

文章编号:1003 - 207(2009)03 - 0183 - 07

基于对应分析的生态评价模型及 典型省份的实证研究

迟国泰,沈一侠,秦学志

(大连理工大学管理学院,辽宁 大连 116024)

摘要:利用“驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)”五因素模型构建了生态系统综合评价指标体系的框架,应用离差最大化的方法确定指标权重,应用灰色关联的方法为指标打分,应用对应分析方法建立差别生态改进模型,建立了基于对应分析的综合评价模型。本文的创新与特色一是通过采用 DPSIR 概念框架构建指标体系,将人的需求、经济发展和社会进步等要素纳入到生态系统评价中,克服了现有生态评价只片面关注环境与资源状况或者只关注环境保护与治理状况的不足。二是通过对应分析同时对典型省和生态指标进行 R 型和 Q 型因子分析,在损失最小的情况下,利用最少的维度表示样本和指标的信息。三是通过对应分析图,得出差别生态改进具体方案,以达到有针对性且投资少见效快的生态改观的目的。四是通过在压力准则层中加入自然灾害指数反映自然灾害对生态的影响,改进了 DPSIR 模型只考虑到人类的活动对于自然环境和资源的压力的片面性。

关键词:生态系统;综合评价;DPSIR 模型;对应分析

中图分类号:N945.16;F205;X24 **文献标识码:**A

1 引言

科学发展观内涵是“坚持以人为本,全面、协调、可持续的发展观”。基于科学发展观的生态系统评价即是根据科学发展观的要求对生态状况的好坏进行评价。生态环境的优劣不仅是影响现阶段人们生活重要因素之一,并且也是决定人类未来发展的重要因素之一。因此建立区域生态评价模型便于政府强化对生态水平的预警预测,协调人类发展和生态水平之间的关系。

(1) 生态评价指标体系的研究现状

一是国际权威机构可持续发展指标体系。代表性的有:联合国世界环境与发展委员会(1987)发表的《我们共同的未来》^[1],联合国统计局(1994)的巴特尔穆茨^[2],世界银行(1995)^[3],联合国统计局,联合国开发计划署,联合国环境规划署,联合国儿童基

金会和亚太经社理事会(1996)^[4]。

二是国内权威机构的生态系统评价体系。代表性的有:原国家环保局于20世纪80年代末和90年代末^[5],国家环境保护总局“十一五”期间^[6],社科院世界经济与政治研究所《具有中国特色的国际竞争力研究》课题组设计^[7]。

三是学术文献整理得出的评价体系。比较有代表性的是梁保平等(2004)^[8],陈亮等(2007)^[9]。国外学者基于欧洲环境局 EEA(1999)提出的 DPSIR 模型的框架,针对某些特别的生态问题,建立了评价指标体系。代表性的有 Michel Meybeck 等利用 DPSIR 模型揭示了 1950 - 2005 年法国塞纳河的重金属含量的历史变迁^[10];Stephen C. Mangi 等运用 DPSIR 模型评价了过渡捕捞和齿轮机器等设备的使用对肯尼亚海洋珊瑚礁生态系统的影响^[11]。

总之,以上生态系统指标体系共同的不足是忽视了应以人文本、人类与自然协调发展的核心的生态系统,不能充分体现科学发展观的内涵和本质。

(2) 生态评价方法的研究现状

一是基于主客观排序评价方法的生态评价研究。吴开亚等(2004)运用主成分投影法评价区域生态安全^[12],王惠勇等(2007)运用主成分分析法评价城镇土地生态安全^[13],Yi-fei WEI 等利用 AHP 法评价生态环境质量^[14]。

收稿日期:2008 - 11 - 07;修订日期:2009 - 05 - 20

基金项目:国家社会科学基金重大项目(06 & ZD039);大连理工大学人文社会科学研究基金重大项目(DUTHS2007101)

作者简介:迟国泰(1955 -),男(汉族),黑龙江海伦人,大连理工大学管理学院,教授,博士生导师,管理科学与工程博士,研究方向:复杂系统评价。

二是基于差别针对性改进生态环境的生态评价研究。苏艺等(2004)运用对应分析法评价地下水环境系统从众多因素筛选出“环境因子最优化结构”^[15],申明金(2005)运用对应分析法找出造成环境污染的主要因素^[16]。

第一类评价方法主要侧重整体和某类指标的排序,不能具体反应出影响区域生态的重要指标。第二类评价研究可以有效的找到影响环境或者造成的指标,但是没有被推广应用整个领域。此外,上述研究没有将两类评价方法结合在一起应用。

2 区域生态系统综合评价指标体系的建立

2.1 指标体系准则层的建立

2.1.1 驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应五要素准则

在 DPSIR 概念模型中,“驱动力”是指造成环境变化的潜在原因;“压力”是指人类活动对其紧邻的环境的影响;“状态”是指环境在上述压力下所处的状况;“影响”是指系统所处的状态对人类健康和社会经济结构的影响;“响应”过程表明人类在促进可持续发展进程中所采取的对策和制定的积极政策。DPSIR 模型中 5 要素之间的内在联系:社会和经济发展的驱动力产生环境和资源的压力;反过来这些压力导致自然面貌、能源环境状态的变化;自然环境的改变又反作用在人身上,影响着人类社会的发展;同时政府和个人对人类活动给自然带来的危害做出积极回应,采取了种种措施。

2.1.2 DPSIR 模型的特点

(1)反映了生态系统的自然状态,将“人的因素”纳入到体系中。符合以人为本的科学内涵,体现了人类与自然和谐发展的科学发展观的本质。

(2)揭示了构成指标体系的要素之间的内在联系,反映了生态系统作为一个涉及到人类活动与自然面貌相互影响、相互作用的复杂生命系统的特点,但有时找出这种因果关系十分困难,因为 DPSIR 模型中各部分间的因果关系体现了一种动态机制。

(3)反映了环境问题起源和结果的关系,揭示了社会对于环境污染、生态破坏、资源耗损等问题“响应”的有效性,为国家和地区制定政策提供依据。

2.2 指标体系因素层的建立

DPSIR 模型仅仅是一个概念框架。根据此框架研究的不同科学问题,其具体的指标体系也不同。本文根据科学发展观的思想,遵循国际和国内权威机构经典文献指标的高频原则,结合在实践中可观

测的数据,在 DPSIR 框架下构建了评价体系的因素层和指标层如表 1 的第 2、3 列所示。

2.3 区域生态系统评价指标的筛选

2.3.1 区域生态系统评价指标的特点

同样的指标体系以国家为对象评价是可观测的,但对区域评价则由于统计资料的原因而无法得到。因此,区域评价具有不同的特点:

(1)可比性特点

应用“沙土化面积比重”替换“沙土化面积”,更真实反映不同地区的沙土化程度。因为对这个单一对象进行不同年份的生态评价不同,不同区域的横向评价时,因不同区域本身的面积不同,“沙土化面积”是一个不可比性指标。

(2)可观测性特点

应用“人均准绿色 GDP”替代“人均绿色 GDP”使数据容易获取,否则无法评价。应用“人均生活用电量”替代“能电消费系数”和“人均生活能源消费量”,也由于指标的可观测性。

2.3.2 区域生态系统评价指标的筛选

(1)根据权威机构生态评价中出现过的高频率指标筛选 D₁₁人口增长率、S₂₁森林覆盖率等 11 个指标,如表 1 第 5、6 列所示。

(2)根据经济发展与自然和谐原则选取人均绿色 GDP 指标。R₂₂人均准绿色 GDP 是综合反映了国民经济活动的成果和经济发展与自然资源的和谐程度。如表 1 第 1 行第 5、6 列所示。

(3)根据全面性和代表性原则筛选的 20 个指标。筛选 D₁₃人口密度、D₂₁人均 GDP 等 10 个指标。特别地,在“环境与自然灾害压力 P₂”因素层使用 P₂₅自然灾害指数这一指标,反映了除人类活动对自然环境和资源的压力之外,自然对生态系统本身的破坏,体现了全面性原则。如表 1 第 5、6 列所示。

(4)剔除无法获得数据的指标反映评价的可观测性特点。剔除 I 影响层的“酸雨频率”、“大气污染指数”、“水土流失率”、“环境污染伤亡人数”,R 响应层“生态保护与建设相关制度的完善与执行”等指标,理由是数据无法获取。

2.4 区域生态系统评价指标体系的构建

根据 2.1 准则层构建思路、2.2 因素层的构建方法和 2.3 指标筛选原则,建立了包含 D 驱动力、P 压力、S 状态等 5 个准则层,共 37 个指标的生态系统评价指标体系。如表 1 第 2 - 4 列所示。

2.5 区域生态系统评价相关指标的解释与计算

(1)自然灾害指数的计算

表 1 中国省级行政区生态评价指标体系及权重

(1) 序号	(2) 准则层	(3) 因素层	(4) 指标层	(5) 参考文献	(6) 指标选取依据	各指标权重			
						(7) 离差 F_i	(8) 准则层权重	(7) 各指标权重 w_i	
1	驱动力 D	人口	D ₁₁ 人口增长率(适中)	[1][3][4]	2.3.2(1)	67.68367347	W ₁ = 0.193742	0.037322	
2		变化	D ₁₂ 城乡人口数比重/城市化率(适中)	[18][19]	2.3.2(3)	53.00656178		0.029229	
3		D ₁	D ₁₃ 人口密度(负向)	[19]	2.3.2(3)	38.79344467		0.021391	
4		经济	D ₂₁ 人均 GDP(正向)	[18]	2.3.2(3)	51.13237559		0.028195	
5		发展	D ₂₂ GDP 增长率(适中)	[1][3][4][7][18]	2.3.2(1)	31.27164179		0.017244	
6		需求	D ₂₃ 城市人均居住面积(正向)	[3]	2.3.2(1)	53.87810761		0.029709	
7		D ₂	D ₂₄ 社会消费品零售总额增长率(正向)	[1][7]	2.3.2(1)	55.58823533		0.030652	
8	压力 P	资源	P ₁₁ 单位水资源工业废水负荷(负向)	[20]	2.3.2(3)	49.74894302	W ₂ = 0.207057	0.027432	
9		压力	P ₁₂ 建设用地增长率(负向)	[20]	2.3.2(3)	49.23250083		0.027148	
10		P ₁	P ₁₃ 人均生活用电量(负向)		2.3.2(3)	54.85545935		0.030248	
11		环境	P ₂₁ 万元 GDP 工业废水排放总量(负向)		2.3.2(3)	37.83513577		0.020863	
12		与自	P ₂₂ 万元 GDP 工业废气排放总量(负向)		2.3.2(3)	46.65772949		0.025728	
13		然灾	P ₂₃ 万元 GDP SO ₂ 排放强度(负向)	[21]	2.3.2(3)	49.97680073		0.027558	
14		害压	P ₂₄ 万元 GDP 固废排放强度(负向)	[21]	2.3.2(3)	39.24164633		0.021638	
15		力 P ₂	P ₂₅ 自然灾害指数(次数)多合一(负向)		2.3.2(3)	47.95218750		0.026442	
16	状态 S	资源	S ₁₁ 人均耕地面积(正向)	[18]	2.3.2(3)	46.32717785	W ₃ = 0.254672	0.025546	
17		状态	S ₁₂ 人均水资源量(正向)	[1][3][4][6][17]	2.3.2(1)	69.23301782		0.038176	
18		S ₁	S ₁₃ 万元 GDP 综合能耗(负向)	[3]	2.3.2(1)	48.35079515		0.026661	
19		S ₂₁	S ₂₁ 森林覆盖率(正向)	[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	59.76496601		0.032955	
20		S ₂₂	S ₂₂ 自然保护区个数(正向)	[3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	52.68203388		0.029050	
21		S ₂₃	S ₂₃ 生态示范区个数(个)(正向)	[3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	63.66315790		0.035105	
22		S ₂₄	S ₂₄ 湿地面积占区域面积比重(正向)		2.3.2(3)	32.78869420		0.018080	
23		S ₂₅	S ₂₅ 人均公共绿地面积(正向)	[3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	39.59491528		0.021833	
24		S ₂₆	S ₂₆ 噪声达标面积(正向)	[1][3][4][6][17]	2.3.2(3)	49.37403134		0.027226	
25		影响 I	I ₁	U ₁₁ 污染事故罚款总额(负向)	[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)		30.41730712	W ₄ = 0.096403
26	U ₁₂ 污染直接经济损失(负向)			[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	29.79242491	0.016428		
27	U ₁₃ 环境污染破坏事故次数(负向)			[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	55.04400000	0.030352		
28	U ₁₄ 沙土化面积比重(负向)				2.3.2(3)	59.57451835	0.03285		
29	响应 R	R ₁	R ₁₁ 城市污水处理率(正向)	[19]	2.3.2(3)	54.62083580	W ₅ = 0.248165	0.030119	
30			R ₁₂ 当年造林面积(正向)	[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	67.31269036		0.037117	
31			R ₁₃ 三废处理达标率(正向)		2.3.2(3)	53.89801566		0.029720	
32			R ₁₄ 生活垃圾无害化处理率(正向)	[18][19]	2.3.2(3)	50.77348701		0.027997	
33			R ₁₅ 建成烟尘控制区面积(正向)	[1][3][4][17]	2.3.2(1)	60.20330373		0.033197	
34			R ₂₁ 环境污染治理占 GDP 比重(正向)	[1][3][4][6][7][17]	2.3.2(1)	45.43489933		0.025054	
35			R ₂₂ 人均准绿色 GDP(正向)		2.3.2(2)	42.98169848		0.023701	
36			R ₂₃ 第三产业产值占 GDP 的比值(正向)		2.3.2(3)	38.82481752		0.021409	
37			R ₂	R ₂₄ 研发投入占 GDP 的比例教育费用占 GDP 的比重(正向)	[13]	2.3.2(3)		36.00000000	0.019851

注:(1)沙土化面积比重 = 各省沙土化面积 / 省级行政区面积;(2)由于“影响 I”准则层指标数量少,因此只有一个因素层。

自然灾害指数 = 地质灾害次数 + 森林火灾次数
(1)

自然灾害包括众多类别,但 2.3.2(4)中仅“地质灾害次数”和“森林火灾次数”可查。

(2) 三废处理达标率的计算

在现有统计资料中没有对各省级行政区的 R₁₃ 三废处理达标率进行统计。故本文采用式(2)近似反映 R₁₃ 三废处理达标率。

设:r₁ - 工业废水排放达标率;r₂ - 工业废气排

放达标率;r₃ - 固体废弃物综合利用率;r₂' - 工业 SO₂ 排放达标率;r₂" - 工业烟尘排放达标率;r₂" 工业粉尘排放达标率。则

$$R_{13} = (n_1 + n_2 + n_3) / 3 \tag{2}$$

其中

$$n_2 = (n_2 + n_2' + n_2'') / 3 \tag{3}$$

3 区域生态系统评价模型的建立

3.1 评价原理

在五要素框架下,运用对应分析,分五个准则层对 14 个典型省份进行评价。从对应分析图上可看出适合区域改善某一两个指标,进而最有效的提高其生态水平。并且基于离差最大化的灰色关连分析,得出综合排名,弥补对应分析只能从图中主观判断距离的不足。主客观相结合,给出政策建议。

3.2 基于对应分析的差别生态改进方案的建立

(1) 对评价指标的原始数据进行规范化处理,得到规范化矩阵。

(2) 根据(1)确定的规范化矩阵分 5 个准则层分别对评价样本对应分析。

(3) 通过(1)确定的规范化矩阵计算各指标的离差,用离差最大化方法对指标客观赋权。

(4) 通过(1)确定的规范化矩阵计算每个评价样本各指标的灰色关联度,即对指标打分。

(5) 通过(3)确定的权重和(3)确定的分数得到各省级行政区在准则层和综合评价的得分及排名。

(6) 根据(5)确定的综合和各准则层的排名分析 14 个地区的分布情况

(7) 根据(2)对应分析的结果,分 5 个准则层分析指标与样本之间的相互关系。

3.3 指标的规范化

(1) 正向指标的规范化

正向指标即数值越大表明生态状况越好的指标。设: Z_{ki} - 第 i 个地区第 k 个指标规范化处理后的值; V_{ki} - 第 i 个地区第 k 个指标的值; n - 被评价地区的个数。则现有研究正向指标的规范化形式为

$$Z_{ki} = \frac{V_{ki} - \min_{i,n}(V_{ki})}{\max_{i,n}(V_{ki}) - \min_{i,n}(V_{ki})} \quad (4)$$

式(4)的主要弊端是在进行特定指标数值计算时,其分子会出现为 0 的情况。

为了改变式(4)的状况,对变换后的指标进行缩小和平移,则 Z_{ki} 的表现形式为

$$Z_{ki} = \frac{V_{ki} - \min_{i,n}(V_{ki})}{\max_{i,n}(V_{ki}) - \min_{i,n}(V_{ki})} \times 0.9 + 0.1 \quad (5)$$

式(5)改进的合理性的理由有二:一是对所有评价指标进行等倍数缩小并不影响评价结果;二是对所有数据进行等距离平移也并不影响评价结果。

(2) 负向指标的规范化

负向指标即数值越小表明生态状况越好的指标。设: Z_{ki} - 第 i 个地区第 k 个指标规范化处理后的值; V_{ki} - 第 i 个地区第 k 个指标的值; n - 被评价

地区的个数。

根据负向指标的规范化公式,同正向指标一样经过 0.9 倍的缩小和 0.1 倍的变换后, Z_{ki} 为

$$Z_{ki} = \frac{\max_{i,n}(V_{ki}) - V_{ki}}{\max_{i,n}(V_{ki}) - \min_{i,n}(V_{ki})} \times 0.9 + 0.1 \quad (6)$$

式(6)与式(5)有相同的含义。

(3) 适中指标的规范化

适中指标是越接近某一个特定的值越好的指标。设: V_{k0} - 第 k 个指标的理想值; V_{ki} - 第 i 个样本本地区第 k 个指标的值; n - 被评价城市的个数。

根据适中指标的规范化公式,同正向指标一样经过 0.9 倍的缩小和 0.1 倍的变换后, Z_{ki} 为

$$Z_{ki} = \left\{ 1 - \frac{|V_{k0} - V_{ki}|}{\max[V_{k0} - \min_{i,n}(V_{ki}), \max_{i,n}(V_{ki}) - V_{k0}]} \right\} \times 0.9 + 0.1, V_{ki} < V_{k0} \quad (7)$$

$$Z_{ki} = 1, V_{ki} = V_{k0} \quad (8)$$

3.4 不同省份生态发展水平的对应分析

3.4.1 对应分析的基本原理

对应分析的基本思想是将一个联列表的行和列中各元素的比例结构以点的形式在较低维的空间中表示出来。它最大特点是能把众多的样品和众多的变量同时作到同一张图解上,是一种直观、简单、方便多元统计方法^[15]。

对应分析法整个处理过程由两部分组成:数据表格和对应分析图。对应分析法中的表格是一个二维的表格,由行和列组成。每一行代表事物的一个属性,依次排开。列则代表不同的事物本身,它由样本集合构成,排列顺序并没有特别的要求。在对应分析图上,各个样本都浓缩为一个点集合,而样本的属性变量在图上同样也是以点集合的形式显示出来。其分析步骤是^[16]

(1) 设原始资料矩阵为

其中 N 为样品(本文中, N 为被评测的 14 个典型省份), P 为指标(本文中, P 为对应分析模型中 5 个准则层的分别为 7、8、9、4 和 9 个评价指标)。 X_{ij} 为第 i 个样品第 j 个指标观察值。

(2) 将 X 按行、列分别求和 T

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1P} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2P} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ X_{N1} & X_{N2} & \dots & X_{NP} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$T = \begin{matrix} N & P \\ i=1 & j=1 \end{matrix} X_{ij} \quad (10)$$

(3) 对原始数据进行对应变换

$$Z_{(N \times P)} = [Z_{ij}] \quad (11)$$

$$\text{式中 } Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i.} \cdot X_{.j} / T}{\sqrt{X_{i.} \cdot X_{.j}}} \quad (i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, P).$$

(4) 因子分析

R 型。计算协方差阵 $A = ZZ$ 的特征值

$$1 \quad 2 \quad \dots \quad p$$

按其累计百分比 $\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \geq 80\%$, 取其前

m 个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, 并计算相应的单位特征向量 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$, 从而得 R 型因子载荷矩阵。

$$F = \begin{pmatrix} F_1 & F_2 & \dots & F_m \\ u_{11} \sqrt{\lambda_1} & u_{12} \sqrt{\lambda_2} & \dots & u_{1m} \sqrt{\lambda_m} \\ u_{21} \sqrt{\lambda_1} & u_{22} \sqrt{\lambda_2} & \dots & u_{2m} \sqrt{\lambda_m} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ u_{p1} \sqrt{\lambda_1} & u_{p2} \sqrt{\lambda_2} & \dots & u_{pm} \sqrt{\lambda_m} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Q 型。对上述 m 个特征根 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, 计算其对应于矩阵 $B = ZZ$ 单位特征向量 $Z_{u1} = V_1, Z_{u2} = V_2, \dots, Z_{um} = V_m$, 得 Q 型因子载荷矩阵。

$$G = \begin{pmatrix} G_1 & G_2 & \dots & G_m \\ V_{11} \sqrt{\lambda_1} & V_{12} \sqrt{\lambda_2} & \dots & V_{1m} \sqrt{\lambda_m} \\ V_{21} \sqrt{\lambda_1} & V_{22} \sqrt{\lambda_2} & \dots & V_{2m} \sqrt{\lambda_m} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ V_{N1} \sqrt{\lambda_1} & V_{N2} \sqrt{\lambda_2} & \dots & V_{Nm} \sqrt{\lambda_m} \end{pmatrix} \quad (13)$$

可以看出, A、B 两个矩阵之间存在着简单的对应关系, 而且将原始观测数据 X_{ij} 转换成 Z_{ij} , 使变量和样本具有对等性。故对于 Q 型分析, 是用 A 的结果导出 B 的特征值及特征向量。即从 R 型分析出发, 获得 Q 型分析的结果, 克服了当样本数量太大进行 Q 型分析的困难。

3.4.2 对应分析图的识别

(1) 在二维因子轴上作图

为了能在一张二维图上清楚的表现各省份和指标之间的关系, 这里分别提取 R 型和 Q 型因子分析的前两个因子 R_1, R_2, Q_1, Q_2 , 且因子 R_1 与 Q_1, R_2 与 Q_2 本质上相同, 分别用第一维度和第二维度作为 R_1 与 Q_1, R_2 与 Q_2 的统一标识, 可在第一维度和第二维度组成的坐标系中画出对应分析图。

(2) 基于生态水平的对应分析图的特点

对应分析提供了在同一平面上图示样本点群和变量点群, 这样使其能够直观地研究各省份与各生

态指标之间的关系, 因此该方法能够以最小的代价从一组原始数据中提取最多的信息。另外, 矩阵 A 与 B 有相同的特征值, 所以, 在样本空间中的第 k 个因子与指标空间中的第 k 个因子提供了相同的方差。故可用相同的因子轴去同时表示变量和样品, 于是 R 型和 Q 型的结果即可同时反映在一张图上。

在对应分析图中, 从二维坐标轴的 (0, 0) 点出发, 某个省份的点与某个指标的点在同一方位上距离较近, 则表明二者有较强的关联性; 若距离较远或不在同一方位, 则表明两者关联性较弱或无关联性。代表某个指标的点与另一个指标的点, 代表某个省份的点与另一个省份的点距离较近时表示两者为同类型的指标或地区; 反之亦然。如后文的图 2 所示, 北京 (8) 与城乡人口数比重 (D_{12}) 的方向一致并在其上方且距离很小, 说明北京与 D_{12} 的关系密切, 且其 D_{12} 高于平均水平, 说明北京在驱动力准则层下的提高应放在 D_{12} 上, 这样可以用最少的投资来最大程度提升其驱动力水平; 黑龙江 (12) 与人口密度 (D_{13}) 的方向一致并在其下方且几乎重合, 说明黑龙江与 D_{13} 关系非常密切且其 D_{13} 低于平均水平, 说明黑龙江在驱动力准则层下的提高应放在 D_{13} 上。

由于目前生态评价方面的研究主要是在生态排名方面, 并没有研究指出各个地区应在哪些指标上改进的方案。因此, 本文引入该法, 分别对驱动力、压力、状态、影响和响应这五个准则层与 14 个地区定量的进行评测和分析, 并且将评价结果进行与各准则层的排名情况进行联系和对比, 以期促进 14 个地区的生态环境的改观和规划。这正符合社会主义市场经济体制下高效率的要求, 并且符合科学发展观的内涵和抓主要矛盾的要求。

3.5 评价指标权重的确定

对于某一多指标评价问题, 设规范化后的指标值矩阵为 $P = (p_{ij})_{m \times n}$, 其中 $p_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 为第 j 个评价对象第 i 项指标规范化得到的值。设 w_i 为第 i 个指标的权重, $w_i > 0$, 并满足单位化约束条件。对于指标 i , 用 $F_{ij}(w)$ 表示评价对象 j 与其他所有评价对象指标值的离差 ($k = 1, 2, \dots, n$), 则

$$F_{ij}(w) = \sum_{k=1}^n |p_{ij} w_i - p_{kj} w_i| \quad (14)$$

因此, 对指标 i 而言, 所有评价对象与其他评价对象的总离差可表示为:

$$F_i(w) = \sum_{j=1}^n F_{ij}(w) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{kj}| w_i \quad (15)$$

根据离差最大化原理,构造最优化模型:

$$\max F(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{ik}| w_i$$

$$s. t. \begin{cases} w_i \geq 0 \\ \sum_{i=1}^m w_i^2 = 1 \end{cases} \quad (16)$$

解此最优化模型并进行归一化处理,可得:

式(17)的分子 $\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{ik}|$ 表示所有 n 个被评价对象第 i 个指标规范化后的值两两相减取绝对值再求和得到的离差,记为 F_i ;分母 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{ik}|$ 表示所有 m 个指标的离差 F_i 之和。

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{ik}|}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |p_{ij} - p_{ik}|} \quad (17)$$

3.6 评价指标的打分

设: r_{ij} - 第 j 个被评价对象第 i 个指标值与理想值的关联系数。根据关联系数计算公式,则

$$r_{ij} = \frac{\min_{i,m} \min_{j,n} (|p_{i0} - p_{ij}|) + \max_{i,m} \max_{j,n} (|p_{i0} - p_{ij}|)}{|p_{i0} - p_{ij}| + \max_{i,m} \max_{j,n} (|p_{i0} - p_{ij}|)} \quad (18)$$

其中, r_{ij} - 第 j 个被评价对象第 i 个指标值与理想值的关联度; p_{i0} - 第 i 个指标规范化后的理想值; p_{ij} - 第 j 个被评价对象第 i 个指标规范化后的值; m - 科技评价指标个数; n - 被评价对象的个数; α - 为分辨系数, $\alpha \in [0, 1]$, 一般按照国际惯例取为 0.5。

3.7 区域生态评价模型的建立

利用式(16)确定的权重 w_i 和式(17)的关联系数,可求出第 j 个评价对象的综合评价得分 z_j :

$$z_j = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_i \quad (19)$$

按各评价对象综合得分的大小排序可以得到 14 个省级行政区 2006 年生态水平的排名情况。

3.8 不同省份生态水平的 Ward 聚类

Ward 聚类法通过离差平方和对研究对象进行分类。设:把 n 个评价对象分成 k 类; S_i - 第 i 类的离差平方和 ($i = 1, 2, \dots, k$); n_i - 第 i 类的评价对象个数; $X_i^{(j)}$ - 第 i 类中的第 j 个评价对象规范化后的指标值向量 ($j = 1, 2, \dots, n_i$); \bar{X}_i - 第 i 类的指标平均值向量,则第 i 类的离差平方和 S_i 为:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_i^{(j)} - \bar{X}_i) (X_i^{(j)} - \bar{X}_i) \quad (20)$$

k 个类的离差平方和 S 为^[18]:

$$S = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_i^{(j)} - \bar{X}_i) (X_i^{(j)} - \bar{X}_i) \quad (21)$$

Ward 聚类法先将 n 个评价对象各自成一类,然后每次缩小一类,每缩小一类离差平方和就要增大,选择使 S 增加最小的两类合并,直到所有的评价对象的样品归为一类为止。

4 实证研究

4.1 评价样本及数据来源

4.1.1 典型的 14 个省份评价样本的选取

在 14 个省区样本中:包括华北地区的北京、山西;东北地区的辽宁、黑龙江;华东地区的上海、山东、江西;中南地区的河南、广东、广西壮族自治区;西南地区的四川、云南;西北地区的陕西、新疆维吾尔自治区。

上述样本的典型性在于:既包含了山东、辽宁等沿海地区,又包括了河南、山西等内陆省份;既兼顾了广东、上海等经济发达地区,又包括了黑龙江、四川等经济欠发达地区。运用以上 14 个典型省份反映出我国生态系统的一般状况。

4.1.2 数据来源

14 个省级行政区生态系统评价指标的原始数据及用于相应指标计算数据均来源于 2007 年《中国环境统计年鉴》和 2007 年《中国统计年鉴》^[17]。

4.2 基于对应分析的 14 个典型省份的差别生态改进方案

4.2.1 评价指标的规范化

表 1 第(4)列的指标中除 D_{11} 人口增长率的理想、 D_{12} 城市化率的理想、 D_{22} GDP 增长率指标的理想值,其他均为正向和负向指标。

本文采用十五期间国家人口增长率的规划目标 $V_1 = 6\%$ 作为表 1 第 1 行第 4 列 D_{11} 人口增长率的理想值;采用发达国家的平均城市化率 $V_2 = 75\%$ 确定为表 1 第 2 行第 4 列 D_{12} 城市化率的理想值;表 1 第 5 行第 4 列 D_{22} GDP 增长率指标的理想值来源于北京工商大学经济学院世界经济研究中心季铸教授的《中国 300 个省市绿色 GDP 指数报告》中提到的 $V_5 = 8\%$ 。

将正向指标数据代入式(5),负向指标数据代入式(6),可得各个指标规范化后的值。将适中指标代入式(7)

4.2.2 分准则层对 14 个地区进行对应分析

使用对应分析的目的是直观反映变量点与样本点的关系,从而得出该指标对该地区的生态环境的发展起主导作用,则该地区应该在该指标上多加改进,以最大限度的提高其生态发展水平。

用 SPSS 软件做对应分析时,要求所有变量的数据类型为数值型,因此各省份的数字代码为:1—上海、2—江西、3—山东、4—河南、5—新疆、6—广东、7—广西、8—北京、9—山西、10—辽宁、11—黑龙江、12—四川、13—云南、14—陕西。

结果如图 1、2、3、4、5 所示:

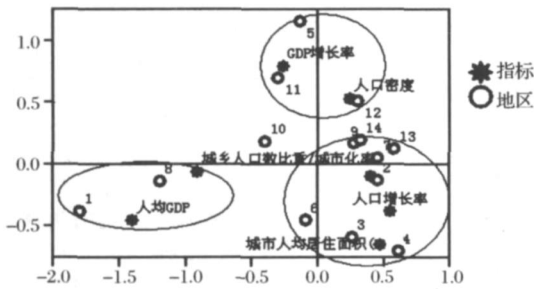


图 1 14 个地区与驱动力 7 个指标之间的关系

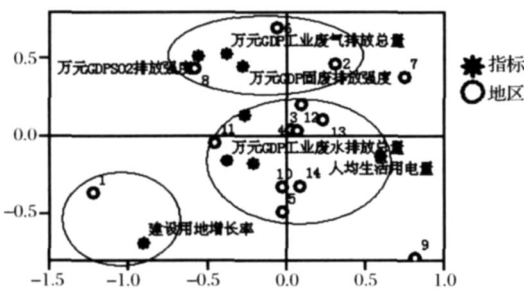


图 2 14 个地区与压力 8 个指标之间的关系

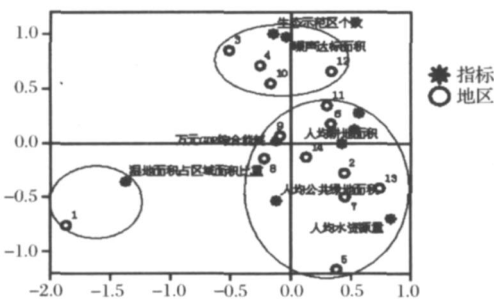


图 3 14 个地区与状态 9 个指标之间的关系

4.2.3 离差最大化方法对权重的计算

将经过规范化的指标值代入式(17),得到各个指标的权重,列入表 1 第(9)列。对指标权重按准则层求和,得到各准则层的权重,列入表 1 第(8)列。

4.2.4 灰色关联度对指标得分的计算

理想样本的各指标值规范化后得到理想值向量: $P_0 = (p_{10}, p_{20}, \dots, p_{m0}) = (1, 1, \dots, 1)_{1 \times 20}$ 。将规范化后的指标值和理想值代入式(18),得到各个评价对象在各个指标上与理想样本的关联系数,即得到了各个省份的指标得分。

4.2.5 各省区准则层及综合的评价得分及排名

将 4.2.3 得到的指标得分和表 1 第(7)列的指标权重代入式(19),得到各个省份的综合评价得分和准则层得分,以及排名情况,如表 2 所示。

4.2.6 按生态发展水平对典型省进行聚类分析

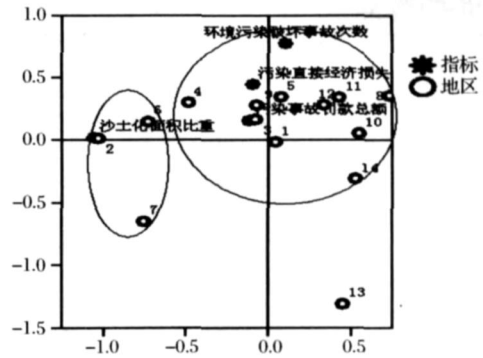


图 4 14 个地区与力影响 4 个指标之间的关系

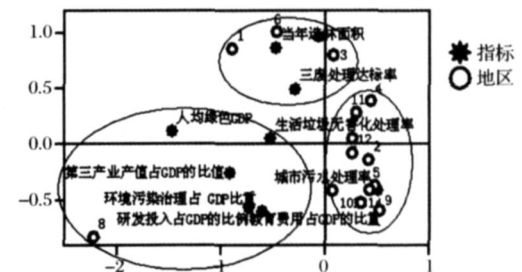


图 5 14 个地区与响应 9 个指标之间的关系

为了揭示地区生态发展水平的显著不平衡性,对 14 个典型的省份用 3.6 的方法进行 Ward 聚类。如图 6 所示。

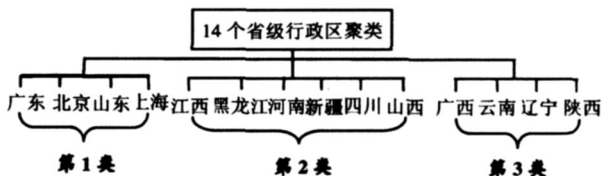


图 6 Ward 聚类的结果

4.3 中国区域生态系统状况分析

4.3.1 中国典型省区生态系统状况准则层分析

4.3.1.1 分准则层提出改进方案

从图 1 中可以看出,在驱动力准则层下,上海、北京与人均 GDP(D₂₁)、城乡人口数比重(D₂₃)关系

密切,说明城乡人口比重在上海和北京的驱动力层面所占的比重要高于其他指标。新疆、四川、黑龙江与 GDP 增长率(D₂₂)、人口密度关系密切(D₁₃),并且新疆在 D₂₂ 方面的表现非常良好。其他地区与人口增长率(D₁₁)、城市人均居住面积(D₂₃)、社会消费品零售总额增长率(D₂₄)关系密切,河南在 D₂₃ 上表现良好,江西与 D₂₄ 关系最为密切。与表 10 的驱动力准则层的排名结合,上海和北京在驱动力上的提升重点应该放在 D₂₁ 和 D₂₃ 方面;新疆、黑龙江和四川在驱动力的提升重点应该放在 D₁₃ 和 D₂₂ 指标上;

江西、广西、山西、云南和陕西在驱动力的提升重点应该放在 D₂₄ 这个指标上;山东、河南和广东在驱动力的提升重点应该放在 D₂₃ 上;辽宁离驱动力准则层所有的指标都很远,说明与这些指标关系都不密切,并且在这些指标上的表现也都很不理想,辽宁在这个准则层上需从根本上进行改进。

剩余 4 个准则层的分析如图 2、3、4、5 所示,可按相同的方式推出,14 个省份在生态改进方案如表 3 所示。

表 2 中国 14 个省级行政区生态系统各准则层和综合评价得分及排名

(1) 序号	(2) 评分 依据	2006 年中国 14 个省级行政区生态系统各准则层和综合评价得分 z _j													
		(3) 上海	(4) 江西	(5) 山东	(6) 河南	(7) 新疆	(8) 广东	(9) 广西	(10) 北京	(11) 山西	(12) 辽宁	(13) 黑龙江	(14) 四川	(15) 云南	(16) 陕西
1	准则层 D	得分 0.0947	0.1083	0.1216	0.1132	0.0876	0.1146	0.0928	0.0963	0.1115	0.0911	0.0901	0.0861	0.1076	0.0974
	排名	9	5	1	3	13	2	10	8	4	11	12	14	6	7
2	准则层 P	得分 0.1733	0.1457	0.138	0.1347	0.1402	0.1493	0.1183	0.1636	0.1159	0.1217	0.1613	0.1341	0.129	0.138
	排名	1	5	8	9	6	4	13	2	14	12	3	10	11	7
3	准则层 S	得分 0.115	0.1428	0.1331	0.1197	0.1347	0.1504	0.128	0.1102	0.0956	0.118	0.1435	0.1315	0.1267	0.1053
	排名	4	12	10	6	11	14	8	3	1	5	13	9	7	2
4	准则层 I	得分 0.0657	0.0832	0.0698	0.079	0.0757	0.076	0.0632	0.0745	0.075	0.0616	0.0742	0.0715	0.0412	0.0495
	排名	10	1	9	2	4	3	11	6	5	12	7	8	14	13
5	准则层 R	得分 0.1614	0.0967	0.1555	0.1181	0.0922	0.1409	0.1096	0.1822	0.1142	0.1065	0.1055	0.1039	0.0972	0.1056
	排名	2	13	3	5	14	4	7	1	6	8	10	11	12	9
6	综合评价	得分 0.6101	0.5767	0.618	0.5646	0.5303	0.6313	0.5118	0.6269	0.5122	0.499	0.5746	0.527	0.5018	0.4958
	排名	4	5	3	7	8	1	11	2	10	13	6	9	12	14

表 3 14 省份在各准则层下的改进指标

(1) 地区	(2) D 驱动力	(3) P 压力	(4) S 状态	(5) I 影响	(6) R 响应
上海	D ₂₁				R ₁₂
江西	D ₂₄ , D ₁₁			I ₄	
山东	D ₂₃			I ₁₁	R ₁₅
河南	D ₂₃				
新疆	D ₂₂			I ₁₂	R ₁₁
广东		P ₂₄	S ₁₁ , S ₂₁		R ₁₂ , R ₁₅
广西	D ₂₄				
北京	D ₁₂	P ₂₂ , P ₂₃ , P ₂₄	S ₁₃		
山西			S ₁₃	I ₁₁ , I ₁₂	
辽宁		P ₂₅			R ₁₁
黑龙江	D ₂₂	P ₂₁	S ₂₂		
四川	D ₁₃				
云南			S ₁₂		R ₁₁
陕西					R ₁₁

(P₂₅)的关系密切,图 5 中与城市污水处理(R₁₁)关系密切,说明辽宁在生态水平上的改进重点在压力准则层和响应准则层。其他在圆圈外的点还有,图 3 的广西(7)、图 4 的云南(13)。说明生态的改进要抓主要矛盾,对应不同的省份其主要矛盾也不一样。

4. 3. 2 中国 14 个典型省区生态系统状况总体分析

从表 2 的综合排名和图 6 的聚类图看,前四名的地区依次为广东、北京、山东和上海。其中,广东在状态准则层上排在最后一位,其他准则层排名都在前 4 位;北京在响应准则层下排名第一,在压力准则层下排名第二,在状态准则层排名第三,其余 2 个准则层下都排名比较靠后;山东在驱动力准则层下排在第一位,在响应准则层下排名第三,其他准则层下排名在中下游;上海在压力准则层下排名在第一位,在响应准则层下排在第二位,剩下三个准则层下排名都比较靠后。后四位的依次为广西、云南、辽宁和陕西。其中,陕西在状态准则层下排名第二。可以看出,排名在前面和后面的省份,在各个准则层上的排名也基本符合其地位。但是还是在一些省份如上海、陕西等,其某几个准则层上的排名要明显不同

4. 3. 1. 2 综合各准则层下对应分析图进行分析

某些省份于离所有指标都很远,即在圆圈外。如图 1 中辽宁(10)与驱动力下 7 个指标的距离都很远,说明辽宁在驱动力下不存在投资少见效快的改进指标。然而图 2 中其与自然灾害指数多合一

于其综合排名。说明地区生态发展水平不均衡,并且各项生态指标在同一地区发展也很不均衡。说明区域生态环境恶化比较严重。

5 对中国区域生态系统建设的政策建议

5.1 提高全社会环境保护意识

(1) 扩展环境政务公开和环境信息公开。鼓励广大人民群众与环境规划和开发项目环境影响评价过程,监督环境保护。建立生态环境监测体系,建立生态环境预警系统和信息系统。

(2) 加大力度宣传。开展多层次、多角度的环保意识教育。加强舆论导向,建立新型生态伦理价值观,鼓励公众参与支持生态文化建设。完善信访、举报和听证制度。充分调动全社会力量,为保护和改善生态环境而努力奋斗。

5.2 实行政治领导目标责任制

坚持统筹兼顾、综合决策,合理开发。建立领导干部任期环境质量责任制和行政问责制等有利于落实正确政绩观的制度,使领导干部能够正确处理经济增长与环境保护的关系,倡导绿色经济,促进经济发展的可持续性。

5.3 重视依靠科技进步推动生态环境保护工作

(1) 各级人民政府要把生态环境保护科学研究纳入科技发展计划,推动科研成果转化,提高生态环境保护的科技水平,为实施可持续发展战略和重大建设项目布局提供科学决策依据。

(2) 生态保护区的建设要通过科学的筛选确定适合本地区的、节水型的、生态效益好的乔木、灌木和草种。根据动植物的迁移规律,建设生物廊道和栖息地,将生物多样性引进城市。尽量保留原有自然特征的河道、林木,严格控制经营性旅游设施和人工草坪,提高绿化隔离地区的生态环境效益。

(3) 加快城市污水处理设施建设和污水资源化再利用工程,缓解水资源短缺矛盾。

5.4 建立适应市场经济体制的生态保护投入机制

(1) 建立生态功能保护区、自然保护区。以政府投入为主,实行国家、地方、企业、集体、个人共同参与,多形式、多渠道、多层次筹集生态环境保护资金。

(2) 要加强政府的政策保障及资金投入、技术支持以及产业导向的力度,必须把生态环境保护纳入国民经济和社会发展规划。生态功能保护区、自然保护区的建设要纳入我省各级的基本建设计划。

6 结语

各区域与指标间的密切程度差别很大,并且各

指标对于各区域的重要程度也存在差异。如上海与人均GDP、城乡人口数比重、建设用增长率、湿地面积占区域面积比重、年造林面积、建成烟尘控制区面积和三废处理达标率这七个指标的关系比较密切,其生态治理和保护工作的重点应放在这七个指标上的提高上。同理,其他城市也应加大力度在与其密切相关的指标上,从而使其生态治理与保护工作的效用达到最大。

把对应分析方法应用到生态水平评价上,并且基于对应分析分五个准则层提出差别生态改进意见,针对性的改善各省生态水平。

由排名结果可知,所选的指标体系正确反应了14个典型省份的生态水平,结果与实际情况基本一致。这说明了所选指标体系能充分反应生态水平,验证了该指标体系的准确性和可操作性。因此,可以用本文的指标体系,评价某个时期各区域的生态水平。在保证数据准确的情况下,利用对应分析的时候由于二维图的限制,所以不能在一张图上放太多的样本和指标,这要根据实际情况决定。

另外,也可以将对应分析方法运用到多个时期的生态评价中,观察各区域“显著”指标的变化,及时优化生态改进方案。图1-图5中的圆圈虽然有助于清楚的看出指标与地区的关联程度,但具有一定的主观性。鉴于对应分析的局限,进一步的研究可以寻找方法如何剔除这种主观性,以达到寻找最优的差别改进方案。

参考文献:

- [1] World Commission on Environment and Development (WCED). The Brundtland Report, Our Common Future [M]. Oxford: Oxford University Press, 1987: 55 - 72.
- [2] Slessor, M.. Non-monetary indicators of sustainability [D]. University of Edinburgh, Edinburgh, U.K., 1994.
- [3] World Bank. Monitoring Environmental Progress: A Report on Work in Progress [C]. Washington, Washington D. C., 1995: 213 - 260.
- [4] Government Statistic Office of U.K. Indicators of Sustainable Development for the United Kingdom [M]. London: HMSO Publications center, 1996, 29 - 137.
- [5] 高殿瀛. 生态城市初探[J]. 中国可持续发展, 2001(4): 9 - 21.
- [6] 国家环境保护总局. “十一五”期间城市环境综合整治定量考核指标[EB/OL]. 2006, <http://www.zhb.gov.cn/news/xz/>.

- [7] 中国社会科学院世界经济与政治研究所资料信息中心. 中国社会科学院世界经济与政治研究所《具有中国特色的国际竞争力研究》课题组. 世界经济与政治文选(一) [EB/OL]. <http://myy.cass.cn/ziliao/08sjz/01/book/EQ43/19/book1.htm>.
- [8] 梁保平, 韩贵锋, 余丽娟, 谯斌. 中国省域城市生态适宜度综合评价[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(2): 22 - 25.
- [9] 陈亮, 王如松, 王志理. 2003年中国省域社会-经济-自然复合生态系统生态位评价[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1794 - 1800.
- [10] Meybeck, M., Lestel, L., Bonté, P., Moilleron, R., Colin J.L., Daniel Hervé, O. R., Claire de Pontevé, Céline Grosbois, Thénot, D. R.. Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950 - 2005) [J]. Science of the Total Environment, 2007 (375): 204 - 231.
- [11] Mangi, S. C., Roberts, C. M., Rodwell, L. D.. Reef fisheries management in Kenya: Preliminary approach using the driver-pressure-state-impacts-response (DPSIR) scheme of indicators [J]. Ocean & Coastal Management, 2007 (50): 463 - 480.
- [12] 吴开亚, 何琼, 孙世群. 区域生态安全的主成分投影评价模型及应用 [J]. 中国管理科学, 2004, 12(1): 106 - 109.
- [13] 王惠勇, 曲衍波, 郑晓梅, 齐伟, 赵东娟, 商冉. 主成分分析法在城镇土地生态安全评价中的应用 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(15): 4614 - 4617.
- [14] Xiong Y., Zeng, G. M., Chen G. Qiu., Tang L., Wang K. L., Huang D. Y.. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality-A case study of Hunan Province [J]. ecological modeling, 2007, (209): 97 - 109.
- [15] 苏芝, 许兆义, 鄢权贵. 对应分析方法在地下水环境系统中的应用 [J]. 北方交通大学学报, 2004, 28(4): 48 - 53.
- [16] 申明金, 胡永金. 环境污染研究的对应分析方法及应用 [J]. 大连民族学院学报, 2005, 7(5): 30 - 32.
- [17] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴 2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- [18] 第九届全国人民代表大会第四次会议. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要 [EB/OL]. 2001, <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2002/04/19/6153.htm>. 2001.

The Ecosystem Evaluation Model Based on Correspondence Analysis and the Empirical Research on 14 Provinces in China

CHI Guo-tai, SHEN Yi-xia, QIN Xue-zhi

(School of Management, Dalian Univ. of Techno, Dalian 116024, China)

Abstract: In this paper, we construct the framework of ecosystem comprehensive evaluation index system using Driver - Pressure - State - Impacts - Response (DPSIR) conceptual model. The evaluation model is established using the correspondence analysis method, maximizing deviations methods and grey relational method. The contributions of this paper come from four aspects. Firstly, we constructed index system using DPSIR conceptual framework, and bring human demand, economic development and social progress into the system. It is much better than the existing researches which only consider the status of environment and resources or the status of environmental protection and pollution treatment. Second, based on the correspondence analysis, we apply the R and Q factor analysis simultaneously to the provinces and the indicators, using the least dimensions to show most of the information. Third, through the graph of correspondence analysis, we acquired a distinctive ecosystem project. To reach the aim which enhances the level of environment effectively, different provinces should improve different indicators. And we analyze the affinitive indicators is good or bad for each province. Fourth, through adding natural disaster index into the pressure layer of the index system, the paper described the effect of natural disaster on ecosystem. This improved the existing DPSIR model which only considered the effect of human activity on ecosystem.

Key words: ecosystem; comprehensive evaluation; DPSIR model; correspondence analysis