

黄土丘陵区县南沟流域生态恢复 的生态经济耦合评价

王国梁¹, 党小虎², 刘国彬¹

(1 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] **【目的】**探索一套简单、易于操作的小尺度生态经济耦合效应指标体系及其评价方法模型。**【方法】**基于生态经济协调理论,在继承传统指标的基础上,引用了 2 个创新性指标——能值可持续性指数(ESI)和生态压力指数(EFPI),应用模糊综合评价方法对县南沟流域生态恢复的生态经济耦合进行评价。**【结果】**县南沟“农-经济林果型”生态恢复模式的生态经济处于基本协调状态。**【结论】**“农-经济林果型”模式有效地改善了流域生态条件,促进了经济发展,产生了生态经济耦合效应。

[关键词] 生态恢复;生态经济耦合;县南沟流域;黄土丘陵区

[中图分类号] F062.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)02-0187-07

Evaluation on the coupled ecological/economic systems in the process of eco-rehabilitation of Xiannangou Catchment in the Loess Hilly Region

WANG Guo-liang¹, DANG Xiao-hu², LIU Guo-bin¹

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: **【Objective】** A set of simple and easily worked indicators as well as its methods and models were explored for the evaluation on the coupled ecological/economic systems at small scale. **【Method】** Based on the theory of ecological-economic harmony and traditional indicators for ecological-economic evaluation, and introducing two innovative indicators, namely emergy sustainable index (ESI) and eco-footprint pressure index (EFPI), this paper assessed the coupled ecological/economic systems in eco-restoration of Xiannangou Catchment by employing fuzzy comprehensive evaluation and its models. **【Result】** The ecological systems of Xiannangou “agriculture-cash forests-orientated” model was in harmony. **【Conclusion】** Xiannangou “agriculture-cash forests-orientated” model for eco-restoration improved the ecological condition and promoted the economic development of this watershed, and facilitated the resonance between ecological protection and economic development, i. e., the effect of coupled ecological/economic systems.

Key words: eco-rehabilitation; evaluation on the coupled ecological/economic system; Xiannangou Catchment; the Loess Hilly Region

* [收稿日期] 2008-04-14

[基金项目] 国家科技支撑计划项目“黄土高原水土流失综合防治技术研究(2006BAD09B10-2)”；中国科学院西部行动计划项目“黄土高原水土保持与可持续生态建设试验示范研究(KZCX2-XB2-05)”

[作者简介] 王国梁(1971—),男,陕西西安人,助理研究员,博士,主要从事生态恢复研究。E-mail: glwang@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 党小虎(1968—),男,宁夏隆德人,副教授,博士,主要从事生态恢复、环境保护及其评价研究。

E-mail: xiaohud2004@163.com

生态经济良性耦合是生态恢复的基础。有研究表明^[1-6],在贫困状态下,保护生态的社会公德和政策法规在农民生存压力面前往往苍白无力,此时的农民只重视短期直接经济利益,倾向于采取短期的经济行为,而这种短期性与生态效益的滞后性之间存在着尖锐的矛盾,容易造成生态破坏。生态恢复的实质是建立与生态结构相互协调的经济结构,即实现生态经济的良性耦合,可见生态经济耦合的实质就是生态经济协调发展。生态与经济协调是经济社会发展的必然趋势,是可持续发展的基础,因此以协调性作为生态经济耦合评价的标志是合理的。生态经济耦合评价是生态恢复的基本步骤,评价工作的重点在于指标体系及评价方法的确立,现有的研究主要集中在协调度或协调指数的建立及应用^[7-11],为了尽可能地保护生态经济系统的各个方面,评价指标繁多而不易操作。在黄土丘陵区的相关研究中,刘国彬等^[12]、戴全厚等^[13]从生态系统健康角度,应用健康指数分别对该地区小尺度的生态经济系统健康动态进行了研究,但均未指出生态与经济系统的协调程度。本研究以延安中尺度水土保持与可持续生态建设试验示范区的县南沟“农-经济林果型”生态经济建设模式为研究对象,将能值可持续性指数和生态压力指数(生态足迹)引入评价指标体系,以生态经济协调性为生态经济耦合基础进行评价,旨在探索一套简单、易于操作的小尺度生态经济耦合效应指标体系及其评价方法模型,揭示该模式的生态经济耦合程度。

1 研究区概况

延安中尺度水土保持与可持续生态建设试验示范区地处陕西省延安市,属于延河流域(东经 109°04′00″~109°37′25″,北纬 36°22′40″~36°46′12″),在黄土丘陵区具有典型性,总面积 707 km²,包括安塞县及宝塔区的沿河湾、高桥、楼坪、河庄坪、枣园、万花山、柳林、桥沟、川口等 9 个乡镇,134 个行政村,农业人口 4.53 万人,农业劳动力 1.51 万人。试验在示范区内针对性地选择了 5 个不同的小区域开展不同恢复模式的示范研究,其中县南沟流域(东经 109°12′12″~109°22′12″,北纬 36°41′24″~36°46′12″)是一个“农-经济林果型”示范模式,该流域地处安塞县的沿河湾镇,总面积 59 km²,包括 5 个行政村,截止 2005 年有 3 000 人,人均耕地 0.129 hm²,人均年收入为 2 996 元(现价),该模式以综合发展农业和经济林果业为主导方向,探索在生态恢

复的同时发展经济的生态经济耦合途径,为生态可持续发展的经济社会发展提供可供借鉴的模式。

2 评价方法及模型

2.1 经典模糊集合论的发展

本研究的生态经济耦合是建立在生态经济复合系统内生态与经济子系统之间的高度协调基础之上的,但这种协调性表述往往具有模糊性,可能存在亦此亦彼的状态,而这些状态往往无法用普通集合理论精确度量。如流域在 2005 年生态与经济子系统之间很难说是否协调,比较合理的回答是既有协调成分,又有不够协调的成分,所以称为模糊状态,因而本研究应用模糊综合评价方法,模型采用相对隶属度和相对隶属函数。

在经典模糊集合论的基础上,陈守煜^[14-16]提出了绝对隶属度和绝对隶属函数、相对隶属度和相对隶属函数的概念:

设论域 U 上的一个模糊子集 $\tilde{A}$,分别赋予 $\tilde{A}$ 处于共维条件下差异在中介过渡的两极以 1 和 0 的数。在 0 到 1 的数轴上构成一个 $[0,1]$ 闭区间的连续统,对于论域中的任意元素 $\mu, \mu \in U$,在该连续统上指定一个数 $\mu_{\tilde{A}}^0(u)$,称为 μ 对 $\tilde{A}$ 的绝对隶属度。映射:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A}}^0:U &\rightarrow [0,1], \\ \mu &\mapsto \mu_{\tilde{A}}^0(u), \end{aligned}$$

称为 $\tilde{A}$ 的绝对隶属函数。

设在该连续统的数轴上建立参考系,让两极附近的任意两点作为参考系数轴上的两极,赋予参考系两极以 1 和 0,构成参考系 $[0,1]$ 数轴上的参考连续统。对于任意元素 $\mu, \mu \in U$,在参考连续统上都指定一个数 $\mu_{\tilde{A}}(u)$,称为 μ 对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度。映射:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A}}:U &\rightarrow [0,1], \\ u &\mapsto \mu_{\tilde{A}}(u), \end{aligned}$$

称为 $\tilde{A}$ 的相对隶属函数。

2.2 生态经济耦合效应指标及耦合状态的分级标准

2.2.1 指标体系 (1)指标体系的选择原则。建立基于协调性的生态经济耦合效应评价指标体系,除要遵循指标的客观性、简明性、科学性、独立性及可操作性等一般设置原则外,还应体现上述的生态与经济系统之间协调发展的基本内涵。

(2)指标系统设计说明。表 1 中将生态经济耦合效应评价指标体系划分为 3 个层次,即:①模糊状

态目标层,以 U 表示,体现研究区生态经济耦合的整体效应;②模糊状态准则层,按经济发展力、社会发展力、资源承载力和环境承载力 4 个不同方面表述生态经济耦合系统的模糊状态,分别以 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 表示;③模糊状态指标层,由 11 个具体指标组成,分别描述经济发展力、社会发展力、资源承载力和环境承载力状态,以 u_i 表示。为了体现上述原则,避免指标的重复设置,考虑到研究区的经济、社会、资源与环境特点,设计以下 4 个层次的 11 个指标,其中生态压力指数(EFPI,即“人均生态足迹/人均生态承载力”)、能值可持续性指数(ESI)为本研究的创新性指标,这 2 个指标综合了资源、环境以及水土流失等各方面。土壤质量指数(Soil quality index, SQI)也是一个新引进指标,是许明祥等^[17-18]研

究黄土丘陵区侵蚀土壤生态恢复过程中,土壤质量演化时建立的一个环境质量指标。

评价对象指标集为: $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_{11}\}$ 。

2.2.2 协调性分级标准 根据流域基本情况、选择指标及模糊综合评价特点,将生态经济耦合状态划分为协调、基本协调、临界状态、失调 4 级。评价标准集 V 为:

$$V=\begin{bmatrix}v_{11}&v_{12}&v_{13}&v_{14}\\v_{21}&v_{22}&v_{23}&v_{24}\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots\\v_{i1}&v_{i2}&v_{i3}&v_{i4}\end{bmatrix},$$

i 为指标数,具体见表 2。

表 1 生态经济耦合效应评价指标体系

Table 1 Indicators sets for evaluation on the coupled ecological/economic systems

目标层 U Target hierarchy U	准则层 U_j The group of indicator U_j	指标层 u_i Indicator u_i
生态经济协调度 The degree for ecological-economic coordination	经济发展力 U_1 Economic viability U_1	u_1 农民人均纯收入 The farmers' income per capita u_2 人均粮食 Food supplies per capita u_3 粮食产量 Crops yield per unit u_4 恩格尔系数 Engel coefficient
	社会发展力 U_2 Social development level U_2	u_5 基尼系数 Gini coefficient u_6 人口自然增长率 Population growth ratio u_7 成人文盲率 Adult illiterate ratio
	资源承载力 U_3 Resources loading U_3	u_8 生态压力指数 Eco-foot print pressure index(EFPI) u_9 能值可持续性指数 Emergy-based sustainable index(ESI)
	环境承载力 U_4 Environmental loading U_4	u_{10} 有效森林覆盖率($\geq 44\%$)Contributing forest coverage u_{11} 土壤质量指数 Soil quality index(SQI)

表 2 生态经济耦合状态分级标准

Table 2 Table for grade of criterion in coupled ecological/economic systems

准则层 The group of indicator	指标层 Indicator	协调 Coordination	基本协调 Weak coordination	临界状态 Critical state	失调 Incoordination
经济发展力 Economic viability	农民人均纯收入 ^[19] /元 The farmers' income per capita	$>2\ 195$	2 195	1 200	$<1\ 200$
	人均粮食/kg Food supplies per capita	>500	500	300	<300
	粮食产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) Crops yield per unit	$>3\ 750$	3 750	2 250	$<2\ 250$
社会发展力 Social development level	恩格尔系数 ^[20] Engel coefficient	<40	40	50	>50
	基尼系数 ^[21] Gini coefficient	<0.35	0.35	0.4	>0.4
	人口自然增长率 ^[22-23] / % Population growth ratio	$-0.04\sim0.5$	$0.5\sim0.8$	0.8	>0.8
	成人文盲率 ^[23-24] / % Adult illiterate ratio	0	$0\sim15$	15	>15
资源承载力 Resources loading	生态压力指数 ^[25] Eco-foot print pressure index	$0\sim0.8$	0.8	1	>1
	能值可持续性指数 ^[26-27] Emergy-based sustainable index	$4\sim7$	$1\sim4$ 或 $7\sim10$ $1-4$ or $7-10$	1 或 10 1 or 10	<1 或 >10 <1 or >10
环境承载力 Environmental loading	有效森林覆盖率 ^[28] / % Contributing forest coverage	66.7	$22.7\sim66.7$	22.7	<22.7
	土壤质量指数 ^[17-18] Soil quality index	$0.8\sim1$	$0.6\sim0.8$	0.4	<0.4

2.3 生态经济评价模型

2.3.1 指标相对隶属函数的建立 相对隶属函数用以计算不同变量具体取值属于每个划分等级(协

调、基本协调、临界状态、失调)的相对隶属度。由于引进隶属度,才使得等级划分具有一定的模糊性,避免了精确划分导致的过度武断和不合理性,使模糊

划分更加合理。由模糊等级划分向精确界定转换时,可以使用最大隶属度原则。由于各项指标一般不在同一评价等级,而且各项指标属于评价等级的隶属程度也不尽相同,为了确定各评价指标属于各评价等级的隶属程度和简化计算,根据 4 级划分标准,应用半梯形与梯形分布等方法确定各评价指标的相对隶属函数。对于相应的评价指标值 $u_i (i=1\sim 11)$,可用下面的隶属函数计算其属于各等级的相对隶属度 $r_{ij} (j=1\sim 4)$,从而求得相对隶属度矩阵 $\mathbf{R}$ 。

(1)效益型指标隶属函数:

$$\mu_i(u_i)=\begin{cases} 1, u_i > a_1, \\ \frac{u_i-a_2}{a_1-a_2}, a_2 \leq u_i \leq a_1, \\ 0, u_i < a_2. \end{cases}$$

(2)成本型指标隶属函数:

$$\mu_i(u_i)=\begin{cases} 1, u_i < a_1, \\ \frac{a_2-u_i}{a_2-a_1}, a_1 \leq u_i \leq a_2, \\ 0, u_i > a_2. \end{cases}$$

(3)区间型指标隶属函数(主要是能值可持续性指数):

$$\mu_i(u_i)=\begin{cases} 0, u_i < a_1, \\ \frac{u_i-a_1}{a_2-a_1}, a_1 \leq u_i < a_2, \\ 1, a_2 \leq u_i < a_3, \\ \frac{a_4-u_i}{a_4-a_3}, a_3 \leq u_i < a_4, \\ 0, u_i \geq a_4. \end{cases}$$

(4)特殊型指标隶属函数(主要是成人文盲率):

$$\mu_i(u_i)=\begin{cases} 1, u_i = 0, \\ 1-u_i, 0 < u_i \leq a, \\ 0, u_i > a. \end{cases}$$

式中: a, a_1, a_2, a_3, a_4 分别为各指标相对于各协调性等级的临界值,详见表 2。

2.3.2 指标权重的确定 各指标对准则层的相对贡献,即权重用标准差方法确定^[29]:

$$w_{ij}=\frac{SD_{ij}}{\sum_{i=1}^{11}\sum_{j=1}^4SD_{ij}}。$$

式中: w_{ij} 为各指标权重, SD_{ij} 为第 j 个准则层第 i 指标的标准差,且 $\sum_{i=1}^{11}\sum_{j=1}^4w_{ij}=1$ 。

考虑到生态经济协调发展的要求,准则层的经济、社会、资源与环境 4 个方面需要均衡发展,所以经济发展力、社会发展力、资源承载力和环境承载力

对目标层的相对贡献应同等对待,即进行等权重处理。

2.3.3 三级模糊综合评价模型 三级模糊综合评价模型如下:

$$\tilde{\mathbf{B}}=\mathbf{W}\circ\tilde{\mathbf{R}}=\mathbf{W}。$$

$\mathbf{W}_1\circ$

$\mathbf{W}_2\circ$

$\mathbf{W}_3\circ$

$\mathbf{W}_4\circ$

$\circ$

式中:“ $\circ$ ”表示合成算子; $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3, \mathbf{W}_4$ 分别表示各指标对经济发展力、社会发展力、资源承载力和环境承载力的权重向量; $r_{ij} (i=1\sim 11, j=1\sim 4)$ 表示各指标对协调、基本协调、临界状态及失调的相对隶属度; $\mathbf{W}$ 为经济发展力、社会发展力、资源承载力和环境承载力对目标层的权重向量。

2.3.4 合成运算方法的选择 模糊合成算子采用“实数乘法”与“有界和”运算,即:

$$b_j=\bigoplus_{i=1}^n(w_i\cdot r_{ij})=(w_1\cdot r_{1j})\oplus(w_2\cdot r_{2j})\oplus\cdots\oplus(w_n\cdot r_{nj}),$$

也称为加权平均型模型,记作 $M(\cdot, \oplus)$,其中 $a\oplus b$ 表示 $\min\{a+b, 1\}$,如果评判结果 $\sum_{j=1}^4b_j\neq 1$,就对其结果进行归一化处理。该算子的突出优点是可以保证 R 阵信息的充分利用,体现权重的作用很明显,具有较强的综合性^[30-32]。

2.3.5 模糊综合评价结果向量的分析 模糊综合评价结果是被评价对象对各级模糊子集的相对隶属度,构成一个模糊向量,而不是一个点值,因而提供的信息较其他方法丰富。对模糊评价结果的分析常采用的方法有最大隶属度原则、最大接近度原则、加权平均原则和模糊向量单值化原则等^[30-32]。本研究采用最大隶属度原则,即模糊综合评价结果向量为:

$$\tilde{\mathbf{B}}=(b_1, b_2, \cdots, b_p)。$$

若 $b_r=\max_{1\leq k\leq p}\{b_k\}$,则被评价对象总体上隶属于第 r 等级。

3 结果与分析

县南沟流域的 11 个评价指标实测值如表 3 所

示,各指标权重如表 4 所示,由各指标相对隶属函数 见表 5。
计算所得流域各级指标属于不同等级的相对隶属度

表 3 县南沟流域生态经济耦合效应评价指标的实测值

项目 Item	U ₁				U ₂			U ₃		U ₄	
	u ₁ /元	u ₂ /kg	u ₃ / (kg·hm ⁻²)	u ₄	u ₅	u ₆ /%	u ₇ /%	u ₈	u ₉	u ₁₀ /%	u ₁₁
县南沟 Xiannangou	2 996	421	3 669	45	0.17	2.4	6.6	0.838	1.76	31.4	0.375

注:为了便于计算,表中的人均纯收入均为 2005 年价格。
Note: To facilitate the calculations, present prices was used for incomes,i. e. ,prices in 2005.

表 4 县南沟流域生态经济耦合效应评价指标的权重

Table 4 Weighting of indicators for ecological-economic coordination in Xiannangou catchment

一级指标 Index	二级指标 Sub-indes	三级指标 Indicator	权重 Weight
生态经济协调度 The degree for ecological-economic coordination	U ₁ 经济发展力(0.25) U ₁ Economic viability	u ₁ 农民人均纯收入 u ₁ The farmers' income per capita	0.333
		u ₂ 人均粮食 u ₂ Food supplies per capita	0.355
		u ₃ 粮食产量 u ₃ Crops yield per unit	0.312
	U ₂ 社会发展力(0.25) U ₂ Social development level	u ₄ 恩格儿系数 u ₄ Engel coefficient	0.225
		u ₅ 基尼系数 u ₅ Gini coefficient	0.270
		u ₆ 人口自然增长率 u ₆ Population growth ratio	0.268
		u ₇ 成人文盲率 u ₇ Adult illiterate ratio	0.239
	U ₃ 资源承载力(0.25) U ₃ Resources loading	u ₈ 生态压力指数 u ₈ Eco-foot print pressure index	0.461
		u ₉ 能值可持续性指数 u ₉ Emery-based sustainable index	0.539
	U ₄ 环境承载力(0.25) U ₄ Environmental loading	u ₁₀ 有效森林覆盖率 u ₁₀ 10 Contributing forest coverage	0.503
		u ₁₁ 土壤质量指数 u ₁₁ Soil quality index	0.497

三级指标相对于二级指标的权重向量为 $W_j =$ 向量为 $W = (W_1, W_2, W_3, W_4)$ 。
($w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}$),二级指标相对于一级指标的权重

表 5 三级指标 r_{ij} 的相对隶属度

Table 5 Table for value of tertiary indicators r_{ij}

指标 Indicator	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉	u ₁₀	u ₁₁
V ₁	1	0.39	0	0	1	1	0	0.19	0.25	0.20	0
V ₂	0	0.61	1	0.50	0	0	0.93	0.81	0.75	0.80	0
V ₃	0	0	0	0.50	0	0	0.07	0	0	0	0
V ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

根据上述结果逐层计算流域生态经济协调度的
评价结果,计算过程如下。

①由表 5 可得三级指标相对于二级指标的模糊
关系矩阵 $\tilde{R}_j$ 。

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.39 & 0.61 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{R}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.93 & 0.07 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{R}_3 = \begin{bmatrix} 0.19 & 0.81 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{R}_4 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.80 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

②计算三级指标的权重向量 W_j 。
 $W_1 = (0.333, 0.355, 0.312)$,
 $W_2 = (0.225, 0.270, 0.267, 0.239)$,
 $W_3 = (0.461, 0.539)$,
 $W_4 = (0.503, 0.497)$ 。

③计算单级指标综合评价值 $\tilde{B}_i$ 。
 U_1 的单级评价价值矩阵 $\tilde{B}_1$ 为:
 $\tilde{B}_1 = W_1 \circ \tilde{R}_1 = (0.333, 0.355, 0.312)。$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.39 & 0.61 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.471, 0.529, 0.000, 0.000)。$$

再分别对 U_2, U_3, U_4 二级指标计算 $\tilde{B}_i(i=2, 3,$

4),形成二级模糊关系矩阵 $\tilde{R}$:

$$\tilde{R}=(\tilde{B}_1,\tilde{B}_2,\tilde{B}_3,\tilde{B}_4)^T=$$
$$\begin{bmatrix} 0.471 & 0.529 & 0.000 & 0.000 \\ 0.536 & 0.335 & 0.129 & 0.000 \\ 0.222 & 0.778 & 0.000 & 0.000 \\ 0.101 & 0.402 & 0.000 & 0.497 \end{bmatrix}^{\circ}$$

④计算综合评价相对隶属度向量 $\tilde{B}$ 。
4个二级指标的权重向量为: $W=(0.25,0.25,0.25,0.25)$,则县南沟流域生态经济发展协调度的相对隶属度向量 $\tilde{B}$ 为:

$$\tilde{B}=W\cdot\tilde{R}=(0.25,0.25,0.25,0.25)^{\circ}$$
$$\begin{bmatrix} 0.471 & 0.529 & 0.000 & 0.000 \\ 0.536 & 0.335 & 0.129 & 0.000 \\ 0.222 & 0.778 & 0.000 & 0.000 \\ 0.101 & 0.402 & 0.000 & 0.497 \end{bmatrix}=$$
$$(0.333,0.511,0.032,0.124)^{\circ}$$

根据模糊决策向量 $\tilde{B}$ 的结果和最大隶属度原则,可以得出县南沟“农-经济林果型”模式生态经济基本协调。

该结果与流域的基本情况是一致的。一方面,生态恢复使流域粮食生产和农民收入大幅度提高,农民生活水平显著改善,农民受教育程度提高,经济发展力(U_1)和社会发展力(U_2)显著提高,即流域的经济系统运行得到显著改善;各项生态恢复与保护措施使流域的生态足迹与生态承载力处于平衡状态并略有生态赢余,同时森林覆盖率的提高使水土流失得到控制,能物流输入结构以及土壤质量的改善,使资源承载力(U_3)和环境承载力(U_4)整体上有所提高,因而产生了较好的生态经济耦合效应。另一方面,由于人口增长过快,土地生产力仍处于中低水平,能物流输入结构未达到最优、资源利用效率仍然较低等因素的影响,流域目前尚未达到最佳的生态经济耦合效应。因此,在今后应侧重于土地生产力改造,控制人口过快增长,以降低生态足迹,提高生态承载力;进一步调整产业结构和能源结构,提高资源利用效率,增强流域生态经济发展的可持续性。

4 结论与讨论

在已有的研究基础上,本研究对评价指标体系进行了一定改进,其中经济社会指标采用现有的成果以及学术界公认的指标,只是针对研究区的特点和研究尺度进行了适当取舍,这也是为了与相同地区已有的相关研究保持可比性。在资源与环境指标中,本研究采用了能值可持续性指数和生态压力指

数2个全新的、比较综合的、能够尽可能包含资源、环境各方面的指标,以减少指标数量,增加综合性。当然这2个指标属于首次应用,能否有效地反映评价所涉及的各个方面,还有待于今后的进一步验证。本研究只是对当前状态的评价,未进行动态预测,在以后的研究中需要做进一步动态预测研究和探索。

由于退耕还林(草)工程、水土保持等生态恢复工程的实施,以及相应的经济政策和结构的调整,县南沟流域经济和农民生活没有受到退耕的负面影响,相反在保持稳定的同时取得了一定的进步,社会福利有所改善,农民生活水平有所提高,资源环境承载力由于资源的合理有效利用和生产力的提高而有所增加,流域建立的“农-经济林果型”恢复模式处于生态经济基本协调状态,生态恢复产生了生态经济良性耦合效应。

【参考文献】

[1] 李周,孙若梅.生态敏感地带与贫困地区的相关性研究[J].农村经济与社会,1994(5):49-56.
Li Z, Song R M. A study on pertinence between ecologically sensitive zones and poverty-stricken areas [J]. Rural Economy and Society, 1994(5):49-56. (in Chinese)

[2] 赵跃龙,刘燕华.中国脆弱生态环境分布及其与贫困的关系[J].人文地理,1996,11(2):1-7.
Zhao Y L, Liu Y H. Distribution of vulnerable environment and its relationship with poverty in China [J]. Anthropogeography, 1996, 11(2):1-7. (in Chinese)

[3] 佟玉权,龙花楼.脆弱生态环境耦合下的贫困地区可持续发展研究[J].中国人口:资源与环境,2003,13(2):47-51.
Tong Y Q, Long H L. Study on sustainable development in the poor areas coupled with vulnerable environment [J]. China Population, Resources and Environment, 2003, 13(2):47-51. (in Chinese)

[4] 王录仓,谢永成.生态脆弱型贫困区社会经济地域系统的特征与作用机制——以陇南地区为例[J].西北师范大学学报:自然科学版,2004,40(1):76-80.
Wang L C, Xie Y C. Feature and mechanism of the socioeconomic system in poverty-stricken areas characterized by ecological frailties——Taking Longnan District as a case [J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science Edition, 2004, 40(1):76-80. (in Chinese)

[5] Ruitenbeek H J. Distribution of ecological entitlements: implications for economic security and population movement [J]. Ecological Economics, 1996, 17:49-64.

[6] Rees W E. An ecological economics perspective on sustainability and prospects for ending poverty [J]. Population and Environment, 2002, 24:15-46.

[7] 吴跃明,郎东锋,张子珩,等.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):17-20.

- Wu Y M, Lang D F, Zhang Z H, et al. Coordinative degree model of environment-economy system and its application [J]. China Population, Resources and Environment, 1996, 6(2): 17-20. (in Chinese)
- [8] 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): 506-605.
- Zhang X D, Chi T H. Differentiating and analysis of the coordination degree between economic development and environment of provinces (regions) in China [J]. Geographical Research, 2001, 20(4): 506-605. (in Chinese)
- [9] 陈长杰, 马晓微, 魏一鸣, 等. 基于可持续发展的中国经济资源系统协调性分析[J]. 系统工程, 2004, 22(3): 34-39.
- Chen C J, Ma X W, Wei Y M, et al. A harmony analysis on system of economy and resources based on sustainable development in China [J]. Systems Engineering, 2004, 22(3): 34-39. (in Chinese)
- [10] 汤兵勇, 张文洲. 协调发展指数模型[J]. 系统工程理论方法应用, 1996, 5(3): 18-22.
- Tang B Y, Zhang W Y. The coordinate development index model [J]. Systems Engineering-Theory Methodology Applications, 1996, 5(3): 18-22. (in Chinese)
- [11] 汤兵勇. 区域经济协调发展模型探讨[J]. 中国纺织大学学报, 1998, 24(1): 79-82.
- Tang B Y. Research on the coordinate developmental models of regional economy [J]. Journal of China Textile University, 1998, 24(1): 79-82. (in Chinese)
- [12] 刘国彬, 胡维银, 许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49.
- Liu G B, Hu W Y, Xu M X. An analysis on eco-economic system health in Zhifanggou Small Watershed of Ansai in Loess Hilly Region [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(1): 44-49. (in Chinese)
- [13] 戴全厚, 刘国彬, 刘普灵, 等. 黄土丘陵区中尺度生态经济系统健康诊断方法探索[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5): 990-998.
- Dai Q H, Liu G B, Liu P L, et al. Approach to health diagnoses of eco-economic system in mesoscale in Loess Lilly Region [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(5): 990-998. (in Chinese)
- [14] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 24-35.
- Chen S Y. Theory and application of engineering fuzzy sets [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998: 24-35. (in Chinese)
- [15] Chen S Y. Relative membership function and new frame of fuzzy sets-theory for pattern recognition [J]. The Journal of Fuzzy Mathematics, 1997, 5(2): 401-411.
- [16] 陈守煜. 相对隶属函数的系统辩证论哲学基础[J]. 系统辩证学学报, 1996, 4(2): 26-29.
- Chen S Y. The philosophical basis of systemically dialectic theory for relative membership function [J]. Journal of Systemic Dialectics, 1996, 4(2): 26-29. (in Chinese)
- [17] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 285-293.
- Xu M X, Liu G B, Zhao Y G. Quality assessment of erosion soil on hilly Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 285-293. (in Chinese)
- [18] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1843-1848.
- Xu M X, Liu G B, Zhao Y G. Assessment indicators of soil quality in hilly Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1843-1848. (in Chinese)
- [19] 徐勇, Sidle R C, 景可. 黄土丘陵区生态适宜型农村经济发展模式探讨[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 47-51.
- Xu Y, Sidle R C, Jing K. Discussion on rural economic development pattern adaptation to environment in middle hilly region of the Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(5): 47-51. (in Chinese)
- [20] 李华宇. 也论恩格尔系数的计算方法[J]. 统计与预测, 1999(3): 29-30.
- Li H Y. A discussion on the calculation of Engel's coefficient [J]. Statistics and Prediction, 1999(3): 29-30. (in Chinese)
- [21] 张英. 基尼系数与收入分配[J]. 上海企业, 2004(5): 42-44.
- Zhang Y. Gini coefficient and income distribution [J]. Shanghai Enterprise, 2004(5): 42-44. (in Chinese)
- [22] 吴寒光. 我国小康生活水平的测量尺度与标准[J]. 中国人口: 资源与环境, 1995, 5(2): 57-61.
- Wu H G. The measurement yardstick and criterion for well-being living standard of China [J]. China Population: Resources and Environment, 1995, 5(2): 57-61. (in Chinese)
- [23] 刘彦随, 冯德显. 陕北绥德县可持续发展农业与农村经济发展评价[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2001, 29(1): 85-89.
- Liu Y S, Feng D X. An evaluation on sustainable agriculture and rural development of Suide County in northern Shaanxi Province [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Sciences Edition, 2001, 29(1): 85-89. (in Chinese)
- [24] 曲圣杰. 测定贫困程度的综合评价法[J]. 统计与咨询, 1995(1): 25-27.
- Qu S J. Comprehensive methods for measuring poverty degree [J]. Statistics and Consultation, 1995(1): 25-27. (in Chinese)
- [25] Huang Q, Wang R H, Ren Z Y, et al. Regional ecological security assessment based on long period of ecological footprint analysis [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 51: 24-41.
- [26] Ulgiati S, Brown M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems [J]. Ecological Modelling, 1998, 108: 23-36.
- [27] Brown M T, Ulgiati S. Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economics and technology towards environmentally sound innovation [J]. Ecological Engineering, 1997, 9: 51-69.