

陕西省经济发展与生态环境耦合关系研究

余凤鸣¹, 周杜辉², 杜忠潮³, 张阳生¹

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 重庆市规划研究中心, 重庆 400011; 3. 咸阳师范学院 旅游与环境学院, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 以陕西省 10 个地级市为研究单元, 综合运用熵值法、耦合度协调模型、神经网络模型以及 GIS 技术对陕西省经济发展与生态环境的耦合关系进行了分析, 并根据聚类分析结果, 将耦合等级分为 5 个类型, 并从总体特征、局域特征两个层面探讨了陕西省 10 个城市区域经济发展与生态环境耦合的空间格局及其内部差异。结果表明: (1) 陕西省的经济发展与生态环境的协调性整体偏低, 经济发展与生态环境保护亟待提高; (2) 各类型区域的分布具有明显的区位趋同性, 且相邻类别区域具有较强的地理邻近性。

关键词: 经济发展; 生态环境; 熵值法; 神经网络

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0292-06

中图分类号: X196

Coupling Relationships Between Economic Development and Ecological Environment in Shaanxi Province

YU Feng-ming¹, ZHOU Du-hui², DU Zhong-chao³, ZHANG Yang-sheng¹

(1. College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi

710127, China; 2. Chongqing Planning Research Center, Chongqing 400011, China;

3. College of Tourism Resources and Environment, Xianyang Normal University, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: The ten districts of Shaanxi Province was selected as the study area. The coupling relationship between economic development and ecological environment was analyzed using entropy method, coupling degree model and GIS technology. According to the cluster analysis, the coupling relationship could be divided into five types. The spatial characteristics and internal differences of coupling levels were discussed. Overall, the coupling relationship between economic development and ecological environment in the province was low and needs to be improved. Each level of coupling relationship showed obvious local convergence, and the coupling levels next to each other displayed strong geographic proximity.

Keywords: economic development; ecological environment; entropy method; neural network

自 20 世纪 50—60 年代和 80 年代人类社会爆发两次严重的环境危机以来, 经济和环境协调发展问题日益成为人们关注的焦点^[1-3]。依据视角的不同, 国内外研究大致可归为基于投入产出模型视角, 基于 CGE 模型的视角, 基于环境库兹涅茨曲线的视角, 基于生态经济学的视角等 4 类。鉴于国内外社会经济发展阶段及体制的差异等, 当前国内学界对这一问题的研究以多指标、定量化综合研究为主, 评价模型也多采用主成分分析、回归分析、层次分析、模糊数学、SD 模型、EKC 计量模型等^[4-7], 方法相对较为传统单一。研究尺度以中、宏观尺度为主, 对典型区域的研究则较少。西部的生态多样, 但相对脆弱, 且是各类社会经济矛盾问题的集中区域, 亟待加强该区域的生

态环境与经济发展协调发展研究, 以适应其全面建设环境友好型社会的现实需要。本研究以陕西省 10 市域为研究区域, 基于地区尺度, 融合区域尺度比较分析的思想, 综合运用神经网络模型、GIS 技术、熵值函数模型等方法定量分析陕西省生态环境与经济的协调发展, 以促进该区各个方面的健康可持续发展。

1 数据来源及指标体系构建

1.1 数据来源

本文的研究单元是陕西省 10 个地级市, 所采用的数据来源于《中国城市统计年鉴 2009 年》, 《中国城市社会经济统计年鉴 2009 年》和《陕西统计年鉴 2009 年》。

1.2 指标体系构建

在已有研究基础上,遵循指标选取的系统性、有效性、完整性、科学性和可比性原则,并考虑到数据的可得性、可操作性等多种因素,结合陕西省 10 市区的

实际情况,为全面反映经济发展与生态环境耦合的关系,尽量选择环境生态评价指标的平均值或比率,构建出系统的评价指标体系,包括 8 个方面,共 20 个单项指标(表 1)。

表 1 经济与环境协调度评价指标体系

目标层	系统层	控制层	指标层	权重
经济 与 环境 协调 度	区域综合经济 实力指数	经济水平指数	人均 GDP	0.071
			人均社会消费品总额	0.234
		经济结构指数	第一产业从业人员比重	0.061
			第二产业产值比重	0.088
			第三产业产值比重	0.056
		经济效率指数	社会劳动生产率	0.148
			地均 GDP	0.025
		经济活力指数	GDP 年增长率	0.065
			固定资产投资增长率	0.051
		生态环境 综合指数	大气环境指数	单位面积工业废气排放
	万元产值工业废气排放			0.02
	二氧化硫浓度			0.025
	水环境指数		单位面积工业废水排放	0.331
			万元产值工业废水排放	0.018
	生态环境承载指数		生态环境承载指数	人口密度
		单位绿地面积人口数		0.035
		单位面积工业废弃物排放量		0.017
		生态环境保护指数	工业废水排放达标率	0.029
			工业固体废弃物综合利用率	0.032
			“三废”综合利用产品产值	0.092

(1) 经济水平指数。区域经济综合实力的高低与经济水平的高低程度密切相关,是区域内各经济要素相互作用的结果。一般而言,经济水平指数越高,区域经济综合实力指数也越高。这里用人均 GDP 和人均社会消费品总额来衡量。

(2) 经济结构指数。区域经济结构指数是反映区域经济综合实力的另一个重要方面,集中反映在各产业的从业人员及产值比重等方面,这里采用第一产业从业人员比重、第二产业产值比重、第三产业产值比重等 3 个指标来综合衡量。

(3) 经济效率指数。经济效率指数是区域经济综合实力的重要体现。通常,经济效率越高,生产效率就越高,区域经济的综合发展水平就越高,该指标通过社会劳动生产率和地均 GDP 来衡量。

(4) 经济活力指数。经济活力集中反映了区域经济的成长潜力和可持续发展能力。这里采用 GDP 增长率和固定资产投资增长率来衡量。

(5) 大气环境指数。大气环境指数是区域生态环境综合发展水平的集中体现,主要体现在各主要废气排放对区域生态环境的影响,这里采用单位面积工

业废气排放、万元产值工业废气排放、二氧化硫浓度等 3 个指标来综合衡量。

(6) 水环境指数。水环境指数集中反映了区域水环境变化对区域生态环境的影响,是区域生态环境综合指数高低的另一个重要体现。一般而言,水环境指数越高表明该区域的生态环境综合指数越高,这里采用单位面积工业废水排放、万元产值工业废水排放等 2 个方面来衡量。

(7) 生态环境承载指数。区域生态环境的好坏还体现在区域生态环境的承载能力,一般而言,区域的生态环境承载指数越高,表明该区域的生态环境建设越好,承载经济增长的潜力就越高,这里采用人口密度、单位绿地面积人口数、单位面积工业废弃物排放量等 3 个指标来衡量。

(8) 生态环境保护指数。生态环境保护指数集中反映了区域生态环境的保护力度和强度,一定程度上反映了区域的生态环境综合发展程度,本研究的生态环境保护指数采用工业废水排放量达标率、工业固体废弃物综合利用率、“三废”综合利用产品产值等 3 个指标来衡量。

2 研究方法及计算结果

2.1 研究方法

2.1.1 熵值法和协调度模型 采用熵值函数模型和自组织映射(SOM)神经网络模型等主体数学模型,首先运用熵值函数模型^[8-9]计算出各指标的权重(表1),并计算出各市经济水平得分、经济结构得分、经济效率得分、经济活力得分、区域经济实力得分、大气环境得分、水环境得分、生态环境承载得分、生态环境保护得分、以及生态环境综合得分等10项。其次根据协调度模型^[10]计算经济与环境协调度。在此基础上,运用SOM神经网络模型对其进行归类,揭示出各地市的空间格局特征及内在的可能驱动因子。

2.1.2 SOM神经网络模型 人工神经网络模型有很多种,其中SOM神经网络是其应用最为广泛的方法之一。该模型的网络结构由一个输入层和一个竞争层构成,输入层与竞争层之间实现全互连接,有时竞争层各神经元之间还实行侧抑制连接。其典型特

点在于通过模拟人类大脑神经处理信息的方式,进行信息处理,即可以通过对客观事件的反复观察,分析与比较,自行提示其内在的规律,并对具有共同特征的事物进行正确的分类。目前,该模型已经被成功引入到社会、经济等各领域,并取得了一定的实效^[11-15]。

2.2 计算结果

2.2.1 熵值法计算结果 利用熵值函数模型计算出各指标的权重,为消除各指标量纲对结果的影响,这里把指标分为正相关和负指标两类,公式为:

$$\text{对于正相关指标,标准化公式为: } x_{ij} = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$$

$$\text{对于负相关指标,标准化公式为: } 1 - x_{ij} = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$$

式中: x_{ij} ——第*i*个地区的第*j*个指标的标准化值; x_j ——第*j*项指标值; $x_{j\max}$, $x_{j\min}$ ——第*j*项指标的最大、最小值。

根据熵值法的计算步骤^[16-17]进行计算,结果详见表2。

表2 陕西省各地市指标统计

市(区)	西安	铜川	宝鸡	咸阳	渭南	延安	汉中	榆林	安康	商洛
经济水平得分	0.143	0.026	0.049	0.027	0.005	0.031	0.006	0.029	0.002	0
经济结构得分	0.027	0.029	0.023	0.021	0.014	0.025	0.016	0.021	0.017	0.012
经济效率得分	0.149	0.029	0.035	0.051	0.017	0.048	0.003	0.041	0.001	0
经济活力得分	0.010	0.008	0.011	0.012	0.015	0.009	0.009	0.023	0.009	0.008
区域经济发展综合得分	0.330	0.093	0.118	0.111	0.051	0.113	0.035	0.114	0.030	0.020
大气环境得分	0.025	0.004	0.042	0.045	0.025	0.059	0.054	0.051	0.060	0.058
水环境得分	0.036	0.041	0.036	0.038	0.038	0.041	0.002	0.041	0.041	0.036
生态环境承载力得分	0.007	0.007	0.009	0.008	0.006	0.010	0.009	0.010	0.005	0.005
生态环境保护得分	0.018	0.013	0.012	0.017	0.040	0.011	0.026	0.005	0.012	0
生态环境综合得分	0.086	0.064	0.099	0.107	0.107	0.121	0.092	0.107	0.117	0.100

2.2.2 协调度计算结果 依据熵值函数模型计算出陕西省整体及各市域的综合指数 $f(x)$ 和 $f(y)$,然后计算出协调度 C 和耦合协调度 D ^[10]。本研究认为区域经济的发展与其环境质量的持续改善同等重要,因而权重相等,计算结果详见表3。

表3 陕西省经济与环境协调发展的表征判断

市(区)	$f(x)$	$f(y)$	C	T	D
西安	0.330	0.086	3.102	0.208	0.803
铜川	0.093	0.064	5.049	0.078	0.629
宝鸡	0.118	0.099	4.296	0.108	0.682
咸阳	0.111	0.107	4.286	0.109	0.683
延安	0.121	0.113	4.134	0.117	0.696
榆林	0.114	0.107	4.258	0.110	0.685
渭南	0.051	0.107	5.023	0.079	0.631
汉中	0.035	0.092	5.618	0.063	0.597
安康	0.03	0.117	5.223	0.073	0.619
商洛	0.02	0.100	5.783	0.060	0.588
综合	0.101	0.100	4.677	0.100	0.661

借助上述分析和已有的研究^[18],按照 D 的大小将区域经济发展与生态环境耦合发展状况分为10类(表4)。

2.2.3 SOM神经网络模型计算结果 首先,利用函数newsom导入标准化之后的数据,创建一个自适应特征映射网络,确定网络的输入模式为: $P^k = (P_1^k, P_2^k, \dots, P_n^k)$, $k=1,2,\dots,10$; $n=5$,即共有10组样本向量,输入层的神经元个数为10个,而竞争层神经元的个数取决于10个地区最终被分为几类。为使最终分类结果尽量接近客观事实,故分别取3类、4类、5类进行学习,并选取较优者。

然后利用训练函数Train和仿真函数sim对网络进行训练并仿真。在Matlab 7.0软件中应用神经网络工具箱(NNTTool),选取网络类型Self-organizing map,各项参数设置为默认值,结果显示,经过100次的训练之后,网络的误差达到设定的精度,分类已比

较稳定。经过比较分析,当结果分为 5 类时网络分类结果最接近实际情况,故将其作为最终采纳结果并通

过 ArcGis 9.2,将分类结果以空间分布图的形式表现出来(图 1),分析结果详见表 5。

表 4 协调度等级分类

耦合协调度 D	[0,0.1)	[0.1,0.2)	[0.2,0.3)	[0.3,0.4)	[0.4,0.5)
协调等级	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调
耦合协调度 D	[0.5,0.6)	[0.6,0.7)	[0.7,0.8)	[0.8,0.9)	[0.9,1)
协调等级	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调

表 5 陕西省经济发展与生态环境耦合的空间差异

项目	关中平原混合协调发展类环境滞后型(1类)	关中平原初级协调发展类环境滞后型(2类)	陕北高原初级协调发展类环境滞后型(3类)	关中平原初级协调发展类经济滞后型(4类)	陕南山地混合协调发展类经济滞后型(5类)
经济水平得分	0.085	0.038	0.030	0.005	0.003
经济结构得分	0.028	0.022	0.023	0.014	0.015
经济效率得分	0.089	0.043	0.044	0.017	0.001
经济活力得分	0.009	0.012	0.016	0.015	0.009
区域经济发展综合得分	0.211	0.114	0.113	0.051	0.028
大气环境得分	0.014	0.043	0.055	0.025	0.057
水环境得分	0.038	0.037	0.041	0.038	0.026
生态环境承载力得分	0.007	0.014	0.010	0.006	0.006
生态环境保护得分	0.015	0.009	0.008	0.040	0.013
生态环境综合得分	0.075	0.103	0.114	0.107	0.103
耦合协调度 D	0.716	0.683	0.690	0.631	0.601

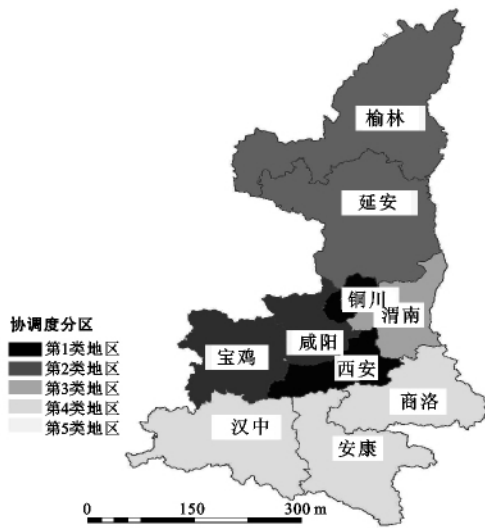


图 1 陕西省 10 市域经济与环境协调度分区

处于[0.6,0.7],属于初级协调阶段。这反映出该省的经济状况与生态环境的协调性整体偏低,经济发展与生态环境保护亟待提高。

(2) 从空间分布上看(图 1),耦合协调度最低的市域均分布在陕南地区,较高的几个区域均分布在陕北地区和关中地区,南北分异明显。这与既往的研究结论相类似,又表现出部分差异。这一特征的形成机理虽然有其固有的地理因素,也有其经济发展因素。

(3) 同理,位于相似区位的区域具有一定的相似性,反之则表现出一定的差异性。从聚类结果来看,各类型区域具有明显的地理区位趋同性,且相邻类别区域具有较强的地理邻近性。1,2 类地区无一例外地分布在经济较为发达的关中平原,第 3 类分布于陕北黄土高原,第 5 类的区域则全位于陕南山地(图 1)。

3.2 局部特征分析

为了详细探讨各类地区之间经济发展与生态环境耦合协调度的差异及其具体原因,在深入分析陕西省 10 个地市实际经济发展状况与生态环境的基础上,根据表 2 数据值的特点,结合 SOM 方法将陕西省 10 个市域分为 5 类,结合表 2 和表 5 所示的各类别市

3 结果分析及解释

3.1 总体特征分析

(1) 在陕西省 10 个市域中,耦合协调度最高的是西安市,达到了 0.803,根据表 4 协调度等级的分类,属于良好协调发展类型;最低的是商洛市,耦合协调度为 0.588,属于勉强协调类型,而大部分市域都

域的综合指标平均值即反映各类别区域之间存在明显的差异。

3.2.1 关中平原混合协调发展类环境滞后型 该类区域包括西安和铜川市两个地区,均分布在关中平原。其中,该类区域在经济水平得分、经济效率得分、经济结构得分、区域经济综合实力得分、耦合度得分等方面均处于领先地位,表明该类型区域经济与生态环境发展的较为协调,区域发展以经济建设为主导,且在经济水平、经济效率、经济结构、区域经济综合实力等方面具有较强的比较优势,而生态环境方面的各项指标的比较优势并不明显,深入分析可发现,该类区域是关中地区人口、经济最为集聚的区域,加之关中地区本来就是资源性缺水及人地关系较为复杂的地区,经济发展也尚未完全进入后工业化时代,经济发展对环境的正效益并未完全体现。在局域特征上,该类区域的内部特征也较为明显。西安地区除在水环境、生态环境承载力等方面得分较低以外,其它各方面均高于铜川地区,这可能与该地区是陕西省经济发展的核心,无论是经济发展还是生态环境建设等均具有一定的示范性带动作用,且该区域在经济发展的同时较为注重生态环境的保护。因而,经济发展与生态环境的耦合程度较高,达到了 0.803,为区域最高值,属于良好协调发展型。未来该区域应加大水资源的保护及循环利用效率,加大城市绿化建设等,以实现经济发展与生态环境建设的良性互动。铜川地区是关中地区典型的资源型城市,虽然经济发展与生态环境相对耦合,但是并不具有比较优势,该区域未来的发展应加大产业结构调整力度,促进产业结构的优化升级,依托资源产业发展的同时,加大并扶持环境友好型产业的发展,以实现经济发展与生态建设的双效益体现。

3.2.2 关中平原初级协调发展类环境滞后型 该类区域包括宝鸡、咸阳市 2 个区域,均分布在关中平原。其中,经济效率、经济水平、大气环境得分、水环境得分、区域经济综合实力得分较高,耦合度得分为 0.683,接近 0.70,表明该类别区域的经济发展与生态环境相对协调,但经济发展相对占优,生态环境的发展处于相对劣势地位。与此同时,该类别区域经济效率和经济水平相对较好,生态环境方面仅生态环境保护得分相对较低,仅为 0.009。究其原因,该类别区域的植被覆盖率、森林覆盖率等相对较好,生态环境的基底值相对较好,但是在经济发展的同时,对于生态环境的保护却趋于弱化,从而使得该类别区域的生态环境保护得分相对较低。而原始数据也说明了

这些问题,如宝鸡市的人均社会消费品总额达到 6 200.68 元,在 10 个市域中,仅次于西安地区,排名第二,又如咸阳的地均 GDP 达到了 749.86 万元,远高于其他市域,这些指标对综合经济的发展贡献率都较大,与此同时,两地区的人均绿地面积也有比较优势。

3.2.3 陕北高原初级协调发展类环境滞后型 该类区域包括延安、榆林市 2 个地市,均分布在陕北高原。其中,经济效率均值得分、经济水平、大气环境均值得分、水环境均值得分、生态环境综合得分等几类得分较高,表明该类别区域的经济发展与生态环境相对协调,但生态环境的发展相对占优。与此同时,该类别经济水平和经济效率相对较好,生态环境方面仅生态环境保护得分相对较低,仅为 0.008。结合这两个区域的实际情况分析,位于陕北黄土高原地区,生态脆弱,过去水土流失严重,近年国家加大环境保护力度,植树造林,其中榆林市的人均绿地面积达到了 37.55 m²/人,延安市的工业废水排放达标率也达到了 99.58%,这些数据都说明当地对生态环境保护的高度重视。未来该区域的发展更应当加快水土流失区的生态环境工程建设,并合理安排“无耕”农民的经济来源问题,防止已修复生态环境的再次破坏,与此同时亦要加快经济的发展。

3.2.4 关中平原初级协调发展类经济滞后型 第 3 类区域仅包括渭南市,其中,该类区域经济活力和生态环境保护方面得分较高,但是在经济水平、经济结构、大气环境、生态环境承载力、耦合度等 5 个方面的得分较低,表明该类别区域的经济增长虽然较具增长活力,但是整体的经济增长水平、经济结构等较低,经济结构尚待优化。不仅如此,该区域经济发展与生态环境的耦合程度也较低,处于初级协调水平,即经济增长方式较为粗放,对生态环境的影响较其他区域明显。结合渭南地区是一个农业大市,但在工业方面,规模偏小,实力不强,技术水平较低,产业、产品和组织结构不合理,适应市场需求变化的能力较差。从原始数据可以看出,渭南第一产业从业人员比重(3.14)为最高值,第二三产业产值比重较低。未来该区域的发展应合理引导人口集聚,转变经济增长方式,优化经济产业结构,以实现经济发展与生态环境的长远可持续发展。

3.2.5 陕南山地混合协调发展类经济滞后型 该类区域包括汉中、安康、商洛 3 个地区,其中,该类区域的经济水平、经济效率、经济活力、区域经济实力、水环境、耦合度等方面均是 5 类中的最低值,如商洛市人均 GDP 为 7 291.0 元,人均社会消费品消费总额为

2 508.6元,这些指标排序均较为靠后。分析其形成原因,陕南地区位于秦巴山地,地貌类型是山地为主,虽然生态环境良好,但经济发展长期较为滞后,可供大规模开采利用的矿产能源资源也相对较少,故总体上呈现经济发展与生态环境不甚耦合的格局,但是区内也存在一定差异。如商洛地区的经济发展与生态环境的耦合程度仅为 0.588,处于勉强协调发展类,表明该区域的经济发展对生态环境产生了一定的负作用,未来该区域的发展应注重生态环境的保护和开发,避免走先污染后治理的老路。

4 结论

(1) 构建了区域经济发展与生态环境耦合的评价指标体系,运用熵值法进行了权重计算,有效避免了人工赋权的主观性。对 2009 年陕西省 10 个地级市的经济发展与生态环境耦合关系进行了分析,有助于陕西省各市根据经济发展与生态环境制定合理的协调发展的空间政策。

(2) 应用 SOM 神经网络模型对陕西省 10 个地级市的经济发展与生态环境耦合的关系进行了分类,较之传统协调度等级分类方法更为全面,并将 10 市域分成 5 类,第 1 类地区包括西安、铜川市两个地区;第 2 类地区包括咸阳、宝鸡市 2 个地区;第 3 类地区包括延安、榆林市 2 个区域;第 4 类地区包括渭南市;第 5 类地区包括商洛、安康、汉中市 3 个地区。

(3) 陕西省的经济发展与生态环境的协调性整体偏低,经济发展与生态环境保护亟待提高;其次各类型区域的分布具有明显的区位趋同性,且相邻类别区域具有较强的地理邻近性,各类型区域南北分异较为明显,但各类型区域内部由于地理上的邻近性等多种因素的驱动,差异并不显著。

(4) 神经网络的非线性、有监督学习以及一定的推广及概括能力使其在尽量完整保留指标信息的同时,较好地反映了系统的非线性特点,使得网络具有较强的泛化能力,不失为一种有效的评价方法。

(5) 虽然本研究采用了熵值法和 SOM 等方法对陕西省 10 市域的经济发展与生态环境耦合状况进行了分析和解释,但尚有一些问题值得商榷:① 各地区的差异较小及其内在机理有待进一步研究;② 本研究通过构建经济水平、经济结构、经济效率和经济活力来评价区域经济发展水平;生态环境方面以大气环境、水环境、生态环境承载力和环境保护方面来评价,

如果评价指标体系和研究方法发生了变化,研究结果将有何变化。

[参 考 文 献]

- [1] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999,19(2):171-177.
- [2] 张晓东,池天河. 90 年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J]. 地理研究,2001,20(4):506-515.
- [3] 赵雪雁. 甘肃省经济发展与环境质量的交互耦合关系[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(6):1-7.
- [4] 吴跃明,郎东锋,张子珩. 环境—经济系统协调度模型及其指标体系[J]. 中国人口·资源与环境,1996,6(2):47-50.
- [5] 胡鹏,许开鹏,杨建新,等. 经济发展对环境质量的影响:环境库兹涅茨曲线国内外研究进展[J]. 生态学报,2004,24(6):1260-1266.
- [6] 傅威,林涛. 区域社会经济发展与生态环境耦合关系研究模型的比较分析[J]. 四川环境,2010,29(3):102-109.
- [7] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报,2005,60(2):237-247.
- [8] 秦永东,欧向军,甄峰. 基于熵值法的人居环境质量评价研究:以徐州市为例[J]. 城市问题,2008(10):19-24.
- [9] 延军平. 西北经济发展与生态环境重建研究[M]. 北京:中国社会科学出版社,2008.
- [10] 方创琳,宋吉涛,蔺雪琴. 中国城市群可持续发展理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2010:279-280.
- [11] 周杜辉,李同昇. 基于 FA—SOM 神经网络的农业技术水平省际差异研究[J]. 科技进步与对策,2011,28(3):117-121.
- [12] 周杜辉,李同昇,哈斯巴根. 陕西省县域综合发展水平空间分异及机理[J]. 地理科学进展,2011,30(2):205-214.
- [13] 许月卿,李双成,蔡运龙. 基于 GIS 和人工神经网络的区域贫困化空间拟分析[J]. 地理科学进展,2006,25(3):79-85.
- [14] 周杜辉,李同昇,哈斯巴根. 陕西省县域综合发展水平空间分异及对策研究[J]. 人文地理,2011(1):71-75.
- [15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002:436-456.
- [16] 乔家君. 改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J]. 资源科学,2004,26(1):113-118.
- [17] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践,1998(12):98-102.
- [18] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999,19(2):174.