

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

耿甜伟^{1,2}, 陈海^{1,2}, 张行^{1,2}, 史琴琴^{1,2}, 刘迪^{1,2}

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

摘要: 基于生态系统服务价值(ESV)评估体系、地理探测器与GWR模型, 分析了2000—2015年的陕西省107个县级行政单位ESV时空演变特征、影响因素及主导因子作用强度的空间分异特征。结论如下: (1) 15年间陕西省ESV先升后降, 其中供给服务与调节服务是陕西ESV的核心功能。(2) 历年ESV高低值分布都表现出中心低, 边缘高, 北低南高的空间特征, ESV差值变化特征较为明显, 全境基本被负值覆盖, 高值区域集中于陕北。(3) 经济因素对ESV的解释作用最强, 社会因素与自然因素次之。(4) 各主导因子对ESV的作用的空间强度不同, 其中土地垦殖率呈现出由南向北逐渐递减的特征, 人均GDP从南到北逐渐增强, 人口密度由东北向西南逐渐增强, 城乡居民人均收入对ESV则表现出由北向南从负值向正值过度且作用逐渐递增的特征。

关键词: 生态系统服务价值; 时空特征; GWR模型; 影响因素; 陕西省

受人类活动的影响, 全球性和区域性的生态危机日益严重, 生态系统功能的退化将会给人类福祉带来巨大的威胁。生态系统服务价值(Ecosystem Service Values, ESV)作为衡量生态系统服务的核心指标^[1,2], 引起了国际学术界的高度关注, 相关的研究成果在应对全球气候变化、科学管理生态系统以及实现社会可持续发展等问题中被寄予厚望。

国外学者于20世纪90年代开始关于ESV的尝试性研究^[3-5]。随着Costanza等^[1]关于ESV的学术论文在Nature上的发表及联合国千年生态系统评估项目的开展^[6], 国际学术界逐渐认识到在维持人类生存和社会可持续发展方面(Ecosystem Service, ES)的关键作用, 由此将ESV的研究推向了新高度, 使其成为地理学、生态学等学科的研究热点^[7]。目前国内外众多学者已就ESV的评估方法、类型划分及服务内容进行了大量研究^[8]。其中Costanza等^[1]提出的ESV估算方法, 得到国际学术界的广泛认同^[4-8]。此后众多学者基于不同空间尺度、不同地域范围、不同用地类型等内容做了大量研究^[9-14]。国内学者研究主要基于ESV的估算方法与实际应用^[9], 对ESV估算采用基于RS与GIS的生态学参数模型^[15]或基于专家知识的ESV当量法^[16]。其中, 基于专家知识的评估方法具备使用简单、结果可比性高及评估范围全面等优势而被广泛采用^[17]。谢高地基于Costanza研究结果建立了中国的ESV评估体系, 得到诸多学者的广泛认同与大量应用^[2,8,9,17]。在ESV评估方法逐步成熟后, 学者一方面围绕湿地、森林、农田等不同类型的生态系统, 在区域、流域及城市等

收稿日期: 2019-04-17; 修订日期: 2019-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871185, 41671086)

作者简介: 耿甜伟(1993-), 男, 山西孝义人, 博士研究生, 研究方向为生态系统服务。

E-mail: gengtianwei1002@126.com

通讯作者: 陈海(1971-), 男, 山西侯马人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态系统服务、土地利用与农户行为等。E-mail: chw@nwu.edu.cn

尺度下研究ESV时空特征^[8], 另一方面也开展了ESV影响因素的分析。ESV影响因素的研究大致可分为两类: 一是基于土地利用方式的转变分析ESV的时空变化特征^[18-20], 二是选取相关因素, 建立指标体系, 利用回归分析或相关性分析探讨ESV的主要影响因素^[17,21-23]。

综上, ESV研究方法成熟、成果丰富, 但依旧有如下两方面亟待完善。首先, 案例地选取多基于生态系统类型开展, 研究虽具典型性, 但针对行政单元则缺乏综合性与实践意义; 其次, 对ESV的影响因素尤其是各主导因子空间分异的研究鲜见报道, 现有研究多通过经济社会指标与ESV的回归结果解释影响因素, 但是各因子对ESV的影响并不是均质的, 在作用强度与作用空间上均有显著差异, 影响因子不同, 作用区域不同, ESV往往表现出较大的差异, 而现有关注影响因子作用强度空间差异的研究还较少。

本文以陕西县级行政单位作为评价单元, 首先利用ESV评估体系刻画各评价单元的ESV, 分析时空演变特征, 而后利用地理探测器识别ESV的主导因子, 最后基于GWR模型分析各主导因子的空间异质性特征。研究结果不仅弥补了有关ESV影响因子空间分析的不足, 也可全面认识陕西及各评价单元的生态现状, 为制定针对性的环境保育政策, 实现区域环境的修复与保护提供依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

陕西省(31°42'~39°35'N, 105°29'~111°5'E)地属温带大陆性季风气候, 年均气温13.7℃, 年均降水量680mm。横贯东西的秦岭与黄土高原将陕西全境划分为陕北黄土高原、关中平原和陕南秦巴山地三大自然区(图1), 受地形影响, 陕西地势呈现出南北高、中间低、由西向东倾斜的整体特征, 这也是造成陕西三大自然带自然条件差异较大、气候迥异的重要因素^[24]。陕西三大自然区自然条件差异显著, 生态本底各不相同, 由此也决定了各区域提供生态系统服务能力的显著差异。

截至2018年, 陕西共辖10个地级市, 107个县(市, 区)。陕西各区域经济发展水平差异较大, 其中陕北地区矿产资源富集, 以能源化工为主, 近年来成为陕西经济增长最快, 持续性最强的地区。关中地区交通便利, 人口密集, 科技实力强大, 是陕西经济最发达的区域。陕南自然条件优越, 但交通闭塞, 开发程度受限, 同时是我国重要的生态保护地, 开放方式受限, 因此陕南地区经济发展水平较低。陕北, 关中, 陕南三大自然区自然条件迥异, 经济发展水平差异显著, 而ESV的时空变化不仅受到自然条件的限制, 也受到经济社会因素的影响, 因此, 以陕西为案例地, 为分析ESV的时空演变特征及影响因素提供了较为理想的研究平台。

1.2 数据来源

数据来源于中国西部环境与生态科学数据中心

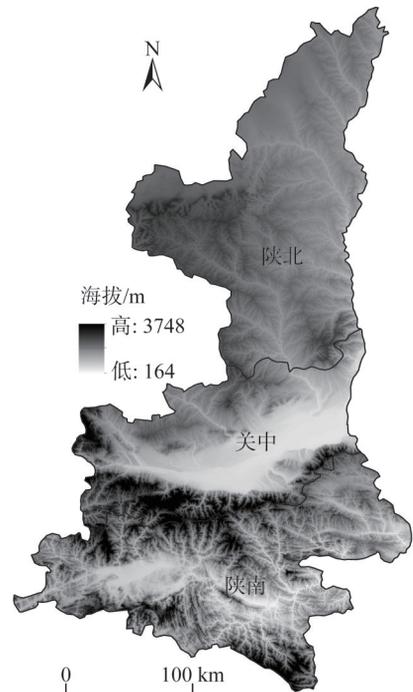


图1 研究区域
Fig. 1 Study area

的陕西省1:10万土地利用矢量数据集,整体精度达到95%以上。参考已有研究^[25,26],剔除不提供生态服务的建设用地与未利用土地,最终将土地划分了耕地、林地、草地、水域四大类。此外,选取的社会经济数据来自《陕西统计年鉴》(2000—2015年)。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值核算

目前开展的有关生态系统服务价值的研究中,谢高地提出的价值当量换算方法得到了国内学者的普遍认同^[26-28]。他基于Costanza的研究成果,构建了基于专家知识的生态系统服务价值量化方法^[26,28],该方法具有快捷、有效、精确的优势,因而得到广泛应用^[25-29]。

本文结合谢高地等^[26,28]的研究成果同时,借鉴已有研究,采用以研究区单位面积粮食产量与全国单位面积粮食产量之比这一较为成熟的方法确定了陕西的修正系数^[30-32],进而得到陕西单位面积生态系统服务价值当量(表1)。

表1 陕西省单位面积生态系统服务价值当量

Table 1 Equivalent value of ecosystem services per unit area in Shaanxi province

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域
供给服务	食物生产	1.36	0.29	0.38	0.8
	原料生产	0.09	0.66	0.56	0.23
	水资源供给	-2.63	0.34	0.31	8.29
调解服务	气体调节	1.11	2.17	1.97	0.77
	气候调节	0.57	6.5	5.21	2.29
	净化环境	0.17	1.93	1.72	5.55
	水文调节	2.72	4.74	3.82	102.24
支持服务	土壤保持	0.01	2.65	2.4	0.93
	维持养分循环	0.19	0.2	0.18	0.07
	生物多样性	0.21	2.41	2.18	2.55
文化服务	美学景观	0.09	1.06	0.96	1.89

具体的修正系数与生态系统服务价值计算方法如下:

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

$$EV = \sum_{i=1}^n A_i \times UV_i \quad (2)$$

式中: α 为修正系数; f 为陕西省单位面积粮食产量(kg/hm^2); F 为同期全国单位面积粮食产量(kg/hm^2),经测算修正系数为0.82; EV 为研究区生态系统服务总价值(元); i 表示用地类型; A_i 表示第*i*种用地类型的面积(hm^2); UV_i 表示第*i*种用地类型的单位面积价值(元)。

1.3.2 地理探测器

地理探测器是用以测度地理现象与其潜在影响因素间关系的空间分析模型,它不仅能够较好地表达同一区域内的相似性和不同区域之间的差异性,也可解释自变量*X*对因变量*Y*的解释作用强度^[33]。本文运用地理探测器分析各潜在影响因素与*ESV*之间的关系,进而识别无效因子与主导因子,计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{h=1}^L n_h \sigma_h^2 \quad (4)$$

式中: n 为研究区全部样本数(个); σ^2 为整个区域 Y 值的离散方差; h 为变量 Y 或因子 X 的分区, $h=1, 2, \dots, L$; L 表示分区数目(个); q 为某指标的空间异质性, 值域范围为 $[0, 1]$, 若分区是由自变量 X 生成的, 则 q 值越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释力越强, 反之则越弱^[33-35]。

1.3.3 OLS模型

OLS模型是用来解释因变量(y_i)与自变量(x_i)之间关系的多元线性函数, 本文运用OLS模型分析 ESV 与各影响因子间的线性关系, 计算公式为:

$$y_i = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中: β_0 是常数项; β_i 为回归系数; ε_i 为随机误差项^[36]。

1.3.4 GWR模型

GWR模型(地理加权回归)是一种空间分析技术, 建立在OLS模型基础上对参数进行估计^[37], 用以探索研究对象在某一尺度下的空间变化及相关驱动因素, 当自变量存在空间自相关关系, OLS模型中残差项独立假设将无法满足研究需要, 而GWR模型允许研究过程中直接模拟某些不平稳的数据, 以实现用局部参数估计来代替全局参数估计^[38]。因此GWR模型能够反映参数在不同空间的非平稳性, 使变量间关系可以随空间位置的变化而变化, 且由于GWR模型考虑了空间对象的局部效应, 其结果具有更高的准确性, 更符合客观实际, 因而GWR模型被广泛应用于地理学及涉及空间分析的相关研究领域。本文基于GWR模型, 分析各影响因素对 ESV 的空间异质性影响, 模型一般公式为^[39,40]:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_m \beta_m(u_i, v_i)x_{im} + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中: y_i 为被解释变量; 目标区域 i 的坐标为 (u_i, v_i) ; $\beta_0(u_i, v_i)$ 为截距项; x_{im} 为解释变量 x_m 于目标区域 i 上的数值; 函数 $\beta_m(u_i, v_i)$ 在地理位置 i 上的数值为 $\beta_m(u_i, v_i)$; m 为解释变量个数(个); ε_i 为随机扰动项。

根据地理学第一定律, 对观测值进行加权, 每个观测点的赋权随着地理位置 i 的改变而发生变化, 具体公式如下:

$$\tilde{\beta}(u_i, v_i) = [X^T W(u_i, v_i) X]^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (7)$$

其中:

$$X = \begin{bmatrix} 1x_{11} \cdots x_{1m} \\ 1x_{21} \cdots x_{2m} \\ \dots \\ 1x_{n1} \cdots x_{nm} \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$W(u_i, v_i) = W(i) = \begin{bmatrix} w_{i1} 0 \cdots 0 \\ 0 w_{i2} \cdots 0 \\ \dots \\ 0 0 \cdots w_{in} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1, v_1) \beta_1(u_1, v_1) \cdots \beta_m(u_1, v_1) \\ \beta_0(u_2, v_2) \beta_1(u_2, v_2) \cdots \beta_m(u_2, v_2) \\ \dots \\ \beta_0(u_n, v_n) \beta_1(u_n, v_n) \cdots \beta_m(u_n, v_n) \end{bmatrix}$$

式中: 矩阵内 $\bar{\beta}$ 为 β 的估计量; n 为空间地域个数(个); w_{in} 即位置 i 对第 n 个研究区域的权重。

空间权重函数的选取是GWR模型的核心, 对于模型参数的精准估计至关重要。众多权重函数中属Gauss函数最为常用, 利用一个无阈值单调递减函数刻画距离 d_{ij} 与权函数

W_{ij} 的关系, 函数表达式为:

$$W_{ij} = \exp\left(-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right) \quad (9)$$

式中: d_{ij} 为样本点*i*、*j*的距离(km); b 为宽带, 表述距离值与权重间关系的非负衰减参数。宽带的确定对于整个GWR回归估计影响颇大, 采用Cleveland^[41]的交叉确认法(CV)选定最优宽带, 原理是根据最小平方准则, 通过测算观测点真实值与拟合值来确定宽带, 具体公式如下:

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \tilde{y}_{\neq i}(b)]^2 \quad (10)$$

式中: $\tilde{y}_{\neq i}(b)$ 为除去本身的拟合值, 当CV值达到最小, 此时的宽带*b*即为最优宽带^[14]。

2 结果分析

2.1 陕西省生态系统服务价值时空特征

2.1.1 时间特征

基于前述方法, 分别求得陕西省2000年、2005年、2010年、2015年的ESV(表2)。从内容分析, 调节服务与供给服务始终是陕西省生态系统服务的核心功能; 从数值分析, ESV呈现出先上升后下降、研究期末生态系统服务价值低于期初的总体特征。

具体分析: (1) 一级服务内容: ①从所占比例分析, 各类服务所占比例变化幅度较小, 说明该时段内陕西各类生态系统服务较为稳定, 且其中调节服务所占比例一直保持在70%以上, 其次为支持服务, 文化服务与供给服务所占比例都较小。分析变化特征, 文化服务与供给服务变化不大, 调节服务保持上升趋势, 而供给服务持续下降。②从数值特征分析, 四类服务与总体价值走势一致, 都呈现出先上升后下降、期末数值低于期初数值的特征, 2005年为研究时段内各类服务价值最高值, 2015年为最低值。(2) 二级服务内容: 食物生产与维持养分循环是仅有的两种价值量上升的服务, 而其中食物生产上升最为明显, 且2000—2015年稳步上升。此外, 的其他服务类型价值均有明显下降, 其中水资源供给、气候调节、土壤保持下降幅度最大。

2.1.2 空间特征

以陕西107个县级行政单位作为评价单元, 根据前述研究方法分别求得各评价单元2000年、2005年、2010年以及2015年的生态系统服务价值当量, 并利用GIS可视化表达, 结果如图2所示。

由图2a可知, 2000年陕西生态系统服务价值呈现出中心低、边缘高、南比北高的总体特征, 高值地区集中分布在秦岭山麓及子午岭区域, 次高值集中分布在陕南地区且连绵成片, 次低值分布范围较小, 仅在关中平原与陕北地区有零星分布, 低值区域则集中在关中平原。对比分析可知, 2005年、2010年与2000年相比, 陕西生态系统服务价值高低值集聚区域变化较小, 关中与陕南地区变化不大, 陕北地区次高值区域明显增大, 次低值区域较少。由图2d可知, 与前三期相比, 2015年陕西生态系统服务价值空间分布特征呈现出较大变化, 主要是由于在陕南地区, 部分区县出现高值分布, 由此形成了一条与秦岭走向基本吻合的高值地带, 而在其他区域则变化不大。

综上, 历期陕西省土地生态系统服务价值呈现中心低、边缘高、由北向南低值与高值区域间隔分布的总体特征, 陕南地区高值区域分布较广且连绵成片, 低值与次低值集

表2 陕西省土地生态系统服务价值时间演变特征

Table 2 Characteristics of temporal evolution of land *ESV* in Shaanxi province

(亿元)

一级服务	二级服务	2000年	2005年	2010年	2015年
供给服务	食物生产	383	385	390	396
	原料生产	228	229	228	225
	水资源供给	-345	-348	-361	-378
	供给服务总值	266 (3.2%)	266 (3.1%)	257 (2.9%)	243 (2.8%)
调节服务	气体调节	933	937	936	932
	气候调节	2123	2132	2114	2091
	净化环境	692	694	689	681
	水文调节	2468	2464	2478	2457
	调节服务总值	6216 (71.3%)	6227 (71.4%)	6217 (71.7%)	6161 (71.8%)
支持服务	土壤保持	884	887	879	868
	维持养分循环	102	103	103	103
	生物多样性	849	853	846	837
	支持服务总值	1836 (21.1%)	1843 (21.2%)	1828 (21.1%)	1807 (21.1%)
文化服务	美学景观	377 (4.4%)	378 (4.4%)	376 (4.3%)	371 (4.3%)
土地生态系统服务总值		8695	8713	8676	8583

注：()内数值代表各类服务在总服务中的占比。

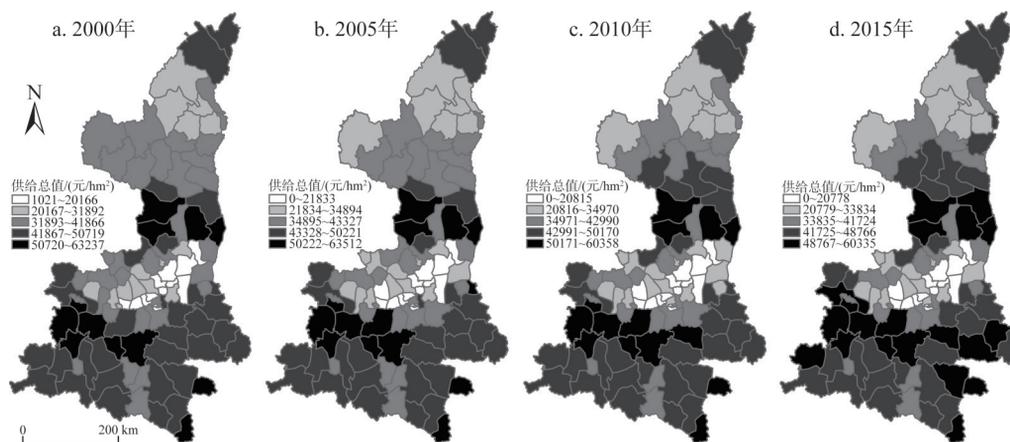


图2 2000—2015年陕西省土地生态系统服务价值空间特征

Fig. 2 The spatial characteristics of land *ESV* in Shaanxi province from 2000 to 2015

中在关中平原与陕北黄土高原。

如图3所示，a、b、c、d分别表示2000—2005年、2005—2010年、2010—2015年、2000—2015年陕西省各评价单元土地生态系统系统价值当量的变化特征。图中由颜色深浅表示该评价单元生态系统服务价值变化的增减关系及变化的数值大小。

图3a可知：2000—2005年，陕西省境内大部分区域变化值为正，说明这些区域都实现了土地生态系统服务价值的上升，而少量研究单元的变化值为负，这与前文结论相吻

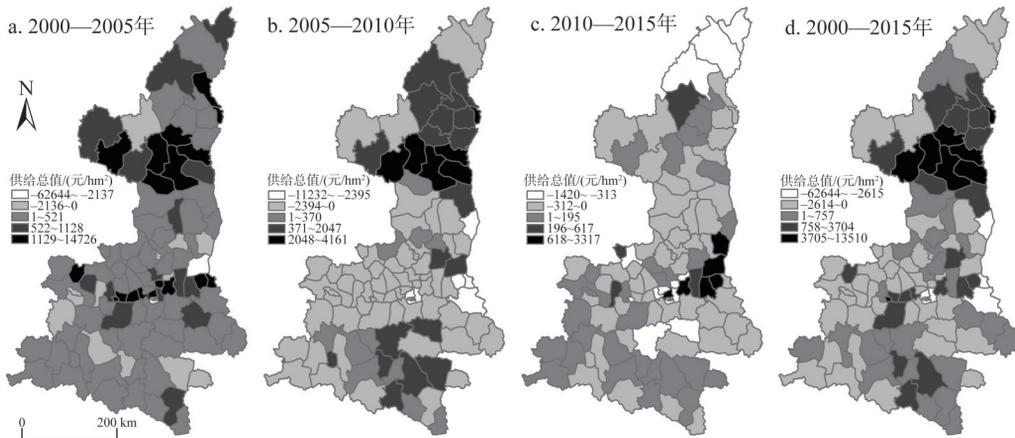


图3 2000—2015年陕西土地生态系统服务价值变化特征

Fig. 3 The changing characteristics of land *ESV* in Shaanxi from 2000 to 2015

合。分析该时段内的空间特征, 增长幅度最高的评价单元集中在陕北的子午岭及关中平原地区, 陕北地区有密集次高值区域分析, 除此之外的其余评价单元增加幅度较小。由图3b可知: 2005—2010年, 该时段内生态系统服务价值增长幅度较大的区域集中分布在陕北地区, 且次高值在陕北地区的分布范围也最广, 陕南地区也有次高值分布, 但范围较小。此外其余所有评价单元的增加值均为负值, 集中在关中平原。由图3c可知: 2005—2010年, 该时段内增加值最高的区域集中在关中平原, 次高值零星分布, 此外的大部分区域增加值均为负, 以陕北地区最多。

综上并结合图3d可知, 15年间陕西各评价单元*ESV*的空间变化较为明显, 全境基本被负值区域覆盖, 说明研究时段内大量评价单元生态系统服务价值下降, 高值(增长)评价单元较少且集中在陕北地区, 次高值在关中及陕南有零星分布。

2.2 陕西省生态系统服务价值影响因素分析

2.2.1 影响因子选取

*ESV*变化受到多重因素影响, 整体可概括为自然因素与社会因素两大类, 但社会因素包含要素较多, 如经济活动、人类行为等。本文参考相关学者的研究成果^[17,21-23], 结合数据的可获取性兼顾经典性, 将经济因素从社会因素中分离出来, 由此构建了陕西省*ESV*的初选影响因子(表3)。

2.2.2 基于地理探测器的影响因子识别

由于初选因子数量较多, 在解释因变量时容易出现多重共线性问题, 无法估算自变量对因变量的解释作用。因此, 引入地理探测器, 通过对初选因子的筛选, 识别无效因子与主导因子。一方面将解释程度较高的若干因子纳入模型中, 另一方面也可实现有效降维, 最大程度上规避可能出现的多重共线性问题^[42], 探测结果如表4所示。

基于探测结果, 结合因子探测 q 值及显著性检验实现对无效因子与主导因子的识别和构建。由表4可知: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_9 六个因子的 q 值均小于0.1, 说明该因子对因变量的解释性较弱, 故剔除了这六个因子。而在剩余的6个因子中, 其 q 值都大于0.1, 具有相当的解释作用, 且 p 值都通过了0.05的显著性检验。

根据 q 值大小, 将影响因子解释力排序, X_6 (人均GDP) > X_5 (GDP总量) > X_{10} (土地开垦殖率) > X_7 (城乡居民人均收入) > X_{12} (人口密度) > X_{11} (人口总量), 其中

$X5$ 、 $X6$ 与 $X10$ 的 q 值明显高于其余因子，且都通过了0.001的显著性检验，说明上述三个因子的解释贡献度最高。此外结合指标层面与探测结果，经济因素对生态系统服务价值的影响最大，解释作用最强，社会因素次之，自然因素解释作用最弱。

此外在选取影响因子中， $X5$ 与 $X6$ 均表示GDP因素， $X11$ 与 $X12$ 均表示人口因素，而在后续进行OLS与GWR模型分析时，一方面为实现影响因子的降维，以更精确地得到研究结论，另一方面避免研究的重复性与无效性，以地理探测器的探测结果为依据，分别将 $X5$ 与 $X6$ 、 $X11$ 与 $X12$ 合并为一个影响因子。故本文最终选定了四个主导因子，分别是人均GDP ($X6$)、城乡居民收入 ($X7$)、土地垦殖率 ($X10$) 及人口密度 ($X12$)。

表3 陕西省生态系统服务价值初选影响因子

Table 3 Primary influencing factors of ESV in Shaanxi province

影响因素	初选因子	单位	变量编号
自然因素	地形起伏度	m	$X1$
	封山育林面积	hm ²	$X2$
	年均降水量	mm	$X3$
	年均气温	°C	$X4$
经济因素	GDP 总量	元	$X5$
	人均GDP	元/人	$X6$
	城乡居民人均收入	元	$X7$
	社会消费品零售总额	元	$X8$
社会因素	人均耕地面积	hm ²	$X9$
	土地垦殖率	%	$X10$
	人口总量	人	$X11$
	人口密度	人/km ²	$X12$

表4 地理探测器探测结果

Table 4 Geographical detector detection results

探测因子	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$
q 值	0.0432	0.0762	0.0471	0.0126	0.4932	0.5561
p 值	0.3015	0.6733	0.8761	0.7865	0.000	0.000
探测因子	$X7$	$X8$	$X9$	$X10$	$X11$	$X12$
q 值	0.3353	0.0991	0.0931	0.4859	0.2963	0.3167
p 值	0.000	0.1522	0.4153	0.000	0.0125	0.0137

2.2.3 OLS线性回归结果

将各主导因子与 ESV 进行OLS经典线性回归，结果见表5。OLS拟合结果显示：(1) 从各因子整体参数的显著性水平分析，结果较为理想，各因子呈现较强的统计显著性，且联合 F 值通过0.001的显著性检验，说明所有因变量对自变量无影响的概率为0，因此模型具有统计学意义。(2) 方差膨胀因子检验显示各影响因子的 VIF 值均小于7.5，说明模型未出现变量冗余，各因子不存在多重线性关系。(3) Jarque-Bera结果显示检验显著，说明残差不服从正态分布，模型拟合片面，为提升拟合优度需引入GWR模型。

2.2.4 基于GWR的影响因子空间异质性分析

在进行地理加权回归分析之前，需要判断因变量的空间关系。本文借助GeoDA分别分析历期 ESV 的空间关系，结果显示其Moran's I 值分别为0.46, 0.61, 0.65, 0.65，说明陕西 ESV 存在较为明显的空间集聚性。故基于因变量的空间自相关关系，且OLS拟合结果存在不足，运用地理加权回归分析各因子对因变量空间异质性的影响。

本文引入Brundson等^[43]的观点，若GWR拟合结果中 $AICc$ 的数值与OLS拟合结果中 $AICc$ 的差值大于3，说明GWR比OLS拟合结果更优，应用性更好。

由表6可知，GWR的 $AICc$ 数值与OLS的 $AICc$ 数值相差达到了26.6636，因此具有较

表5 陕西省生态系统服务价值影响因子OLS模型测算结果

Table 5 Results of OLS model of *ESV* in Shaanxi province

变量	系数	标准差	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值	<i>VIF</i>
截距	3.5421	0.1714	20.6665	0.0000***	—
<i>X</i> ₆	-0.4047	0.1186	0.8831	0.03793	4.0754
<i>X</i> ₇	-0.0366	0.0828	-0.4415	0.06598	2.9648
<i>X</i> ₁₀	-0.4877	0.0689	-7.0828	0.0000***	1.7866
<i>X</i> ₁₂	-0.3203	0.1874	-1.7093	0.0015*	5.0051
<i>OLS</i> 诊断	联合 <i>F</i> 值	Jarque-Bera 检验	<i>K</i> (BP) 检验	联合卡方	
	0.0000***	9.4687	19.8569	217.8836, 0.0000***	

注：***、**和*分别表示在0.01、0.05、0.1的水平下显著。

低*AICc*值的GWR模型比OLS模型拟合结果更优，并通过对比GWR与OLS模型的*R*²与调整后*R*²，GWR结果相较于OLS效果更好，再次说明GWR拟合结果更为理想。

表6 GWR与OLS模型结果对比

Table 6 Comparison between GWR and OLS model results

	<i>AICc</i>	<i>R</i> ²	<i>R</i> ² Adjusted
OLS	223.4251	0.6762	0.6463
GWR	196.7615	0.8149	0.7635

运用GWR模型时，首先进行参数设定，以各评价单元的城市质心经纬度为地理坐标，Kernel类型选择Fixed Gaussian函数，最优宽带选择标准为Cleveland^[44]提出的*CV*交叉确认法；为展现驱动因子空间异质性，利用自然断裂点法将因子系数可视化（图4）。结合回归系数及可视化结果，分析各影响因子对陕西省*ESV*的空间异质性影响。

如图4所示，a、b、c、d分别表示土地垦殖率、人均GDP、人口密度、城乡居民人均收入对*ESV*的空间异质性作用，*ESV*本质上是货币化的生态系统服务，可视作为生态系统服务供给^[44]，因此结合生态系统服务*ES*与生态系统服务价值*ESV*，从各因子每单位的变化所需的*ES*变化来分析因子对*ESV*的影响作用。

由图4a可知，土地垦殖率与*ESV*全局都呈负相关关系，即土地垦殖率越高，*ESV*越低，这是由于随着土地垦殖率的提高，评价单元可提供的*ES*将不可避免的下降，进而造

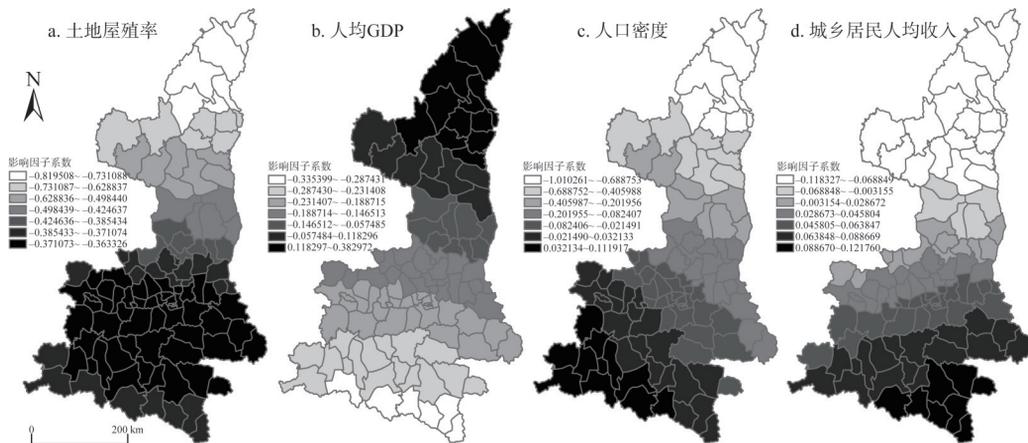


图4 陕西省生态系统服务价值影响因子的空间异质性

Fig. 4 Spatial heterogeneity of influencing factors of *ESV* in Shaanxi province

成 *ESV* 的下降。分析空间关系: 呈现出南高北低的特征。但从绝对值来看, 陕北远高于关中与陕南, 说明陕北每单位土地垦殖率的变化造成的 *ESV* 下降幅度均高于关中与陕南, 这是由于陕北自然本底较差, 土地荒漠化问题突出, 土地垦殖率的提高势必会侵占仅有的可提供 *ES* 的林草地, 因此陕北的土地垦殖率变化对 *ESV* 的影响作用更大。

由图 4b 可知, 整体上人均 GDP 与 *ESV* 呈负相关, 仅在陕北部分区县呈现正相关, 但并不意味着在该区域人均 GDP 越高, *ESV* 越高, 恰恰相反, 陕北除部分区县 GDP 高外, 大部份区县经济发展水平低, 而同时 *ESV* 也较低。分析空间特征, 陕南与陕北绝对值较高, 关中较低, 说明在陕南与陕北, 单位人均 GDP 的变动引起 *ESV* 的下降幅度更大, 这是由于陕北自然本底脆弱, 产业以能源化工为主, 陕南则作为我国南水北调重要的水源涵养地, 开发受限。而关中交通便利, 科技发达, 人才密集, 提升单位 GDP 所需的 *ES* 较少, 因此同比陕南与陕北, 单位人均 GDP 的变动引起 *ESV* 的下降幅度较小。

图 4c 可知, 人口密度对 *ESV* 的影响与土地垦殖率相似, 即全局呈负相关关系, 空间上表现出南高北低的特征, 但由于全局呈负相关, 绝对值较高的陕北地区, 人口密度对 *ESV* 的影响作用更大。人口密度越高意味着该区域的人类活动强度越大, 对生态环境的破坏也越严重, 陕北作用强度更大意味着陕北每增加一个单位的人口密度引起的 *ESV* 下降程度将远高于陕南与关中, 这与土地垦殖率的作用是类似的。陕北生态本底较差, 人口密度的提高将需要消耗更多的 *ES*, 而这对于本身供给能力不高的陕北来说, 负作用更加明显, 故而呈现出人口密度对陕北 *ESV* 作用强度更大的特征。

由图 4d 可知, 城乡居民人均收入对 *ESV* 并未表现出明显的正负关系, 分析空间特征, 由陕北到陕南呈现出强度逐渐递增, 且由负值过度到正值的特征。而在陕南地区呈现出正相关关系, 究其原因一方面是由于本文在搜集城乡居民人均收入该项指标时, 陕南地区部分区县的数据缺失, 故用城市居民人均收入代替, 由此造成了陕南该指标虚高, 从而影响了研究结果; 另一方面由于陕南地区外出务工人员数量较多, 也在一定程度上拉高了区域的人均居民收入。

3 结论与讨论

3.1 结论

选取陕西 107 个县级行政单位作为评价单元, 基于生态系统服务价值评估体系与 GIS 空间分析方法, 分析各评价单元 2000—2015 年 *ESV* 时空演变特征, 利用地理探测器与 GWR 识别影响 *ESV* 的主导因子及各主导因子的空间异质性特征, 主要结论如下:

(1) 从时序变化来看, 陕西省 *ESV* 先升后降; 从空间变化来看, 陕西 *ESV* 高低值表现出中心低、边缘高、南比北高的空间分布特征。研究时段内 *ESV* 数值变化的空间特征明显, 全境基本被负值区覆盖, 高值单元较少且集中于陕北, 次高值在关中。

(2) 基于地理探测器结果, 经济因素对 *ESV* 的解释作用最强, 社会因素次之, 自然因素解释作用最弱。土地垦殖率与 *ESV* 呈负相关, 作用强度由南向北递减; 人均 GDP 与 *ESV* 呈负相关, 作用强度从南到北逐渐增强, 人口密度与 *ESV* 呈负相关, 人口密度由东北向西南强度逐渐增大; 城乡居民人均收入对 *ESV* 表现出由北向南从负值向正值过度。

3.2 讨论

本文在分析陕西 *ESV* 的时空演变特征的基础上, 结合地理探测器与 GWR 模型, 探究各影响因子作用强度的空间差异, 结合前文结论, 考虑各评价区域的生态本底与经济发

展现状,分别确定陕南、陕北、关中三大自然带为生态敏感区、生态脆弱区、生态修复区,其生态管理工作应分别以生态保育,生态建设,生态修复为主。

陕南以秦巴山地为主,植被覆盖高,分布有大量的河流水系及大中型水库,是全省乃至全国重要的生态屏障。据GWR结果,土地垦殖率、人均GDP均与陕南ESV表现出强烈负相关,这意味着一旦遭受自然灾害或人为活动,区域生态本底及ESV将受到严重威胁,属于生态敏感区。因此应从以下三点开展生态管理工作:首先总体原则应以保护为主,开发为辅,保护现有山体、水源地等,严禁展开各项开发活动,同时加强森林防火及病虫害的防范与治理;其次对于核心保护区采取生态补偿机制,鼓励居民外迁,降低生态负荷;最后因地制宜,利用生物资源,发展绿色高效无污染产业,在生态容量范围内提升经济效益,以保障陕南对全省及全国的生态系统服务的持续输送。

陕北地处黄土高原,自然本底较差,水土流失严重,据GWR结果,各因子对ESV影响的绝对值都较高,该区域属于生态脆弱区,但同时研究时段内,陕北ESV表现出稳步上升的趋势,说明近年来生态保育工作已取得有效进展。未来仍应坚持生态建设优先,核心要务是继续加大投入,加大封山育林、退耕还林的力度。结合区域现状,在进行矿产资源开发与发展能源化工产业中,应提高行业准入机制,确保资源开发与生态修复并举,最大程度降低重化工产业对环境的影响,以实现区域环境的稳定与提升。

关中地形平坦,人口稠密,经济活动剧烈,开发强度大,据ESV时空变化特征可知,该地区研究时段内ESV下降明显且区域集中,说明近年来生态现状严峻,因此属于生态修复区。关中地区生态管理应从两方面着手,对于城市首先应充分利用点状空间,完善城市绿地设施;其次提高城市空间与绿地系统的通达性,在无法大量增加绿地系统的情况下,实现绿色空间的充分开发;对于城市周边区域,应统筹规划,合理布局,加大工业用地内部的紧凑度,提高土地利用效率。

此外,必须提及的是,本文基于各类数据,利用相关模型试图发现各因子对ESV的解释贡献度及空间异质性特征,但ESV的变化同时受到来自多种因素的共同作用,且不是简单的正负关系,而是复杂的非线性关系,有些关系可以用数据指标模拟代替,有些指标则需要深入的质性分析,单纯依靠数据与模型,从解释贡献度与正负关系难以全面了解ESV的影响因素。因此需从利益相关者、人类福祉等视角出发,结合质性研究等方法探讨ES及ESV的变化过程与影响机制,这也将是下一步的研究重点。

参考文献(References):

- [1] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world' s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] 管青春,郝晋珉,石雪洁,等.中国生态用地及生态系统服务价值变化研究. *自然资源学报*, 2018, 33(2): 195-207. [GUAN Q C, HAO J M, SHI X J, et al. Study on the changes of ecological land and ecosystem service value in China. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(2): 195-207.]
- [3] RANDALL A. The value of biodiversity. *Ambio*, 1991, 20(2): 64-68.
- [4] TURNER K. Economics and wetland management. *Ambio*, 1991, 20(2): 59-63.
- [5] PEARCE D W. *Blueprint 4: Capturing Global Environmental Value (Blueprint Series) (Vol 4)*. London: Earthscan, 1995.
- [6] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: Biodiversity Synthesis*. Washington D C: World Resources Institute, 2005.
- [7] 段锦,康慕谊,江源.东江流域生态系统服务价值变化研究. *自然资源学报*, 2012, 27(1): 90-103. [DUAN J, KANG M Y, JIANG Y. Dynamic valuation on ecosystem services of Dongjiang River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(1): 90-103.]
- [8] 马依拉·热合曼,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等.基于遥感与GIS的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究. *生态学报*, 2018, 38(16): 5938-5951. [MAYILA R H M, MAMAT S W T, NIGELA T S P L T, et al. The ecosys-

- tem service value spatial-temporal changes in the Ugan-Kuqa River Delta Oasis based on RS and GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(16): 5938-5951.]
- [9] 涂小松, 龙花楼. 2000—2010年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化. *资源科学*, 2015, 37(12): 2451-2460. [TU X S, LONG H L. Spatial patterns and dynamic evolution of ecosystem service values in Poyang Lake Region from 2000 to 2010. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2451-2460.]
- [10] LAUTENBACH S, KUGEL C, LAUSCH A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 676-687.
- [11] GROOT R, BRANDER L, PLOEG S, et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 50-61.
- [12] ADEKOLA O, MITCHELL G, GRAINGER A. Inequality and ecosystem services: The value and social distribution of Niger Delta Wetland services. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 42-54.
- [13] LUISETTI T, TURNER R K, JICKELLS T, et al. Coastal zone ecosystem services: From science to values and decision making: A case study. *Science of the Total Environment*, 2014, 493: 682-693.
- [14] CAMACHO-VALDEZ V, RUIZ-LUNA A, GHERMANDI A, et al. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in Northwest Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 2013, 78: 1-11.
- [15] SONG W, DENG X Z, YUAN Y W, et al. Impacts of land-use change on valued ecosystem service in rapidly urbanized North China Plain. *Ecological Modelling*, 2015, 318: 245-253.
- [16] COSTANZA R, GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [17] 罗盛锋, 闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力. *生态学报*, 2018, 38(9): 3248-3259. [LUO S F, YAN W D. Evolution and driving force analysis of ecosystem service values in Guangxi Beibu Gulf Coastal Areas, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 3248-3259.]
- [18] 熊鹰, 张方明, 龚长安, 等. LUCC影响下湖南省生态系统服务价值时空演变. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(6): 1397-1408. [XIONG Y, ZHANG F M, GONG C A, et al. Spatial-temporal evolution of ecosystem service value in Hunan province based on LUCC. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(6): 1397-1408.]
- [19] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 961-976. [SHI Y Y, LYU X, HUANG X J, et al. Arable land use transitions and its response of ecosystem services value change in Jiangsu Coastal Areas. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 961-976.]
- [20] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析: 以湖南省为例. *地理研究*, 2015, 34(4): 691-700. [LIU Y Q, LIAO L W, LONG H L, et al. Effects of land use transitions on ecosystem services value: A case study of Hunan province. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 691-700.]
- [21] 赵育恒, 曾晨. 武汉城市圈生态服务价值时空演变分析及影响因素. *生态学报*, 2019, 39(4): 1426-1440. [ZHAO Y H, ZENG C. Analysis of spatial-temporal evolution and factors that influences ecological service values in Wuhan Urban Agglomeration, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(4): 1426-1440.]
- [22] 赵志刚, 余德, 韩成云, 等. 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力. *生态学报*, 2017, 37(24): 8411-8421. [ZHAO Z G, YU D, HAN C Y, et al. Ecosystem services value prediction and driving forces in the Poyang Lake Eco-economic Zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(24): 8411-8421.]
- [23] 徐媛银, 郭泓, 薛达元, 等. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变. *生态学报*, 2019, 39(6): 1-10. [XU N Y, GUO L, XUE D Y, et al. Land use structure and the dynamic evolution. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(6): 1-10.]
- [24] 陕西统计局. 陕西统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2017: 10, 65, 76, 265. [Shaanxi Statistics Bureau. *Shaanxi Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistical Publishing House, 2017: 10, 65, 76, 265.]
- [25] 陈万旭, 李江风, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 325-337. [CHEN W X, LI J F, ZHU L J. Spatial heterogeneity and sensitivity analysis of ecosystem services value in the Middle Yangtze River Region. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 325-337.]
- [26] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 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. [XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.]
- [27] GU K K, YANG Q Q, CHENG F, et al. Spatial differentiation of Anhui province based on the relationship between supply and demand of ecosystem services. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(7): 577-583.
- [28] 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. *自然资源学报*, 2008, 23(9): 911-920. [XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. An ecosystem service value-based approach based on expert knowledge. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(9): 911-920.]

- [29] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 等. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3096-3102. [XIAO Y, XIE G D, LU C X, et al. Involvement of ecosystem service flows in human wellbeing based on the relationship between supply and demand. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(10): 3096-3102.]
- [30] XU Z H, WEI H J, FAN W G, et al. Energy modeling simulation of changes in ecosystem services before and after the implementation of a Grain-for-Green Program on the Loess Plateau: A case study of the Zhifanggou valley in Ansai county, Shaanxi province, China. *Ecosystem Services*, 2018, 31(3): 32-43.
- [31] 南笛, 杨子寒, 毕旭, 等. 生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析: 以长江中游华阳河湖群地区为例. 中国环境科学, 2018, 38(9): 3531-3541. [NAN B, YANG Z H, BI X, et al. Spatial-temporal correlation analysis of ecosystem services value and human activities: A case study of Huayang Lakes Area in the middle reaches of Yangtze River. *China Environmental Science*, 2018, 38(9): 3531-3541.]
- [32] 徐媛银, 孙思琦, 薛达元, 等. 基于地形梯度的赣南地区生态系统服务价值对人为干扰的空间响应. 生态学报, 2019, 39(1): 97-107. [XU N Y, SUN S Q, XUE D Y, et al. Ecosystem service value and its spatial response to human interference on the basis of terrain gradient in Gannan Region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 97-107.]
- [33] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [34] WANG J F, HU Y. Environmental health risk detection with Geo-Detector. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 33(7): 114-115.
- [35] 吕晨, 蓝修婷, 孙威. 地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1385-1397. [LYU C, LAN X T, SUN W. A study on the relationship between natural factors and population distribution in Beijing using Geographical Detector. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1385-1397.]
- [36] 邱孟龙, 曹小曙, 周建, 等. 基于GWR模型的渭北黄土旱塬粮食单产空间分异及其影响因子分析: 以陕西彬县为例. 中国农业科学, 2019, 52(2): 273-284. [QIU M L, CAO X S, ZHOU J, et al. Spatial differentiation and impact factors of grain yield per hectare in Weibei Plateau based on GWR model: A case study of Binxian county, Shannxi. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(2): 273-284.]
- [37] 马勇, 黄智洵. 长江中游城市群绿色发展指数测度及时空演变探析: 基于GWR模型. 生态环境学报, 2017, 26(5): 794-807. [MA Y, HUANG Z X. Study on spatial-temporal evolution and measurement of green development index of urban agglomerations in the middle reaches of Yangtze River: GWR model based. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(5): 794-807.]
- [38] 庞瑞秋, 腾飞, 魏洁. 基于地理加权回归的吉林省人口城镇化动力机制分析. 地理科学, 2014, 34(10): 1210-1217. [PANG R Q, TENG F, WEI Y. A GWR-based study on dynamic mechanism of population urbanization in Jilin province. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(10): 1210-1217.]
- [39] 潘竟虎, 张建辉, 胡艳兴. 近20 a来甘肃省县域人均粮食占有量时空格局及其驱动力研究. 自然资源学报, 2016, 31(1): 124-134. [PAN J H, ZHANG J H, HU Y X. Spatial-temporal pattern of per capital grain possession and its driving forces in Gansu province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(1): 124-134.]
- [40] 马勇, 童昀, 任洁, 等. 公众参与型环境规制的时空格局及驱动因子研究: 以长江经济带为例. 地理科学, 2018, 38(11): 1799-1808. [MA Y, TONG Y, REN J, et al. Spatial-temporal pattern and driving factors of public participation in environmental regulation: Taking the Yangtze River Economic Belt as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1799-1808.]
- [41] CLEVELAND W S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 1979, 74(368): 829-836
- [42] WANG J F, ZHANG T L, FU B J. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 250-256.
- [43] BRUNSDON C, FOTHERINGHAM S, CHARLTON M. Geographically weighted regression. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D*, 1998, 47(3): 431-443.
- [44] 彭建, 杨昉, 谢盼, 等. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572. [PENG J, YANG Y, XIE P, et al. Zoning for the construction of green space ecological networks in Guangdong province based on the supply and demand of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(13): 4562-4572.]

Spatiotemporal evolution of land ecosystem service value and its influencing factors in Shaanxi province based on GWR

GENG Tian-wei^{1,2}, CHEN Hai^{1,2}, ZHANG Hang^{1,2}, SHI Qin-qin^{1,2}, LIU Di^{1,2}

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China)

Abstract: Based on the ecosystem service value (ESV) assessment system, geo-detector and GWR model, the spatiotemporal evolution characteristics, influencing factors and dominant factors of *ESV* of 107 county-level administrative units in Shaanxi province from 2000 to 2015 were analyzed. The spatial heterogeneity of the intensity of the *ESV* was examined. The main conclusions are as follows. (1) From 2000 to 2015, the *ESV* in Shaanxi province showed the characteristics of rising and then decreasing. In 2005, the *ESV* reached the peak in the study period, while that of 2015 saw the bottom. The supply and regulation services were the core functions of the *ESV* in the province. The service contents in the food production and maintenance of nutrient recycling are the two types of services. (2) The distribution of *ESV* over the years showed a pattern of "low in the center, while high at the edge; high in the south, but low in the north". The areas with high values were distributed in the Qinling Mountains and the Ziwuling Mountains, and those with low values were concentrated in the Guanzhong Plain. The spatial changes in the *ESV* are more obvious. The whole province is basically covered by negative values. The high-value areas are less concentrated and concentrated in Northern Shaanxi. The second-highest values areas are scattered in Guanzhong and Southern Shaanxi. (3) Economic factors have the greatest impact on the *ESV*, with the strongest interpretation, followed by social factors, and natural factors contribute the least to the interpretation of ecosystem services. (4) The spatial intensity of the effects of various dominant factors on the *ESV* is different. The land reclamation rate is characterized by a gradual decline from south to north. The per capita GDP gradually increases from south to north, and the population density increases from northeast to southwest. The land reclamation rate, per capita GDP, and population density are all negatively correlated with ecosystem services. The per capita income of urban and rural residents shows that the *ESV* is changing from negative to positive, from north to south and gradually increases.

Keywords: ecosystem service value; spatiotemporal characteristics; GWR model; influencing factor; Shaanxi province