

70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势

王继军¹, 姜志德², 连 坡³, 郭满才³, 姜 峻¹, 苏 鑫¹, 李 慧¹, 牛艳丽¹

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨陵西农路 26 号 712100;
2. 西北农林科技大学经济管理学院, 陕西杨陵渭惠路 4 号 712100; 3. 西北农林科技大学理学院, 陕西杨陵西农路 30 号 712100)

摘要:“农业生态经济系统耦合”的研究与实践对于实现农业产业与资源相一致, 建立持续、高效的农业生态经济系统具有重要的意义。耦合度可以阐明农业经济系统与农业生态系统互动关系, 判定农业生态经济系统耦合态势。在分析陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合关系的基础上, 参照系统科学等理论及相关研究结果建立了农业经济系统与农业生态系统耦合度模型, 并计算和分析了该流域 70a 来的耦合度。结果表明, 农业生态经济系统的耦合过程可以划分为 4 个阶段: I. 经济系统依赖生态资源进行原始化农业生产阶段; II. 农业生产掠夺式利用生态资源, 生态系统供给能力不断减少阶段; III. 农业经济系统与生态系统协调化发展阶段; IV. 降低农业发展速度, 促使生态系统重建阶段。纸坊沟流域从 1938 ~ 2008 年先后经历了第 I 阶段、第 II 阶段和第 III 阶段。目前处于第 III 阶段, 但在“系统发展”过程中已潜伏了越来越大的危机, 到 2018 年系统耦合突破“协调”界限, “相悖态势”将明显表现出来。为此, 纸坊沟流域必须调整产业布局, 发展草畜产业, 进行产业升级, 优化产业结构, 实现农业生态经济系统协调、持续发展。

关键词: 农业经济系统; 农业生态系统; 耦合度; 态势; 纸坊沟流域

文章编号: 1000-0933(2009)09-5130-08 中图分类号: Q14, S181, X24 文献标识码: A

Coupling analysis of the agricultural ecological economic system over 70 years in the Zhifanggou watershed, Shaanxi Province

WANG Ji-Jun¹, JIANG Zhi-De², LIAN Po³, GUO Man-Cai³, JIANG Jun¹, SU Xin¹, LI Hui¹, NIU Yan-Li¹

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources

2 College of Economics and Management, Northwest A&F University

3 College of Science, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 5130 ~ 5137.

Abstract: Research about coupling in agricultural ecological economic systems is important for the establishment of an efficient and sustainable agricultural production system. Knowledge about the degree of coupling can help clarify interaction between the agricultural and economic systems and be used to judge the state of the agricultural ecological economic system. In this paper, the author established a coupling factor model for the agricultural and economic system in the Zhifanggou watershed, Shaanxi Province. Analysis was conducted using data collected over 70 years. The results indicate that the coupling process in the agricultural ecological economic system can be divided four stages: I. A stage of primitive agricultural production in which the economic system depends on the ecological resources; II. A stage in which agricultural production exploits ecological resources and the ability of the system to supply resources decreases unceasingly; III. A stage of coordinated development of the agricultural and economic systems; and IV. A stage in which the speed of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771082); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD09B10); 中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-05-01-03)

收稿日期: 2009-03-09; 修订日期: 2009-06-13

致谢: 承蒙卢宗凡研究员、谢永生研究员、郝明德研究员在指标选择及权重计算过程中的帮助, 及 William J. Gale, Ph. D. 对英文摘要的润色, 在此一并致谢。

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

agricultural development is reduced and reconstruction of the agricultural ecosystem is promoted. The agricultural ecological economic system passed through stages I, II, and III between 1938 and 2008. Currently the system in the Zhifanggou watershed is at stage III, however the process of system development has concealed the continued growth of a potential crisis. Analysis shows that system coupling will break through the coordinate boundary in 2018. This will result in the clear manifestation of conflict within the system. For this reason, it is important to re-adjust the distribution of industry in the region, promote the development of pastoral animal production, and optimize the industrial structure in order to realize harmonious and healthy development within the agricultural ecological economic system.

Key Words: agricultural economic system; agricultural ecological system; coupling degree; situation; Zhifanggou watershed

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游,隶属于陕西省安塞县沿河湾镇,位于东经 $109^{\circ}19'23''$,北纬 $36^{\circ}51'30''$,属于暖温带半干旱气候区,流域面积 8.27km^2 ,包含 2 个行政村中的纸坊沟、寺岷岷、瓦树塌 3 个完整的自然村。该流域曾是次生林区,从可追溯到的资料来看,1938 年全流域有 24 户、94 人,耕垦指数 13.4%,林草覆盖率 76.5%,粮食单产 $1449\text{kg}/\text{hm}^2$,人均生产粮食 1638.3kg。由于人口的大量迁入及系统外对该流域粮食、木材需求的增加,林草植被遭到了很大破坏,农业生产能力不断下降,到 1958 年,耕垦指数 51.5%,仅存果树和灌木 3.5hm^2 ,粮食单产 $415.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 。1973 年开始综合治理,农业生态经济系统进入不稳定恢复期^[1],1986 年该流域被列为黄土高原综合治理试验示范区,进入持续修复和重建期,2008 年该流域有 124 户、562 人,人均耕地 $0.11\text{hm}^2/\text{人}$,林草覆盖率 56.53%,粮食单产 $4289\text{kg}/\text{hm}^2$,人均纯收入 5154.35 元。目前生态系统稳定演替,植被演替达到亚顶级群落,经济系统功能增强。

以上表明,70a 来纸坊沟流域农业生态经济系统经历了一个“破坏—修复(重建)”的过程。针对纸坊沟流域这一完整的演变过程,加之其在黄土丘陵区具有典型的代表性,使其成为学者关注和研究的热点。人们先后对其进行了多方位的研究:从恢复生态系统角度探讨了植被演替、水分运移、肥力配置等问题^[1,2],从发展经济角度研究了土地利用结构、农业发展模式^[1,3]、提高粮食单产、增加农民收入等问题,从二者结合角度研究了农业生态经济系统演变规律^[4]、农业生态经济安全评价^[5]等,取得了系列研究成果,促进了农业生态经济系统的良性化发展。但是农业经济系统与农业生态系统在不同时期的关系如何、目前产业发展是否与农业资源相一致、按照既定发展轨迹能否保证农业生态经济系统的可持续发展等问题尚未有科学判定,直接或间接影响了该流域未来发展方案的制定。为此,需要探讨农业生态经济系统的耦合问题。

“系统耦合”系指 2 个或 2 个以上性质相近的生态系统具有互相亲合的趋势,当条件成熟时,他们可以结合为一个新的、高一级的结构-功能体,这就是系统耦合^[6]。农业生态经济系统耦合的研究与实践对于实现农业产业与资源相一致,建立持续、高效的农业生态经济系统具有重要的意义。曹明宏等通过分析生态环境系统与社会经济系统耦合机制的类型,认为当前湖北农业发展的主要深层障碍在于“生态-经济”复合系统良性耦合机制破缺,指出发展绿色农业是湖北农业持续发展的可行选择^[7]。黄羿龙将水资源生态系统和社会经济系统耦合成水资源生态经济系统,以用来作为水资源可持续利用的生态经济评价体系^[8]。张殿发等将土地生态系统与土地经济系统加以耦合成为土地生态经济系统,并对其进行了分析,认为土地资源可持续利用的目标是在土地开发利用过程中实现生态、经济和社会效益的有机统一^[9]。这些研究^[7-12]主要从定性角度、或者农业生态经济系统的某个侧面探讨农业生态经济系统的协调发展问题。

基于上述理念,本研究运用系统科学理论,通过建立农业生态经济系统演变过程的动态耦合模型,对纸坊沟流域 70a 来农业生态经济系统演变过程进行分析,探讨农业生态经济系统“破坏—修复”这一完整演变过程下的耦合规律,以期为该流域农业生态经济系统可持续发展方案的制定提供科学依据。

1 耦合度模型设计

运用“耦合度”模型,能够很好的分析农业生态经济系统耦合的阶段特征及未来态势。乔标、方创林基于

动态耦合模型所建立的协调耦合度较好地反映了城市化与生态环境的交互胁迫、动态耦合的演变情况^[13]。梁红梅、刘卫东等利用耦合度模型表示土地利用社会效益与生态效益之间的耦合关系,把系统演化过程划分为低级共生、协调发展、极限发展、再生发展 4 个阶段^[14]。贾士靖、刘银仓等建立了中国 2005 年 31 省区(不包括香港、澳门、台湾)的农业生态环境与经济发展耦合度模型,结果表明,各省区的农业生态环境与经济发展耦合度均处于较高水平,但协调度却差异显著^[15]。李海鹏、叶慧利用耦合度研究了我国城市化与粮食安全的动态耦合过程,提出了建立粮食安全与城市化协调发展长效机制的建议^[16]。本文运用系统论中的系统演化思想来建立农业生态经济系统耦合度模型。

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^[13,14,17],其演化方程可以表示为:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

式中, f 为 x_i 的非线性函数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

可近似的表示为^[7]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

因此,农业生态系统(el)与农业经济系统(en)的一般函数可表示为^[18]:

$$el = \sum l_i x_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$en = \sum n_j y_j, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, x, y 为两系统的元素; l, n 为各元素的权重。

鉴于农业经济系统与农业生态系统可耦合成农业生态经济系统,可以把它们作为一个复合系统来考虑,按照一般系统理论^[18],该复合系统的演化方程可以表示为:

$$A = \frac{d(el)}{dt} = f_1(el, en) \quad V_A = \frac{dA}{dt} \quad (3)$$

$$B = \frac{d(en)}{dt} = f_2(el, en) \quad V_B = \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

A, B 为受自身与外界影响下农业生态系统与农业经济系统的演化状态, V_A, V_B 分别为其演化速度,这样整个系统的演化速度(V)就可表示为:

$$V = f(V_A, V_B)$$

通过分析 V 的变化来研究整个系统及两个子系统之间的耦合关系。

由于农业生态经济系统的演化满足组合 S 型发展机制^[18],这样可以在二维平面上分析 V 的变化,以 V_A, V_B 分别为横、纵坐标,由于经济系统演化速度相对于生态系统敏感,所以 V 的变化轨迹为坐标系中一椭圆(图 1)。这样就有:

$$\tan \theta = \frac{V_B}{V_A}, \theta = \arctan \frac{V_B}{V_A} \quad (5)$$

θ 的变化是由 V_A, V_B 及其相互关系确定的,即 θ 的变化可以确定农业生态经济系统的演化状态,所以可以把 θ 称着农业生态系统与农业经济系统的耦合度。

2 纸坊沟流域农业生态经济系统耦合度计算

2.1 纸坊沟流域农业生态经济系统耦合关系及指标体系

农业生态经济系统是一个复杂的灰色系统,存在着众多要素的作用关系和过程。耦合模型涉及到的要素

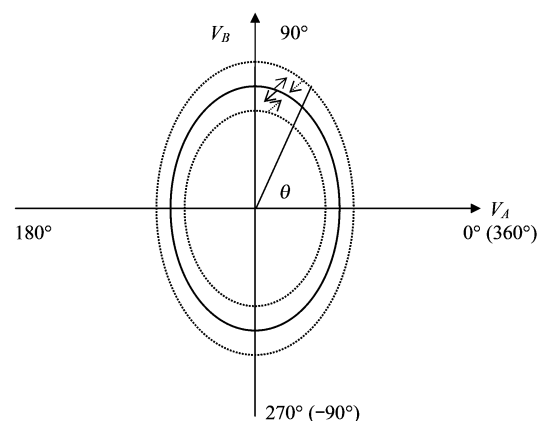


图 1 农业经济系统与农业生态系统耦合关系示意图

Fig. 1 Coupling relationship of agricultural eco-economic system

必定有限,所以必须探寻农业生态经济系统演变过程中的主要要素及其相互关系,建立反映“生态-经济互动过程”的指标体系。

2.1.1 农业经济系统与农业生态系统耦合的核心是农业产业与农业资源的耦合

农业生态经济系统耦合是指农业经济系统与农业生态系统按照其固有的互动关系,在人类适当干预和调控下所形成的有机统一体,其耦合态势可以依据农业资源与农业产业之间的固有关系,在人类的干预下所形成的资源、产业及其相互之间的循环链网结构所表示。纵观纸坊沟流域农业生态经济系统的演变历程,都是以人类的需求为出发点安排农业生产,进而对农业资源进行配置。1938 年之前,流域人口稀少,相应的需求总量少,人们只需要很少的耕地满足粮食生产,所以耕地主要集中在川台和梁峁缓坡地上,可以根据草地长势随意放牧,生产对资源的消耗量小于资源的增长量,对农业生态系统的破坏并未超出其恢复能力,农业生态系统处于良性循环态势。自 20 世纪 40 年代开始,随着人口的增长,需求总量不断增加,由于完全处于自然经济条件下,只有靠扩大耕地面积满足最基本的生存需求,导致突破适耕地开垦,生态系统遭到破坏,经济系统与生态系统矛盾加剧,以至于形成恶性循环。到 1958 年坡耕地增加了 5.13 倍,粮食单产却比 1938 年减少了 71.33%,人均生产粮食减少了 50.04%^[1]。1973 年兴修基本农田,增加适耕面积;1986 年在兴修基本农田、培肥地力的基础上,增加人工种草面积,对陡坡荒地封育禁牧,提高了农业资源的生产能力;1999 年国家实施退耕补贴政策,加之农业劳动力非农化比例提高,对农业系统需求压力减弱,促使了植被恢复,生态经济系统趋于良性化。在整个过程中,土地利用结构由 1938 年的 1:3.83:1.89,演变到 1958 年的 1:0.01:0.7、2008 年的 1:6.02:4.30。

2.1.2 农业产业布局受制于农业经济效益

“效益”在经营者的心目中占有重要地位,人们生产经营的目的就是为了获得满意的效益,而这种追求效益的行为后果反过来严重影响农业产业布局,大棚种植发展过程就可说明这一点。纸坊沟流域 1999 年开始种植大棚蔬菜,当年种植了 6 棚蔬菜,2000 年发展到 15 棚,并建了 9 个弓棚。2001 年大棚蔬菜收入 7000 元/棚,2002 年发展到 25 棚。由于当年蔬菜价格降低,收入仅 4000 元/棚,以至于 2004 年大棚数量减至 16 个大棚,其中实际只有 7 棚种植蔬菜,其它 9 棚中 7 棚种大田菜、杂粮和育苗,2 棚撂荒。此后虽蔬菜价格提高,但由于非农劳动力收入增加,大棚经营的比较效益下降,大棚数量进一步减少,2008 年仅保留 6 棚。

2.1.3 农业生态环境的改善能够促进农业资源质量的提高

土地资源是农业资源的重要组成部分,也是其它农业资源与生态系统的载体,土地资源的改良,同时会使其承载资源质量提高,比如土地肥力的提高可以使草场质量、产量及其承载力提高。影响土地子系统循环的因素包括了光、热、水、气、生等,其中部分因子在一个相对较长的时间是稳定的,或者对农业资源的影响是稳定发展的,部分因子的变化对土地资源影响较大,比如通过减少土壤流失量、增加水资源满足率等,就可提高农业资源量。农业资源对这些因素也有反作用,所有生态系统诸要素之间形成了互动过程。

综上,生态环境、农业资源、产业态势、经济效益可以反映生态系统与经济系统的耦合过程。

按照科学性、层次性、系统性、可行性的原则,形成表 1 的评价指标体系^[19,20],采用德尔菲法(Delphi)确定其权重(表 1)。

2.2 数据来源及处理方法

1938~1985 年关键年份数据主要来源于课题组通过对航片解读、访问老人、查阅县志等资料^[1],并进行综合分析后得到,1985~2008 年数据来源于本课题组的实际监测与调查资料。为了对纸坊沟流域 70a 来的演变过程进行系统化研究,以 1938~1985 年代表性年份及 1985 年之后各个年份的数据为基础进行分析,一方面利用近 30a 连续数据可以对将来一段时间发展进行预测,提出相关建议,另一方面通过系统分析可以初步了解 1938~1984 年各个年份农业生态系统与农业经济系统的耦合状况,解决这些年发展态势没有量化的现实,为相关研究提供参考。

由于数据时间序列比较长,为了使其具有可比性、更加符合农业生态经济系统演变与实际情况,通过确定

标度值给各个指标打分进行无量纲化处理,其值介于0~1之间。

表1 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 1 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
生态系统 Ecosystem	生态环境 Ecological-environment	0.4	降雨量 Average annual precipitation	0.14
			人口密度 Peasants population density	0.32
			可灌溉面积率 Proportion of irrigation areas to total producing areas	0.11
			林草面积率 Ratio of forest and grass areas	0.22
			土壤侵蚀模数 Soil corrosion modulus	0.21
	农业资源 Agricultural-resource	0.6	农林牧土地利用结构 Land use structure of agriculture, forestry and animal husband	0.21
			人均基本农田 Average areas of basic farmland	0.25
			牧草地比重 Proportion of grassland to total producing areas	0.28
			果园用地比重 Proportion of orchard to total producing areas	0.26
经济系统 Economic-system	产业态势 Industry-situation	0.5	农业劳动力/非农业劳动力 Proportion of agro-labour force to non-agricultural labour force	0.15
			商品加工(贮藏)率 Ratio of commodity machining (or store)	0.28
			流域农业产业链与资源量相关度 Correlation degree of agricultural industrial chain and resources	0.39
			工副业贡献率 Proportion of industrial and all kinds of sideline to total income of peasants	0.18
	经济效益 Economic-benefit	0.5	农产品商品率 Ratio of marketable farm produce	0.29
			人均纯收入 Average annual net income of peasants	0.41
			粮食潜力实现率 Ratio of yield of drain production potential	0.19
			农业产投比 Proportion of agricultural regional output-input	0.11

2.3 各年份耦合度态势

在对农业生态系统与农业经济系统综合指数(图2)计算的基础上,对其进行非线性拟合,利用公式(3)、(4),得到:

$$V_A = \frac{dA}{dt} = -2.1 \times 10^{-5}t^2 + 2.2 \times 10^{-3}t - 0.0414 \quad (R^2 = 0.9703) \tag{6}$$

$$V_B = \frac{dB}{dt} = 6 \times 10^{-4}t - 0.0125 \quad (R^2 = 0.9767) \tag{7}$$

式中, t 的取值范围为1~71,相应的年份为1938~2008年。

由图2可以看出,农业生态系统与农业经济系统综合指数都经历了一个先下降再升高的过程,在1975年之前,农业生态系统变化剧烈,下降速度明显,1975年之后农业经济系统变化速度快于农业生态系统,2007年之后农业经济系统发展速度相对加速。

采用公式(6)、(7)、(5)得到表2各个年份的耦合度。

3 农业生态经济系统耦合态势分析

相对来说,在系统内外因素影响下农业经济系统比农业生态系统敏感,所以农业经济系统与生态系统耦合过程呈椭圆形^[21]。从表2可以看出纸坊沟流域农业经

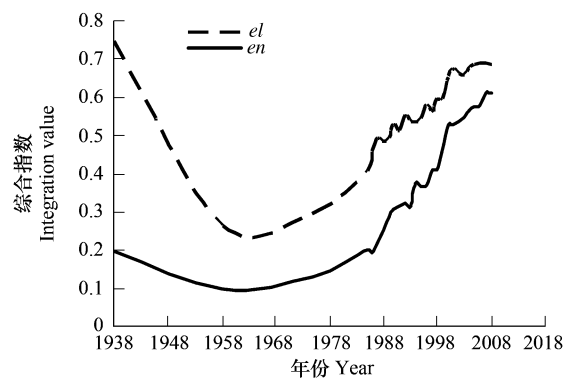


图2 1938~2008年纸坊沟流域农业生态系统与农业经济系统综合指数变化情况

Fig.2 Agricultural eco-economy integration value of Zhifanggou valley from 1938 to 2008

济系统与生态系统耦合度分布在 $40 \sim 200^\circ$ 之间。

表 2 1938 ~ 2008 年纸坊沟流域农业经济系统与农业生态系统耦合度($^\circ$)

Table 2 Coupling degree of agricultural eco-economy system in Zhifanggou valley from 1938 to 2008

年份 Year	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
V_A	-0.0392	-0.0371	-0.0350	-0.0329	-0.0309	-0.0290	-0.0270	-0.0251	-0.0233	-0.0215	-0.0197
V_B	-0.0119	-0.0113	-0.0107	-0.0101	-0.0095	-0.0089	-0.0083	-0.0077	-0.0071	-0.0065	-0.0059
$\tan\theta$	0.3034	0.3047	0.3058	0.3067	0.3072	0.3074	0.3071	0.3062	0.3047	0.3023	0.2989
θ	196.88°	196.95°	197.00°	197.05°	197.08°	197.09°	197.07°	197.03°	196.95°	196.82°	196.64°
年份 Year	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
V_A	-0.0180	-0.0163	-0.0147	-0.0131	-0.0116	-0.0101	-0.0086	-0.0072	-0.0058	-0.0045	-0.0032
V_B	-0.0053	-0.0047	-0.0041	-0.0035	-0.0029	-0.0023	-0.0017	-0.0011	-0.0005	0.0001	0.0007
$\tan\theta$	0.2941	0.2875	0.2786	0.2667	0.2505	0.2284	0.1976	0.1532	0.0862	-0.0224	-0.2212
θ	196.39°	196.04°	195.57°	194.93°	194.06°	192.87°	191.18°	188.71°	184.93°	178.72°	167.52°
年份 Year	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
V_A	-0.0019	-0.0007	0.0005	0.0016	0.0027	0.0037	0.0047	0.0057	0.0066	0.0075	0.0083
V_B	0.0013	0.0019	0.0025	0.0031	0.0037	0.0043	0.0049	0.0055	0.0061	0.0067	0.0073
$\tan\theta$	-0.6810	-2.7299	5.2632	1.9327	1.3750	1.1510	1.0340	0.9649	0.9216	0.8938	0.8762
θ	145.75°	110.12°	79.24°	62.64°	53.97°	49.01°	45.96°	43.98°	42.66°	41.79°	41.22°
年份 Year	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
V_A	0.0091	0.0099	0.0106	0.0113	0.0119	0.0125	0.0130	0.0135	0.0140	0.0144	0.0147
V_B	0.0079	0.0085	0.0091	0.0097	0.0103	0.0109	0.0115	0.0121	0.0127	0.0133	0.0139
$\tan\theta$	0.8658	0.8608	0.8598	0.8621	0.8673	0.8749	0.8846	0.8964	0.9100	0.9255	0.9428
θ	40.89°	40.72°	40.69°	40.77°	40.93°	41.18°	41.50°	41.87°	42.30°	42.78°	43.31°
年份 Year	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
V_A	0.0151	0.0154	0.0156	0.0158	0.0160	0.0161	0.0162	0.0162	0.0162	0.0162	0.0161
V_B	0.0145	0.0151	0.0157	0.0163	0.0169	0.0175	0.0181	0.0187	0.0193	0.0199	0.0205
$\tan\theta$	0.9619	0.9828	1.0057	1.0306	1.0576	1.0870	1.1187	1.1532	1.1905	1.2311	1.2753
θ	43.89°	44.50°	45.16°	45.86°	46.60°	47.39°	48.21°	49.07°	49.97°	50.91°	51.90°
年份 Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
V_A	0.0159	0.0158	0.0156	0.0153	0.0150	0.0147	0.0143	0.0139	0.0134	0.0129	0.0123
V_B	0.0211	0.0217	0.0223	0.0229	0.0235	0.0241	0.0247	0.0253	0.0259	0.0265	0.0271
$\tan\theta$	1.3234	1.3759	1.4335	1.4968	1.5667	1.6440	1.7302	1.8266	1.9351	2.0583	2.1990
θ	52.92°	53.99°	55.10°	56.25°	57.45°	58.69°	59.97°	61.30°	62.67°	64.09°	65.55°
年份 Year	2004	2005	2006	2007	2008						
V_A	0.0117	0.0111	0.0104	0.0097	0.0089						
V_B	0.0277	0.0283	0.0289	0.0295	0.0301						
$\tan\theta$	2.3613	2.5505	2.7738	3.0412	3.3673						
θ	67.05°	68.59°	70.17°	71.80°	73.46°						

(1) 当 $270^\circ \geq \theta > 180^\circ$ 时,经济系统依赖农业资源进行原始化农业生产阶段(简称“原始化农业生产阶段”)。随着耦合角度的减小,经济系统对生态资源的利用和破坏数量不断加大,其结果是生态系统恶化,经济发展萎缩。1938 ~ 1957 年农业经济系统与生态系统的耦合度为 $196.88^\circ \sim 184.93^\circ$,处于第Ⅲ象限,其中 1938 ~ 1943 年耦合度缓慢增加,1944 ~ 1957 年耦合度缓慢减少。事实上,在这近 20a 的农业生态经济系统演变过程中,农业生产完全依赖于农业系统的封闭循环,伴随着经济的发展,农业资源存量在不断减少,导致生态系统破坏。20 世纪 40 年代前期,由于资源存量较大,完全能够满足农业生产发展的需要,经济发展速度大于生态系统破坏的速度,农业资源在其阈值范围内的减少支撑了经济发展的需要,此后,耦合度降低,经济发展受到约束。

(2) 当 $180^\circ \geq \theta > 90^\circ$ 时, 农业生产掠夺式利用生态资源, 生态系统供给能力不断减少阶段(简称掠夺式利用农业资源阶段)。1958 ~ 1961 年纸坊沟流域处于这一阶段。由于建立在掠夺式农业生产经营基础上, 对生态系统的冲击和破坏很大, 导致生态系统恶化, 反过来制约经济发展。此时, 如不改善生态条件, 恢复农业资源数量, 生态系统与经济系统必将崩溃。

(3) 当 $90^\circ \geq \theta > 0^\circ$ 时, 农业经济系统与生态系统协调化发展阶段。其中 $\theta = 45^\circ$ 时系统均衡发展, θ 接近 0° 时经济发展滞后, 农业资源利用不足, θ 接近 90° 时经济系统对农业资源的利用超量或结构不合理, 潜伏了进一步发展的危机。基于这种情况, 这一阶段可以划分为 3 个时期: $0^\circ \leq \theta < 30^\circ$ 为经济低速发展期、 $30^\circ \leq \theta < 60^\circ$ 为生态经济系统均衡发展期、 $60^\circ \leq \theta < 90^\circ$ 为生态经济系统危机潜伏期。从表 2 可知 1962 ~ 1963 年、2006 ~ 2008 年为生态经济危机潜伏期, 1964 ~ 1999 年为生态经济均衡发展期。从实际调查情况来看, 1964 ~ 1999 年, 生态系统逐步修复, 同时通过农业系统外物、能的输入, 按照资源结构配置农业生产项目, 即农业生态系统与经济系统结构调整的过程中实现了二者的共同发展; 1999 年之后果园老化的滞后效应明显表现出来, 特别是 1999 年退耕还林工程实施后, 劳务输出增加, 畜牧业由放牧转成舍饲, 养殖数量减少, 林草资源闲置, 农业产业布局与农业资源一致性程度减弱, 在对农业资源利用结构不合理的基础上出现剩余。

(4) 当 $0^\circ \geq \theta > \sim 90^\circ$ ($360^\circ \geq \theta > 270^\circ$) 时, 降低农业发展速度, 促使生态系统重建阶段。这一阶段通过有意识的压缩经济增长速度以重建濒临崩溃的生态系统。在纸坊沟流域, 由于人们对生态环境的破坏未超过其阈值, 并采取了相应的措施, 70a 来未出现这一阶段。

4 结论与讨论

(1) 70a 来纸坊沟流域经历了“原始化农业生产阶段、掠夺式利用农业资源阶段、农业生态经济系统协调化发展阶段”。目前由于对农业资源的有效利用率降低, 潜伏了进一步发展的危机。这一判断与实际相符, 证明了“系统耦合度”对于分析农业经济系统与生态系统耦合态势具有重要的意义。以上分析同时说明, 通过对“70a 来纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势”的分析, 对于判定“农业生态-经济互动关系”、生态农业发展模式态势及可能发展方向具有直接参考价值。

(2) 按照 1938 ~ 2008 年农业经济系统与生态系统耦合发展轨迹, 纸坊沟流域农业生态经济系统发展过程中潜伏了越来越大的危机, 到 2018 年系统耦合突破“协调”界限, “相悖态势”将明显表现出来。究其原因主要是退耕还林还草工程实施后, 封山禁牧, 林草资源闲置、浪费, 为此, 需要调整产业布局, 发展草畜产业, 进行产业升级, 优化产业结构, 实现农业生态经济系统协调、持续发展。

(3) “系统耦合度”只能反映农业经济系统与农业生态系统耦合的态势, 不能反映系统耦合的效果。由图 1 可以看出, 同一耦合度下可以有多个水平的耦合效果。正象纸坊沟流域每一个耦合阶段包含多个年份, 但其耦合效果却不同一样, 比如, 1964 ~ 1999 年为生态经济均衡发展期, 但 20 世纪 80 年代之前“系统耦合”水平极低, 主要解决生存问题, 1980 年之后“系统耦合”水平不断提高。所以, 耦合度指标必须与其它相关指标结合在一起才能表征农业生态经济系统耦合过程, 这就是本课题下一步想要解决的问题。

Reference:

- [1] Ansai Comprehensive Research Station of Soil and Water Conservation, Academia Sinica. Studies on ecological agriculture with soil and water conservation in Loess Hilly Gully Region. Yangling; Tianze Eldonjo, 1990.
- [2] Lu Z F, Liang Y M, Liu G B. Studies on ecological agriculture with soil and water conservation in Loess Hilly Gully Region. Xi'an; Shaanxi Science and Technology Press, 1997.
- [3] Wang J J, Xie Y S, Lu Z F. Developing model of ecological agriculture under practice of converting slope cropland to woodland and grassland. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 134 - 137.
- [4] Wang J J, Guo M C, Wang Y F. Study of the developing law of eco-economic system in Zhifanggou Valley. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005(10): 324 - 329.
- [5] Wang J J. Safety evaluation of the agricultural eco-economics of Zhifanggou watershed in the Hilly-gully region of Loess Plateau. Science of Soil and Water Conservation, 2008(4): 109 - 113.

- [6] Wan L Q, Li X L. System coupling and its effect on agricultural system. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(3): 1—7.
- [7] Cao M H, Lei S Y, Jiang X M. Benign coupling of eco-economy and agricultural operational mechanism innovation in Hubei. *Hubei Agricultural Science*, 2000, (6): 7—9.
- [8] Huang Y L, Zhang D F. The eco-economical evaluation of regional water resource sustainable utilization. *Hydrology and Water Resource*, 2000, 21(3): 11—13.
- [9] Zhang D F, Huang Y L. Eco-economic system of sustainable land use. *Rural Co-Environment*, 2000, 16(2): 45—48.
- [10] Lin H L, Xiao J Y, Hou Fu J. Coupling patterns of the meta-ecosystem of mountain, desert and oasis and its emdollars analysis in the Hexi corridor, Gansu, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 965—971.
- [11] 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 Resource and Environment*, 2005, 19(5): 67—72.
- [12] Wang R H, Zhang H Z, Zhao Z Y. Characteristic analysis on ecosystem coupling relations in arid zone. *Ecology and Environment*, 2004, 13(3): 347—349.
- [13] Qiao B, Fang C L. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3003—3009.
- [14] 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.
- [15] Ji S J, Liu Y C, Xing M J. On coordination development of agricultural ecological-environment and economy in defferent regions based on coupling degree model. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29(5): 573—575.
- [16] Li H P, Ye H. The dynamic coupling analysis of urbanization and food safety. *Research on Development*, 2008, 5(138): 38—42.
- [17] 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.
- [18] Bertalanffy L V. *General System Theory- Foundation, Development, Applications* (Reversion edition). New York: George Beazitler, 1987.
- [19] Wang J J, Zheng K, *et al.* The index system of reviewing effects of ecological agriculture construction in the medium scale areas. *Research of Soil and Water Conversation*, 2000, 7(3): 219—247.
- [20] Li F, Wang J J. Assessment of agricultural ecological security of the Zhifanggou Valley in the Loess Hilly Region over 70 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2380—2387.
- [21] Xu X R, Wu Z J, Zhang J R. Research on the path and early warning of sustainable development. *Mathematics in Practice and Theory*, 2003, 33(2): 31—37.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 卢宗凡主编. 中国黄土高原生态农业. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [3] 王继军, 谢永生, 卢宗凡, 等. 退耕还林还草下生态农业发展模式初探. *水土保持学报*, 2004, (1): 134—137.
- [4] 王继军, 郭满才, 王云峰, 等. 纸坊沟流域生态经济系统演变规律研究. *中国农学通报*, 2005, (10): 324—329.
- [5] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济安全评价. *中国水土保持科学*, 2008, (4): 109—113.
- [6] 万理强, 李项林. 系统耦合及其在农业系统的作用. *草业学报*, 2002, 11(3): 1—7.
- [7] 曹明宏, 雷书彦, 姜学民. 论生态经济良性耦合与湖北农业运作机制创新. *湖北农业科学*, 2000, (6): 7—9.
- [8] 黄奕龙, 张殿发. 区域水资源可持续利用的生态经济评价. *水文水资源*, 2000, 21(3): 11—13.
- [9] 张殿发, 黄奕龙. 土地资源可持续利用的生态经济系统评价. *农村生态环境*, 2000, 16(2): 45—48.
- [10] 林慧龙, 肖金玉, 候扶江. 河西走廊山地-荒漠-绿洲复合生态系统耦合模式及耦合宏观价值分析. *生态学报*, 2004, 24(5): 965—971.
- [11] 周立花, 樊胜岳, 王涛. 黑河流域生态经济系统与耦合发展模式. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(5): 67—72.
- [12] 王让慧, 张慧芝, 赵振勇, 等. 干旱区生态系统耦合的特征分析. *生态环境*, 2004, 13(3): 347—349.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 贾士靖, 刘银仓, 邢明军. 基于耦合模型的区域农业生态环境与经济协调发展研究. *农业现代化研究*, 2008, 29(5): 573—575.
- [16] 李海鹏, 叶慧. 我国城市化与粮食安全的动态耦合分析. *发展研究*, 2008, (5): 38—42.
- [17] 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.
- [19] 王继军, 郑科等. 中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究. *水土保持研究*, 2000, 7(3): 219—247.
- [20] 李芬, 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域近 70 年农业生态安全评价. *生态学报*, 2008, 28(5): 2380—2387.
- [21] 徐学荣, 吴祖建, 张巨勇, 等. 可持续发展通道及预警研究. *数学的实践与认识*, 2003, 33(2): 31—37.