

退耕还林(草)背景下黄土丘陵沟壑区农业生态经济系统耦合发展态势

——以陕西省吴起县为例

邹亚东¹, 张晓萍^{1,2}, 何亮¹, 薛帆¹, 许小明¹,

易海杰², 王妙倩¹, 王浩嘉¹, 贺洁¹, 田起隆², 吕渡²

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 探究黄土丘陵沟壑区农业生态经济系统的耦合协调关系与演变趋势, 对科学评价该地区生态经济效益、实现农业生态经济协调与可持续发展具有重要意义。[方法] 以陕西省吴起县为研究对象, 基于农业生态与农业经济数据, 构建农业生态经济系统评价指标体系, 运用熵权法、耦合协调度模型和耦合度模型分析了农业生态与农业经济的综合评价指数、耦合协调状态及耦合度演变趋势。[结果] 1990—2019年, 吴起县农业生态综合评价指数呈现先下降后上升的发展趋势, 农业经济综合评价指数经历较快速上升—稳定发展—快速上升的发展过程; 耦合协调度指数由0.29上升至0.63, 反映了该地区农业生态与农业经济的协调发展不断增强, 耦合协调状态由轻度失调演变为初级协调水平; 耦合度表现为先下降后上升趋势, 系统由耗损发展阶段过渡到协调发展阶段, 说明吴起县农业生态经济系统不断趋于协调发展的态势。[结论] 在丘陵沟壑区, 我们应该继续以生态保护为基础, 优化产业结构, 调整生态与经济的关系, 更好地实现农业生态环境与农业经济的协调发展。

关键词: 农业生态经济系统; 耦合度模型; 耦合协调模型; 协调发展; 丘陵沟壑区; 陕西省吴起县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0217-08

中图分类号: F323

文献参数: 邹亚东, 张晓萍, 何亮, 等. 退耕还林(草)背景下黄土丘陵沟壑区农业生态经济系统耦合发展态势[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 217-224. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.028; Zou Yadong, Zhang Xiaoping, He Liang, et al. Coupling development situation of agricultural agricultural eco-economic system in loess hilly and gully areas as farmland is returned to forest (grass) land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 217-224.

Coupling Development Situation of Agricultural Eco-economic System in Loess Hilly and Gully Areas as Farmland is Returned to Forest (Grass) Land —A Case Study at Wuqi County, Shannxi Province

Zou Yadong¹, Zhang Xiaoping^{1,2}, He Liang¹, Xue Fan¹, Xu Xiaoming¹,

Yi Haijie², Wang Miaoqian¹, Wang Haojia¹, He Jie¹, Tian Qilong², Lyu Du²

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The coupling coordination relationship and evolution trend of the agricultural eco-economic system in the loess hilly and gully regions was determined, in order to provide a basis for scientifically evaluating the ecological economic benefits of the region, and for realizing the coordination and sustainable development of agricultural eco-economics. [Methods] Based on agro-ecology and agro-economy data from Wuqi County, Shaanxi Province, an evaluation index system for the agro-ecology and agro-economy system

收稿日期: 2021-11-03

修回日期: 2021-12-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土高原径流泥沙过程对土地利用变化和植被演替的响应及其区域差异(41877083)”；国家自然科学基金项目(41440012, 41230852, 41101265)

第一作者: 邹亚东(1997—), 男(汉族), 陕西省榆林市人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济与土地利用。Email: z1005@nwafu.edu.cn.

通信作者: 张晓萍(1971—), 女(汉族), 河南省焦作市人, 博士, 研究员, 主要从事水土流失规律及水土保持研究。Email: zhangxp@ms.iswc.ac.cn.

was constructed. The comprehensive evaluation index, coupling coordination state, and coupling degree evolution trends for the agro-ecology and agro-economy systems were analyzed by using the entropy weight method, coupling coordination degree model, and coupling degree model. [Results] From 1990 to 2019, the comprehensive evaluation index of agricultural ecology at Wuqi County initially decreased and then increased. The comprehensive evaluation index of the agricultural economy followed the pattern of relatively rapid rise—stable development—rapid rise. The coupling coordination index increased from 0.29 to 0.63. This increase reflected the coordinated development of agricultural ecology and the agricultural economy in the region that has continuously strengthened over time, and the state of coupling coordination that has evolved from a slight imbalance to a primary level of coordination. The degree of coupling showed a downward trend followed by an upward trend, and the system has transitioned from a depletion development stage to coordinated development, indicating that the agricultural eco-economic system at Wuqi County was constantly developing in a coordinated manner. [Conclusion] We should continue to optimize the industrial structure based on ecological protection and adjust the relationship between ecological and economic development to better coordinate the development of the agricultural ecological environment and the agricultural economy in loess hilly and gully area.

Keywords: agro-ecological economic system; coupling coordination model; coupling degree model; coordinated development; hilly and gully area; Wuqi County; Shaanxi Province

黄土丘陵沟壑区是黄土高原主要地貌类型区,是中国农业最早发源地之一,也是中国乃至世界最严重的水土流失与生态环境脆弱区之一。生态脆弱,也是黄土丘陵沟壑区生态经济效益低下的根源之一。长期的农田开垦使生态环境遭到严重破坏,形成了“广种薄收,薄收更广种”的恶性循环^[1],导致出现农业生态环境与农业经济失衡等诸多问题。1998年,国家在黄土高原地区率先施行了退耕还林(草)工程,经过近 20 a 的努力,该地区生态环境得到极大的改善。然而,由于大面积的退耕还林(草),使得区域耕地面积减少,人一地—粮食关系的矛盾日益凸显^[2-3],农业生态—经济系统失调已成为抑制农业可持续发展的一个重要因素^[4],农业生态与农业经济的发展状态及发展的平衡性对区域生态经济的高质量发展具有重要的决定性作用。因此,研究农业生态环境系统与农业经济系统的协调发展关系及趋势,对乡村振兴和黄河流域生态保护及高质量发展具有重要的理论与借鉴意义。

农业生态经济系统是由农业生态、农业经济两个子系统通过物质循环、能量流动等相互影响、相互制约作用构成的复杂系统^[5]。生态资源为农业经济发展提供物质保障,同时通过资源数量和承载力等禀赋约束农业经济发展;农业经济又反作用于农业生态资源承载力,不合理的农业生产活动会破坏生态环境,导致农业生态系统失衡^[6-7]。目前,国内外农业生态经济系统耦合关系研究中主要的方法有系统动力学模型^[8]、剪刀差方法^[9]、耦合协调度模型和耦合度模型等^[10-11]。如王继军等^[6,10-11]。在纸坊沟流域、长武县等地通过系统科学和耦合理论及相关研究建立了农业生态系统与农业经济系统耦合度模型,得出地区

农业生态经济系统由低水平协调经过螺旋式发展进入高水平协调发展;梁红梅等^[12]运用耦合度模型对深圳市土地利用生态效益与社会经济效益的耦合关系进行了分析,得出该地区二者的耦合度先上升后下降的演变趋势。李玥等^[13]通过构建退耕与农业生态经济系统耦合体系,揭示了退耕还林(草)背景下安塞区农业生态经济系统协同关系先后经历了相悖阶段和协作推进与发展阶段,为安塞区农业生态经济高质量发展提供了科学的铺垫作用。

陕西省吴起县为典型黄土高原丘陵沟壑区,土地贫瘠,生态环境脆弱。1998年响应国家政策,率先实施退耕还林工程,一次性退耕 1 036.67 km² 耕地,被称为全国“退耕第一县”^[14]。经过 20 a 的退耕还林政策实施,该区生态环境得到了很大的改善,但耕地面积减少,对农民收入和产业结构都产生了一定程度的影响。因此,研究丘陵沟壑区农业生态与农业经济系统的发展关系,对该区域农业生态经济高质量发展具有重要的理论指导意义。目前,对于吴起县农业生态系统与农业经济系统的发展关系进行了许多研究,并取得了一定的进展^[15-16],但是对于退耕前、退耕时和退耕稳定期长时间农业生态与农业经济系统协调发展关系的发展状态及二者的发展趋势还较少。因此本研究基于统计数据,通过构建农业生态经济系统耦合协调度模型和耦合度模型,定量分析 1990—2019 年吴起县农业生态经济系统的综合评价指数变化、耦合协调状态以及耦合度演变趋势,得出不同时期吴起县农业生态与农业经济的协调发展程度和演变规律,以期为实现吴起县农业生态与农业经济发展之间的协调耦合发展提供现实的理论意义和发展对策,为黄土高原生态经济协调发展提供借鉴。

1 研究区概况

吴起县(36°33′33″—37°24′27″N, 107°38′57″—108°32′49″E)位于北洛河流域上游,陕西省延安市西部,地处毛乌素沙漠南部边缘,北部与定边县、靖边县相邻,东南与志丹县接壤,总面积 3 791.5 km²,海拔高度 1 279~1 730 m(图 1)。主要土壤有黄绵土、绵沙土,属于小杂粮生产的优势区。年均气温 7.9 ℃,全年无霜期 96~146 d,年均降雨量 484 mm、季节分配不均,为半干旱温带大陆性季风气候。

吴起县辖 8 个镇,1 个街道办,2020 年总人口 14.3×10⁴,人口密度 37.5 人/km²,农耕地 1.76×10⁴ hm²,粮食总产量 6.9×10⁴ t,农民人均纯收入 11,022 元。粮食作物主要以玉米、马铃薯、谷物、豆类为主。

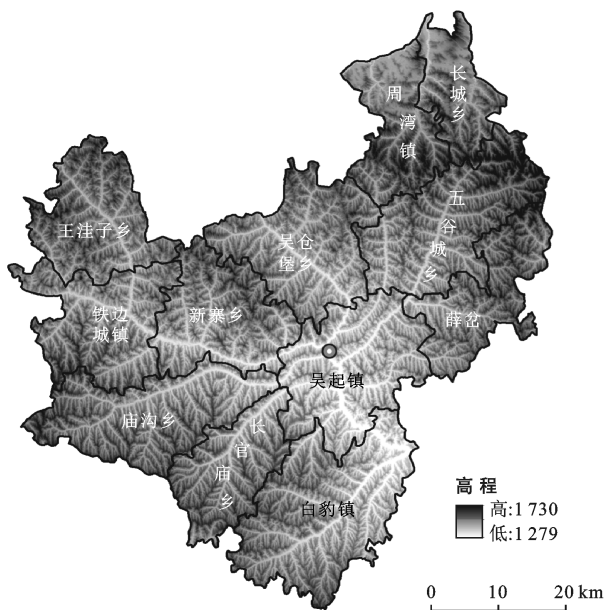


图 1 陕西省吴起县地形分布及乡镇区划

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究的数据主要来源于《陕西统计年鉴》《延安年鉴》《吴起县县志》及“吴起县国民经济和社会发展统计报告”,部分数据来源于延安市统计局。选取吴起县 1990—2019 年 30 a 间的统计数据,分为退耕前(1990—1997)、退耕期(1998—2006)和生态巩固期(2007—2019)3 阶段进行分析^[17]。

2.2 指标选择

本文以科学性、客观性、代表性与可比性为原则,在对比和借鉴黄土高原地区相关文献^[10,13,16-18] 指标选取的基础上,以能够体现吴起县农业生态、经济发展水平为目的,结合当地实际情况,选取自然条件、农

业资源作为农业生态系统的一级指标,产业态势、经济效益作为农业经济系统的一级指标。选取年降水量、人口密度等 18 个指标作为农业生态经济系统的二级评价指标体系,构建农业经济系统评价指标体系(表 1)。退耕还林(草)工程下的农业生态经济系统通过人口、资源、环境、自然条件等要素的相互作用,形成了一个复合系统。降水、气温及林草面积率等指标都是对生态环境直接影响的自然因子,所以选取年降水量、年均气温、人口密度和林草面积率作为自然条件的评价指标;农业资源主要是用于农业生产活动所利用或者可利用的资源,所以我们选取具有代表性的人均耕地面积、园地面积、农田灌溉率、化肥使用折纯量及地膜使用量作为农业资源评价指标。农业产业态势指标的选取,应该能够反映当地农业规模和状态的相应指标。如第一产业占 GDP 比重、农业总产值、林果牧业贡献率及农业机械总动力等指标;衡量农业经济效益的指标体系就很成熟了,把粮食产量、农业产投比及农民纯收入等能够直接反映农民经济收入水平的因子作为经济效益的评价指标。退耕还林(草)工程实施的进程、规模及方式都会直接作用于农业资源系统,进而不同程度地影响区域的农业生态经济系统。构建吴起县农业生态经济系统的指标体系,可以较全面地反映出退耕前、退耕期和生态巩固期农业生态经济系统的耦合关系及耦合度演变趋势。

表 1 农业生态经济系统评价指标体系及权重

| 子系统 | 一级指标 | 二级指标 | 属性 | 权重 |
|--------|--------|--------------|----|------|
| 农业生态系统 | 自然条件 | 年降雨量 | + | 0.09 |
| | | 年均气温 | + | 0.07 |
| | | 林草面积率 | + | 0.19 |
| | | 人口密度 | - | 0.08 |
| | 农业资源 | 人均耕地面积 | + | 0.15 |
| | | 园地面积 | + | 0.13 |
| | | 农田灌溉率 | + | 0.16 |
| | | 化肥施用折纯量 | - | 0.07 |
| 农业经济系统 | 农业产业态势 | 地膜使用量 | - | 0.06 |
| | | 第一产业占 GDP 比重 | - | 0.07 |
| | | 农业总产值 | + | 0.13 |
| | | 林果牧业贡献率 | + | 0.11 |
| | 经济效益 | 农业机械总动力 | + | 0.10 |
| | | 人均粮食产量 | + | 0.16 |
| | | 农业产投比 | + | 0.09 |
| | | 农民纯收入 | + | 0.21 |
| 水果产量 | + | 0.07 | | |
| 居民消费水平 | + | 0.06 | | |

注: + 表示正向指标; - 表示逆向指标。

2.3 指标权重确定

采用客观赋权法中的熵值法^[19]对吴起县农业生态系统和农业经济系统中各指标进行权重确定。熵值法是通过各个评价指标的信息熵,根据其离散程度对系统的影响来决定指标的权重。

$$P_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad (1)$$

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

$$W_j = (1 - E_j) / (k - \sum_{i=1}^m E_j) \quad (3)$$

式中: P_{ij} 为第*i*年第*j*个指标的比重; m 为某项指标个数; E_j 为第*j*项指标的信息熵; $1 - E_j$ 为第*j*项指标的差异性系数; W_j 为第*j*项指标的权重; k 为各个子系统的指标数。通过公式(1)~(3)计算得到农业生态系统指标权重 a_i 和社会经济系统指标权重 b_i 。

2.4 耦合评价模型及计算方法

耦合是两个或两个以上系统之间通过交互作用而相互影响的现象^[20-21]。农业生态系统和农业经济系统的耦合关系是指两系统之间、系统内各要素之间相互胁迫、相互依存的客观表征^[22]。耦合度模型^[5]是揭示农业生态系统与农业经济系统两系统耦合过程的模型,通过定量描述系统耦合程度随时间的动态变化分析两个系统的耦合关系及演变趋势。协调度是衡量系统或要素之间协调状况好坏的定量指标,耦合协调度模型通过模拟两系统各自的发展水平和耦合协调度来衡量农业生态系统与农业经济系统之间是否协调发展。本研究以农业生态与农业经济数据为基础,运用耦合协调度模型和耦合度模型,分析吴起县农业生态经济系统耦合协调程度、耦合关系及演变趋势。

2.4.1 综合评价指数 由于指标数据单位不同,无法进行比较,因此量化各个区域的系统指标对区域系统的综合评价是至关重要的。本文采用极差法变换法^[23]对各项指标数据进行标准化处理,处理法如下:

正向指标:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (4)$$

负向指标:

$$X_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5)$$

式中: x_{ij} 为第*i*年第*j*项指标的统计值; X_{ij} 为对应的标准化值,其值介于0~1之间, $\max(x_{ij})$ 为第*j*项指标的最大值; $\min(x_{ij})$ 为第*j*项指标的最小值。

通过极差变换法分别得到两系统的标准化值

X_i 和 y_i ,然后利用各指标的权重与其量化值计算农业生态系统与农业经济系统的综合评价指数,其公式为:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m a_i X_i \quad (6)$$

$$F(y) = \sum_{i=1}^m b_i y_i \quad (7)$$

式中: $F(x)$ 和 $F(y)$ 分别为农业生态系统和农业经济系统的综合评价指数; a_i 表示农业生态系统指标权重; b_i 表示农业经济系统指标权重。

2.4.2 耦合度模型 农业生态与经济协调发展的耦合度模型^[12]是根据社会经济系统与生态经济系统各自的指标产生相互影响的程度,进一步判定二者间的协调作用关系和表现。若把农业生态系统和农业经济系统看成一个整体,按照贝塔兰菲的一般系统理论,整个系统的演变速度(V)可以看作是 V_x 与 V_y 的函数, $V = f[V(x), V(y)]$,农业生态经济耦合系统演变方程可以表示为:

$$V_x = F'(x) = \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

$$V_y = F'(y) = \frac{dy}{dt} \quad (9)$$

式中: V_x 为农业生态系统的演变速度; V_y 为农业经济系统的演变速度。

在二维平面上分析 V 的变化(图2),以 V_x 与 V_y 为变量建立平面直角坐标系,根据 V 的椭圆形变化轨迹中 V_x 与 V_y 夹角 θ 的取值,判定系统的演变趋势以及两系统间协调发展的动态耦合程度及发展阶段^[5,17](表2)。图2中的 θ 表示农业生态系统和农业经济系统的耦合度。

公式为:

$$\theta = \arctan \frac{V_y}{V_x} \quad (10)$$

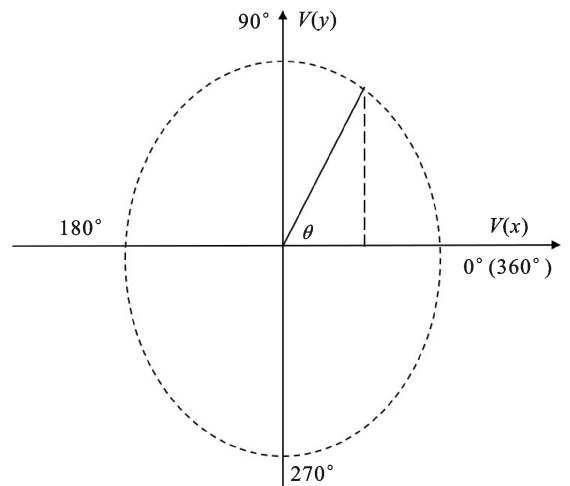


图2 农业生态经济系统耦合关系

表 2 农业生态经济系统耦合状态及其特征

| 系统演变阶段 | 耦合状态 | 耦合度 | V_x, V_y | 耦合特征 |
|--------|--------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| I | 协调耦合 | $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ | $V_x \geq V_y > 0$ | 经济发展速度小于农业生态演变速度,经济建设滞后,生态资源利用不足 |
| | | $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ | $0 \leq V_x < V_y$ | 经济发展速度大于生态环境演化速度,生态环境对经济发展有约束作用 |
| II | 不协调耦合 | $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ | $0 < V_x, V_y \geq 0$ | 经济高速增长,对资源的索取和环境的破坏,生态环境出现退化趋势 |
| III | 恶化发展阶段 | $180^\circ < \theta \leq 270^\circ$ | $V_x \leq 0, V_y < 0$ | 生态衰退,伴随经济负增长 |
| IV | 修复阶段 | $270^\circ < \theta \leq 360^\circ$ | $V_x > 0, V_y \leq 0$ | 生态环境快速恢复,经济复苏 |

2.4.3 耦合协调度模型 为了进一步评判农业生态系统与农业经济系统之间的协调程度,判断系统之间是否和谐发展,引入耦合协调度模型^[24]:

$$T = \partial F(x) + \beta F(y) \quad (11)$$

$$C = \sqrt{\frac{F(x)F(y)}{[F(x) + F(y)]^2}} \quad (12)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (13)$$

式中: T 为耦合系统的综合发展指数,反映农业生态与经济系统整体协调的综合水平;本研究中,农业生态系统与农业经济系统同等重要, ∂ 和 β 均取值为0.5; C 为农业生态经济系统的综合协调指数; D 为耦合协调度, $D \in (0, 1)$, D 值越大,表明农业生态经济系统耦合协调发展程度越高^[17, 25](表3)。

表 3 农业生态经济系统耦合协调度(D)

| 耦合协调度 | 耦合协调类型 | 耦合协调度 | 耦合协调类型 |
|---------|--------|------------|--------|
| < 0.1 | 极度失调 | 0.5~0.6 | 勉强协调 |
| 0.1~0.2 | 严重失调 | 0.6~0.7 | 初级协调 |
| 0.2~0.3 | 中度失调 | 0.7~0.8 | 中级协调 |
| 0.3~0.4 | 轻度失调 | 0.8~0.9 | 良性协调 |
| 0.4~0.5 | 濒临失调 | ≥ 0.9 | 优质协调 |

3 结果与分析

3.1 农业生态系统与农业经济系统综合评价指数

1990—2019年,吴起县农业生态系统综合评价指数和农业经济系统综合评价指数整体均表现出上升趋势,系统状况不断改善(图3)。研究区的农业生态系统综合评价指数 $[F(x)]$ 发展曲线呈先减少后增加的趋势。1990—1998年的退耕前期, $F(x)$ 呈现先下降后趋于稳定缓慢上升的趋势,说明该时期生态环境整体面临的压力增大,生态功能的作用在衰退;随后由于1998年退耕还林(草)政策的实施,导致耕地资源的减少, $F(x)$ 在1999年急速下降;2000—2006年的退耕初期,随着退耕还林(草)政策的全面展开,降雨量、林草面积覆盖率等指标不断提高,生态资源作用逐渐发挥,退耕还林(草)生态效益显著, $F(x)$ 呈现快速增长,由1999年的0.15增加到2006年的0.66,生态环境得到了很好的改善;2007—2019年的退耕巩固期, $F(x)$ 先表现为稳定发展,在0.67左右缓慢增

长,然后随着二次退耕政策实施,人们环保意识加强,化肥和地膜使用量的减少,生态环境质量得到改善,同时,由于农业生产结构的调整及农业基础设施的完善(灌溉设施,农田整治),农业资源利用率明显提高, $F(x)$ 呈现出显著提升状态。

吴起县农业经济系统综合评价指数 $[F(y)]$,在研究期间整体呈现稳定上升的趋势(图3a),由1990年的0.11上升到2019年的0.92,县域农业经济实力明显提升。退耕前期(1990—1997年), $F(y)$ 值较快增长,由0.11增加到0.34;由于1998年的退耕还林(草)政策实施,耕地面积大量减少,人均粮食产量和农民纯收入减少, $F(y)$ 值回落到0.31;退耕初期(1998—2006年),由于一些经济林地所产生的农业经济效益还未充分显现,所以 $F(y)$ 呈现一个缓慢稳定的上升趋势;退耕巩固期(2007—2019年),园地产生的经济效益显著增加及农业技术的提升,使得人均粮食产量显著增加。同时,由于农业产业结构的调整,由产量低、经济效益低的杂粮向产量高及经济效益较好的瓜果蔬菜调整,积极发展农业规模化、产业化发展,走品质优良、绿色有机、加工精细的现代农业发展道路,使得农业现代化水平显著提高、农民人均收入显著提升,农业经济进入了快速发展阶段, $F(y)$ 稳步上升。

从农业生态系统与农业经济系统综合评价指数的对比关系来看(图3a),二者由“经济滞后型”逐步演变为“生态滞后型”,为了更好地分析农业生态系统与农业经济系统的动态变化,本研究运用农业生态系统综合评价指数与农业经济系统综合评价指数的比 $F(x)/F(y)$ 来进行进一步分析。由图3b可知,1990—2019年, $F(x)/F(y)$ 呈现降—升—降的发展趋势,1990年二者比值为2.87,为研究期最大值,该时期农业经济发展相对滞后。而后,随着人口增长及农业经济的发展,农业生态环境面临的压力增大, $F(x)/F(y)$ 迅速下降。1998年开始退耕还林(草)政策的实施,农业生态环境得到大的提升,同时对农业经济的发展有一定的影响, $F(x)/F(y)$ 的比值又迅速上升。随着农业经济产业的调整,及退耕效益逐渐的实现, $F(y)$ 快速增长, $F(x)/F(y)$ 的比值又开始回落,最后趋于稳定,在0.87~1间变化。从二者的比

值变化可知,在农业经济快速发展的过程中,吴起县农业生态环境修复也取得了一定的成效,但是农业经济

发展速度整体快于农业生态改善速度,说明农业经济的发展与农业生态环境的协调发展需进一步改善。

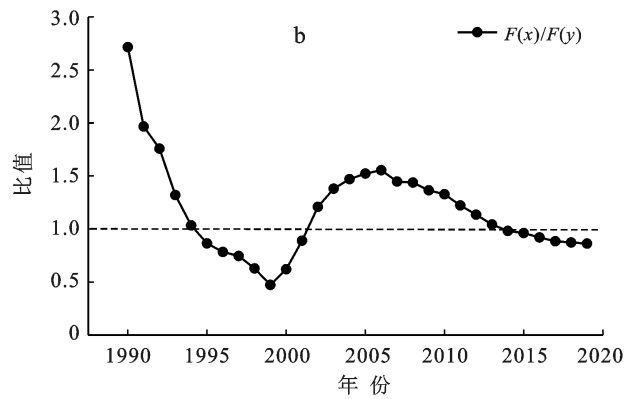
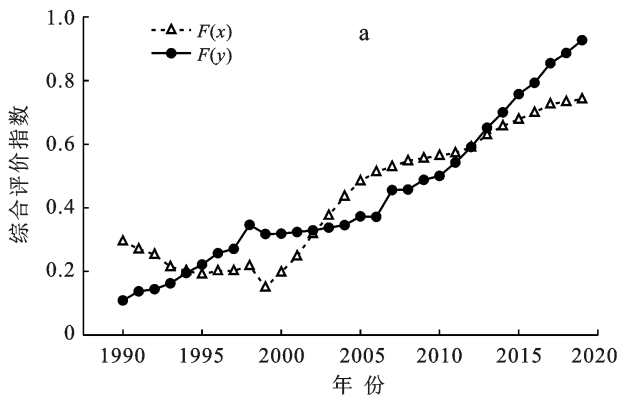


图 3 陕西省吴起县 1990—2019 年农业生态系统与农业经济系统综合评价指数(a)及比值(b)发展态势

3.2 系统耦合度演变趋势

农业生态系统演化速度 $[V(x)]$ 与农业经济系统演化速度 $[V(y)]$ 的发展关系,决定着整个生态的演化状态以及农业生态系统与农业经济系统协调发展的动态耦合程度^[26]。所以对吴起县农业生态系统与农业经济系统综合评价指数变化曲线进行非线性拟合,方程如下:

$$V(x) = 1 \times 10^{-5} x^4 + 0.0007 x^3 + 0.018 x^2 - 0.0169 x + 0.4852 \quad (R^2 = 0.960) \quad (14)$$

$$V(y) = -3 \times 10^{-6} x^4 + 0.0002 y^3 - 0.0012 y^2 + 0.0155 y + 1.557 \quad (R^2 = 0.9924) \quad (15)$$

式中: x 和 y 取值范围为 $1 \sim 30$,对应的年份为1990—2019年。

依据公式(8)—(10)计算得到吴起县农业生态系统与农业经济系统耦合度(图4)。结合表2可知,吴起县农业生态系统与农业经济系统的耦合度在 $26.25^\circ \sim 137.64^\circ$,经历了从第二象限向第一象限变化过程,耦合状态从不协调耦合演变为协调耦合,这样的发展态势与国家退耕还林(草)及农业高质量发展等宏观政策调控效应与要求基本吻合。

1990—1997年(退耕前),吴起县农业生态经济系统的耦合度由 137.64° 下降到 70.65° ,从极限发展阶段过渡到生态滞后型的协调发展阶段。1990—1995年,农业生态经济系统处于极限发展阶段,即农业经济的快速发展,加快了对资源的索取和对环境的破坏,该时期农业生态系统呈现不断退化趋势,而农业经济系统则表现出持续增长的态势,说明农业经济的发展是以破坏生态环境为代价取得的。这一阶段,虽然农业经济发展呈现持续增长趋势,但由于人口增长对土地的需求,及粗放的经济活动对吴起县脆弱的生态环境破坏加剧,使得农业生态经济系统的协调发

展受限,系统表现出不协调的耦合状态。1996—1997年,耦合度进入生态滞后型协调阶段,该时期农业经济快速发展,生态环境也逐渐在好转。

1998—2006年(退耕期),随着退耕还林(草)政策的实施推进,农业生态环境质量得到了很大的改善,同时由于退耕及农业产业结构调整还未起到经济收益效果的影响,一定程度上也限制了农业经济的发展速度。该时期农业生态经济系统耦合度在 $26.25^\circ \sim 56.33^\circ$ 之间,呈现下降又回升趋势,该时期耦合度主要处于经济滞后型协调发展阶段($0^\circ < \theta < 45^\circ$)。

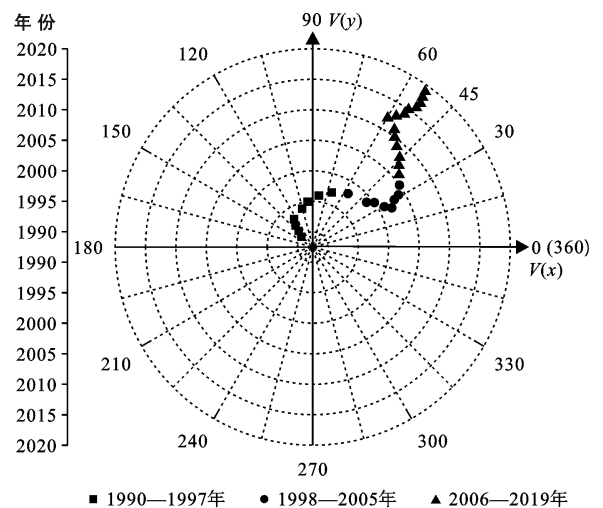


图 4 陕西省吴起县 1990—2019 年农业生态系统与农业经济系统耦合度发展态势

2007—2019年(生态巩固期),随着退耕还林(草)工程的深入,退耕还林质量进一步得到提升,产业结构的调整,也使得区域经济快速发展。2007—2012年,吴起县农业生态经济系统耦合度从 29.98° 上升到 59.76° ,该时期,国家对一些产业的扶持力度加

大,区域经济开始复苏,农业经济发展速度加快。2013—2019年,吴起县农业生态经济系统耦合度稍有下降,整体主要处于 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间,系统耦合度较为理想^[9]。近年来,在深入实施生态治理背景下,吴起县农业生态环境得到较大改善,生态治理项目也逐渐发挥积极作用,并还在深化推进;同时,随着农村产业革命的深入推进,吴起县农业产业经济结构不断优化,机械化水平不断上升,发展质量明显提升,从而推动了整个农业生态经济系统的耦合协调发展。但是在农业经济增长的背景下,需要注意经济发展对生态环境的胁迫作用,警惕农业经济的快速发展对生态环境造成的负面影响。

3.3 耦合协调发展状态

为了更好地分析吴起县农业生态环境系统和农业经济系统的综合指数变化情况,将二者看作为两个系统,借助耦合和协调的理论模型,计算农业生态系统和农业经济系统的耦合协调度(D),目的是更好地评判农业经济增长、生态交互耦合的协同程度。

研究期间,吴起县农业生态系统与农业经济系统的耦合协调指数(D)总体呈现上升趋势(图5),从1990年的0.29增长至2019年的0.64,根据农业生态经济系统耦合协调度分类(表2),可知吴起县农业生态经济系统耦合协调发展状态由轻度失调水平演变为初级协调水平。由图5可知,1990—2001年,吴起县农业生态系统和农业经济系统的协调度指数呈现缓慢波动上升趋势, D 值处于0.29~0.38之间,系统处于轻度失调阶段。这期间吴起县农业生态系统与农业经济系统发展步调逐渐向一致性过渡,但受脆弱生态环境限制,系统耦合协调水平不高。2002—2006年,由于农业生态环境的改善,农业生态系统与农业经济系统呈现出共同增长趋势,促使 D 值快速上升,吴起县农业生态经济系统耦合协调发展状态表现为濒临失调状态。2007—2019年,农业生态经济系统的耦合协调指数继续保持稳定上升趋势, D 值由0.52增长至0.62,系统进入初级协调阶段。这时期,农业生态与经济系统综合评价指数呈现同步快速增长的趋势,促使 D 值稳定上升,表明吴起县农业生态经济系统逐步呈现相互作用、相互适应的协调发展态势,农业生态环境保护与农业经济发展都取得了显著效果。自2007年起,吴起县农业生态经济系统进入勉强协调水平后,系统的耦合协调状态持续改善,这说明长期的生态治理和经济发展投入逐渐发挥正向效应。总体来说,1990—2019年吴起县农业生态经济系统的耦合协调状态是从经济滞后轻度失调逐步发展为的生态环境滞后初级协调。

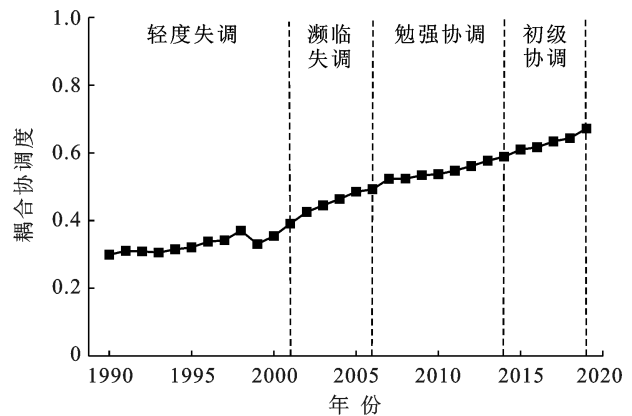


图5 陕西省吴起县1990—2019年农业生态经济系统耦合协调演变态势

4 讨论与结论

4.1 讨论

吴起县处于生态环境脆弱的黄土高原丘陵沟壑区,长期面临着更为严峻的生态环境保护与经济发展的双重压力,因此推动其生态环境与经济的耦合协调发展是实现区域农业生态经济可持续发展的重要基础^[24]。本研究通过借助系统的科学理论与方法,构建了吴起县农业生态环境与农业经济发展之间的评价指标体系,并运用耦合度模型和耦合协调度模型分析二者的耦合协调关系。与传统的耦合模型相比,上述2种方法的相互补充使得耦合关系的评价更加全面。

通过对吴起县1990—2019年的农业生态环境与农业经济的耦合协调发展进行分析表明:丘陵沟壑地区农业生态经济系统发展总体经历了不协调发展—经济滞后型的协调发展—生态滞后型的协调发展过程,这与刘佳等^[10]、李文军等^[27]的研究结果较为一致。在不协调发展过程,农业经济系统综合评价指数稳定上升,农业生态系统综合评价指数则是由较快速下降过渡到稳定发展,二者发展步调呈现不一致状态,说明随着吴起县社会经济快速发展,环境质量恶化、生态系统退化等生态环境问题突显,其原因主要是人口的不断增长,为满足生活需求而不断地开垦荒地,使得脆弱的生态环境不断恶化。经济滞后型协调发展过程,生态环境的快速修复,从而对经济发展有一定的制约作用。究其原因:①1998年退耕还林(草)工程的全面实施,全县人民积极响应国家生态修复的政策,使得全县的林草地面积极快速增加,生态环境得到改善;②退耕还林(草)使得耕地大量减少,并且退耕的一些经济林地所产生的经济效益还未充分显现,从而使得农业经济发展受到限制,生态的修复必定会影响经济的发展速度。生态滞后型协调发展过程,随着退耕还林(草)政策的逐步完善,生态修复

进一步得到巩固,同时通过国家政策的扶持和产业结构的调整,农业经济得到了快速的发展,开始将生态保护纳入经济发展体系之内,使得经济发展能够从生态修复中获取利益^[28],从而使得农业生态环境与农业经济的关系通过不断磨合逐渐向协调发展的方向演变,但是仍然还有较大的发展空间。虽然吴起县政府依据“十三五”规划中提出一系列生态环境修复和调整产业结构,发展现代农业的政策并且取得了一定成效,农业生态环境和农业经济耦合协调度也在不断上升,但是二者之间仍然存在矛盾,农业经济发展和生态修复的压力仍然较大。

有研究表明,生态环境修复与经济发展水平直接影响着环境与经济的耦合协调程度,无论是经济的持续发展还是社会的全面进步都是以平衡的生态环境为基础,如果没有生态环境修复的巩固和推进作用,经济发展的成本将会增加,而获得效益必定会大打折扣^[25]。而在生态脆弱的丘陵沟壑区,生态系统的发展水平在一定程度上也决定着该地区区域发展是否协调。因此,吴起县未来发展仍需以生态优先,坚持发展和生态两条底线,不断优化生态环境与经济协调的协调关系。在发展和生态的双重制约下,吴起县应该继续巩固退耕还林(草)等生态修复的成果,充分挖掘生态修复所产生的经济效益。在经济发展方面,充分发挥产业特色,调整和优化农业产业结构、在追求经济增长速度的同时保证经济的增长质量,使当地的农业产业逐步走向规模化发展。在生态修复方面,继续深入推进水土流失治理与荒漠化防治综合治理的生态修复工程,提高退耕还林(草)质量,提高资源利用率。在未来,吴起县应该加强生态农业发展力度,优化产业结构,建立生态与经济良好的协调关系,更好地服务生态环境改善与农业经济发展。

本研究在时间上选用 1990—2019 年的数据对吴起县农业生态系统与农业经济系统的发展水平和演变趋势进行了分析,并结合该时期的自然与政策等因素对其动因进行剖析,可以为吴起县农业优质、高效、可持续发展提供一定的借鉴。但是在农业生态经济系统分析评价时只考虑了以县域为研究单元的宏观层面,而对于组成农业生态经济系统基础单元的农户层面在今后还需要进一步去研究。

4.2 结论

(1) 研究期内,吴起县农业生态综合评价指数呈现先下降后上升的发展趋势,农业经济综合评价指数呈现较快速上升—稳定发展—快速上升的发展过程。吴起县农业生态系统和农业经济系统发展都朝良好态势发展。

(2) 吴起县农业生态系统与农业经济系统耦合度呈现先下降后上升的变化趋势,在政策和经济发展水平的影响下,系统从不协调耦合过渡到经济滞后型协调耦合再到生态滞后型协调耦合,系统耦合概念较好地反映了区域性农业生态经济系统的耦合演变态势,更清楚地呈现了吴起县农业生态环境系统和农业经济系统的胁迫发展规律。

(3) 吴起县农业生态经济系统的协调发展指数在研究期内不断提高,从 1990 年的 0.29 上升到 2019 年的 0.63,协调发展水平经历了轻度失调、濒临失调、勉强协调,已经演变为初级协调状态。这意味着农业生态系统与农业经济系统之间的耦合协调关系不断得到改善,未来有望达到优质协调程度。

[参 考 文 献]

- [1] 朱显谟.黄土高原土地的整治问题[J].水土保持通报,1984,4(4):1-7.
- [2] Zhou Decheng, Zhao Shuqing, Zhu Chao. The grain for green project induced land cover change in the Loess Plateau: A case study with Ansai County, Shaanxi Province, China [J]. Ecological Indicators, 2012,23:88-94.
- [3] Chen Yiping, Wang Kaibo, Lin Yishan, et al. Balancing green and grain trade [J]. Nature Geoscience, 2015, 8 (10):739-741.
- [4] 韩超跃,赵先超,胡艺觉.湖南省农业生态—经济系统耦合协调发展研究[J].湖南工业大学学报,2021,35(4):72-79.
- [5] 王晶,胡一,白清俊.治沟造地背景下延安市农业生态经济系统耦合发展分析[J].应用生态学报,2020,31(9):3154-3162.
- [6] 王继军,姜志德,连坡,等.70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势[J].生态学报,2009,29(9):5130-5137.
- [7] 牛亚琼,王生林.甘肃省脆弱生态环境与贫困的耦合关系[J].生态学报,2017,37(19):6431-6439.
- [8] 袁绪英,曾菊新,吴宜进.渭水河流域经济环境协调发展系统动力学模拟[J].地域研究与开发,2011,30(6):84-88.
- [9] 邱爽,林敏.钢铁产业—生态环境—区域经济耦合协调发展研究:以攀枝花市为例[J].生态经济,2021,37(2):54-60.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 梁红梅,刘卫东,林育欣,等.土地利用效益的耦合模型及其应用[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(2):230-236.
- [13] 李玥,王继军,刘普灵,等.退耕还林工程与农业生态经济社会系统协同性研究:以安塞县为例[J].自然资源学报,2018,33(7):1179-1190.

- [4] 帅文波,杜新波.土地节约集约利用内涵及机制研究[J].生态经济,2013,29(4):52-57.
- [5] Gill S E, Handley J F, Ennos A R, et al. Characterising the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape planning [J]. Landscape and Urban Planning, 2008,87(3):210-222.
- [6] Kottmeier C, Biegert C, Corsmeier U. Effects of urban land use on surface temperature in Berlin: Case study [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2007, 133(2):128-137.
- [7] Kok K, Verburg P H, Veldkamp T. Integrated Assessment of the land system: The future of land use [J]. Land Use Policy, 2006,24(3):517-520.
- [8] Mitchell D, Clarke M, Baxter J. Evaluating land administration projects in developing countries [J]. Land Use Policy, 2008,25(4):464-473.
- [9] 孙小祥,秦艺娟.基于 PSR 模型的城市土地集约利用评价研究:以苏州市为例[J].西南大学学报(自然科学版),2021,43(4):100-108.
- [10] 屈二千,谷达华.重庆市开发区土地集约利用评价及潜力分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S1):162-167.
- [11] 王成新,张本丽,姚士谋.山东省城市土地集约利用评价及其时空差异研究[J].中国人口·资源与环境,2012, 22(7):109-113.
- [12] 赵会顺,陈超,高素芳.城市土地集约利用评价及驱动因子分析[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(5): 112-119.
- [13] 朱庆莹,陈银蓉,胡伟艳,等.中国土地集约利用与区域生态效率耦合协调度时空格局[J].农业工程学报, 2020,36(4):234-243.
- [14] 曲长祥,刘璐,冯翔迪.城市土地集约利用评价及其驱动因子分析:以绥化市为例[J].东北农业大学学报, 2015,46(4):94-100.
- [15] 吴儒练,李洪义.基于 PSR 模型的全域旅游示范区土地集约利用评价研究:以上饶市为例[J].生态经济,2020, 36(6):129-134.
- [16] 林树高,陆汝成,叶宗达,等.广西城市土地集约利用与生态文明建设耦合时空分异[J].水土保持研究,2021, 28(2):301-308.
- [17] 周丽青,杨如军,詹长根.广西城市土地集约利用时空差异分析[J].水土保持研究,2017,24(2):272-277.
- [18] 史思琪,梁彦庆,黄志英,等.低碳理念下我国土地集约利用水平时空异质性及其障碍因子分析[J].湖南师范大学自然科学学报,2020,43(3):1-9.
- [19] 宋成舜,熊征,刘懿光.城市土地集约利用效益障碍因子研究:以咸宁市为例[J].水土保持研究,2016,23(2): 327-332.
- [20] 魏宁宁,陈会广.开发区土地集约利用评价与潜力分析 [J].城市发展研究,2017,24(4):66-72.
- [21] 郑惠,周兴,黄冬婷,等.2009—2018 年广西城市化与城市土地集约利用时空耦合协调发展[J].水土保持通报, 2021,41(1):267-275.
- [22] 梁珍玮,李淑杰,马晓葳,等.低碳经济视角下长春市城市土地集约利用评价研究[J].东北师大学报(自然科学版),2016,48(3):156-161.
- [23] 郭显光.熵值法及其在综合评价中的应用[J].财贸研究,1994,5(6):56-60.
- [24] 李菁,胡碧霞,匡兵,等.中国城市土地利用效率测度及其动态演进特征[J].经济地理,2017,37(8):162-167.
- [25] 陈丹玲,李菁,胡碧霞.长江中游城市群城市土地利用效率的空间关联特征[J].城市问题,2018(9):55-64.

(上接第 224 页)

- [14] 李文卓,谢永生,李晓,等.吴起县退耕后农户生产经营与粮食供需状况[J].水土保持通报,2010,30(4):209-213.
- [15] 梁磊磊,姜志德,王继军,等.吴起县农业生态经济结构耦合发展模式及耦合效应研究[J].水土保持研究, 2010,17(2):70-74.
- [16] 苏鑫,王继军.吴起县农业生态经济系统耦合态势演变的驱动力[J].水土保持研究,2010,17(3):126-129.
- [17] 马亚亚,刘国彬,张超,等.陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展[J].生态学报,2019,39(18):6840-6849.
- [18] 赵晓翠,王继军,乔梅,等.水土保持技术对农业产业—资源系统的耦合路径分析[J].生态学报,2019,39(16): 5820-5828.
- [19] 李亮.评价中权系数理论与方法比较[D].上海:上海交通大学,2009.
- [20] 焦峰,温仲明,石辉,等.黄土丘陵沟壑区安塞县土地结构[J].山地学报,2004,22(4):406-410.
- [21] 许振宇,贺建林.湖南省生态经济系统耦合状态分析 [J].资源科学,2008,30(2):185-191.
- [22] 李双江,胡亚妮,崔建升,等.石家庄经济与人居环境耦合协调演化分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):8-15.
- [23] 黄金川,方创琳.城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J].地理研究,2003,22(2):211-220.
- [24] 张丽君,刘佳骏.内蒙古自治区社会、资源、生态与经济协调发展研究[J].中央民族大学学报(哲学社会科学版),2009,36(1):61-67.
- [25] 樊祖洪,熊康宁,李亮,等.喀斯特生态脆弱区农业生态经济系统耦合协调发展研究:以贵州省为例[J/OL].长江流域资源与环境:1-12[2022-03-15].
- [26] 熊建新,陈端吕,彭保发,等.洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J].地理科学,2014,34(9):1108-1116.
- [27] 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.
- [28] 魏媛,王晓颖,吴长勇,等.喀斯特山区经济发展与生态环境耦合协调性评价:以贵州省为例[J].生态经济, 2018,34(10):69-75.