黄土高原可持续发展评价指标体系设计与应用*

崔灵周[1], 李占斌[1], 马俊杰[2], 李　勉[1]
(1 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2 西北大学 城资系, 西安 710069)

[摘　要]　通过对黄土高原可持续发展评价指标体系和方法的初步研究, 设计出了包括 1 个高级综合指标——可持续发展综合指数、人口状况等 5 个基本指标和人口自然增长率等 30 个元素指标的层次性指标体系结构框架, 熵技术支持下确定可持续发展指标权重的层次分析法, 以及由递阶多层次综合评价、主成份分析和回归分析等数学方法所集成的可持续发展全面综合评价模型, 并以陕北黄土高原为例进行了具体的应用分析与评价。

[关键词]　黄土高原; 可持续发展; 指标体系; 评价方法
[中图分类号]　F303.4　　[文献标识码]　A　　[文章编号]1000-2782(2001)02-086-05

随着西部大开发战略的启动和实施, 黄土高原这块在中国经济发展格局中历来处于"偏远贫穷, 环境恶劣, 经济落后"角色的独特地域也迎来了新的发展机遇。如何充分发挥该区承东启西的重要战略地位等地域优势, 逐步减小并消除经济发展缓慢等制约因素的影响[1,2], 切实推进全区可持续发展进程, 不仅对整个西部发展具有较强的示范和带动作用, 也成为该地区迎接西部大开发的首要研究课题。而以可持续发展指标体系及评价为核心的区域可持续发展定量研究, 对于深入认识黄土高原可持续发展系统的作用机制, 加强对可持续发展的宏观调控能力具有重要理论和实践意义。由于区域系统的复杂性, 此项研究在黄土高原还相当薄弱, 基本处于起步阶段, 尚未形成系统的理论和方法[3]。为此, 本研究在广泛调研的基础上, 依据可持续发展基本理论, 对可将黄土高原可持续发展目标具体化的指标体系、以及科学界定该区不同时段可持续发展状态和协调发展趋势的定量分析方法进行了初步研究, 以期为推动该区可持续发展定量研究的深入和进一步规范、引导可持续发展进程的宏观决策提供科学理论支持。

1　指标体系设计

1.1　设计原则

可持续发展评价指标体系作为一种政策导向, 既要体现经济、社会、人口、资源和环境协调发展的主导思想, 又要使各评价指标成为表征区域可持续发展系统的众多指标中最灵敏、最便于度量和内涵最丰富的主导性指标, 使该指标体系可准确描述区域可持续发展系统的状态和变化趋势。为此, 本研究在设计黄土高原可持续发展评价指标体系时, 确定了以下应遵循的主要原则: (1) 反映可持续发展思想的主要内涵; (2) 体现黄土高原的地域特征; (3) 注重单项指标在指标体系中的指示作用[4]; (4) 提高指标选取的科学性、可操作性及相对完备性。

1.2　结构框架

黄土高原是包括人口、资源、环境、经济和社会的复杂巨系统。要使可持续发展评价指标体系准确反映本地区可持续发展水平、各子系统间的协调发展状况及其相互作用的结果信息, 就必须在透彻了解黄土高原可持续发展系统的结构、功能、特点以及可持续发展目标的基础上, 选取一组相互独立且能够表征各子系统特征的典型敏感指标, 组建黄土高原可持续发展评价指标体系的结构框架。本研究依此设计了包括高级综合指标、基本指标和元素指标 3 个类型的层次性结构框架(见图 1)。

* [收稿日期]　2000-04-18
[基金项目]　国家自然科学基金资助项目(59890200); 陕西省教委重点项目(97GV K05)
[作者简介]　崔灵周(1973-), 男, 陕西蓝田人, 在读博士, 主要从事区域可持续发展与侵蚀环境治理研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

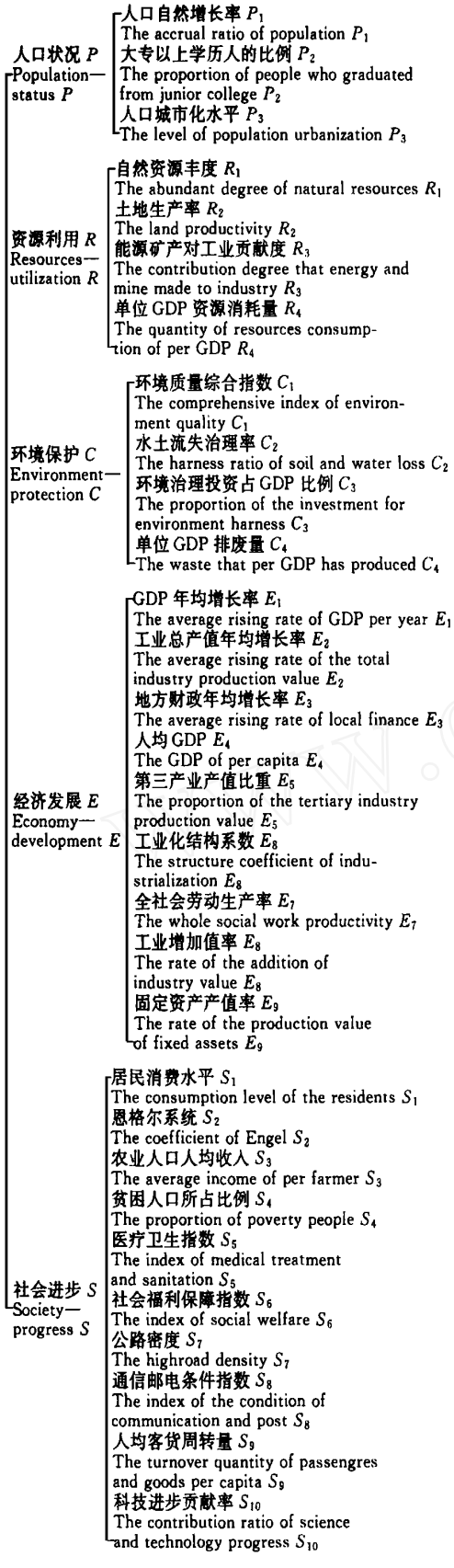

图 1　黄土高原地区可持续发展评价指标体系结构框架

Fig 1　The evaluation index system structure frame of sustainable development of Loess Plateau

1.2.1　高级综合指标　为了从宏观层次刻画黄土高原可持续发展系统的作用规律, 反映黄土高原可持续发展的整体态势, 本研究设计了高级综合指标——可持续发展综合指数(CISD)。该指标是黄土高原可持续发展系统总体运行效果, 经济发展与人口增长、资源利用、生态环境治理、社会进步之间相互协调程度, 以及黄土高原可持续发展系统的发展潜力与人为调控可持续发展能力的综合体现。

1.2.2　基本指标　为了进一步刻画黄土高原地区可持续发展系统中人口、资源、环境、经济和社会各子系统对高级综合指标——可持续发展综合指数(CISD)的作用和影响, 本研究设计了人口状况(P)、资源利用(R)、环境治理(C)、经济发展(E)和社会进步(S)5 个基本指标。这些基本指标是依据上述各子系统的发展特征与发展目标而设置的, 是各子系统可持续发展水平的集中表现。这些基本指标由若干元素指标具体描述。

1.2.3　元素指标　元素指标是描述黄土高原可持续状态的基础指标, 是指标体系的最小组成单位。本研究采用频度统计法对目前有关可持续发展指标体系研究的报告、论文进行频度统计, 以选择频度较高的指标; 采用理论分析法对区域可持续发展的内涵、特征进行分析综合, 选择能表征黄土高原可持续发展重要特征的指标; 采用专家咨询法, 在初步提出的元素指标基础上, 征询有关专家的意见, 对现有元素指标进行调整, 如此建立一般元素指标。在此基础上, 依据黄土高原自然环境特点和社会经济发展状况, 以及指标数据的可获性, 最后得到人口自然增长率等 30 个元素指标。

2　评价方法设计

2.1　评价标准的选择

首先确定评价目标, 即反映黄土高原可持续发展动态变化和服务于区域可持续发展规划与调控。然后以本地区参考年(1990 年)的指标数据为评价标准, 对于不同类型指标如 GDP、恩格尔系数等发展型指标及环境治理力度、人口自然增长率、科技贡献率等协调型指标, 以参考年全国相应指标的平均值作为评价标准; 对于环境承载力、环境质量指数等限制型指标, 则采用通过综合研究和科学实验所测得反映自然系统承受能力的底线值或警戒值作为评价标准。

2.2　指标权重的确定

近年来, 利用层次分析法(AHP)确定指标权重

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

越来越受到研究人员的重视, 且已得到多方面的应用, 该方法识别问题的系统性强、可靠性高, 可提高评价的简便性和准确性, 但在采用专家咨询方式时, 容易产生循环而不满足传递性公理, 导致标度把握不准并丢失部分信息。为此, 本研究设计了熵技术支持下可持续发展指标权重确定的层次分析法[5]。该方法首先建立递阶层次结构, 将评价指标层次化; 其次由专家和决策者对所列指标通过两两比较重要性程度而逐层进行判断评分, 利用判断矩阵的特征向量确定下层指标对上层指标的贡献程度; 最后利用熵技术对所得指标权重进行修正。

2.3 评价模型的建立

应用数理统计方法及熵技术支持下的层次分析法(AHP), 设计出了既能反映黄土高原地区特定时刻可持续发展水平, 又能判断本地区协调发展趋势, 从而可对黄土高原可持续发展作出全面综合评价的集成评价模型[6]。这里所谓的"集成", 是指各种数学方法的综合应用。该评价模型的建立过程如下。

2.3.1 计算可持续发展综合指数(CISD) 可持续发展综合指数是黄土高原地区可持续发展系统总体发展水平的集中体现。本研究依据该指标的特征, 运用递阶多层次综合评价法来完成对它的计算[7], 即:

$$CISD = \prod_{i=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{k} w_{ij} I_{ij}\right)^{w_{i0}} \qquad (1)$$

式中, X 为可持续发展综合指数; I 为元素指标量化值; w_{ij} 为元素指标的权重; w_{i0} 为基本指标的权重。

2.3.2 计算各子系统的可持续发展水平 根据以上所设计的评价指标体系结构框架, 利用熵技术支持下的层次分析法求得各类指标权重; 再依据所确定的评价标准, 将元素指标进行量化处理, 其值与相应权重的乘积, 即为该指标的评价值。然后运用主成分分析法确定各子系统的可持续发展水平, 具体方法如下:

若某系统的 P 个指标 $X(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_p)$, 可采用线性组合方式表示为另一组随机变量 $y = (y_1, y_2, y_3, \cdots, y_r)$, 即:

$$y_j = \sum_{i=1}^{p} l_{ij} x_i \quad j = 1, 2, \cdots, r \qquad (2)$$

设主成分 y_i 的方差 $V(y_i) = \lambda_i$, $i = 1, 2, \cdots, r$

令

$$g_i = \lambda_i \Big/ \sum_{j=1}^{r} \lambda_j \qquad (3)$$

g_i 为第 i 个主成分的贡献率, 该指标越大, 则表明指标概括 $x_1, x_2, x_3, \cdots x_p$ 的能力越强。$\sum_{j=1}^{i} g_j$ 则为前 i 个主成分的累积贡献率, 若 $\sum_{j=1}^{i} g_i \geq 90\%$, 则 $F = g_1 y_1 + g_2 y_2 + \cdots g_i y_i$, F 即为某系统的可持续发展水平。

2.3.3 确定各子系统间可持续发展协调系数 首先利用计量经济学中回归分析法, 确定各系统可持续发展协调比例关系[8]。其原理为: 假定变量 P、R、C、E、S 之间的关系可表示为回归方程 $S = b_0 + b_1 P + b_2 R + b_3 C + b_4 E$, 即表明要作到 P、R、C、E、S 之间的协调, 就要在 P、R、C 不变的情况下, E 每变化一个单位要求 S 同方向变化 b_4 个单位。

然后依据所计算出的系统协调比例关系, 将黄土高原地区各子系统的协调值与实际发展水平值进行对比, 计算出可持续发展协调系数, 以说明系统间的协调状况, 进而表明本区域可持续发展协调程度。本研究采用模糊数学中的相对 Hamming 距离来计算可持续发展协调系数, 即:

$$w(c_1, c_2) = 1 - b[(c_1, c_2)]^a \qquad (4)$$

式中, a, b 是两个适当选取的参数,

$$\delta(c_1, c_2) = \frac{1}{n} d(c_1, c_2) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left| u_{c_2}(x_i) - u_{c_1}(x_i)\right| \qquad (5)$$

式中, c_1, c_2 是论域 u 上的 2 个模糊子集, $w(c_1, c_2)$ 为论域 u 上的 2 个模糊子集 c_1, c_2 的协调系数, n 为论域 u 中元素的个数。

3 应用实例——陕北黄土高原可持续发展评价与分析

陕北黄土高原位于陕西省的北部, 是中国黄土高原的主体部分, 现为陕西省实施西部大开发进行生态环境建设的主要区域。本例中主要包括延安市和榆林地区。

3.1 元素指标的获取

3.1.1 元素指标的原始数据 在前文所设计的指标体系结构框架基础上, 考虑陕北黄土高原的自然环境、社会经济发展水平、以及指标数据的可获性, 参考 1990～1998 年《延安市统计年鉴》、《榆林地区统计年鉴》、《延安市治理水土流失建设生态环境规划》、《榆林地区生态环境建设试验区规划〈方案〉》等资料, 同时结合前文所提出的频度统计法、理论分析法及专家咨询法, 筛选出了可表征陕北黄土高原可持续发展系统 1990～1998 年 9 年时间序列的元素指标原始数据, 并建立了相应的数据库。

3.1.2 元素指标的量化 为了消除元素指标原始数据间由于量纲、数量级、变化幅度而产生的相互影

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

响, 增强可比性, 有必要对原始数据进行变换处理, 即指标的量化。本例以 1990 年为参考年, 以该年的指标原始数据作为评价标准, 对陕北黄土高原 1991～1998 年的元素指标原始数据采用如下公式进行量化:

$$I = (I_{评价年} - I_{参考年}) / I_{参考年} \quad (效益型指标) \quad (6)$$

$$I = (I_{参考年} - I_{评价年}) / I_{评价年} \quad (成本型指标) \quad (7)$$

3.2　评价结果

3.2.1　可持续发展综合指数(CISD)　首先利用上文所设计的熵技术支持下可持续发展指标权重确定的层次分析法得到评价指标体系中各指标的权重, 然后采用所提出的递阶多层次综合评价法, 计算陕北黄土高原 1991～1998 年各年的可持续发展综合指数(CISD), 其随时间的变化曲线见图 2。

3.2.2　各子系统的可持续发展水平　在将各元素指标的量化值做归一化处理的基础上, 应用主成分分析法计算了陕北黄土高原 1991～1998 年各年人口(P)、资源(R)、环境(C)、经济(E)、社会(S)各子系统的可持续发展水平值(见图 3)。

3.2.3　各子系统间的协调发展系数　根据上文所计算出的陕北黄土高原人口、资源、环境、经济、社会各子系统的可持续发展水平值(P、R、C、E、S), 利用回归分析法, 建立协调发展模型, 然后依据各子系统的可持续发展水平值及协调发展模型, 按照协调系数的确定方法, 得到陕北黄土高原 1991～1998 年不同年份各子系统间的协调发展系数(见表 1)。

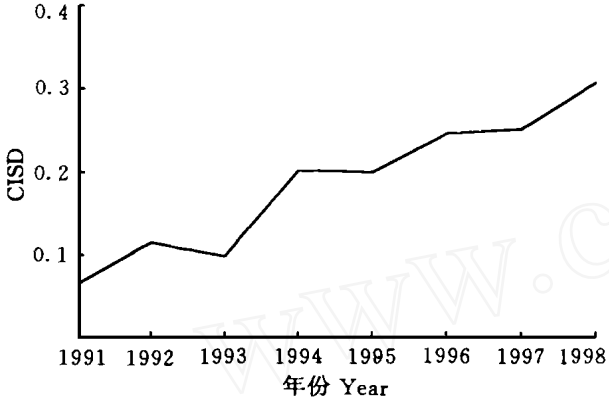

图 2　陕北黄土高原 1991～1998 年可持续发展综合指数变化曲线图

Fig. 2　The comprehensive index of sustainable development of Loess Plateau in Northern Shaanxi from the year 1991 to 1998

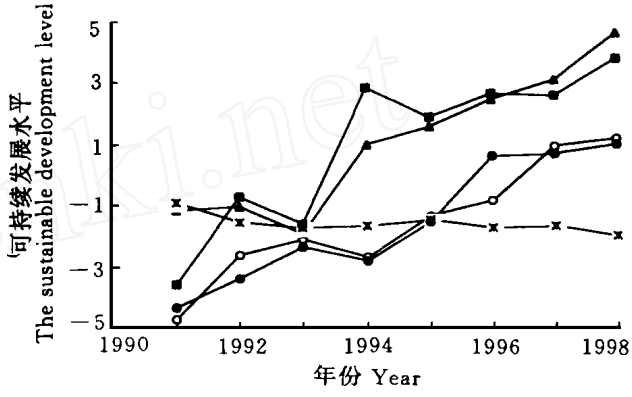

图 3　陕北黄土高原 1991～1998 年人口、资源、环境、经济和社会发展水平

-○- 人口; -▲- 资源; -*- 环境; -□- 经济; -●- 社会

Fig. 3　The sustainable development level of population, resources, environment, economy and society on Loess Plateau of Northern Shaanxi from the year 1991 to 1998

-○- population; -▲- resources; -*- environment; -□- economy; -●- society

表 1　陕北黄土高原人口、资源、环境、经济和社会各子系统间的协调发展系数(1991～1998 年)

Table 1　The coordinated development coefficient among the systems such as population, resources, environment, economy and society in Loess Plateau of Northern Shaanxi (1991-1998)

年份 Year	$\omega(P、R、C、E、S)$	$\omega(P、R)$	$\omega(P、C)$	$\omega(P、E)$	$\omega(P、S)$	$\omega(R、C)$	$\omega(R、E)$	$\omega(R、S)$	$\omega(C、E)$	$\omega(C、S)$	$\omega(E、S)$
1991	0.439	0.325	0.210	0.468	0.602	0.963	0.334	0.291	0.286	0.297	0.614
1992	0.442	0.303	0.206	0.524	0.689	0.907	0.463	0.372	0.263	0.273	0.706
1993	0.459	0.281	0.264	0.443	0.713	0.929	0.489	0.318	0.257	0.269	0.634
1994	0.451	0.297	0.183	0.392	0.854	0.786	0.573	0.302	0.319	0.271	0.537
1995	0.501	0.319	0.197	0.451	0.897	0.623	0.691	0.452	0.337	0.347	0.693
1996	0.525	0.324	0.205	0.517	0.943	0.507	0.782	0.519	0.321	0.326	0.804
1997	0.595	0.586	0.257	0.676	0.921	0.401	0.891	0.693	0.297	0.309	0.912
1998	0.618	0.601	0.296	0.739	0.932	0.311	0.931	0.807	0.254	0.261	0.953

注: $\omega(P、R、C、E、S)$ 为 5 个系统间的协调发展系数, $\omega(P、R)$ 为 2 个系统间的协调发展系数。

Note: $\omega(P、R、C、E、S)$ is the coordinated development coefficient among five systems, $\omega(P、R)$ is the coordinated development coefficient between two systems

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.3 评价结论

(1) 陕北黄土高原可持续发展系统总体运行效果处于较低水平(CISD < 0.35), 可持续发展整体态势呈明显的波动性上升(见图 2), 全区可持续发展潜力较大。

(2) 各子系统的可持续发展水平除环境子系统外, 均呈现波动性增长趋势, 特别在 1994 年以后表现更为明显; 资源、经济子系统的变化趋势与整体发展态势具有较为相似的一致性。可见, 开发利用能源、矿产、土地等优势资源, 加快经济快速发展已成为陕北黄土高原可持续发展的主要激励因素。

(3) 环境子系统的可持续发展不但一直处于较低水平、增长缓慢且有下降趋势, 而且与其他子系统间的协调发展系数偏低, 尤其和资源子系统更为明显。这表明, 生态环境问题在陕北黄土高原已有进一步恶化趋势, 而优势资源开发所引发新的环境问题是重要原因。

(4) 资源与经济、资源与社会、经济与社会的系统间的协调发展程度较高, 且一直保持上升趋势。这说明, 以开发优势资源为突破点, 加快经济发展, 促进社会全面进步应成为今后陕北黄土高原可持续发展的主要方向。

[参考文献]

[1] 张天曾. 黄土高原论纲[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.

[2] 张有实. 黄土高原地区综合治理与开发——宏观战略与总体方案[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.

[3] 秦耀辰. 区域可持续发展的指标研究[J]. 地理学报, 1998, 53(3): 149-155.

[4] 周海林. 可持续发展评价(指标)体系及其确定方法的探讨[J]. 中国环境科学, 1999, 19(4): 12-15.

[5] 方创琳, 毛汉英. 区域发展规划指标体系建立方法探讨[J]. 地理学报, 1999, 54(5): 410-419.

[6] 王慧敏, 徐 明, 方乐润, 等. 都江堰灌区可持续发展评价体系[J]. 水利学报, 1999(5): 13-18.

[7] 曹利军, 王华东. 可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究[J]. 环境科学学报, 1998, 19(4): 526-532.

[8] 于瑞峰, 齐二石, 毕 星. 区域可持续发展状况的评估方法研究及应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(5): 1-6.

Studies on designing the evaluation index system of sustainable development and its application on Loess Plateau

CUI Ling-zhou[1], LI Zhan-bin[1], MA Jun-jie[2], LIM ian[1]

(1 *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100;
2 *Department of Urban and Resources sciences, Northwest University, Xi'an* 710069, *China*)

Abstract: Based on the pilot studies on the evaluation index system and the method of sustainable development on Loess Plateau, this paper has designed the structure frame of the index system including three types of index including one advanced comprehensive index-the comprehensive index of sustainable development, five basic indexes and thirty element indexes, the Analytic Hierarchy Process which can be used to calculate the sustainable development index weight supported by entropy technology. The model can be used to evaluate the sustainable development of Loess Plateau comprehensively integrated by mathematical method such as compositive appraisement method of hierarchy multilayer、main component analytical method、regression analytical method and so on. Pilot study on the index system has been carried out on the Leoss Plateau of the Northern Shaanxi, and the results is promising.

Key words: Loess Plateau; sustainable development; the index system; evaluation method

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net