

宁夏六盘山连片特困区生态环境与 经济发展耦合协调研究

苏胜亮, 吴立峰

(宁夏回族自治区生产力促进中心, 银川 750000)

摘要:以宁夏六盘山贫困地区为例,建立了耦合协调度评价指标体系,综合运用熵权法、耦合协调度模型以及地理探测器等方法对研究区 2006—2016 年生态环境与经济发展耦合协调度做出了时空变化分析。结果表明:(1)研究期间,宁夏六盘山生态环境与经济发展耦合度和耦合协调度呈现同步稳定增长的变化态势,生态环境与经济发展耦合度和协调度指数呈现出先减后增的变化趋势,说明生态系统与经济系统之间相互作用程度不断增强,内部协调程度进一步提升。(2)从空间分异来看,耦合协调低值区主要分布在经济发展落后且生态环境质量较差的西北和南部地区,高值区主要分布在经济发展水平、城市化水平较高的行政中心区域,耦合协调度由西北向东南呈现出低—高—低的空间分布格局;耦合协调度高、低值区的分布主要受经济发展水平、城市化水平、资源禀赋等条件的限制。(3)基于地理探测器探测影响耦合协调度空间分异因素的结果可知:人均 GDP、GDP 增长率、农村人均纯收入、森林覆盖率、建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积、环保投资额占 GDP 比重、人均牧草地面积和人均水资源量等因子的 q 值均大于 0.9,是影响六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度空间分异的主导因素,也是区域经济发展和生态建设过程中应关注的重要因素。

关键词:集中连片特困区; 扶贫政策; 耦合协调度; 地理探测器; 宁夏六盘山区

中图分类号:X171; F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0286-06

Research on Coupling and Coordination of Ecological Environment and Economic Development in Concentrated Destitute Area of Liupanshan Mountain in Ningxia Autonomous Region

SU Shengliang, WU Lifeng

(Ningxia Hui Autonomous Region Productivity Promotion Center, Yinchuan 750000, China)

Abstract: Taking the poverty-stricken areas in Liupanshan Mountain of Ningxia as an example, the evaluation index system of coupling coordination degree was established, and the spatial and temporal changes of the coupling degree of ecological environment and economic development in the study area from 2006 to 2016 were comprehensively applied by entropy weight method, coupling coordination degree model and geographic detector. The analysis and research results show that: (1) during the research period, the degree of coupling and coordination of the ecological environment and economic development of Liupanshan Mountain in Ningxia showed a synchronous and steady growth trend, indicating that the degree of interaction between ecosystems and economic systems was increasing, and the degree of internal coordination was further enhanced; (2) from a perspective of spatial differentiation, the coupling and coordination low-value areas mainly distributed in the northwest and southern regions with poor economic development and poor ecological environment; the high-value areas mainly distributed in the administrative center areas with high economic development level and high urbanization level; the coupling coordination degree showed a low-high-low spatial distribution pattern from northwest to southeast; the distribution of high coordination and low value areas was mainly limited by economic development level, urbanization level and resource endowment; (3) based on the diagnosis of geo-detector, the spatial differentiation factors of coupling coordination degree could be seen that q values of per capita GDP, GDP growth rate, rural per capita net income, forest coverage, green coverage of built-up areas, per

收稿日期:2018-09-17

修回日期:2018-10-19

资助项目:国家自然科学基金“宁夏六盘山区空间贫困及其分异机制研究”(41261021)

第一作者:苏胜亮(1988—),男,陕西榆林人,硕士,助理研究员,主要从事科技管理与人文地理研究。E-mail:578459313@qq.com

capita park green area, environmental protection investment as a percentage of GDP, per capita, pasture area and per capita water resources were greater than 0.9, which were the dominant factors affecting the coupling degree of ecological environment and economic development in Liupanshan Mountain, and also the important factors in the process of regional economic development and ecological construction.

Keywords: contiguous destitute areas; poverty alleviation policy; degree of coupling coordination; geo-detectors; Liupanshan Mountain of Ningxia

生态环境与人类社会活动息息相关,不仅为人类生存和发展提供物质基础,更是经济发展和社会稳定的重要保障^[1]。随着社会经济的快速发展,工业化和城镇化水平的不断提高,生态系统结构开始呈现失衡状态,生态系统服务功能日益下降,资源环境承载力水平随之降低,生态环境压力越来越大。尤其对于地理位置独特的集中连片特困地区,兼具生态环境脆弱、少数民族聚居以及贫困人口集中等多种因素的空间耦合,长期以来深陷“贫困陷阱”和“梅佐乔诺陷阱”之中^[2-4],生态环境恶化、水土流失严重以及自然灾害频发,成为阻碍区域经济发展的重要因素,同时也是我国全面建成小康社会,实现美丽中国梦所需突破的瓶颈之一。

20世纪80年代初期,国家针对贫困地区组织实施了一系列扶贫政策,从“三西农业建设”、“八七扶贫攻坚计划”、“中国农村扶贫开发纲要”到新时代精准扶贫战略的实施,不仅降低了区域贫困发生率,提高了农村经济的收入水平,同时改善了区域生态环境质量,达到了扶贫与生态建设双赢的目标。而如何继续将扶贫开发与生态建设、环境保护相结合,社会经济发展与人口资源环境相协调,走生态环境与经济发展相协调的可持续发展道路显得尤为重要^[5-6]。为此,开展贫困地区生态环境与经济发展耦合协调研究,对贫困地区扶贫工作的顺利进行、生态保护和建设以及区域经济发展具有重要的理论和现实意义。

目前,学术界针对生态环境与经济协调评价进行了大量的研究,并取得了丰富的研究成果。学者们利用能值理论^[7]、系统动力学^[8]、生态足迹^[9]以及耦合协调模型^[10]等多种方法对区域^[11]、流域^[12]、城市群^[13]、三角洲地区^[14]以及省^[15]和市^[16]生态环境与经济发展之间的关系进行分析研究,并依据研究成果提出相应的发展建议。而对于集中连片特困区的生态环境与经济发展耦合协调度研究鲜有报道。尤其是在扶贫政策驱动下,对于贫困地区生态环境与经济发展关系的研究少之又少。因此,本文以宁夏六盘山贫困地区为例,构建生态环境与经济发展耦合协调评价体系,综合运用熵权法、耦合协调模型、地理探测器等方法对研究区生态环境与经济发展耦合协调度时空变化进行分析,并探测影响其变化的主导因

素,以期当地扶贫工作的顺利开展、规划以及区域生态环境与经济协调发展提供理论依据和科学参考。

1 研究区概况

宁夏六盘山区又称西海固地区,被联合国确定为最不宜人类生存的地区之一,素以“苦瘠甲天下”而闻名,也是我国14个集中连片特困地区之一。六盘山位于宁夏回族自治区南部,位于 $35^{\circ}15'—37^{\circ}05'N$, $105^{\circ}10'—106^{\circ}57'E$,行政范围包括原州区、西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县以及中卫市的海原县共6个县区。该区域属黄土高原西南干旱区,地势南高北低,平均海拔2100 m左右,年平均气温约 $5.8^{\circ}C$,降雨量由南向北递减,年均降水量500 mm左右,且多集中在夏季,年蒸发量约1700 mm,年日照时数约为2450 h。区域总面积近1.70万 km^2 ,约占全区总面积的33%,总人口达162.3万人,其中回族人口85.3万人,约占区域总人口的52.56%。截至2016年底,该区域实现地区生产总值288.73亿元,仅占全区地区生产总值的9.1%,是全区经济发展较为落后的地区。

2 研究数据与方法

2.1 指标选取与数据来源

集中连片特困区是中国区域发展战略中的一类特殊区域,长期以来深陷在贫困和生态退化的恶性循环怪圈中,使得该区域经济发展落后、生态安全形势严峻^[17]。宁夏六盘山区位于黄土高原西南部,属典型的黄土高原干旱地区。这里生态环境恶劣、水土流失严重,且生态脆弱性和敏感性突出,经济发展水平极为落后,被联合国确定为最不宜人类生存的地区之一,也是我国重点扶贫的三西地区之一。因此在选择评价指标时,充分考虑到六盘山区的生态环境和经济发展状况。鉴于此,本文在遵循指标选取的科学性、可获取性、综合性、代表性以及有效性等基本原则的基础上,结合研究区的实际状况,共选取26个指标构建宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调评价指标体系(表1)。本文社会经济数据主要来源于2007—2017年《宁夏回族自治区统计年鉴》、《固原市统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》以及六盘山六县(区)经

济要情手册和宁夏自治区、研究区各县《国民经济和社会发展统计公报》与《政府工作报告》。贫困数据来源于发改委提供的《扶贫开发工作情况汇编资料》,此外,涉及的环境农林等数据,均由农业、林业、气象、环保等相关部门提供并计算获得。

2.2 指标权重的确定

2.2.1 数据的标准化处理 鉴于各项指标数据的属性和性质存在差异且数量单位不同,彼此之间不具有可比性。为得到比较客观的指标权重,使指标之间具有可比性,需要对指标进行标准化处理^[18],本研究采用极差法,其计算公式如下:

$$\text{正向指标: } Y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (1)$$

$$\text{负项指标: } Y_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 为评价指标标准化后的值; x_{ij} 为各指标原始值; $x_{j\max}$ 、 $x_{j\min}$ 分别为第 j 项指标中最大值和最小值。

2.2.2 熵权法确定指标权重 熵权法是依据各指标所包含的信息量大小来确定权重,该方法避免了主观因素的影响,具有信息程度有序、效用性自然和客观性较强的优势^[19]。因此采用熵权法确定指标权重,其具体计算过程如下:

计算第 j 项指标下第 i 个项目的指标值的比重 p_{ij} :

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (3)$$

计算第 j 项指标的熵值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij}, \text{ 其中 } k = \frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

计算第 j 项指标的权重 w_j :

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (5)$$

式中: y_{ij} 为评价指标标准化后的值; e_j 为第 j 项指标的熵值; w_j 为第 j 项指标的权重值。

2.3 耦合协调度模型

耦合源于物理学概念,用以反映各系统间由无序向有序状态间的相互转变过程,同时衡量了两个及其以上的系统之间相互作用、相互影响的关系^[20]。而协调度主要是度量系统与系统间或系统内部组成要素在发展过程中的平衡状态及其协调程度,侧重于系统之间的良性互动关系^[21]。因此,本文所研究的贫困地区生态环境与经济发展耦合协调度,主要是指系统间交互耦合的协调程度,用来揭示经济发展与生态环境系统间的同步性、有序性,并反映系统间动态和平衡发展的状态,能够更好地认识经济发展和生态环境系统交互作用的整体协调程度^[22]。在参考相关研

究文献基础上^[23-25],采用耦合协调度模型对宁夏六盘山贫困地区的生态环境与经济发展耦合协调进行研究,其计算公式如下:

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

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (7)$$

$$C = \left\{ \frac{f(x) \times g(y)}{[f(x) + g(y)]^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$f(x) = \sum_{j=1}^n w_j X_j, \quad g(y) = \sum_{j=1}^m w_j Y_j \quad (9)$$

式中: $f(x)$ 和 $g(y)$ 为生态环境和经济发展的综合评价函数; T 为生态环境与经济发展两大系统的综合评价价值; α 和 β 为待定系数,用以表示两个系统之间相互作用的重要性。由于贫困地区生态环境与经济发展同样重要,故取值为 $\alpha = \beta = 0.5$; D 和 C 分别为宁夏六盘山区生态环境与经济发展的耦合协调度指数和耦合度指数,其中耦合度指数 C 取值介于 $0 \sim 1$ 之间,当 $C = 0$ 时,说明生态环境与经济发展系统间处于无关状态,偏向无序发展,耦合度极低;当 $C = 1$ 时则相反,表明耦合度最大,两系统处于偏向高度耦合的良性有序发展状态;本文结合研究区实际情况将耦合协调度分为 5 个不同等级(表 2)。

表 1 宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调

准则层	指标层	单位	指标属性	权重
经济发展	人均 GDP	元/人	+	0.0409
	GDP 增长率	%	+	0.0424
	社会固定资产投资额	万元	+	0.0351
	工业生产总产值	万元	+	0.0416
	全社会消费品零售总额	万元	-	0.0362
	城镇居民人均可支配收入	元/人	+	0.0423
	农村人均纯收入	元/人	+	0.0416
	贫困人口比重	%	-	0.0378
	非农业人口比重	%	-	0.0394
	第二产业占 GDP 比重	%	+	0.0428
	第三产业占 GDP 比重	%	+	0.0432
	单位 GDP 能耗	t 标准煤/万元	-	0.0338
生态环境	单位 GDP 水耗	t/万元	-	0.0343
	森林覆盖率	%	+	0.0358
	建成区绿化覆盖率	%	+	0.0369
	人均公园绿地面积	hm ² /人	+	0.0356
	可吸入颗粒浓度	μg/m ³	-	0.0399
	环保投资额占 GDP 比重	%	+	0.0356
	生活垃圾无害化处理率	%	+	0.0365
	生活污水处理率	%	+	0.0405
	工业废水排放率	%	+	0.0420
	工业固体综合利用率	%	+	0.0379
耦合研究	工业废水排放达标率	%	+	0.0350
	人均耕地面积	hm ² /人	+	0.0401
	人均牧草地面积	hm ² /人	+	0.0359
	人均水资源量	m ³ /人	+	0.0363

表2 耦合协调度等级划分标准

序号	耦合协调度(D)	耦合协调度等级
1	$0.0 < D \leq 0.2$	低度耦合协调
2	$0.2 < D \leq 0.4$	较低耦合协调
3	$0.4 < D \leq 0.6$	中度耦合协调
4	$0.6 < D \leq 0.8$	较高耦合协调
5	$0.8 < D \leq 1$	高度耦合协调

2.4 地理探测器

地理探测器是基于 GIS 空间叠加技术和集合论,用以识别多因子之间交互作用,揭示地理事物空间驱动力的模型方法^[26]。目前已被广泛应用于地理要素格局演变和地域空间分异等方面的研究^[27-28]。借鉴地理探测器模型,引入生态环境与经济发展耦合协调分异决定力指数 q 。通过多因子间离散分类,获得因子与结果之间的相关性,以识别多因子间的交互作用与探测变量之间的因果关系。

设研究区存在耦合协调度 y 。 y 被采集在研究区域内,由采样单元 $i(i=1,2,\dots,n;n$ 为总采样单元数)组成的格点系统,假设 $X=\{X_h\}$ 是可能存在的一种影响耦合协调空间分异的因素, $h=1,2,\dots,L;L$ 为因素分类数; X_h 代表因素 X 不同的类型。一个类型 h 对应空间上一个或多个子区域。为了探测因素 X 与耦合协调度 y 的空间相关性,将耦合协调度 y 图层与因素 X 图层叠置,在因素 X 的第 h 类型(对应一个或多子区域), y 的离散方差被记为 σ_h^2 ,则因素 X 对耦合协调度的决定力大小为:

$$q=1-\frac{1}{n\sigma^2}\sum_{h=1}^L n_h\sigma_h^2 \quad (10)$$

式中: n_h 为在因素 X 的类型 h (对应一个或多个子区域)内的样本数; n 为在整个研究区域 H 内的所有样本数, $n=\sum_{h=1}^L n_h$ 为因素 A 的分类数; σ^2 为整个区域的离散方差。

当各因素对研究区生态环境与经济发展耦合协调度发生具有决定力时,每个类型(对应一个或多子区域)的离散方差 σ_h^2 会较小,类型(对应一个或多个子区域)之间的离散方差会较大。当离散方差 σ_h^2 趋近于 0 时,因素 X 的决定力 $q=1$,说明生态环境与经济发展耦合协调度发生分异完全由因素 X 决定;当因素 X 的决定力 $q=0$ 时,生态环境与经济发展耦合协调度指数随机分布,因素 X 对生态环境与经济发展耦合协调度发生分异没有影响。因子决定力 q 值越大,表明因素对生态环境与经济发展耦合协调度发生分异的影响越大。通过比较因素决定力的大小,探测出生态环境与经济发展耦合协调度分异的主导因素。

3 结果与分析

3.1 生态环境与经济发展耦合协调度时序变化分析

根据耦合模型计算得到 2006—2016 年宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度(图 1)。由图 1 可知,在研究期间,宁夏六盘山生态环境与经济发展耦合度和耦合协调度指数呈现出先减后增的变化趋势,但总体上两者呈现出同步稳定增长的态势。耦合度和协调度分别由 2006 年的 0.272 1、0.207 2 增加至 2016 年的 0.581 9、0.552 3,且两者变化趋势基本趋同。特别是自 2011 年以来,耦合度和耦合协调度增长态势更加显著。从变化过程来看,六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度等级由较低耦合协调度上升至中等耦合协调度,说明生态系统与经济系统之间相互作用程度不断增强,内部协调程度进一步提升,耦合协调度等级得以提高和改善。究其原因在于宁夏六盘山区独特的地理位置和历史发展,加剧了区域内人口—经济—生态系统之间矛盾突出,形成恶性循环,导致人地关系呈现初步失衡状态。为解决山区贫困问题,自 20 世纪 80 年代,宁夏自治区开始实施吊庄移民,先后建设吊庄移民基地 21 处,开发土地 3.47 万 hm^2 ,通过县内县外的安置方式共解决 28 万人的温饱问题。此后相继实施了易地扶贫搬迁政策,以县外安置的方式搬迁安置原州区、西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县、海原县、同心县等县(区)约 14.2 万人贫困人口。生态移民兼顾了扶贫和生态建设双重意义,自 2007 年后,生态移民实施规模继续扩大、范围更广,涉及宁夏的北部川区、中部干旱带和中南部等地区。通过对南部山区近 65 万贫困人口安置,以产业扶贫、金融扶贫和科技扶贫等手段,使六盘山区的生态环境与经济发展得到了长足进步。特别是精准扶贫战略实施以来,立足于区域发展实际,以五大发展理念为引领,以精准扶贫、精准脱贫为基本方略,聚力到户,受益精准,不断提高贫困群众的经济收入,调动贫困群众的积极性。并将山区六县(区)作为扶贫工作的重点,在保护环境、绿色发展的前提下,综合考虑区域资源优势、产业基础等因素,因地制宜,合理确定产业发展目标和方向,将生态优势转化为经济优势,不断提高宁夏六盘山区生态环境质量和经济发展水平,生态环境与经济发展耦合协调度呈现出持续上升趋势。

3.2 生态环境与经济发展耦合协调度的空间分异分析

进一步对宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度进行空间分异研究。选取六盘山区 6 县(区)2006 年、2011 年和 2016 年 3 个不同时期的耦合协调度,在 ArcGIS 10.2 中对研究区进行可视化表

达,并绘制其空间分异图(图 2)。由图 2 可知,2006 年宁夏六盘山区各县生态环境与经济发展耦合协调度整体水平较低,且空间分布差异不明显,原州区、西吉县以较低耦合协调度为主,海原县、隆德县、泾源县和彭阳县以低度耦合协调度为主,究其原因在于此时期,研究区虽已颁布并实施诸多惠农、扶贫政策,但基于贫困人口基数大,经济收入较低且来源单一,发展初期以掠夺式、粗狂式的经济发展方式使得生态环境破坏严重,导致生态环境与经济发展耦合协调度整体水平不高。到了 2011 年,原州区和西吉县的耦合协调度上升为中度耦合协调,隆德县、泾源县和彭阳县由低度耦合协调上升为较低耦合协调。除海原县外,其余各县耦合协调度水平均得到提升和改善,究其原因在于海原县是农业大县,产业结构单一,经济发展缓慢。农民人均纯收入较 2006 年虽有所提升,但整体收入水平依旧很低。贫困人口数量多、经济发展方式不合理,是海原县的生态环境与经济发展综合得分不高,耦合协调度水平较低的制约因素。在精准扶贫和生态移民政策的实施背景下,2016 年研究区的经济水平和生态环境得到进一步提升和改善,生态环境

与经济发展耦合协调度整体水平提升较快。其中,较低耦合协调度主要分布在经济发展落后、城市发展水平低、生态环境质量差的海原县和隆德县,中度耦合协调主要分布在西吉县、泾源县和彭阳县,而较高耦合协调则分布在经济发展和生态环境质量高的原州区。从空间分布来看,宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度由西北向东南呈现出低—高—低的空间变化格局,这也与宁夏六盘山区的经济发展与生态环境质量的空间分布格局基本一致。

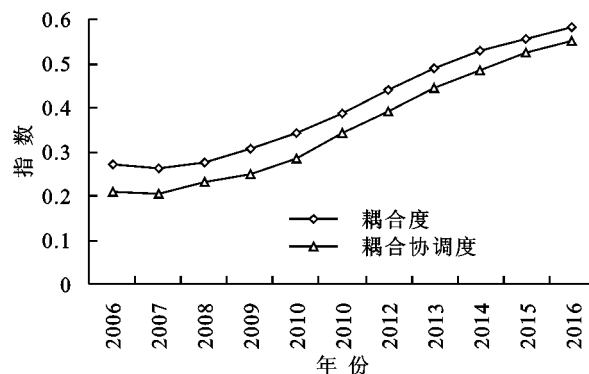


图 1 宁夏六盘山区 2006—2016 年生态环境与经济发展耦合协调度指数

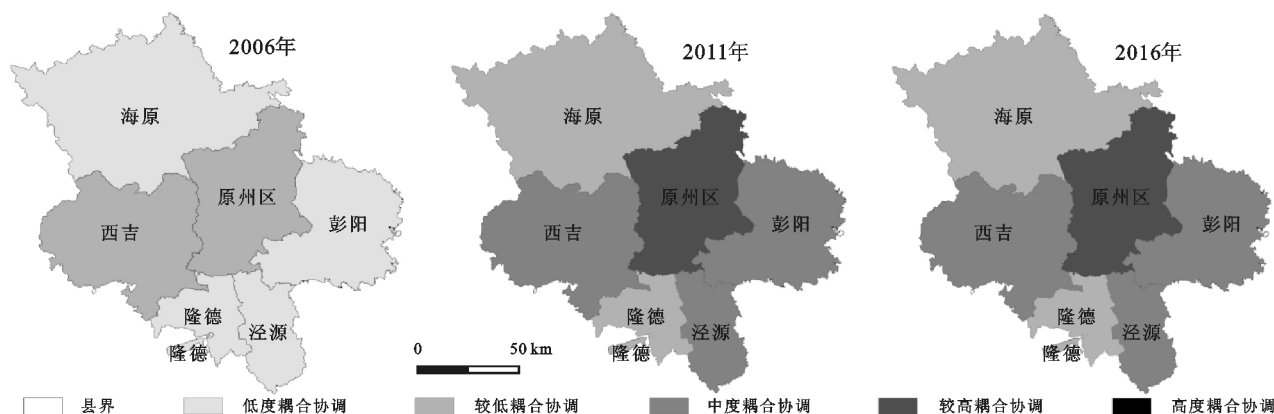


图 2 宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度空间分异

3.3 生态环境与经济发展耦合协调度主导因素探测

地理空间要素影响生态环境与经济发展耦合度的空间分异。基于六盘山区各县(区)生态环境与经济发展耦合协调度的研究结果,对生态环境和经济发展两大系统共 26 项指标进行等间隔离散化处理,将指标因子划分为 5 类,即完成了对自变量的分层,然后代入地理探测器软件(<http://www.geodetector.org/>)中运行,得出影响生态环境与经济发展耦合协调度的因子决定力 q 值(表 3)。从各指标因子对耦合协调度的决定力 q 值中可以看出,人均 GDP、GDP 增长率、城镇居民人均可支配收入、农村人均纯收入、贫困人口比重、森林覆盖率、建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积、环保投资额占 GDP 比重、生活垃圾无公害处理以及人均牧草地面积和人均水资源量这 12

个指标是影响宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度空间分异较强的因素,且 q 值均大于 0.8。其中城镇居民人均可支配收入、贫困人口比重、生活垃圾无公害处理率这 3 项指标对宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度的决定力在下降,究其原因在于宁夏六盘山区自实施生态移民工程以来,该区域贫困人口数量急剧下降,生态环境质量逐步提高和改善,人均居民收入水平大幅度提升,致使上述 3 种的决定力 q 值逐年下降,对研究区生态环境与经济发展耦合协调度影响逐步降低。而除此之外的其余各项指标的 q 值均有上升,表明这些指标因子对六盘山区生态环境与经济发展耦合度的空间分异影响程度在逐渐加深,进一步说明,农民的经济收入水平和生态环境质量是制约和影响区域经济与生

态环境耦合协调发展的关键因素。因此,在区域经济发展和生态建设过程中应当注重对农民纯收入的调控,只有保障农户的基本生活,不断提高生活水平和

条件,才能不断提升农民的环境保护意识,进一步引导农户向生态公民转化,参与公众环境保护,提高生态环境质量。

表 3 各指标因子对生态环境与经济发展耦合协调度的决定力 q 值

经济系统指标	2006 年	2011 年	2016 年	生态系统指标	2006 年	2011 年	2016 年
人均 GDP	0.952	0.964	0.981	森林覆盖率	0.926	0.954	0.982
GDP 增长率	0.935	0.941	0.948	建成区绿化覆盖率	0.829	0.857	0.891
社会固定资产投资额	0.443	0.869	0.891	人均公园绿地面积	0.929	0.945	0.936
工业生产总产值	0.753	0.794	0.869	可吸入颗粒浓度	0.712	0.737	0.764
全部社会消费品零售总额	0.268	0.429	0.625	环保投资额占 GDP 比重	0.929	0.946	0.969
城镇居民人均可支配收入	0.916	0.843	0.866	生活垃圾无公害处理率	0.927	0.936	0.925
农村人均纯收入	0.944	0.953	0.969	生活污水处理率	0.756	0.659	0.619
贫困人口比重	0.976	0.941	0.879	工业废水排放率	0.249	0.384	0.571
非农业人口比重	0.725	0.783	0.697	工业固废综合利用率	0.361	0.458	0.527
第二产业占 GDP 比重	0.459	0.681	0.597	工业废水排放达标率	0.338	0.457	0.419
第三产业占 GDP 比重	0.239	0.258	0.319	人均耕地面积	0.674	0.712	0.734
单位 GDP 能耗	0.667	0.697	0.754	人均牧草地面积	0.901	0.928	0.954
单位 GDP 水耗	0.195	0.457	0.552	人均水资源量	0.856	0.891	0.928

4 结 论

(1) 2006—2016 年宁夏六盘山生态环境与经济发展耦合度和协调度呈现出先减后增的变化趋势,总体来看,两者呈现出同步稳定增长的变化态势,且两者变化趋势基本趋同。

(2) 从不同时空尺度视角下看,宁夏六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度水平不断上升,其耦合协调等级不断提高。耦合协调度高、低值区的分布主要受经济发展水平、城市化水平、资源禀赋等条件的限制,耦合协调低值区主要分布在经济发展落后、生态环境质量差的西北和南部地区,高值区主要分布在经济发展水平较高的行政中心区域,耦合协调度由西北向东南呈现出低—高一低的空间分布格局。

(3) 地理探测器的探测结果表明,人均 GDP、GDP 增长率、农村人均纯收入、森林覆盖率、建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积、环保投资额占 GDP 比重、人均牧草地面积和人均水资源量的因素决定力 q 值均大于 0.9,且呈现出不断增大的变化趋势,表明这些因子是影响六盘山区生态环境与经济发展耦合协调度空间分异的主导因素,也是区域经济发展和生态建设过程中应关注的重要因素。

参考文献:

[1] 李仙娥,李倩. 秦巴集中连片特困地区的贫困特征和生态保护与减贫互动模式探析[J]. 农业现代化研究, 2013,34(4):408-411.

[2] 丁建军. 中国 11 个集中连片特困区贫困程度比较研究: 基于综合发展指数计算的视角[J]. 地理科学, 2014, 34(12):1418-1427.

[3] 刘小鹏,苏胜亮,王亚娟,等. 集中连片特殊困难地区村域空间贫困测度指标体系研究[J]. 地理科学, 2014, 34(4):447-453.

[4] 王艳慧,李静怡. 连片特困区生态环境质量与经济发展水平耦合协调性评价[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1519-1530.

[5] 徐孝勇,封莎. 中国 14 个集中连片特困地区自我发展能力测算及时空演变分析[J]. 经济地理, 2017, 37(11): 151-160.

[6] 曹诗颂,王艳慧,段福洲,等. 中国贫困地区生态环境脆弱性与经济贫困的耦合关系:基于连片特困区 714 个贫困县的实证分析[J]. 应用生态学报, 2016, 27(8):2614-2622.

[7] 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.

[8] 方创琳,鲍超. 黑河流域水—生态—经济发展耦合模型及应用[J]. 地理学报, 2004(5):781-790.

[9] 党小虎,刘国彬,赵晓光. 黄土丘陵区南沟流域生态恢复的生态经济耦合过程及可持续性分析[J]. 生态学报, 2008, 28(12):6321-6333.

[10] 成思敏,王继军,郭满才,等. 基于结构方程模型的陕北退耕区农业产业—资源系统耦合机制分析:以吴起县为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(7):1165-1178.

[11] 张荣天,焦华富. 泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5):719-727.

[12] 陈端吕,彭保发,熊建新. 环洞庭湖区生态经济系统的耦合特征研究[J]. 地理科学, 2013, 33(11):1338-1346.

[13] 童佩珊,施生旭. 厦漳泉城市群生态环境与经济发展耦合协调评价:基于 PSR-GCQ 模型[J]. 林业经济, 2018, 40(4):90-95.

(下转第 298 页)

- [24] 刘立文,张吴平,段永红.模型的农业旱情时空变化遥感应用[J].生态学报,2014,34(13):3704-3711.
- [25] Patel N R, Anapashsha R, Kumar S, et al. Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index(TVDI) to infer soil moisture status[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009,30(1):23-39.
- [26] 宋春桥,游松财,刘高焕.基于 TVDI 的藏北地区土壤湿度空间格局[J].地理科学进展,2011,30(5):570-576.
- [27] 邱兰杰,王卫,成贺玺.基于 ATI 和 TVDI 模型的河北平原土壤湿度遥感反演[J].中国生态农业学报,2014,22(6):737-743.
- [28] 李天祺,朱秀芳,潘耀忠,等. MODIS 陆地表面温度数据重构方法研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2015,51(S1):70-76.
- [29] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [30] Kendall M G. Rank Correlation Methods,3rd edition [M]. New York: Hafner Publishing Company, 1962.
- [31] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,79(2/3):213-224.
- [32] John R, Chen Jiquan, Lu Nan, et al. Predicting plant diversity based on remote sensing products in the semi-arid region of Inner Mongolia[J]. Remote Sensing of Environment, 2008,112(5):2018-2032.
- [33] 张蕾,吕厚荃,王良宇.中国土壤湿度的时空变化特征[J].地理学报,2016,71(9):1494-1508.
- [34] 韦振锋,王德光,张翀.近 12 年陕甘宁黄土高原区植被物候时空变化特征[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):423-429.
- [35] 李强,张翀.近 15 年黄土高原植被物候时空变化特征分析[J].中国农业科学,2016,49(22):4352-4365.
- [36] 谢宝妮,秦占飞,王洋.基于遥感的黄土高原植被物候监测及其对气候变化的响应[J].农业工程学报,2015,31(15):153-160.
- [37] 张翀,雷田旺,宋佃星.黄土高原植被覆盖与土壤湿度的时滞互相关时空特征分析[J].生态学报,2018,38(6):1-11.
- [38] 杨涛,宫辉力,李小娟.土壤水分遥感监测研究进展[J].生态学报,2010,30(22):6264-6277.
- [39] Zhao W, Du S. Spectral-spatial feature extraction for hyperspectral image classification: A dimension reduction and deep learning approach[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2016,54(8):4544-4554.
- [40] 刘大伟,韩玲,韩晓勇.基于深度学习的高分辨率遥感影像分类研究[J].光学学报,2016,36(4):298-306.
- [41] Jean N, Burke M, Xie M, et al. Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty[J]. Science, 2016,353(6301):790-794.

(上接第 291 页)

- [14] 王介勇,吴建寨.黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势[J].生态学报,2012,32(15):4861-4868.
- [15] 孔伟,任亮,王淑佳,等.河北省生态环境与经济协调发展的时空演变[J].应用生态学报,2016,27(9):2941-2949.
- [16] 杨主泉,张志明.基于耦合模型旅游经济与生态环境协调发展研究:以桂林市为例[J].西北林学院学报,2014,29(3):262-268.
- [17] 赵莹,刘小鹏,郭永杰.六盘山集中连片特困地区生态安全评价[J].水土保持通报,2014,34(2):157-162.
- [18] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):148-153.
- [19] 李帅,魏虹,倪细炉,等.基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J].应用生态学报,2014,25(9):2700-2708.
- [20] 周成,冯学钢,唐睿.区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测:以长江经济带沿线各省市为例[J].经济地理,2016,36(3):186-193.
- [21] 周成,金川,赵彪,等.区域经济—生态—旅游耦合协调发展省际空间差异研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):203-208.
- [22] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于 RS 与 GIS 的沙坡头区生态系统服务价值研究[J].水土保持研究,2018,25(4):250-256.
- [23] 张玉萍,瓦哈甫·哈力克,党建华,等.吐鲁番旅游—经济—生态环境耦合协调发展分析[J].人文地理,2014,29(4):140-145.
- [24] 崔木花.中原城市群 9 市城镇化与生态环境耦合协调关系[J].经济地理,2015,35(7):72-78.
- [25] 易平,方世明.地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究:以嵩山世界地质公园为例[J].资源科学,2014,36(1):206-216.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 刘彦随,李进涛.中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J].地理学报,2017,72(1):161-173.