镇化水平对环境经济协调关系产生积极作用,超过阈值 46% 之后城镇化水平对协调关系会产生抑制作用。而 OLS 模型中阈值为 30.5%,与 SDM 模型相比,环境经济协调度更早的进入拐点。产业结构对协调度具有显著的正向影响,表明第二产业产值增长有助于改善环境与经济的协调关系。气温对协调度具有显著的负向影响,气温平均上升 1 个单位,该县(区)环境经济协调度平均下降 0.0309 个单位。降水对协调度具有显著的正向影响,从回归结果看,区域降水量越多,生态环境与经济协调发展的协调性越好。

利用 SDM 模型将总体空间溢出效应分解为直接效应和间接效应,如模型(3)。直接效应反映各解释变量对本县(区)环境经济协调度的平均影响,间接效应反映各解释变量对邻近县(区)环境经济协调度的平均影响。直接效应中各变量回归系数与 SDM 模型各变量回归系数具有一致性。间接效应中退耕还林工程财政支出系数为负,退耕还林工程财政支出每增加 1 个单位,邻近县(区)环境经济协调度指数下降 0.1803 个单位,表明财政支出增加对相邻县(区)环境经济协调发展具有抑制作用。城镇化水平对邻近县(区)具有显著的空间溢出效应,其一次项和二次项系数分别为 -0.0229 和 0.0002,表明城镇化水平提高对相邻县(区)环境经济协调发展产生负向影响,当跨越拐点 57.25% 后城镇化发展对其产生正向影响。人口规模间接效应系数为负,且通过了 10% 显著性水平检验,表明人口规模平均增加 1 个单位,邻近县(区)环境经济协调度指数平均下降 0.0021 个单位。气温、降水对本县(区)生态环境和经济发展的协调关系产生直接影响,但不存在空间溢出效应。

### 3 讨论

#### 3.1 陕西省生态系统服务价值计算

本文采用谢高地等<sup>[30]</sup>改进的单位面积价值当量因子方法评估陕西省 ESV。相对替代市场技术、模拟市场技术等评估技术而言,该方法操作简便,评估全面,适用于区域、国家、全球尺度 ESV 的评估<sup>[37]</sup>。近年来关于陕西及陕北地区较多研究<sup>[38-40]</sup>均借助该方法核算 ESV,因此运用该方法对陕西省的 ESV 进行核算方法合理,但是该方法并未将土地利用类型和生态系统分类完全对应在一起,使得不同土地利用类型单位面积 ESV 系数的取值只是近似值<sup>[41-42]</sup>。而且受到数据限制,本文没能使用不同县(区)粮食作物单位面积净利润来近似替代 1 个标准单位 ESV 当量因子的价值,只是引入居民消费价格指数修正了单位面积 ESV 系数。因此在今后研究中应探求更精准的 ESV 估算方法和收集更详细的指标数据,以提升 ESV 计算的精确度,确保 ESV 数据的可靠性。

#### 3.2 陕西省环境经济协调度指数计算方法选择

目前关于协调度指数的计算方法有很多<sup>[1,13,16]</sup>,本文借鉴已有研究<sup>[13,16]</sup>,分别以单位面积 ESV 和人均 GDP 表征不同区域间生态环境状况和经济发展水平<sup>[21-22]</sup>,构建了环境经济协调度指数。一方面,经济、环境系统的内涵远比当前指标所能反映的更为丰富,本文受数据限制,尚难对经济发展、生态建设做出全面刻画;另一方面,由于不同的计算方法获得的协调度指数有差异,难以说明哪种计算方式最优,未来应通过对相关参数进行更加精细和符合现实发展规律的设置,来不断优化协调度指数。

#### 3.3 陕西省环境经济协调度演变规律

通过对陕西省 2000—2015 年的环境与经济协调发展进行分析表明:陕西省环境经济协调度指数呈现负

增长趋势,可能的原因是人均 GDP 的增长率大于 ESV,经济快速发展的同时 ESV 没有大幅度提升,影响了环境经济的协调发展。从空间集聚特征看,高高集聚区主要分布在陕北地区,可能的原因是退耕还林工程的实施有效改善了陕北生态环境,经济发展的同时当地的 ESV 也得到了极大发挥,协调度指数上升,由于协调度存在明显的空间溢出效应,一定程度上也带动了周边县(区)协调度的提升。而低低集聚区主要分布在关中地区,关中地区作为生产和生活聚集区,经济发展活跃,城镇化的扩张使得一部分生态资源被占用,造成 ESV 流失<sup>[40]</sup>,影响了环境经济的协调发展。

### 3.4 陕西省环境经济协调度演变动因

环境经济的协调发展受社会、经济和自然等多种因素的共同影响。陕西作为退耕还林工程的重点实施与推进省份,工程的实施对本县(区)环境经济协调发展具有促进作用,对相邻县(区)具有抑制作用。这是因为退耕还林工程财政资金有限,加大对本县(区)的投资力度必然减少对相邻县(区)投入,进而影响了邻近县(区)生态环境与经济协调发展的协调关系。城镇化水平与环境经济协调度间呈“倒 U 型”关系,超过阈值 46% 之后城镇化水平对协调关系会产生抑制作用。而 OLS 模型中阈值为 30.5%,与 SDM 模型相比,环境经济协调度更早的进入拐点,表明空间效应的加入使得城镇化水平对环境经济协调度的负向影响更加持久。产业结构对环境经济协调度具有显著的正向影响,第二产业产值增长有助于提高经济收入,缩小城乡差距<sup>[43]</sup>。随着产业结构的优化与成熟,经济发展与生态环境的耦合程度也得以提升。气温对协调度具有显著的负向影响,这是因为气温升高会加速西北干旱区土地沙漠化进程<sup>[44]</sup>,导致具有较高生态系统服务价值的林地、草地和水域面积退化,进而影响了环境经济的协调发展。降水作为反映生态适宜性的重要指标之一,对环境经济协调发展的影响机理比较复杂<sup>[26]</sup>,但从本文的回归结果看,区域降水量越多,生态环境与经济协调发展的协调性越好。

## 4 结论

本文采用空间自相关分析和空间杜宾模型等方法,分析了环境经济协调度指数的时空演变特征及驱动因素,结果表明:

(1)从时间上看,2000—2015 年陕西省环境经济协调度指数呈现负增长趋势;从空间上看,大部分县(区)环境经济协调度处于基本协调和中度协调状态,并呈现出陕北地区优于陕南地区,陕南地区优于关中地区的空间格局。

(2)2000—2015 年陕西省环境经济协调度具有显著的空间正相关性,存在明显的空间集聚特征。高高集聚区主要分布在 GDP 高且 ESV 也比较高的陕北地区,低低集聚区主要分布在 GDP 较高而 ESV 较低的关中地区,高低集聚区和低高集聚区县(区)分布比较零散。

(3)不同驱动因素对环境经济协调度的影响存在差异,实施退耕还林工程、优化产业结构以及增加降水量有利于提升环境经济协调度,气温则成为制约环境经济协调发展的约束要素。未来应根据各地情况实施差异化的发展战略,以促进陕西省环境和经济的协调发展。

### 参考文献(References):

- [1] 魏伟,石培基,魏晓旭,周俊菊,颀斌斌. 中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变. 生态学报, 2018, 38(8): 2636-2648.
- [2] 吴玉鸣,张燕. 中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究. 资源科学, 2008, 30(1): 25-30.
- [3] Zhang K M, Wen Z G. Review and challenges of policies of environmental protection and sustainable development in China. Journal of Environmental Management, 2008, 88(4): 1249-1261.
- [4] 李名升,李治,佟连军. 经济—环境协调发展的演变及其地区差异分析. 经济地理, 2009, 29(10): 1634-1639.
- [5] 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. 地理学报, 2012, 67(10): 1299-1307.
- [6] 顾康康,刘景双,陈昕,彭小黎. 矿业城市生态承载力动态分析. 自然资源学报, 2008, 23(5): 841-848.
- [7] 刘浩,王青,李秀娟,宋阳,李广军. 辽宁省生态经济系统能值分析. 应用生态学报, 2008, 19(3): 627-633.
- [8] 陈涛,徐瑶. 生态足迹法在贵州喀斯特地区生态经济协调发展定量评价中的应用. 土壤通报, 2006, 37(1): 65-67.
- [9] 张宝安,张雪花,张宏伟. 系统动力学—投入产出分析整合方法的区域发展协调性研究. 生态经济, 2007, (10): 50-53, 102-102.
- [10] 王振波,方创琳,王婧. 1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式. 地理学报, 2011, 66(12):

- 1657-1668.
- [11] Oliveira C, Antunes C H. A multi-objective multi-sectoral economy-energy-environment model; application to Portugal. *Energy*, 2011, 36(5): 2856-2866.
- [12] Stern D I, Common M S, Barbier E B. Economic growth and environmental degradation; the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 1996, 24(7): 1151-1160.
- [13] 江孝君, 杨青山, 耿清格, 王小艳, 刘鉴. 长江经济带生态—经济—社会系统协调发展时空分异及驱动机制. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3): 493-504.
- [14] 郭俊华, 许佳瑜. 工业化、信息化、城镇化、农业现代化“四化”同步协调发展测度与对策研究——以陕西为例. *西北大学学报: 哲学社会科学版*, 2017, 47(4): 32-39.
- [15] 汪克亮, 史利娟, 刘蕾, 杜宇, 孟祥瑞, 杨宝臣. 长江经济带大气环境效率的时空异质性与驱动因素研究. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 453-462.
- [16] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析——兼论三系统耦合公式及其扩展形式. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799.
- [17] 高群. 国外生态—经济系统整合模型研究进展. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 375-384.
- [18] Porter J R. Science plan and implementation strategy. *Environmental Policy Collection*, 2009, 20(11): 1262-1268.
- [19] 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. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 471-477.
- [20] 史培军, 张淑英, 潘耀忠, 王静爱, 洪世奇, 沈培平, 朱文泉, 叶涛. 生态资产与区域可持续发展. *北京师范大学学报: 社会科学版*, 2005, (2): 131-137.
- [21] 李真, 潘竟虎, 胡艳兴. 甘肃省生态资产价值和生态-经济协调度时空变化格局. *自然资源学报*, 2017, 32(1): 64-75.
- [22] 赵鸿雁, 陈英, 杨洁, 裴婷婷. 基于改进当量的甘肃省耕地生态系统服务价值及其与区域发展的空间关系研究. *干旱区地理*, 2018, 41(4): 851-858.
- [23] 乔富伟, 白永平, 周鹏, 李祥云, 汪凡. 中国地级及以上城市城镇化与农村发展的协调度时空格局演变. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(4): 41-46.
- [24] 周亮, 车磊, 孙东琪. 中国城镇化与经济增长的耦合协调发展及影响因素. *经济地理*, 2019, 39(6): 97-107.
- [25] 邹伟进, 李旭洋, 王向东. 基于耦合理论的产业结构与生态环境协调性研究. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2016, 16(2): 88-95.
- [26] 李裕瑞, 王婧, 刘彦随, 龙花楼. 中国“四化”协调发展的区域格局及其影响因素. *地理学报*, 2014, 69(2): 199-212.
- [27] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [28] 娄佩卿, 付波霖, 林星辰, 闭璐, 马瑞雪, 唐廷元. 基于 GEE 的 1998—2018 年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *环境科学*, 2019, 40(12): 5473-5483.
- [29] 汪东川, 孙志超, 孙然好, 陈俊合, 张威, 张仙, 王潇. 京津冀城市群生态系统服务价值的时空动态演变. *生态环境学报*, 2019, 28(7): 1285-1296.
- [30] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [31] 陈彧, 李江凤, 徐佳. 基于 GWR 的湖北省社会经济因素对生态服务价值的影响. *中国土地科学*, 2015, 29(6): 89-96.
- [32] 王航, 秦奋, 朱筠, 张传才. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [33] Griffith D A. Spatial econometrics; methods and models by L. Anselin. *Economic Geography*, 1989, 65(2): 160-162.
- [34] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [35] 杨明海, 张红霞, 孙亚男, 李倩倩. 中国八大综合经济区科技创新能力的区域差距及其影响因素研究. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(4): 3-19.
- [36] Elhorst J P. Dynamic spatial panels; models, methods, and inferences. *Journal of Geographical Systems*, 2012, 14(1): 5-28.
- [37] 王小莉, 高振斌, 苏婧, 陈志凡, 郑明霞, 孙源媛, 纪丹凤. 区域生态系统服务价值评估方法比较与案例分析. *环境工程技术学报*, 2018, 8(2): 212-220.
- [38] 邓元杰, 侯孟阳, 谢怡凡, 高晴, 姚顺波, 龚直文, 鲁亚楠, 贾磊, 李园园. 退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响. *生态学报*, 2020, 40(18): 6597-6612.
- [39] 耿甜伟, 陈海, 张行, 史琴琴, 刘迪. 基于 GWR 的陕西省生态系统服务价值时空演变特征及影响因素分析. *自然资源学报*, 2020, 35(7): 1714-1727.
- [40] 丁振民, 姚顺波. 陕西省耕地转移对生态系统服务价值的影响. *资源科学*, 2019, 41(6): 1070-1081.
- [41] 吴健生, 黄乔, 曹祺文. 深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2018, 38(11): 3756-3765.
- [42] Limburg K E, O'Neill R V, Costanza R, Farber S. Complex systems and valuation. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 409-420.
- [43] 璩路路, 刘彦随, 周扬, 李裕瑞. 罗霄山区生态用地时空演变及其生态系统服务功能的响应——以井冈山为例. *生态学报*, 2019, 39(10): 3468-3481.
- [44] 任朝霞, 杨达源. 近 50a 西北干旱区气候变化趋势及对荒漠化的影响. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(4): 91-95.