

不同优化情境下的县南沟流域商品型 生态农业系统耦合关系

顾文^{1,2}, 王继军^{1,3}, 齐智娟¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 烟台市水利建筑勘察设计院, 山东 烟台 264000; 3. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:在对县南沟流域退耕还林工程实施后商品型生态农业系统现状耦合态势分析的基础上,以该流域商品型生态农业系统优化方案为基础,利用耦合过程模型,预测了系统在链网构建阶段、农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段的耦合关系。结果表明:自退耕还林工程实施以来,县南沟流域商品型生态农业系统一直处于协调化发展阶段,且农业生态系统与农业经济系统的综合指数均不断增加。当农业生态系统达到自我调节临界点时,在现状发展态势下农业经济系统演变速度为 $V_{En(t)}=0.0673El(t)$,商品型生态农业系统链网构建阶段农业经济系统演变速度为 $V_{En(t)}=0.0913El(t)$,农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段农业经济系统演变速度为 $V_{En(t)}=0.0999El(t)$,系统链网的完善、资源的合理高效利用以及碳汇林业的发展解决了商品型生态农业系统健康、持续发展的问题,同时提高了系统功能。

关键词:商品型生态农业; 耦合过程模型; 耦合态势; 优化情境; 县南沟流域

中图分类号: F303.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0163-06

Coupling Relationship of Ecological Agro-system with Commodity in Different Optimized Scenarios in Xiannangou Watershed

GU Wen^{1,2}, WANG Ji-jun^{1,3}, QI Zhi-juan¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation CAS&MWR, Yangling, Shaanxi

712100, China; 2. Yantai Water Building Conservancy Investigation & Desing Academy,

Yantai, Shandong 264000, China; 3. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the coupling trend analysis of ecological agricultural system with commodity (EASC) in Xiannangou watershed after sloping land conversion program (SLCP), and optimized project of EASC in this watershed, this paper predicted the coupling relationship in Xiannangou watershed at the phase of system in the chain network construction and the optimized coupling phase of agricultural economic system and agricultural ecosystem by using coupling process model. Results showed that EASC of Xiannangou watershed is at the phase of coordinated development after the implementation of SLCP. And the comprehensive index of agroecological system and agricultural economic system are both growing continually. When agroecological system reaches the self-adjusting tipping point, the agricultural economic system evolution speed of the status quo of the development trend & the phase of EASC in the chain network construction & the optimized coupling phase of agricultural economic system and agricultural ecosystem respectively follow the formulas of $V_{En(t)}=0.0673El(t)$ & $V_{En(t)}=0.0913El(t)$ and $V_{En(t)}=0.0999El(t)$. The problems of EASC health and sustainable development are solved by the completed system in the chain network construction, the reasonable utilization of resources and the development of carbon sequestration forestry, which improves the system

收稿日期: 2014-02-25

修回日期: 2014-04-01

资助项目: 中国清洁发展机制基金赠款项目“黄土高原退耕区农户低碳生产模式与政策研究”(2012027); “十二五”国家科技支撑计划项目“黄土丘陵沟壑区水土保持与高效农业关键技术集成与示范”(2011BAD31B05)

作者简介: 顾文(1990—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与生态经济。E-mail: guwen1234567@126.com

通信作者: 王继军(1964—), 男, 陕西渭南人, 研究员, 主要从事水土保持与生态经济研究。E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

function at the same time.

Key words: ecological agricultural system with commodity (EASC); coupling process model; coupling trend; optimized scenario; Xiannangou Watershed

商品型生态农业是随着生产力的发展,在市场经济和生态改良的双重需求下而产生的一种新型农业可持续经营模式。其系统内部包括两个子系统,即以农业资源为核心的农业生态系统和以农业产业为核心的农业经济系统。两个子系统的耦合程度、耦合态势和耦合关系决定了商品型生态农业的建设效果。在理论研究方面,关于系统耦合态势和耦合关系的研究较多,方法也比较成熟。如王继军等^[1]利用耦合度模型研究了纸坊沟流域近 70 年农业生态经济系统的耦合态势演变情况,并将其划分成了 4 个阶段;马彩虹等^[2]基于生态足迹理论及其相关衍生模型,分析了江西省生态经济系统运行态势;李奇睿等^[3]针对退耕还林工程实施后商品型生态农业系统耦合关系的变化情况,对系统耦合演变过程进行了分析。但是对于优化后系统可能的耦合关系研究还比较滞后,而优化后系统耦合关系如何关系到对优化方案的决策及系统运行效果,对优化方案的实施及执行过程具有很重要的参考作用。

本课题组已对县南沟流域商品型生态农业系统在不同情境下的优化耦合进行了研究,得到了商品型生态农业系统发展各个阶段^[4]即现状发展阶段(基本结构构建阶段)、商品型生态农业系统链网构建阶段和农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段的土地利用结构。为了进一步确定县南沟流域商品型生态农业系统优化后的耦合关系,本研究选取耦合过程模型,在对县南沟流域退耕还林工程实施后商品型生态农业发展现状耦合态势分析的基础上,预测分析系统在优化情境下可能的耦合关系,以期为县南沟流域商品型生态农业进一步发展方案实施的决策与执行提供科学参考。

1 研究区概况

县南沟流域位于黄土高原中部的安塞县沿河湾镇,属于典型的黄土丘陵沟壑区(东经 109°12′12″—109°22′12″,北纬 36°41′24″—36°46′12″)。流域总面积为 5 063 hm²,海拔 1 100~1 400 m,平均海拔 1 200 m,相对高差 100~300 m;流域属于暖温带干旱半干旱气候区,年平均气温 8.8℃,≥0℃积温 3733.5℃;流域年降水量在 500~550 mm,年际差异较大,且年内分配不均,60%~80%降雨集中在 7—9 月;平均地面蒸发量为 1 800~2 200 mm,无霜期为

157 d;土壤以黄绵土为主^[5]。流域自 1999 年开始实施退耕还林工程,2012 年拥有林地 1 549.80 hm²,耕地 289.40 hm²,人均纯收入达到 8 800 多元。在退耕还林背景下,流域土地利用方式不断转变,生态环境改善的同时农户经济收益不断提高,生态系统与农业经济系统运行协调,商品型生态农业建设成效显著。

2 研究方法与数据处理

2.1 研究思路

为研究县南沟流域商品型生态农业系统在优化后的耦合关系,本文通过对退耕还林工程实施后农业生态系统与农业经济系统综合指数及其演变速度的分析,得到系统演变的影响系数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 ,再通过调整系数 β_1 、 β_2 修正各个情境下重要因子可能出现的态势对系统的影响,进而确定某特定情境下商品型生态农业系统的耦合关系。

2.2 研究方法

要分析商品型生态农业系统优化后的耦合关系,就要明确农业生态系统与农业经济系统之间的耦合过程。具体方法如下:

2.2.1 系统综合评价模型 用 $En(t)$ 、 $El(t)$ 分别表示时间 t 时农业经济系统与农业生态系统综合指数, $V_{En(t)}$ 、 $V_{El(t)}$ 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^[6]。

$$En(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) x_i(t) \quad (1)$$

$$El(t) = \sum_{j=1}^m b_j(t) y_j(t) \quad (2)$$

式中: $x_i(t)$ 、 $y_j(t)$ ——商品型生态农业系统中农业经济系统与农业生态系统的评价指标标准化值; $a_i(t)$ 、 $b_j(t)$ ——农业经济系统与农业经济系统各指标权重。

2.2.2 耦合度模型 在二维平面以 $V_{En(t)}$ 、 $V_{El(t)}$ 为变量建立坐标系,则商品型生态农业系统演变速度 V 在坐标系中就可以表示为椭圆(图 1),图中角度 θ 即为耦合度^[7],其大小可以判定农业经济系统与农业生态系统耦合态势。具体公式为:

$$V_{En(t)} = \frac{dEn(t)}{dt} \quad (3)$$

$$V_{El(t)} = \frac{dEl(t)}{dt} \quad (4)$$

$$\tan\theta = \frac{V_{En}}{V_{El}} \quad \theta = \arctan \frac{V_{En}}{V_{El}} \quad (5)$$

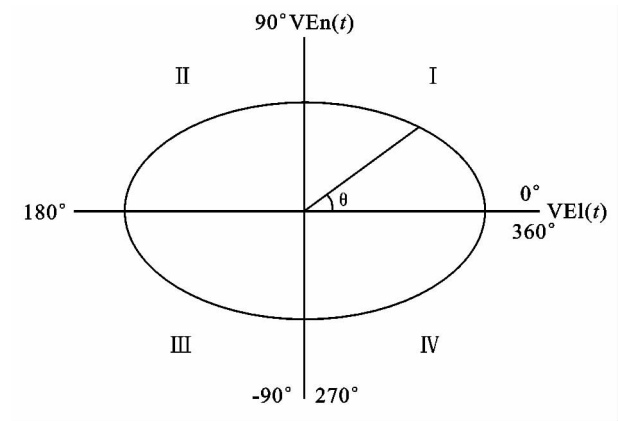


图 1 商品型生态农业系统演化耦合度

2.2.3 耦合过程基础模型 根据贝塔兰菲的一般系统理论和文献[8],商品型生态农业系统演化方程的形式为:

$$V_{En(t)}=k_1\cdot En(t)+k_2\cdot El(t) \tag{6}$$

$$V_{El(t)}=k_3\cdot En(t)+k_4\cdot El(t) \tag{7}$$

式中: k_1,k_2 ——农业经济系统与农业生态系统对商品型生态农业经济系统演化过程的影响系数,是农业经济系统与农业生态系统综合指数对经济系统演化速度的贡献度; k_3,k_4 ——农业经济系统与农业生态系统对商品型生态农业生态系统演化过程的影响系数,是农业经济系统与农业生态系统综合指数对生态系统的贡献度。他们揭示了农业经济系统与农业生态系统之间的互动方向与强度,在特定的研究区域 k_1,k_2,k_3,k_4 皆为常数,利用公式(6),(7)进行回归即可求得。

2.2.4 耦合过程扩展模型 商品型生态农业系统是一个开放的系统,当其演变过程受到外力的作用时,演变轨迹往往发生较大变化^[8]。假设 β_1,β_2 分别为某重大行为过程对经济系统和生态系统影响后导致其演变轨迹发生变化后的调整系数,以公式(6)、(7)为基础,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如下扩展方程:

$$V_{En(t)}=k_1\cdot (1+\beta_1)\times En(t)+k_2\cdot El(t) \tag{8}$$

$$V_{El(t)}=k_3\cdot En(t)+k_4\times (1+\beta_2)\cdot El(t) \tag{9}$$

当某重大行为过程对农业经济系统与农业生态系统产生正向影响时, β_1,β_2 取正,反之取负。其大小表征某重大行为过程对系统演变轨迹的偏离程度,可用公式(10)求得。

$$\beta_1=\frac{\sum_{i=1}^n\Delta(a_ix_i)}{\sum_{i=1}^na_ix_i} \quad \beta_2=\frac{\sum_{j=1}^m\Delta(b_jy_j)}{\sum_{j=1}^mb_jy_j} \tag{10}$$

式中: $\Delta(a_ix_i),\Delta(b_jy_j)$ ——某重大行为过程引起的农业经济系统与农业生态系统偏离后的增量。在求得 β_1,β_2 后,便可根据公式(8),(9)计算某重大行为过程发生后农业经济系统与农业生态系统的演变速度与两系统的数量关系,以此来分析某重大行为过程发生后商品型生态农业系统的耦合关系。

2.3 数据处理

2.3.1 指标体系 本研究所选商品型生态农业系统评价指标体系及其权重参考已有研究成果(表 1)^[9]。各指标权重采用层次分析法确定。

表 1 商品型生态农业系统评价指标体系及其权重

| 系统 | 子系统 | 一级指标 | 二级指标 | 权重 | 系统中权重 |
|-------------------|-------------|-----------|---------------|------|-------|
| 商品型 生态农 业系统 | 农业生态系统(0.5) | 生态环境(0.4) | 降雨量 | 0.14 | 0.056 |
| | | | 林草覆盖率 | 0.22 | 0.088 |
| | | | 土壤侵蚀强度 | 0.21 | 0.084 |
| | | | 可灌溉面积率 | 0.11 | 0.044 |
| | | | 人口密度 | 0.32 | 0.128 |
| | 农业资源(0.6) | | 人均基本农田 | 0.25 | 0.150 |
| | | | 园地比重 | 0.26 | 0.156 |
| | | | 草地比重 | 0.28 | 0.168 |
| | | | 农林牧土地利用结构 | 0.21 | 0.126 |
| | 农业经济系统(0.5) | 农业产业(0.5) | 流域农业产业链与资源相关度 | 0.39 | 0.195 |
| | | | 农业劳动力比重 | 0.15 | 0.075 |
| | | | 工副业贡献率 | 0.18 | 0.090 |
| | | | 农产品商品加工贮藏率 | 0.28 | 0.140 |
| | | | 农产品商品率 | 0.29 | 0.145 |
| | 经济效益(0.5) | | 人均纯收入 | 0.41 | 0.205 |
| | | | 农业产投比 | 0.11 | 0.055 |
| | | | 粮食潜力实现率 | 0.19 | 0.095 |

2.3.2 数据来源与处理 本文采用的数据来源于本课题组对县南沟流域土地利用变化、农用地投入产出

调研资料的积累。为统一各指标的量纲文章对各指标的原始数据进行标准化处理,使其值介于0~1之

间。文章所涉及数据均是在 Excel 和 SPSS 软件中完成。

3 结果与分析

通过对表征商品型生态农业系统各指标的量化

与标准化,在对农业经济系统和农业生态系统综合指数计算的基础上,利用公式(3—4)得到 1999—2012 年县南沟流域农业经济系统与农业生态系统演变速度,再采用公式(5)求得商品型生态农业系统的耦合度(表 2)。

表 2 县南沟流域 1999—2012 年商品型生态农业系统互动过程相关指标值

| 时段 | t | $En(t)$ | $El(t)$ | V_{En} | V_{El} | $\theta/(^{\circ})$ |
|-----------|-----|---------|---------|----------|----------|---------------------|
| 1999—2000 | 1 | 0.3683 | 0.4736 | 0.0057 | 0.0348 | 9.25 |
| 2000—2001 | 2 | 0.3775 | 0.5077 | 0.0127 | 0.0334 | 20.81 |
| 2001—2002 | 3 | 0.3873 | 0.5384 | 0.0070 | 0.0280 | 14.01 |
| 2002—2003 | 4 | 0.3932 | 0.5626 | 0.0048 | 0.0205 | 13.18 |
| 2003—2004 | 5 | 0.4015 | 0.5803 | 0.0118 | 0.0149 | 38.50 |
| 2004—2005 | 6 | 0.4160 | 0.5924 | 0.0172 | 0.0094 | 61.37 |
| 2005—2006 | 7 | 0.4333 | 0.6013 | 0.0173 | 0.0084 | 64.08 |
| 2006—2007 | 8 | 0.4512 | 0.6095 | 0.0187 | 0.0080 | 66.88 |
| 2007—2008 | 9 | 0.4709 | 0.6169 | 0.0206 | 0.0067 | 71.96 |
| 2008—2009 | 10 | 0.4945 | 0.6225 | 0.0268 | 0.0046 | 80.21 |
| 2009—2010 | 11 | 0.5226 | 0.6264 | 0.0294 | 0.0031 | 84.02 |
| 2010—2011 | 12 | 0.5555 | 0.6292 | 0.0363 | 0.0025 | 86.06 |
| 2011—2012 | 13 | 0.5918 | 0.6317 | 0.0364 | 0.0025 | 86.06 |

3.1 退耕还林工程实施以来商品型生态农业系统耦合态势分析

从表 2 可以看出,1999—2012 年县南沟流域农业生态系统与农业经济系统耦合度处于 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,位于耦合度的第 I 象限,表明退耕还林工程实施以来,县南沟流域商品型生态农业系统一直处于协调化发展阶段,农业生态系统与农业经济系统的综合指数均不断增加。

退耕还林工程的实施,增加了流域林草覆盖率、人均基本农田、园地比重等,同时降低了土壤侵蚀强度,使流域生态环境得到改善,农业资源量迅速增加,农业生态系统综合指数不断提高。具体来说,农业生态系统的综合指数在 1999—2005 年增长迅速,从 0.473 6 增长到 0.592 4,增速为 5.02%。之后流域农业生态系统综合指数平稳增加,增速减缓到 0.95%。流域经济系统的发展部分依赖生态系统,在生态系统综合指数增长的同时,经济系统的综合指数也在不断增加,但其增长趋势与生态系统不同。在 1999—2005 年间,经济系统综合指数增长速度为 2.59% (0.368 3~0.416 0),而 2005 年之后的增长速度达到 6.04%。原因在于,退耕初期商品型生态农业以粮食输出为主,农产品商品率、农产品商品加工贮藏率、粮食潜力实现率、工副业贡献率、人均纯收入等指标对农业经济系统综合指数的贡献度较低,而之后果园进入盛果期,加之外出务工人员的增加使各指标对生态系统综合指数的贡献度均得到提高,生态系统综合指数在经济系统综合指数平稳增长的时候可以迅速

增加。

根据王继军等^[1,3]的研究,当 $0^{\circ}<\theta\leq 90^{\circ}$ 时,商品型生态农业系统处于协调化发展阶段。依据系统内部资源利用、产业发展状况又可以将此阶段划分为三个时期: $0^{\circ}<\theta\leq 30^{\circ}$ 时为经济低速发展期、 $30^{\circ}<\theta\leq 60^{\circ}$ 时为商品型生态农业系统均衡发展期、 $60^{\circ}<\theta\leq 90^{\circ}$ 时为商品型生态农业系统危机潜伏期或功能提高期(若此时期出现在系统恢复重建阶段,经济系统对农业资源过度利用或者农业资源内部结构不合理未得到有效利用,表现为危机潜伏期;若此时期出现在系统链网结构完善或优化耦合的高级阶段,表现为系统功能提高期)。由表 2 可知,县南沟流域商品型生态农业系统在 1999—2003 年时处于经济低速发展期,此时农业生态系统演变速度大于农业经济系统演变速度。原因在于退耕还林工程将陡坡地转化为林地,同时禁止放牧减少了牲畜对林草资源的使用和破坏,再加上新修基本农田,使得县南沟农业资源量在 1999—2003 年间迅速增长。而退耕还林工程对农业种植业和畜牧业的影响严重抑制了农业产业的发展,经济发展并非建立在充分利用自然资源上,导致此时期经济增长缓慢、农业资源利用不合理出现剩余。2003—2004 年系统耦合度短暂的出现在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间,此时由于农业结构的调整以及果业初见效益,退耕还林工程对商品型生态农业系统的影响开始趋于平稳,系统暂时处于均衡发展期。在 2004—2012 年 $60^{\circ}<\theta\leq 90^{\circ}$,商品型生态农业处于协调化发展阶段的危机潜伏期,而且系统耦合度呈逐渐增加的趋势,2012 年为

86.47°,商品型生态农业系统已经到了急需调整的边缘。经分析可知,在此时期,退耕还经济林已经挂果,效益逐步增加;畜牧业的萎缩使日益增加的林草资源长时间得不到利用,闲置浪费;经济增长背景下劳动力价格上涨带动劳务输出增加,这些因素加剧了商品型生态农业系统农业产业与农业资源的相悖态势。经济的增长是建立在外出务工和林果业的基础之上,林草资源闲置并未带来效益,使得经济增长并非建立

在合理高效利用农业资源上,系统内部之间的矛盾日益尖锐,农林牧产业结构亟待调整。

3.2 基本参数 k_1-k_4 的确定与分析

利用表 2 结果,通过公式(6—7)采用 SPSS 软件进行无截距线性回归,求得退耕还林工程实施后商品型生态农业发展全过程(1999—2012 年)和退耕还林工程实施后商品型生态农业稳定发展阶段(2005—2012 年)的各参数值(表 3)。

表 3 系数 $k_1、k_2、k_3、k_4$ 值及其显著性

| 时段 | k_1 | | k_2 | | k_3 | | k_4 | |
|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 数值 | 显著性 | 数值 | 显著性 | 数值 | 显著性 | 数值 | 显著性 |
| 1999—2012 | 0.181 | 0.000 | -0.107 | 0.001 | -0.127 | 0.119 | 0.120 | 0.065 |
| 2005—2012 | 0.145 | 0.000 | -0.075 | 0.001 | -0.054 | 0.000 | 0.053 | 0.000 |

由表 3 可以看出,参数 $k_2、k_3$ 为负,说明生态系统综合指数的增加并没有对经济系统的增长速度起到支撑作用,而经济系统综合指数的增加对生态系统演变速度起到抑制作用。由于经济系统综合指数对生态系统演变速度的抑制程度(k_3)与生态系统的自恢复能力或改良作用(k_4)相当,且退耕还林工程实施后生态系统综合指数一直高于经济系统综合指数,使生态系统演变速度一直保持正向发展,但其发展速度越来越慢。按现状发展,未来某时段生态系统演变速度将为 0 或负向发展,此时经济系统对生态系统的抑制作用将超过生态系统的自恢复或改良能力,原因在于商品型生态农业系统经济发展与生态建设没有形成良性互动,亦即农业产业的发展与农业资源相悖,进一步说明了现状商品型生态农业系统需要优化。

由于 1999—2012 年时 $k_3、k_4$ 的 Sig. 值均大于 0.05,不显著,所以选择退耕还林工程实施后商品型生态农业稳定发展阶段的参数值,此时耦合过程模型为:

$$V_{En(t)}=0.145(1+\beta_1)\cdot En(t)-0.075El(t) \tag{11}$$

$$V_{El(t)}=-0.054En(t)+0.053(1+\beta_2)El(t) \tag{12}$$

3.3 优化情境下 $\beta_1、\beta_2$ 的确定与耦合关系分析

基于本课题组关于县南沟流域商品型生态农业系统的优化研究,本文选择商品型生态农业在现状发展态势、系统链网构建阶段和农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段三种情境对 $\beta_1、\beta_2$ 进行计算并预测各情境耦合关系。

(1) 按现状发展态势发展。在此情境下,商品型生态农业系统各要素均不会发生改变,此时 $\beta_1=\beta_2=0$ 。农业经济系统与农业生态系统演变速度变为:

$$V_{En(t)}=0.145\cdot En(t)-0.075\cdot El(t) \tag{13}$$

$$V_{El(t)}=-0.054\cdot En(t)+0.053\cdot El(t) \tag{14}$$

当 $V_{El(t)}=0$ 时,农业生态系统演变速度为零,农业经济系统演变速度达到最大值,商品型生态农业系统达到自我调节临界点。根据公式(13—14)可以得到 $V_{En(t)}=0.0673\times El(t)$,说明在系统协调发展情况下,农业经济系统与农业生态系统共同促使农业经济系统发展的最大速度为 $0.0673\times El(t)$ 。

(2) 商品型生态农业系统链网构建阶段。此时,由于林草资源得到较充分利用,形成养殖业,再加上果业、高效设施农业配置达到最大,系统趋于稳定后的演变轨迹较目前发生了变化,其中农业生态系统中的人均基本农田、园地比重、农林牧土地利用结构和农业经济系统中的流域农业产业链与资源相关度、农产品商品率、农产品商品加工贮藏率、人均纯收入等均得到提高。经计算,农业生态系统综合指数增加了 0.043 8,农业经济系统综合指数增加了 0.056 2。此时 $\beta_1=0.0921,\beta_2=0.0692$ 。农业经济系统与农业生态系统演变速度变为:

$$V_{En(t)}=0.1584En(t)-0.075El(t) \tag{15}$$

$$V_{El(t)}=-0.054En(t)+0.0567El(t) \tag{16}$$

此时商品型生态农业系统自我调节临界点发生改变,当农业生态系统演变速度为 0 时,农业经济系统演变速度变为: $V_{En(t)}=0.0913El(t)$,说明在商品型生态农业链网构建阶段由于资源得到较充分利用和系统结构的完善,使系统更加稳定、资源利用效率得到提高,单位生态系统对经济增长速度的贡献度变大,系统功能得到提高。

(3) 农业经济系统与农业生态系统优化耦合阶段。此时,在“种植业、林草资源→养殖业→农家肥→果业、设施农业”的链网结构已经形成,通过进一步加强秸秆和草地资源利用水平强化系统链网的关节点,同时退耕林地通过碳汇销售形成碳汇产业,这样以

来,林地面积进一步增加,农林牧土地利用结构、流域农业产业链与资源相关度、人均纯收入等均达到现有认识与技术水平下的最优值。经计算,此时 $\beta_1 = 0.1468, \beta_2 = 0.0725$ 。农业经济系统与农业生态系统演变速度变为:

$$V_{En(t)} = 0.1663En(t) - 0.075El(t) \quad (17)$$

$$V_{El(t)} = -0.054En(t) + 0.0568El(t) \quad (18)$$

此时,当农业生态系统达到自我调节临界点时,农业经济系统演变速度为 $V_{En(t)} = 0.0999El(t)$,单位生态系统功能达到了商品型生态农业系统发展的最高值。

由以上可知,在商品型生态农业发展的三个不同阶段,当系统达到自我调节临界值时,农业经济系统演变速度与农业生态系统综合指数的数量关系发生改变,分别为: $V_{En(t)} = 0.0673El(t), V_{En(t)} = 0.0913El(t)$ 和 $V_{En(t)} = 0.0999El(t)$ 。可见,随着商品型生态系统结构的完善与功能提高,农业生态系统综合值对农业经济系统演变速度的贡献度不断提高,意味着消耗等量农业资源时经济产出提高幅度加大,农业资源利用效率增加,表明优化后商品型生态农业系统功能得到提高。

4 结论与讨论

自1999年退耕还林工程实施以来,县南沟流域商品型生态农业系统一直处于协调化发展阶段,并依次经历了该阶段的经济低速发展期、商品型生态农业系统均衡发展期和商品型生态农业系统危机潜伏期。目前,县南沟流域商品型生态农业产业的发展并未建立在农业资源的合理高效利用上,导致商品型生态产业链网结构断裂、农业产业与农业资源相悖,商品型生态农业系统内部矛盾日益尖锐,农林牧产业结构亟待调整。

按照商品型生态农业不同情境下的优化结果,在商品型生态农业系统链网构建阶段和农业经济系统

与农业生态系统优化耦合阶段,通过合理高效地利用资源,可以完善“种植业、林草资源→养殖业→农家肥→果业、设施农业”的系统链网结构,此时当农业生态系统达到均衡发展时,商品型生态农业系统链网构建情境下经济系统演变速度为 $0.0913El(t)$,农业经济系统与农业生态系统优化耦合情境下经济系统演变速度为 $0.0999El(t)$ 。这两种情境下农业生态系统对农业经济系统演变速度的贡献度均较现状发展态势 $[0.0673El(t)]$ 大。说明通过商品型生态农业系统链网构建和农业经济系统与农业生态系统优化耦合,农业产业的发展依赖农业资源的程度加大,提高了商品型生态农业系统耦合效果。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 马彩虹,兰叶霞,赵先贵,等. 江西省生态经济系统耦合态势分析[J]. 水土保持研究,2009,16(3):221-224.
- [3] 李奇睿,王继军. 退耕背景下安塞县商品型生态农业系统耦合关系[J]. 农业工程学报,2011,27(9):293-298.
- [4] 王继军. 黄土高原商品型生态农业研究[J]. 生态经济,1999(4):41-43.
- [5] 李惠茹,张文辉,范红霞,等. 黄土丘陵沟壑区县南沟流域景观的功能类型构成[J]. 林业科学,2011,47(4):76-85.
- [6] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [7] 李崇明,丁烈云. 小城镇资源环境与社会经济协调发展评价模型及应用研究[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(11):134-139.
- [8] 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.
- [9] 王继军,郑科,郑世清,等. 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.
- [10] 经济开发区生态风险分析[J]. 生态学报,2011,31(12): 3441-3450.
- [23] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报,2008,28(10):5020-5026.
- [24] 许学工,林辉平,付在毅,等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报:自然科学版,2001,37(1): 121-127.
- [25] 王永丽,于君宝,董洪芳,等. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J]. 地理科学,2012,32(6):717-724.
- [26] 王军,邱扬,杨磊,等. 基于GIS的土地整理景观效应分析[J]. 地理研究,2007,26(2):258-264.
- [27] 胡喜生,洪伟,吴承祯,等. 福州市土地生态系统服务功能价值的评估[J]. 东北林业大学学报,2011,39(12): 90-94.

(上接第162页)

- [18] 王亚娟,刘小鹏,赵大磊,等. 基于生态系统服务价值的固原市市辖区土地利用规划环境影响评价[J]. 水土保持研究,2010,17(3):222-226.
- [19] 王成,赵万民,谭少华,等. 基于生态服务价值评价的局地土地利用格局厘定[J]. 农业工程学报,2009,25(4): 222-229.
- [20] 张莹,雷国平,林佳,等. 扎龙自然保护区不同空间尺度景观格局时空变化及其生态风险[J]. 生态学杂志,2012,31(5):1250-1256.
- [21] 艾建超,赵力,程龙飞,等. 土地整理进程中镇赉项目区景观格局变化及生态风险[J]. 东北师大学报:自然科学版,2013,45(2):146-152.
- [22] 高宾,李小明,李志刚,等. 基于景观格局的锦州湾沿海