

黄土高原沟壑区王东沟流域农业 生态经济系统演变过程

李文军¹, 郝明德^{1,2}, 牛育华³

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 陕西科技大学, 陕西农产品加工技术研究院, 陕西 西安 710021)

摘要: [目的] 探讨黄土高原沟壑区王东沟流域 1986—2013 年间农业生态经济系统演变过程, 分析不同演变阶段农业生态系统和农业经济系统间的耦合态势, 为该地区经济社会可持续发展提供参考。[方法] 基于黄土高原沟壑区王东沟流域长期监测数据和农户调查资料, 建立了农业生态经济系统综合评价指标体系, 应用耦合度模型对农业生态经济系统演变过程中的耦合态势进行了分析。[结果] (1) 黄土高原沟壑区王东沟流域 1986—2013 年间农业生态系统和农业经济系统综合指数呈上升波动趋势。(2) 农业生态经济系统演变过程中农业生态系统和农业经济系统耦合态势经历了恢复发展阶段、协调发展阶段、恢复发展阶段, 目前处于协调发展阶段。[结论] 在农业生态经济系统演变过程中, 通过农业资源合理调配, 促使农业经济获得新的增长点, 农业生态经济系统能够高效稳定发展。

关键词: 农业生态经济系统; 演变过程; 耦合态势; 耦合度; 黄土高原沟壑区; 王东沟流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0298-05

中图分类号: Q14, S181, X24

文献参数: 李文军, 郝明德, 牛育华. 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态经济系统演变过程[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 298-302. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.053

Evolutionary Process of Agricultural Eco-economic System at Wangdonggou Watershed in Gully Region of Loess Plateau

LI Wenjun¹, HAO Mingde^{1,2}, NIU Yuhua³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Shaanxi Research Institute of Agricultural Products Processing Technology, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: [Objective] The objectives of this paper are to discuss the evolutionary process of agricultural eco-economic system from 1986 to 2013 at Wangdonggou watershed in gully region of Loess Plateau, analyze coupling status between agriculture system and eco-economic system in different development stages in order to provide support for economic and social sustainable development of the region. [Methods] Based on the long-term monitoring data and agricultural household survey at Wangdonggou watershed in gully region of Loess Plateau, we established agricultural eco-economic system comprehensive evaluation indices, and analyzed coupling situation in the process of agricultural eco-economic system using a coupling model. [Results] (1) The composite evaluation index of agricultural ecosystem and agricultural economic system increased from 1986 to 2013 at Wangdonggou watershed; (2) The agricultural eco-economic system had underwent recovery phase, harmonious development phase and reconversion phase, and the current coupling status was harmonious development phase. [Conclusion] In the evolutionary process of agricultural eco-economic system, it could develop efficiently and stably through optimizing agricultural resources and finding new growing point.

收稿日期: 2013-11-04

修回日期: 2015-01-22

资助项目: 国家科技支撑计划重大项目(2011BAD31B01); 国家科技支撑计划项目(2015BAD22B01); 陕西省农业科技创新项目(2012NKC02-09)

第一作者: 李文军(1982—), 男(汉族), 山西省忻州市人, 博士研究生, 研究方向为农业生态系统生产力研究。E-mail: liwenjunzi@163.com。

通讯作者: 郝明德(1957—), 男(汉族), 陕西省华县人, 本科, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

Keywords: agriculture eco-economic system; evolutionary process; coupling status; coupling degree; gully region of loess plateau; Wangdonggou watershed

农业生态经济系统是由农业生态系统与农业经济系统相互作用而形成的一个十分复杂的系统,其演变过程既是系统内各农业生态要素与农业经济要素间以及各要素与外部环境间通过物质、能量传递而使得系统结构和功能发生动态变化的过程,同时也是农业生态系统与农业经济系统相互耦合和相互抑制的矛盾过程^[1-3]。

黄土高原是中国传统的旱作农业区,该地区水土流失严重,土地生产力低下,农民生活贫困,人口—资源—环境矛盾突出,直接影响到区域内农业的稳定与可持续发展,因此,在黄土高原开展农业生态经济系统相关研究,对于解决农业持续发展与生态环境的矛盾,保障区域粮食安全和社会安定具有十分重要的意义^[4]。

目前,已有黄土高原农业生态经济系统演变过程研究多集中于黄土丘陵区,如党小虎等^[5]在黄土丘陵区宁夏自治区德隆县李太平小流域生态经济过程研究中发现,该流域生态经济结构有利于生态经济系统演变,且形成了明显的生态经济效益;张丽萍^[6]将黄土丘陵区上黄试区农业生态经济系统演变过程划分为 3 个演变阶段,其生态经济系统当前处于良性循环发展阶段;李奇睿等^[7]利用生态位评价和灰色关联法对安塞县商品型生态农业系统演变进行分析,结果表明农业资源和经济效益是其发展的重要影响因素。而对于黄土高原另一大地貌类型区黄土高原沟壑区农业生态经济系统演变过程研究相对较少,因此,本文以黄土高原沟壑区典型代表区域陕西省长武县王东沟流域为研究对象,建立农业生态经济系统演变过程耦合模型,对该流域 20 多年农业生态经济系统演变过程中农业生态系统和农业经济系统耦合态势动态变化进行分析,以期为黄土高原沟壑区农业生态经济系统可持续发展提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

王东沟流域(35°12′—35°16′N, 107°40′30″—107°42′30″E)位于陕西省长武县,是泾河支流黑河的一级支沟,属典型的黄土高原沟壑区,是传统的旱作农业区,包括王东、丈六 2 个自然村,流域面积 8.3 km²,地貌类型主要为塬面和沟壑,沟壑密度 2.78 km/km²。研究区属暖温带半湿润大陆性气候,年平均气温 9.1 ℃,年平均降水量 584 mm,≥10 ℃活动积温 3 029 ℃,多年平均无霜期 171 d,热量供作

物一年一熟有余,土壤类型为黑垆土,土质深厚疏松,有利于植物生长。国家从“七五”计划开始,在王东沟流域建立试验示范区,开展黄土高原水土流失综合治理研究,经过 20 a 多的发展,取得了良好的经济、社会和生态效益^[8-9]。

1.2 研究时段和数据来源

王东沟试验示范区于 1986 年建立,开展小流域水土流失综合治理与农业发展模式研究,因此,选取 1986 年为起始年份,选择 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 和 2013 年 7 个年份作为王东沟流域农业生态经济系统 1986—2013 年演变过程中的特征年份,研究其耦合态势变化情况。特征年份生态和经济指标数据主要来源于中国科学院长武黄土高原农业生态试验站的长期监测和农户调查资料。

1.3 研究方法

本研究利用层次分析法确定农业生态经济系统综合评价指标体系中各指标的权重,利用耦合度模型分析农业生态系统和农业经济系统耦合态势动态变化过程。

1.3.1 层次分析法 层次分析法^[10-11](the analytic hierarchy process, AHP)是由美国运筹学家 T. L. Saaty 在 20 世纪 70 年代中期提出,是一种定性定量分析相结合的、系统化、层次化科学决策问题分析方法。

(1) 建立层次结构模型。根据分析的实际问题,将不同影响因素从上到下划分为不同层次,通常定义为目标层、准则层和指标层。

(2) 构造对比矩阵。从已建立的层次结构模型第二层开始,对每个层次中不同因素进行两两比较,确定指标标度 1—9。

(3) 计算权重并进行一致性检验。

判断矩阵一致性指标 C_i 计算公式如下:

$$C_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中: λ_{\max} ——矩阵最大特征根; n ——判断矩阵的阶数。

随机一致性比率 C_R 计算公式如下:

$$C_R = \frac{C_i}{R_i} \quad (2)$$

式中: C_i ——判断矩阵一致性指标; R_i ——随机一致性指标。

当 $C_R < 0.1$ 时,判定成对比较矩阵具有一致性,当 $C_R > 0.1$ 时,判定成对比较矩阵不具有 consistency,需

调整到达一致性为止。

(4) 计算组合权向量并做组合一致性检验。

1.3.2 耦合度模型 农业生态系统(el)和农业经济系统(en)一般函数可以表示为^[3]:

$$el = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中: a_i ——农业生态系统中各系统要素的权重;
 x_i ——农业生态系统的各系统要素。

$$en = \sum_{j=1}^m b_j y_j \quad (j=1, 2, 3, \dots, m) \quad (4)$$

式中: b_j ——农业经济系统中各系统要素的权重;
 y_j ——农业经济系统的各系统要素。

将农业生态系统与农业经济系统耦合成一个复合系统,按照贝塔兰菲的一般系统理论^[12],农业生态经济复合系统演化方程可以表示为:

$$V_{el} = \frac{del}{dt} \quad (5)$$

式中: V_{el} ——农业生态系统的演变速度。下同。

$$V_{en} = \frac{den}{dt} \quad (6)$$

式中: V_{en} ——农业经济系统的演变速度。下同。

以 V_{el} 和 V_{en} 为变量建立平面直角坐标系(图 1),图 1 中 θ 角度表示农业生态系统和农业经济系统的耦合度,其计算公式为:

$$\theta = \arctan \frac{V_{en}}{V_{el}} \quad (7)$$

2 农业生态经济系统综合评价指标体系的构建

在科学性、系统性和可行性等原则指导下,参考已有研究成果^[13-14],结合王东沟流域自然和社会经济条件及自身农业发展特点,构建了黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态经济系统综合评价指标体系(表 1)。

各指标权重通过层次分析法确定。为了统一各指标量纲并消除数量级差异,对原始数据进行标准化处理,使其介于 0~1 之间(表 2)。

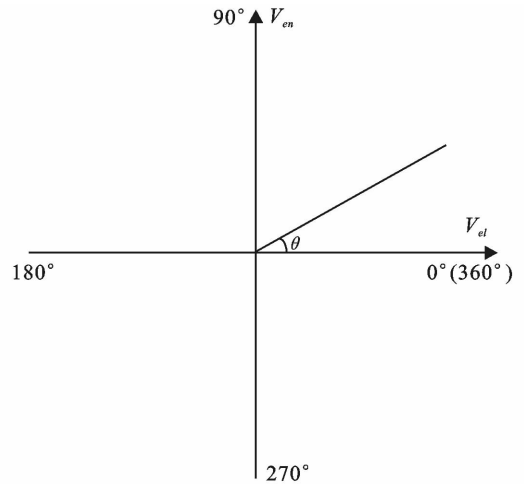


图 1 农业生态系统与农业经济系统耦合关系示意图

表 1 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态经济系统综合评价指标体系与权重

系统	子系统	权重	指标	权重	系统中权重
王东沟流域农业生态经济系统	农业生态系统	0.45	降雨量	0.12	0.054 0
			耕地面积	0.15	0.067 5
			林地面积	0.14	0.063 0
			果园面积	0.16	0.072 0
			人口密度	0.19	0.085 5
	农业经济系统	0.55	土壤侵蚀模数	0.11	0.049 5
			人均基本农田	0.16	0.088 0
			人均纯收入	0.21	0.115 5
			种植业比重	0.15	0.082 5
			果业比重	0.19	0.104 5
	工副业比重	0.17	0.093 5		
	养殖业比重	0.12	0.066 0		

表 2 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态系统与经济系统评价指标的标准化值

指标	评价指标的标准化值						
	1986 年	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2013 年
降雨量	0.404 7	1.000 0	0.000 0	0.692 4	0.563 2	0.491 9	0.959 7
耕地面积	1.000 0	0.982 3	0.816 2	0.821 4	0.018 5	0.016 1	0.000 0
林地面积	0.000 0	0.609 2	0.847 4	0.847 4	0.971 5	0.994 5	1.000 0
果园面积	0.000 0	0.152 1	0.454 5	0.462 9	0.996 6	0.998 3	1.000 0
人口密度	0.000 0	0.270 7	0.498 4	0.693 7	0.796 8	0.910 6	1.000 0
土壤侵蚀模数	1.000 0	0.785 7	0.571 4	0.357 1	0.142 9	0.071 4	0.000 0
人均基本农田	1.000 0	0.872 8	0.672 0	0.620 4	0.067 4	0.036 8	0.000 0
人均纯收入	0.000 0	0.054 8	0.213 5	0.450 2	0.663 7	0.901 4	1.000 0
种植业比重	0.807 0	1.000 0	0.210 5	0.105 3	0.052 6	0.035 1	0.000 0
果业比重	0.000 0	0.111 1	0.866 7	0.800 0	0.911 1	0.955 6	1.000 0
工副业比重	0.842 1	0.000 0	0.473 7	1.000 0	0.631 6	0.736 8	0.789 5
养殖业比重	0.000 0	0.000 0	0.166 7	0.166 7	1.000 0	0.500 0	0.333 3

3 农业生态经济系统演变过程分析

3.1 农业生态系统与农业经济系统的耦合度模型建立

以王东沟流域农业生态经济系统综合评价指标体系中各指标标准化值为基础,利用(3),(4)式计算农业生态系统和农业经济系统综合指数(图 2)。

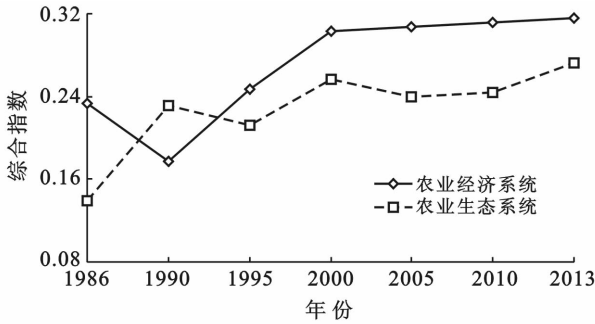


图 2 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态系统与农业经济系统综合指数变化情况

由图 2 可以看出,1986—2013 年,王东沟流域农业生态系统综合指数发展曲线呈 S 型,农业经济系统综合指数发展曲线呈逐渐升高趋势。总体来看,王东沟流域农业生态系统与农业经济系统状况均得到不断改善,2013 年农业生态系统综合指数较 1986 年增加了 96.12%,农业经济系统增加了 35.36%。1986—1990 年农业生态系统呈上升趋势,增长了 66.85%,农业经济系统呈下降趋势,减少了 24.03%。1990—2000 年农业生态系统呈先下降后上升趋势,总体增长了 10.74%,农业经济系统呈快速上升趋势,增加了 71.16%。2000—2013 年农业生态系统呈先下降后上升趋势,总体增长了 6.15%,农业经济系统呈缓慢上升趋势,增加了 4.09%。

对王东沟流域农业生态系统与农业经济系统综合指数变化进行非线性拟合,利用(5),(6)式计算得到如下方程:

$$V_{en} = -0.003x^4 + 0.0608x^3 - 0.4068x^2 + 1.1118x - 0.9844 \quad (R^2 = 0.9831) \quad (8)$$

$$V_{el} = -0.0016x^3 + 0.027x^2 - 0.14x + 0.2265 \quad (R^2 = 0.8641) \quad (9)$$

其中, x 的取值范围为 1~7,相应的年份为 1986,1990,1995,2000,2005,2010,2013 年。

利用(7),(8),(9)式计算得出王东沟流域农业生态系统和农业经济系统的演变速度及耦合度(表 3)。由表 3 可以看出,1986—2013 年农业生态经济系统发展速度逐渐减缓,农业经济系统发展速度不断增加,农业生态经济系统耦合度除 1986 和 2000 年外均

处于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内,表明王东沟流域农业生态系统与农业经济系统之间耦合关系呈良好的发展态势。

表 3 黄土高原沟壑区王东沟流域农业生态系统与经济系统耦合度

年份	V_{en}	V_{el}	$\tan\theta$	θ
1986	-0.2216	0.1119	-1.9803	297
1990	0.0504	0.0417	1.2086	50
1995	0.0884	0.0063	14.0317	86
2000	0.0772	-0.0039	-19.7949	273
2005	0.1296	0.0015	86.4000	89
2010	0.2864	0.0129	22.2016	87
2013	0.5164	0.0207	24.9469	88

注: V_{en}, V_{el} 分别表示农业经济系统和农业生态系统的演变速度, $\tan\theta$ 表示农业经济系统和农业生态系统的演变速度的比值, θ 表示农业经济系统和农业生态系统的耦合度。

3.2 农业生态经济系统演变过程中的耦合态势判定

由已有研究结果可知^[3,7,15-16],当耦合度处于 $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 范围内时,农业生态经济系统演化状态和耦合阶段分别为协调耦合和协调发展阶段,该阶段特征为农业生态系统与农业经济系统相互作用、共同发展;当耦合度处于 $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 范围内时,农业生态经济系统演化状态和耦合阶段分别为不协调耦合和消耗发展阶段,该阶段特征为农业生态系统与农业经济系统相互制约、抑制发展;当耦合度处于 $180^\circ < \theta \leq 270^\circ$ 范围内时,农业生态经济系统演化状态和耦合阶段分别为衰退耦合和恶化发展阶段,该阶段特征为农业生态系统恶化,农业经济系统随之衰退;当耦合度处于 $270^\circ < \theta \leq 360^\circ$ 范围内时,农业生态经济系统演化状态和耦合阶段分别为修复耦合和恢复发展阶段,该阶段特征为农业生态系统恢复重建,农业经济系统得到发展。

由表 3 可以看出,1986 年王东沟流域农业生态经济系统耦合度为 297° ,处于农业生态系统与农业经济系统修复耦合和恢复发展阶段,这一阶段随着王东沟试验示范区的建立,通过各项水土流失防治措施和土地资源的综合开发利用,农业生态环境开始恢复,区域经济逐步发展;1990 年农业生态经济系统耦合度为 50° ,处于农业生态系统与农业经济系统协调耦合和协调发展阶段,这一阶段土地利用结构发生变化,农业产业结构逐渐调整,粮食单产增加,农民人均纯收入有所提高;1995 年农业生态经济系统耦合度为 86° ,处于农业生态系统与农业经济系统协调耦合和协调发展阶段,这一阶段农业技术和物质大量投入,土地利用和产业结构进一步调整,农业生态系统和农业经济系统共同协调发展;2000 年农业生态经

济系统耦合度为 273° , 处于农业生态系统与农业经济系统修复耦合和恢复发展阶段, 这是由于 2000 年以后土地利用结构发生较大变化, 在果业经济发展的驱动下, 王东沟流域内大量耕地转变为果园, 破坏了已有的农业生态系统与农业经济系统平衡, 使得农业生态系统与农业经济系统重新进入恢复耦合发展阶段; 2005, 2010, 2013 年农业生态经济系统耦合度分别为 89° , 87° 和 88° , 又处于农业生态系统与农业经济系统协调耦合和协调发展阶段, 这一阶段农业经济系统相比较农业生态系统发展速度缓慢, 已不利于农业生态经济系统整体协调发展, 需通过农业资源合理调配, 促使农业经济获得新的增长点, 农业生态系统与农业经济系统能够相互促进、稳定发展。

4 结论

黄土高原沟壑区王东沟流域水土流失综合治理试验示范区建立以来, 随着农业技术和物质资源的大量投入, 区域农业生产水平和社会经济得到了快速发展, 农业生态系统和农业经济系统综合指数均呈波动上升趋势, 1986—2013 年农业生态经济系统演变过程中, 农业生态系统与农业经济系统耦合态势经历了修复耦合和恢复发展阶段—协调耦合和协调发展阶段—修复耦合和恢复发展阶段, 目前处于协调耦合和协调发展阶段, 这表明在土地利用变化、产业结构调整 and 科技投入等因素影响下, 农业生态经济系统一直处于动态变化中, 农业生态系统与农业经济系统耦合关系一直朝着相互协调的方向发展, 促进了王东沟流域高效农业生产系统的建设。

基于科学性、可行性和系统性原则构建王东沟流域农业生态经济系统综合评价指标体系, 利用层次分析法确定各指标权重, 根据已有研究成果^[3,7,15-16]建立农业生态经济系统耦合度方程, 揭示了王东沟流域农业生态经济系统演变过程中农业生态系统与农业经济系统耦合态势的阶段变化, 结果表明, 耦合度模型可应用于黄土高原沟壑区农业生态经济系统演变过程研究, 同时对于探讨黄土高原沟壑区农业可持续发展途径具有重要意义^[17]。

[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[J]. 草业学报, 1995, 4(1): 69-79.
- [2] 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[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(5): 67-72.
- [3] 王继军, 郭满才, 姜志德, 等. 农业生态经济系统耦合过程模型的建立及应用[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2371-2378.
- [4] 郝明德, 党廷辉, 刘冬梅. 黄土高原沟壑区生态系统适度生产力与生态环境协调发展研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 94-97.
- [5] 党小虎, 刘国彬, 张广军, 等. 黄土丘陵区小流域综合治理生态经济过程分析: 以宁夏德隆县李太平小流域为例[J]. 中国水土保持科学, 2005(4): 70-76.
- [6] 张丽萍. 黄土丘陵区上黄试区农业生态经济系统演变过程研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [7] 李奇睿, 王继军. 基于退耕背景下安塞县商品型生态农业系统演变过程分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 97-101.
- [8] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991.
- [9] 郝明德, 党廷辉, 谢永生. 黄土高原沟壑区水土流失综合治理措施探讨: 以长武王东沟小流域试验示范区为例[J]. 中国水土保持, 2005(2): 43-44.
- [10] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [11] 肖薇薇, 谢永生, 王继军. 黄土丘陵区典型县域农业生态安全综合评价: 以延安市宝塔区和安塞县为例[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 75-79.
- [12] Bretz E A. Clean coal technologies: A status report [J]. Electrical World, 1992(2): 37-42.
- [13] 王继军, 郑科. 中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 243-247.
- [14] 李文军, 王继军, 郝明德. 黄土高原沟壑区王东沟小流域农业生态经济系统演变过程初探[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 593-597.
- [15] 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[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [16] 刘佳, 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1511-1517.
- [17] 张建军, 张晓萍, 王继军, 等. 1949—2008 年黄土高原沟壑区农业生态经济系统耦合分析: 以陕西长武县为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 755-762.