

农业生态经济系统耦合过程模型的建立及应用

王继军^{1,2,*}, 郭满才³, 姜志德⁴, 苏鑫², 李慧¹, 李奇睿¹

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 2. 中国科学院水利部水土保持研究所,

3. 西北农林科技大学理学院, 4. 西北农林科技大学经济管理学院, 陕西杨陵 712100)

摘要: 基于“一般系统论中系统演化”的思想、“Thornes 关于植被和土壤侵蚀耦合模型”等思路, 构建了农业生态经济系统耦合过程的基础模型和扩展模型。通过该模型能够揭示农业“生态—经济”的互动过程、确定农业经济系统影响生态系统的临界点, 这对于开发利用农业资源、制定农业生态经济系统可持续发展方案具有重要的现实意义。以纸坊沟流域 20 余年农业生态经济系统演变资料为基础, 借鉴已有研究结果, 通过对“模型”参数的计算, 建立了反映纸坊沟流域不同情境下农业生态经济系统耦合过程模型, 结果表明: 按照农业生态经济系统现状演变轨迹, 农业生态系统自我调节的临界点为 $en(t) = 1.22 \times el(t)$; 如果继续完善系统循环, 强化“林草资源—畜牧业”链网, 在生态系统阈值范围内可增强经济系统功能; 如果停止“退耕”而出现复垦, 生态系统自我调节的临界点变为 $en(t) = 0.69 \times el(t)$, 单位生态系统功能减弱。为此, 必须稳定退耕还林工程, 促进农业资源合理、高效利用, 加速产业优化升级, 这样方能实现农业生态经济系统健康、持续发展。

关键词: 农业生态经济系统; 耦合过程; 模型; 临界点; 纸坊沟流域

The construction and application of an agricultural ecological-economic system coupled process model

WANG Jijun^{1,2,*}, GUO Mancan³, JIANG Zhide⁴, SU Xin², LI Hui¹, LI Qirui¹

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources

3 College of Science, Northwest A&F University

4 College of Economics and Management, Northwest A&F University. Yangling 712100, Shaanxi, China

Abstract: Basic and extended coupled process models of an agricultural ecological-economic system were set up using system evolution theory and Thames' coupled model of vegetation and soil erosion. The model revealed the interactive process of agricultural ecological-economics and showed the critical point at which the agricultural economic system impacted the ecological system. This has important practical significance for the utilization of agricultural resources and the development of sustainable programs for the agricultural ecological-economic system. Based on more than 20 years of system evolution information from the Zhifanggou Watershed of the Loess Plateau, key parameters (k_1, k_2, k_3, k_4) which revealed the direction and intensity of interaction between the agriculture-economic and ecological systems as well as adjustment parameters (α_1, α_2) which indicated the evolutionary track transformation of the economic and ecological systems resulting from significant behavioral processes were calculated. Then the coupling process model was established to reflect the coupling process between the agriculture-economic and ecological systems in different situations. The results showed that the evolutionary speed of the agricultural-ecological system was negatively related to the state of the economic system but positively related to the state of the ecological system. There was also a positive relationship between the evolutionary speed of the agricultural-economic system and the state of both the agricultural economic and ecological systems. The critical point of self-regulation for the current evolutionary track of the agricultural ecological-economic system in the Zhifanggou

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771082); 国家科技支撑课题资助项目(2006BAD09B10)

收稿日期: 2009-12-05; **修订日期:** 2010-01-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

Watershed was $en(t) = 1.22 \times el(t)$. At this critical point, the evolutionary speed of the economic system was $0.051 \times el(t)$, which means that under the conditions of the self-balanced ecological system, the economic system reached its greatest evolutionary speed of $0.051 \times el(t)$. If the systemic circulation and the “forest and pasture resources-animal husbandry” chain network continue to be perfected and strengthened, then the economic system function could be enhanced within the framework of the threshold of the ecological system. According to the “Rotation Pasture and Barn Feeding” management systems, if 300 sheep were raised during the early days in the Zhifanggou Watershed under the potential grazing capacity of 500 sheep, then the calculated values would be 0.557 for α_1 and 0 for α_2 . There was no significant effect on the critical point of self-regulation for the agricultural ecological-economic system, and the maximum allowable evolutionary speed of the economic system was $0.073 \times el(t)$. If the “Grain for Green Project” were stopped and the reclamation was emerged, the function of economic and ecological systems would both fall. We hypothesized that if the “Grain for Green Project” were cancelled, the conditions for farmland in the Zhifanggou Watershed were slightly better than conditions in 1999, the calculated values would be 0.1 for α_1 and -0.386 for α_2 . The critical point of the ecosystem self-adjustment changed to $en(t) = 0.69 \times el(t)$, the maximum allowable evolutionary rate of the economic system changed to $0.047 \times el(t)$, and the unit ecosystem function was weakened. To this end, we should stabilize the “Grain for Green Project”, promote the efficient utilization of agricultural resources, and upgrade industries in the region. Only in this way, can the agricultural ecological-economic system achieve healthy and sustainable development.

Key Words: agricultural ecological-economic system; coupled process; model; critical point; Zhifanggou Watershed

农业生态经济系统的演变过程是农业经济系统与农业生态系统的耦合与相悖的矛盾运动过程^[1-4], 农业生态经济系统优化耦合是解决农业经济系统与农业生态系统相悖态势, 实现区域农业资源高效、合理利用的有效途径。要进行农业生态经济系统优化耦合, 必须弄清农业生态经济系统的耦合过程和演变规律, 所以研究农业生态经济系统耦合过程具有重要的现实意义。

已有研究从定性角度探讨了农业生态经济系统耦合过程^[5], 运用“耦合度模型”分析了纸坊沟流域 70a 来主要年份农业生态经济系统耦合态势^[6], 建立了表征农业生态经济系统耦合的指标体系, 但是并未建立起农业生态经济系统耦合过程模型。目前, 学者关注的焦点也主要在“系统耦合模式”^[7-9]、“系统耦合态势”^[10-12]、“系统耦合效应”^[13-14]方面, “系统耦合过程模型”研究相对滞后。

基于上述背景, 以已有的研究为基础, 借鉴相关研究理论和模型, 试图建立农业生态经济系统耦合过程模型。

1 农业生态经济系统耦合过程模型设计

1.1 基础模型设计

农业生态经济系统耦合过程可通过农业经济系统、农业生态系统及其互动过程的定量化来表述。

借鉴“一般系统论中系统演化”的思想、“植被和土壤侵蚀耦合模型”^[15-17]的思路构建“系统耦合过程模型”。

用 en 、 el 分别表示农业经济系统与农业生态系统总量, $en(t)$ 、 $el(t)$ 分别表示时间 t 时农业经济系统与农业生态系统总量, $\frac{den(t)}{dt}$ 、 $\frac{del(t)}{dt}$ 分别表示时间 t 时农业经济系统与农业生态系统的演化速度。按照贝塔兰菲的一般系统理论^[18], 农业生态经济系统演化方程的形式为:

$$\frac{den(t)}{dt} = k_1 \times en(t) + k_2 \times el(t) \quad (1)$$

$$\frac{del(t)}{dt} = k_3 \times en(t) + k_4 \times el(t) \quad (2)$$

式中, k_1 、 k_2 分别是经济系统与生态系统对经济系统演化过程的响应系数, 是经济系统与生态系统状态表

征量对经济系统演变速度的贡献度, k_3 、 k_4 分别为经济系统与生态系统对生态系统演化过程的响应系数, 是经济系统与生态系统状态表征量对生态系统演变速度的贡献度, 它揭示了农业经济系统与生态系统的互动方向与强度, 在特定区域 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 都是常数。

由于经济系统的演化受生态系统的制约, 生态系统的演化也受经济系统的制约, 即其各自演化轨迹为 S 型曲线, 因而农业生态经济系统的演化满足组合 S 型发展机制^[10], 这样可以在二维平面上分析农业生态经济系统演化速度 V 的变化, 以 V_{en} ($V_{en} = \frac{den}{dt}$)、 V_{el} ($V_{el} = \frac{del}{dt}$) 分别为纵、横座标, 由于经济系统与生态系统演化速度往往不一致, 所以 V 的变化轨迹为坐标系中一椭圆(图 1)。这样就有:

$$V = f(V_{en}, V_{el})$$

$$\text{或} \quad \tan \theta = \frac{V_{en}}{V_{el}}, \theta = \arctan \frac{V_{en}}{V_{el}} \quad (3)$$

式中, θ 是农业经济系统与农业生态系统的耦合度^[6], 可用来判定其耦合态势。这样, 公式(1)、(2)、(3)所构成的方程组即可定量描述农业生态经济系统耦合过程。

假设农业经济系统可以用 x_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 进行表征, 农业生态系统可以用 y_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 进行表征, a_i 、 b_j 为其所对应的权重。由于农业经济系统与农业生态系统的变化过程是一种非线性过程^[10-12], 其演化方程可以表示为各要素的非线性函数, 同时李雅普诺夫第一近似定理^[19]指出, 非线性系统的运动稳定性取决于一次近似系统的特征根的性质, 以此理论为基础可以略去高次项而保证运动的稳定性, 因此, 某一时点农业经济系统(en)与农业生态系统(el)的一般函数可表示为^[10]:

$$en(t) = \sum_{i=1}^m a_i(t)x_i(t) \quad el(t) = \sum_{j=1}^n b_j(t)y_j(t) \quad (4)$$

各个时点的 $en(t)$ 、 $el(t)$ 连接起来成为一定时段内农业经济系统与农业生态系统演化过程的平滑曲线, 可以通过其演变过程的历史数据拟合出来, 也可以建立时间 t 的函数, 即

$$en = f(en_1, en_2, \dots, en_m) = f(t) \quad (5)$$

$$el = f_1(el_1, el_2, \dots, el_n) = f_1(t) \quad (6)$$

这样 $\frac{den(t)}{dt}$ 、 $\frac{del(t)}{dt}$ 也可以计算出来。以此为基础, 利用公式(1)、(2)进行回归, 即可求出 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 。

有了 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 , 农业生态经济系统未来发展过程中, 只要计算出当年的农业经济系统与农业生态系统综合值, 就可判定其耦合态势。

1.2 模型扩展

农业生态经济系统是一个开放系统, 它的演变过程可能会受到农业系统外突发力量的作用, 从而改变其演变轨迹, 果真如此, 上述“耦合过程模型”就不能直接应用于未来农业生态经济系统的互动过程分析中, 这时要么重新探讨新的背景下的演变轨迹, 要么对原演变轨迹进行修正。为了利用已有资料和研究成果, 对原演变轨迹进行修正是比较合理、有效的途径。

以公式(1)、(2)为基础, 假设 α_1 、 α_2 分别为重大行为过程对经济系统与生态系统影响后导致其演变轨迹发生变化后的调整系数, 通过对农业经济系统和农业生态系统演变轨迹的修正, 可形成公式(7)、(8)。

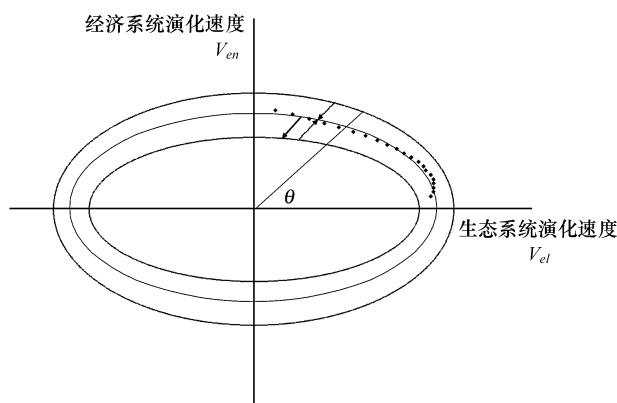


图 1 农业经济系统与农业生态系统耦合关系示意图

Fig. 1 Coupling relationship of agricultural eco-economic system

$$\frac{den(t)}{dt} = k_1 \times (1 + \alpha_1) \times en(t) + k_2 \times el(t) \quad (7)$$

$$\frac{del(t)}{dt} = k_3 \times en(t) + k_4 \times (1 + \alpha_2) \times el(t) \quad (8)$$

重大行为过程对经济系统与生态系统正向影响时, α_1 、 α_2 取正, 逆向影响时, α_1 、 α_2 取负。 α_1 、 α_2 主要根据某项活动对系统的演变轨迹的偏离程度来确定, 可用以下公式求得

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta(a_i x_i)}{\sum_{i=1}^m a_i x_i} \text{ 和 } \alpha_2 = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta(b_j y_j)}{\sum_{j=1}^n b_j y_j} \quad (9)$$

式中, $\Delta(a_i x_i)$ 、 $\Delta(b_j y_j)$ 分别为重大行为过程引起经济系统与生态系统偏离后的增量。

这样, 公式(5)、(6)、(7)、(8)、(9)和(3)所构成的方程组为农业生态经济系统耦合过程的扩展模型。

2 纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析

纸坊沟流域拥有 1938—1985 典型年份、1986—2008 年逐年调查和监测数据, 并且可通过有限指标很好的表征农业经济系统和农业生态系统^[5-6], 所以可根据已有的数据进行 $en(t)$ 、 $el(t)$ 拟合, 再利用公式(1)、(2)回归求出相关参数。然后利用公式(1)、(2)或公式(7)、(8)预测未来农业生态经济系统的互动过程。

2.1 研究区域概况

纸坊沟流域地处黄土丘陵沟壑区第二副区, 延河一级支流杏子河的下流, 隶属于陕西省安塞县沿河湾镇^[20], 东经 109°19'23", 北纬 36°51'30", 属于暖温带半干旱气候区, 流域面积 8.27 km², 包含纸坊沟、寺岷岷、瓦树塌 3 个完整的自然村。该流域在黄土丘陵区具有典型的代表性。2008 年有 562 人, 人均生产粮食 435.5 kg/人, 人均纯收入 5154.35 元。

2.2 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 的确定及分析

利用“70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势^[6]”一文的研究结果(表 1), 并对表 1 各个年份数据点($el(t)$ 、 $en(t)$)进行分析, 其所形成的散点图呈椭圆形分布(图 1), 因而能够按照公式(1)、(2)回归 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 。

纸坊沟流域 1986 年成为黄土高原综合治理试验与示范点, 1999 年开始实施“退耕还林(草)工程”, 所以以 1985 年为基数, 分 1986—2000、2000—2008、1986—2008 年时段分别计算上述参数(表 2)。

表 1 纸坊沟流域 1985—2008 年生态经济互动过程相关指标值

Table 1 Indexes of eco-economic coupling process from 1985 to 2008 in Zhifanggou watershed

年份 Year	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
$el(t)$	0.3886	0.45	0.4932	0.478	0.4858	0.5222	0.5044	0.5442
$en(t)$	0.2015	0.1915	0.221	0.252	0.2865	0.307	0.317	0.323
V_{el}	0.0158	0.0160	0.0161	0.0162	0.0162	0.0162	0.0162	0.0161
V_{en}	0.0163	0.0169	0.0175	0.0181	0.0187	0.0193	0.0199	0.0205
年份 Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$el(t)$	0.528	0.528	0.5204	0.555	0.5526	0.5856	0.588	0.645
$en(t)$	0.3135	0.373	0.3655	0.3695	0.411	0.411	0.464	0.529
V_{el}	0.0159	0.0158	0.0156	0.0153	0.0150	0.0147	0.0143	0.0139
V_{en}	0.0211	0.0217	0.0223	0.0229	0.0235	0.0241	0.0247	0.0253
年份 Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$el(t)$	0.657	0.653	0.6564	0.6702	0.6784	0.6828	0.6816	0.6916
$en(t)$	0.5275	0.5375	0.5485	0.567	0.576	0.58	0.6095	0.6105
V_{el}	0.0134	0.0129	0.0123	0.0117	0.0111	0.0104	0.0097	0.0089
V_{en}	0.0259	0.0265	0.0271	0.0277	0.0283	0.0289	0.0295	0.0301

注: $el(t)$ 是生态系统的状态值, $en(t)$ 是经济系统的状态值, V_{el} 是生态系统的演变速度, V_{en} 是经济系统的演变速度

表 2 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 及其信度
Table 2 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 and its reliability

年份 Year	k_1		k_2		k_3		k_4	
	数值 Number	Sig. 值 sig. Value	数值 Number	Sig. 值 sig. Value	数值 Number	Sig. 值 sig. Value	数值 Number	Sig. 值 sig. Value
1986—2000	0.014	0.002	0.031	0.000	-0.031	0.000	0.049	0.000
2000—2008	0.049	0.000	0.000	0.095	-0.092	0.000	0.095	0.000
1986—2008	0.032	0.000	0.012	0.000	-0.050	0.000	0.061	0.000

由表 2 可以看出, k_3 的系数为负, 并且在由 1986—2000 时段向 2000—2008 时段的发展过程中, 其数值变大, 依据公式(2)说明在系统内、外物质和能量输入、输出遵循原演变轨迹的条件下, 经济系统态势的变化对生态系统演化速度起抑制作用, 并且这种抑制作用强度在加大, 但由于这一时段 $el(t) > en(t)$ (表 1), 且 $|k_3| < |k_4|$, 即经济系统对生态系统抑制作用小于生态系统的恢复或改良作用, 经济系统对生态系统的拟制作用强度没有超越其阈值, 所以生态系统演化速度在不断增加^[6]; 无论是经济系统, 还是生态系统, 其态势的变化对经济系统演化速度都起促进作用, 但从 1986—2000 和 2000—2008 两个时段 k_1 、 k_2 的变化来看, 生态系统态势对经济系统演变过程的作用在减弱, 经济系统态势对经济系统演变过程的作用在增强, 原因是(与前一结论相一致)生态系统所提供的资源量没有被充分利用, 或者农业产业与农业资源相悖。由于 2000—2008 年时段 k_2 的 Sig. 值大于 0.05, 所以选择 1986—2008 年时段的数值作为同一演变轨迹下的相关参数值。耦合过程公式变为:

$$\begin{aligned} \frac{den(t)}{dt} &= 0.032 \times (1 + \alpha_1) \times en(t) + 0.012 \times el(t) \\ \frac{del(t)}{dt} &= -0.050 \times en(t) + 0.061 \times (1 + \alpha_2) \times el(t) \end{aligned} \tag{10}$$

2.3 α_1 、 α_2 的确定与分析

为了确定 α_1 、 α_2 , 就需要探讨表征农业经济系统与农业生态系统的指标体系, 这里借用已有研究结果(表 3)^[6], 运用公式(9)即可求得。

表 3 纸坊沟流域农业生态经济系统综合评价指标体系与权重
Table 3 Index system and weight of agricultural eco-economy for Zhifanggou valley

子系统 Subsystem	一级指标 Stair index	权重 Weight	二级指标 Twain index	权重 Weight	系统中的权重 Weight in the system
生态系统 Ecosystem	生态条件	0.4	降雨量(y_1)	0.14	0.056
			人口密度(y_2)	0.32	0.128
			可灌溉面积率(y_3)	0.11	0.044
			林草面积率(y_4)	0.22	0.088
			土壤侵蚀模数(y_5)	0.21	0.084
	生态资源	0.6	农林牧土地利用结构(y_6)	0.32	0.192
			人均基本农田(y_7)	0.27	0.162
			牧草地比重(y_8)	0.28	0.168
			群落演替阶段(y_9)	0.13	0.078
			农业劳动力/非农业劳动力(x_1)	0.15	0.075
经济系统 Economic-system	产业态势	0.5	商品加工(贮藏)率(x_2)	0.28	0.14
			流域农业产业链与资源量相关度(x_3)	0.39	0.195
			工副业贡献率(x_4)	0.18	0.09
			农产品商品率(x_5)	0.29	0.145
	经济效益	0.5	人均纯收入(x_6)	0.41	0.205
			粮食潜力实现率(x_7)	0.19	0.095
			农业产投比(x_8)	0.11	0.055

2.4 不同情境下耦合发展趋势

纸坊沟流域象黄土高原其它区域一样,对农民行为和农业生态经济系统演变过程影响比较大的是退耕还林还草工程,因此,这里重点分析不同退耕背景下农业生态经济系统耦合发展趋势。

(1)按照现有演变轨迹持续发展。此情景下未来各个生态和经济要素不会发生突变,此时 α_1 、 α_2 为 0。公式(10)变成

$$\begin{aligned}\frac{den(t)}{dt} &= 0.032 \times en(t) + 0.012 \times el(t) \\ \frac{del(t)}{dt} &= -0.050 \times en(t) + 0.061 \times el(t)\end{aligned}\quad (11)$$

只要计算出要预测年份的经济系统与生态系统的综合值,就可求出其演变速度,运用公式(3)获得耦合态势。

另外,当 $-0.050 \times en(t) + 0.061 \times el(t) = 0$, 即 $en(t) = 1.22 \times el(t)$ 时,生态系统演变速度为 0,这是生态系统自我调节的临界点。在这一临界点,经济系统演化速度为: $\frac{den(t)}{dt} = 0.051 \times el(t)$, 即在生态系统自平衡条件下,生态系统与经济系统共同作用促使经济系统最大演化速度为 $0.051 \times el(t)$ 。

(2)允许林草地得到有序利用,形成畜牧业“轮牧+舍饲”生产经营制度。此时“系统”演变轨迹发生了变化,其中经济系统^[6]中变化最大的指标是流域农业产业链与资源量相关度(x_3)、农产品商品率(x_5)、人均纯收入(x_6),这些指标都会提高,即经济系统改变了原演变轨迹, α_1 大于 0;通过有效的管理,放牧对生态系统的破坏可控制在允许值范围内,所以生态系统各个指标不会发生较大变化, α_2 为 0。

$$\alpha_1 = \frac{0.195 \times \Delta x_3 + 0.145 \times \Delta x_5 + 0.205 \times \Delta x_6}{\sum_{i=1}^8 a_i x_i}$$

纸坊沟流域 2008 年有荒草地 275.3 hm², 其中人工种草 9.2 hm², 有林地 385.7 hm², 其中生态林 321.3 hm²。经过与相关专家及个别村干部商讨,按照“轮牧+舍饲”管理方式,冬春舍饲,夏秋轮牧,极限放牧量 500 只左右(历史上曾达到 560 只),为了稳固林草地,并留有余地,按照 300 只羊子完全可以实现生态经济的良性互动。每只羊年纯收入 230 元,可增加收入 61410 元(2008 年舍饲养羊 33 只)。据 2008 年人口,人均纯收入增加 109.27 元。按照这一想法,流域农业产业链与资源量相关度、农产品商品率都将增加 1 个标度,人均纯收入不变。计算得到 $\alpha_1 = 0.557$, 公式(10)变为:

$$\begin{aligned}\frac{den(t)}{dt} &= 0.050 \times en(t) + 0.012 \times el(t) \\ \frac{del(t)}{dt} &= -0.050 \times en(t) + 0.061 \times el(t)\end{aligned}\quad (12)$$

此时,生态系统自我调节的临界点没变,经济系统最大允许演化速度变为: $\frac{den(t)}{dt} = 0.073 \times el(t)$, 即这一行为过程在生态系统阈值范围内增强了经济系统功能。

(3)停止退耕,在相关产业没有建立起来时,有可能会出现复垦。如果这一假定成为现实,生态系统中除降雨量、人口密度、可灌溉面积率外,其它都有可能发生变化,并且 α_2 是负值;经济系统中粮食潜力实现率、农业产投比、流域农业产业链与资源量相关度可能会发生变化。

设定一个极端例子,即退耕政策取消后,由于目前尚未形成稳定的农业生态经济系统结构和可持续发展体系,为了弥补这部分收入(占人均纯收入 10% 以上),开垦种粮,超度放牧,除了经济林面积稳定外,其它林草面积降低,造成新的生态经济问题,比如说又退回到比 1999 年退耕时稍微好一点的水平(当然在该流域并未形成逆向演替,尚在生态恢复的阈值范围内),此时林草面积率(y_3)、土壤侵蚀模数(y_5)、群落演替阶段(y_9)、粮食潜力实现率(x_7)都会变小,流域农业产业链与资源量相关度(x_3)稍微增加。计算得到 $\alpha_1 = 0.1$ 、

$\alpha_2 = -0.386$ 。公式(10)变为:

$$\begin{aligned}\frac{den(t)}{dt} &= 0.035 \times en(t) + 0.012 \times el(t) \\ \frac{del(t)}{dt} &= -0.050 \times en(t) + 0.024 \times el(t)\end{aligned}\quad (13)$$

由公式(13)可知,当 $en(t) = 0.69 \times el(t)$ 时,生态系统演变速度是 0,为生态系统自我调节的临界点,此时, $\frac{den(t)}{dt} = 0.047 \times el(t)$,单位生态系统功能减弱。

3 结论

基于“一般系统论中系统演化”的思想、“Thornes 关于植被和土壤侵蚀耦合模型”的思路而建立的农业生态经济系统耦合过程模型方程组,能够反映农业“生态—经济”的互动过程,确定经济系统影响生态系统的临界点,在纸坊沟流域的应用验证了这一点。

纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程模型的计算及不同情境下可能发展趋势的预测表明,经济系统发展态势与经济系统演化速度成正向相关、与生态系统演化速度成负向相关;生态系统发展态势与经济系统演化速度 and 生态系统演化速度都成正向相关。说明农业生态系统与农业经济系统关系密切,并且通过建立良性的生态系统,能够实现生态、经济双赢。

公式(11)、(12)和公式(13)给出一个明确的信号:目前情况下,稳固或取消退耕还林政策,造成生态系统和经济系统潜在功能的差异较大,生态系统态势对生态系统演变速度的影响前者比后者高 1.54 倍,在达到生态系统自我调节的临界点时,潜在的经济功能前者是后者的 1.8 倍。所以,必须稳定退耕还林工程,促进农业资源合理、高效利用,加速产业优化升级,这样方能实现农业生态经济系统健康、持续发展。

致谢:承蒙 William J. Gale 博士对英文摘要的润色,特此致谢。

References:

- [1] Ren J Z, Zhu X Y. The pattern of agro-grassland systems and system discordance in Hexi Corridor of China: The mechanism of grassland degradation. *Acta Prataculturae Sinica*, 1995, 4(1):69-80.
- [2] Ren J Z, Li X L, Hou F J. Research progress and trend on grassland agroecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(8): 1017-1021.
- [3] Wan L Q, Li X L. System coupling and its effect on agricultural system. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(3): 1-7.
- [4] Lin H L, Hou F J. Research progress and trends in system coupling and discordance for grassland agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1252-1258.
- [5] Wang J J. Agricultural eco-economic system coupling of Zhifanggou watershed in the Hilly-gully region of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(11): 2723-2729.
- [6] Wang J J, Jiang Z D, Lian P, Guo M C, Jiang J, Su X, Li H, Niu Y L. Coupling analysis of the agricultural ecological economic system over 70 years in the Zhifanggou watershed, Shaanxi Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 29(9): 5130-5137.
- [7] Liu X Y, Wang S M, Guo Z G. The compound management model of agricultural resources and its eco-economic coupling effects in the semi-arid area of Northwest China. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(5): 624-631.
- [8] Zhou L H, Fan S Y, Wang T. Ecological economic system analysis and system coupling development patterns of the Heihe River Basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(5): 67-72.
- [9] Zhou L H, Wang T, Fan S Y, Yang G J. The Eco-economic problems and sustainable development mode of the Inland River Basin: A case study of the Heihe River Basin. *China Soft Science*, 2005(1): 114-119.
- [10] Li C M, Ding L Y. Study of coordinated development model and its application between the economy and resources environment in small town. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2004, 24(11): 134-139.
- [11] Liang H M, Liu W D, Lin Y X, Liu Y. Coupling model of land use benefits and its application. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2008, 34(2): 230-236.
- [12] Qiao B, Fang C L. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and ecoenvironment and its application in arid

- area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 25(11):3003-3009.
- [13] Dong X B, Gao W S, Yan M C. Emergy evaluation of the coupling effects of ecological economic systems of two selected counties in the eco-tone between agriculture and pasture in the North China. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(11):1-6
- [14] Lu L R. *The Achievements and Development Strategy about Solving Problem of Food and Clothing in China*. Beijing: China Agricultural Press, 1999:375-385.
- [15] Thornes J B. Environmental systems-patterns: processes and evolution // Gregory K J, Clark J. eds. *Horizon in Physical Geography*. New York: Macmillan, 1985: 27-46.
- [16] Zhou Z C, Shangguan Z P, Zhao D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau area of China. *Ecological Modelling*, 2006, 198(2):263-268.
- [17] Wang Z Y, Wang G Q, Gao J. An ecological dynamics model of vegetation evolution in erosion area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 23(1):98-105.
- [18] Bretz E A. Clean coal technologies: A status report. *EA Bretz- Electrical World*, 1992, (2): 37- 42.
- [19] Ebara N. R&D of coal utilization technology in Japan. *Fuel Processing Technology*, 2000, 62: 143-151.
- [20] Ansai Comprehensive Research Station of Soil and Water, Academia Sinica. *Studies on Ecological Agriculture with Soil and Water Conservation in Loess Hilly Gully Region*. Yangling, Shaanxi, China: Tianze Press, 1993.

参考文献:

- [1] 任继周, 朱兴运. 中国河西走廊草地农业的基本格局和它的系统相悖: 草原退化的机理初探. *草业学报*, 1995, 4(1):69-80.
- [2] 任继周, 李向林, 侯扶江. 草地农业生态学研究进展与趋势. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 1017-1021.
- [3] 万里强, 李项林. 系统耦合及其对农业系统的作用. *草业学报*, 2002, 11(3): 1-7.
- [4] 林慧龙, 侯扶江. 草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖研究动态. *生态学报*, 2004, 24(6): 1252-1258.
- [5] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析. *应用生态学报*, 2009, 20(11):2723-2729.
- [6] 王继军, 姜志德, 连坡, 郭满才, 姜峻, 苏鑫, 李慧, 牛艳丽. 70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势. *生态学报*, 2009(9): 5130-5137.
- [7] 刘兴元, 王锁民, 郭正刚. 半干旱地区农业资源的复合经营模式及生态经济耦合效应研究. *自然资源学报*. 2004, 19(5):624-631.
- [8] 周立华, 樊胜岳, 王涛. 黑河流域生态经济系统分析与耦合发展模式. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(5):67-72.
- [9] 周立华, 王涛, 樊胜岳, 杨国靖. 内陆河流域的生态经济问题与协调发展模式. *中国软科学*, 2005(1):114-119.
- [10] 李崇明, 丁烈云. 小城镇生态环境与社会协调发展评价模型及其应用研究. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(11):134-139.
- [11] 梁红梅, 刘卫东, 林育欣, 刘勇. 土地利用效益的耦合模型及其应用. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2008, 34(2):230-236.
- [12] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. *生态学报*, 2005, 25(11):3003-3009.
- [13] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 基于能治理论的农牧交错带两个典型县域生态经济系统的耦合效应分析. *农业工程学报*, 2005, 21(11):1-6
- [14] 卢良茹. *中国解决温饱问题的成就及其发展战略*. 北京: 中国农业出版社, 1999:375-385.
- [17] 王兆印, 王光谦, 高 菁. 侵蚀地区植被生态动力学模型. *生态学报*, 2003, 23(1):98-105.
- [20] 中国科学院安塞水土保持综合试验站编. *黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究(上册)*. 杨陵: 天则出版社, 1990.