

安塞县农业资源 - 产业耦合系统对 水土保持的响应分析

梅 花¹, 王继军^{1,2}, 高 亮³, 张 楠¹, 崔绍芳²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 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;
3. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 农业资源、产业发展及其耦合态势是水土保持政策措施实施效果最直接的反映, 本文以安塞县为对象, 运用耦合协调度模型就农业资源 - 产业系统对水土保持措施的响应过程和机制进行了时序性分析。结果表明: 农业资源 - 产业系统对水土保持作出了积极响应, 但其对不同水土保持措施的响应效果和机理不同, 总体上遵循了衰退过度到勉强协调 → 初级协调发展 → 良好协调发展的路径, 但耦合作用的强度与耦合协调程度并不一一对应, 存在着交错分布的特点; 同时, 农业资源与产业及两者的耦合协调度演化趋势都预示着系统演变过程中潜伏着较大危机。为此, 在完善产业链网结构的同时可通过建设农村土地市场和明晰林业产权等手段减少资源的闲置和浪费, 保证资源与产业协调可持续发展。

关键词: 农业资源 - 产业系统; 耦合协调度; 水土保持; 退耕还林(草); 安塞县

中图分类号: S157.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0150-06

Response of agricultural resources and industry coupling system to soil and water conservation in Ansai County

MEI Hua¹, WANG Ji-jun^{1,2}, GAO Liang³, ZHANG Nan¹, CUI Shao-fang²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of soil and water conservation measures can be reflected by agricultural resources, industrial development and their coupling situation. By using the Coupling Coordination Model, the response and mechanism of agricultural resources and industry coupling system to soil and water conservation measures in Ansai County, Shaanxi Province were investigated at time series. The results showed that the agricultural resources and industry system positively responded to water and soil conservation, but the effects and mechanism of various measures were rather different. Generally, it abided by the following route: from over-recession to inadequate coordination → elementary coordination → favorable coordination. However, the coupling intensity and coordination degree were not exactly corresponding with each other and there existed a feature of staggered distribution. In addition, a potential crisis in the system could be predicted by the evolution trend of agricultural resources, industry and their coupling coordination. Therefore, in order to realize a harmonious and sustainable development of resources and industry, the agricultural structure should be optimized, and the inadequate utilization of agricultural resources should be reduced by the measures such as fostering rural land market, clarifying forestry property and so forth.

Keywords: agricultural resources and industry system; coupling coordination degree; soil and water conservation; grain for green project; Ansai county

收稿日期: 2013-03-19

基金项目: “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); 中国科学院水利部水土保持研究所科技发展基金“基于农户尺度的安塞县典型区域农业生态经济系统耦合关系研究”(SW09528)

作者简介: 梅花(1988—), 女, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地资源管理与空间信息技术。E-mail: meihua3180690@163.com。

通信作者: 王继军(1964—), 男, 陕西渭南人, 研究员, 主要研究方向为生态经济。E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn。

水土保持通过采用工程、生物和耕作等措施来增加地面植被覆盖,提高土壤抗蚀力,防止水土流失,保护水土资源,维护和提高土地生产力^[1]。从系统学角度来说,水土保持实际上是通过人工干预与自然界自我修复相结合的方式改变下垫面状况,从而影响农业生态经济系统要素以及相互之间的作用关系,促使系统结构、状态不断改变。目前,水土保持对农业生态经济系统的作用效果及其评价已成为学术界关注的重要问题,但鉴于笼统的研究农业生态经济耦合问题不便于实际测量和把握问题实质,围绕资源和产业关系进行研究渐渐成为一种倾向^[2-3]。水土保持背景下,农业资源和农业产业的发展情况是水土保持政策措施实施效果最直接的反映,同时,由于资源与产业的合理匹配和良性耦合是水土保持实施的目标,这样农业资源-产业系统耦合协调度就成为农业系统对水土保持响应程度的重要表征,其耦合协调度的高低可以反映水土有效保持的效果。

目前,以资源与产业为对象研究农业生态经济系统对水土保持响应作用的文章鲜见报道。此外,水土保持与农业生态经济系统演变相关的研究方法多为能值、能流分析等“箱”式方法^[4-7],侧重于对象外部特征而忽视了内部信息的开发利用,往往通过输入输出关系或因果关系研究对象的功能和特征,缺乏系统性考虑和动态定量分析。

基于以上背景,本文拟从系统科学的角度出发,在总结前人研究成果的基础上,遴选出能够衡量两大子系统发展状况的评价指标体系,通过建构耦合协调度模型,并进行系统态势过程(1984—2010年)分析,阐明水土保持过程中的农业资源和农业产业变化规律及其相互作用机制,为协调好资源与产业的关系,为当地政府制订行之有效的、符合实际情况的水土保持相关政策提供决策支持,同时对研究区域资源开发利用与整治保护的实践也具有重要的参考作用。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

安塞县(108°51'44"~109°26'18"E,36°30'45"~37°19'31"N)位于陕西省延安市北部,海拔997~1731 m,县域总面积2949.14 km²,其中耕地47170 hm²,山地占95%以上,土层深厚,光照充足,昼夜温差较大,适宜农林牧综合发展。县域地形结构呈现南北伸展的狭长形,年平均降水量505.3 mm,侵蚀地貌类型属黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区^[8],受自然因

素和不合理的人类经济活动影响,该区水土流失十分严重,塬面径流下沟导致沟头不断前进、塬面逐年萎缩,同时,由于沟坡坡度大导致重力侵蚀异常活跃,侵蚀强度逐渐加强,全县水土流失面积达2852 km²,占总土地面积的95%^[9]。为了减少水土流失而采取的多项水土保持措施效果显著,特别是实施“退耕还林(草)工程”以来,林草覆盖率已由1998年的14.1%上升到42%,土壤侵蚀模数由大于30000 t·km⁻²·a⁻¹下降到5000 t·km⁻²·a⁻¹左右,水土流失治理程度达46%;2010年总人口15.03万,其中农业人口13.9万,农民人均纯收入5562元,农业总产值为77578万元。

1.2 研究方法 with 指标确定

1.2.1 耦合协调度模型

物理学意义上的耦合是两个(或以上)系统或运动通过各种相互作用而彼此影响的现象^[10]。耦合作用决定了系统由无序走向有序的趋势,即关键在于系统内部序参量之间的协同作用,耦合度是反映这种协同作用的度量^[11]。目前,一些学者应用数学几何处理方法在二维椭圆平面上,计算两个子系统综合指数演化速度的反正切函数(即耦合度)且拟合效果较好^[12-14]。由于耦合度是基于两子系统驱动要素之间的离差性^[15],能不分利弊地反映双方相互作用程度的强弱,而难以反映出整体“协同”效应,特别是低发展水平和高发展水平两种状态的耦合程度难以区分。为了更直观地反映相互作用中良性耦合程度的大小,体现系统由无序走向有序的趋势,本文参考廖重斌、吴文恒等^[16-17]的耦合协调度模型计算农业资源产业耦合协调度。通过耦合度和协调度的计算,以两者在时序特性上能否显示出较高的一致性为依据,判断研究区农业资源和农业产业是否具有较好的耦合协调性。具体模型如下:

$$f(R) = \sum_{i=1}^m a_i x'_i \quad (1)$$

$$f(I) = \sum_{j=1}^n b_j y'_j \quad (2)$$

(1)、(2)式中,设 x_1, x_2, \dots, x_m 为描述农业资源特征的 m 个指标, y_1, y_2, \dots, y_n 为描述农业产业特征的 n 个指标,则分别称函数 $f(R)$ 为农业资源评价函数, $f(I)$ 为农业产业评价函数。式中, a_i, b_j 为待加权数,且将 a_i, b_j 的取值均设定为1; x'_i, y'_j 分别为评价指标标准化值。

$$D(A, B) = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

$$C = \left\{ \frac{f(R) \times f(I)}{\left[\frac{f(R) + f(I)}{2} \right]^2} \right\}^k \quad (4)$$

$$T = \varphi f(R) + \omega f(I) \quad (5)$$

(3)、(4)、(5) 式中: k 为协调系数, 参考已有相关研究取 $k = 2$; C 为两个子系统的协调指数; T 为二者的综合发展指数; φ 和 ω 为待定系数, 且 $\varphi + \omega = 1$, 考虑到两子系统的重要性程度大体一致, 本文取 $\varphi = \omega = 0.5$; D 为 A 、 B 的耦合协调度。

1.2.2 评价指标体系构建及权重计算

在借鉴有关生态经济系统研究成果的基础上^[18], 结合安塞县资源、产业发展的具体情况与系统内涵要求, 遵循综合性、主导因素原则、实用与规范性原则、系统性与层序性相结合原则、科学性、前瞻性与操作性兼顾原则, 选择了 14 个指标, 构建评价指标体系。为了统一各指标的量纲与缩小指标之间的数量级差异, 采用极差标准化方法对各指标的原始数据进行标准化处理。本文中指标权重采用熵值法计算后, 参考已有研究^[3]进行修正、确定, 将决策者给出的主观权重偏好信息与熵值法计算指标的信息熵矩阵信息进行有机地集成, 使确定的权重同时反映主观程度和客观程度, 最终确定各指标权重值, 见表 1。

1.3 资料来源

考虑数据的可获得性, 本文选取家庭联产承包责任制确立后的 1984—2010 年为研究时段, 数据来源于《安塞县统计年鉴》、《安塞县土地利用现状变更调查汇总》等以及逐年积累的调查资料; 对于小部分无法直接得到的数据, 则在指标分析后, 借鉴已有的数据, 采用替代方法、线性内插法和线性趋势外推法进行估算来对指标赋值。

2 实证分析

2.1 农业资源与农业产业对水土保持的响应

根据公式(1)、(2), 计算得到农业资源与农业产业的综合发展指数 $F(R)$ 和 $F(I)$ (图 1), 农业资源发展大体经历了 1984—1993 年的上升时期, 1993—2001 年的波动发展时期和之后一年内迅速增长至最高点(2002 年, 发展指数为 0.765)后进入 2002—2010 年的逐年缓慢下降时期。农业产业呈现阶梯式发展过程, 第一阶段(1984—1993 年)和第二阶段(1993—2002 年)农业产业发展指数分别在 0.2 ~ 0.3 和 0.34 ~ 0.44 之间波动发展; 2003—2009 年农业产业发展指数由 0.49 迅速发展至 0.74, 之后的两年又呈现波动式发展。不难看出, 农业资源与农业产业均在波动中发展且在时间上具有一定的同步性。

表 1 安塞县农业资源 - 产业系统综合评价指标体系及权重

系统 System	指标 Index	权重 Weight	
农业资源系统 Agricultural resources system	林草覆盖率 Proportion of forestry and grass coverage	0.119	
	降雨量 Average annual precipitation	0.074	
	可灌溉面积率 Proportion of irrigation area to total producing area	0.115	
	人均耕地面积 Average arable area per capita	0.134	
	农林牧土地利用结构 Land use structure of agriculture, forestry and animal husbandry	0.128	
	园地比重 Proportion of orchard to total producing area	0.136	
	牧草地比重 Proportion of grassland to total producing area	0.136	
	人口密度 Population density	0.158	
	农业产业系统 Agricultural industry system	人均纯收入 Average annual net income of peasants	0.294
		农业劳动力比重 Proportion of agricultural labor force to total labor force	0.098
农业产投比 Agricultural output-input ratio		0.068	
工副业贡献率 Proportion of industrial and sideline production to total income of peasants		0.135	
农林牧产值结构 Output value structure of agriculture, forestry and animal husbandry		0.174	
农业产业链与资源量相关度 Correlation degree of agricultural industry and resources		0.231	

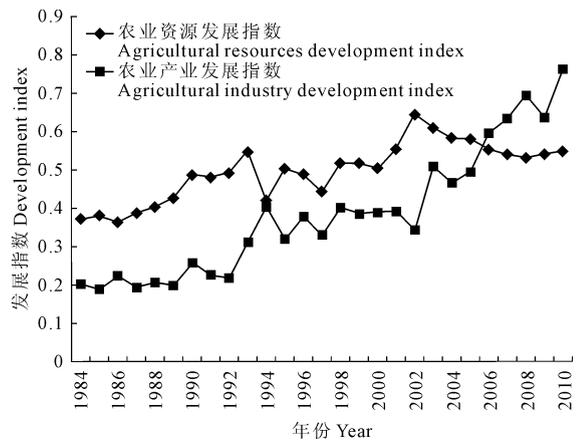


图 1 农业资源与农业产业演变过程

Fig.1 Evolution process of agricultural resources and industry

20 世纪 80 年代初, 安塞就开展了水土保持、农林牧副综合治理, 治理措施主要是新修基本农田, 实

行科学种田,这些水土保持措施促使陡坡农地退耕造林种草,促进了林牧业和多种经营发展。具体来说,1984—1993年间,四田(梯田+坝地+水浇地+造地)合计新增面积达7 780 hm²,其中梯田新增6 660 hm²;同时,牧草地比重从7%上升到14%,林草覆盖率增加了14个百分点,园地面积增加了13 266 hm²。相应地,该时间段内林牧业产值比重由22.8%上升到40.4%,人均收入翻了两番。1993年之后的8 a间,农业资源在波动中缓慢发展而农业产业却在波动中趋于疲软态势。这是由于当时果树大多数老化,而且人工牧草退化或遭到破坏,因此果业、畜牧业的发展均受到了不同程度的影响,在农业资源量和产业结构基本保持不变的情况下,农业产业发展后劲不足。

1999年水土保持工程——退耕还林还草工程在安塞县局部开始实施,对研究区农业资源-产业系统产生了巨大作用,农业资源与农业产业都得到了较快的发展。由于水土保持存在效益外溢问题以及水土保持效果的滞后性^[19],从短期(1999—2001)的农业资源和产业发展指数来看,水土保持并未有十分显著的影响,退耕还林(草)、封山禁牧结合工程措施和生物措施对区域农业系统的影响在2001年之后的9 a内表现得十分明显。随着退耕还林工程的深入实施,安塞县林草资源可利用量迅速增加,在2002年农业资源发展指数达到最高点0.765,截止2010年林草覆盖率上升了12个百分点。然而耕地资源的不断减少、后期的过度退耕和劳动力流转导致了部分耕地撂荒以及非农用地不断增加等等,使得农业资源发展指数从0.765(2002年)下降到0.597(2010年),这与安塞县实地调查的情况是相符合的。与此同时,由于退耕初期大量耕地资源改为资源管制下的林草资源,农业产业也受到了一定影响,粮食产量减少了36%;但是随着产业结构的调整,重视设施大棚蔬菜和西瓜的种植,舍饲养殖下的畜牧业也有所发展,一系列调整措施带动了农业产业的发展。此外,农业产业迅速发展的又一不可忽视的助力来自于农村工副业,2010年其贡献率相较于1984年增加了20.7%,主要可分为两类:一类是农业中分化出来的产业,如粮食加工、饲料加工、机耕队、运输队等;另一类是为农业服务的产业,如农机修理厂、农副产品初级加工厂、农村商店、农村饮食店等。退耕还林(草)工程实施后,从土地上解放的劳动力所形成的新的经济增长提高了人均纯收

入,并与不断发展的科学技术一起作为农业投入又促进了农业产业的发展,这种良好的互动关系使得以副养农,以农促副收到了良好的效果,农业产业指数从0.337(2002年)上升到0.780(2010年)。

结合资源、产业演化轨迹的比较可发现,对于不同的水土保持措施,农业资源与农业产业的响应效果和机理是不同的,退耕还林(草)工程作为重大的水土保持林草工程,其效果十分显著。退耕工程实施前,以局部造林种草、打坝、修梯田等为主的水土保持措施,起到了一定的蓄水保土作用,但是由于人口增多,土地利用不合理,滥垦滥牧,广种薄收,使得天然牧草地急剧减少,天然植被逐年退化,水土流失仍很严重,区域农业产业与农业资源的发展指数有所上升但变化不大,但两者的趋势大体上是一致的。而工程实施后,农业产业发展指数的增长明显,农业资源指数迅猛增长后呈逐年下降趋势。可见,退耕工程同时显著地改善了区域农业资源条件和农业产业结构,但研究区农业资源在退耕后期有所下降,究其原因主要是:① 随着社会经济和城镇化进程加快,非农用地增加,使得农业用地减少;② 后退耕时期部分坡度 $< 15^\circ$ 和生产力较好的缓坡地也被退耕;③ 耕地资源的减少和由于劳动力转移导致耕地资源闲置。

2.2 农业资源-产业耦合协调度对水土保持的响应

由公式(3)、(4)、(5)计算得出农业资源与农业产业的综合发展指数和耦合协调度(D)。如图2所示,二者总体来说呈逐步上升趋势,大体经历了1984—1993年的上升时期、1993—2002年的平稳发展时期和2002—2008年的又一个上升时期后在2009年开始出现波动。可见,农业资源-产业系统对各项水土保持措施尤其是退耕工程的实施作出了积极的响应,耦合协调度从0.482上升到了0.816,资源、产业子系统呈现出相互亲合的态势。然而,根据耦合协调度(D)曲线拟合并进行适度的前推趋势预测,在未来几年区域农业产业与农业资源耦合协调度极有可能出现下降。究其原因:水土保持工程尤其是退耕还林工程的实施使得耕地资源量减少、大量劳动力流向非农产业,导致土地资源利用不合理,对农业产业发展将造成一定冲击;其次,林草资源量增加,但由于畜禽养殖始终处于规模小、附属于农业的次要地位,牧草利用不充分,造成牧草地效益欠佳必将变成制约农业产业发展的又一限制因素。

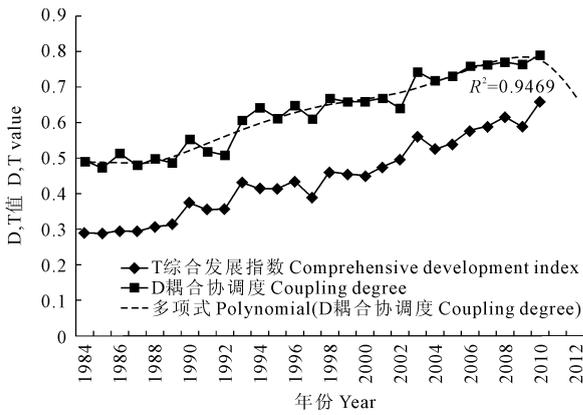


图 2 农业系统综合发展指数及耦合协调度

Fig.2 Comprehensive development index and coupling coordination degree of agricultural system

在水土保持进程中,资源和产业发展到相对稳

定状态后两子系统的演化速度接近于零,两者在良性互动范围内协调发展,因此,笔者根据 D 值的大小和 $F(R)$ 和 $F(I)$ 比值关系,结合安塞县现实状况将农业资源与产业的协调发展过程划分为 3 大类(衰退类、过渡类、发展类)6 小类,16 种基本耦合类型(表 2)。根据计算结果和评判标准大致划分为以下几个阶段:1984—1986 年,勉强协调过渡类资源产业共损型;1987—1992 年,勉强协调过渡类产业滞后型;1993—2001 年,初级协调发展类资源产业同步型;2002—2004 年,初级协调发展类产业滞后型;2005—2010 年,良好协调发展类资源产业互动型。从中可看出,农业资源产业耦合系统对一系列水土保持措施作出了积极的响应,遵循了衰退过度到勉强协调→初级协调发展→良好协调发展的路径,耦合协调性越来越好。此外,耦合作用的强度与耦合

表 2 资源产业系统耦合类型划分

Table 2 Types of coupling coordination development of resources and industry system

类型序号 Code	耦合协调度 D Coupling degree	协调等级 Coordination level	$F(R)$ 与 $F(I)$ 对比关系 Correlation of $F(R)$ and $F(I)$	资源产业耦合模式 Coupling mode of resources and industry
1	$0 \leq D \leq 0.3$	中高度失调衰退类 Moderate-high recession class	$F(R)/F(I) \geq 1.4$	中高度失调衰退类产业损益型 Moderate-high recession and negative growth of industry
			$0.8 \leq F(R)/F(I) < 1.4$	中高度失调衰退类资源产业共损型 Moderate-high recession and negative growth of resources and industry
			$F(R)/F(I) < 0.8$	中高度失调衰退类资源损益型 Moderate-high recession and negative growth of resources
2	$0.3 < D \leq 0.4$	轻度失调衰退类 Mild recession class	$F(R)/F(I) \geq 1.4$	轻度失调衰退类产业损益型 Mild recession and negative growth of industry
			$0.8 \leq F(R)/F(I) < 1.4$	轻度失调衰退类资源产业共损型 Mild recession and negative growth of resources and industry
			$F(R)/F(I) < 0.8$	轻度失调衰退类资源损益型 Mild recession and negative growth of resources
3	$0.4 < D \leq 0.6$	勉强协调过渡类 Inadequate coordination class	$F(R)/F(I) \geq 1.4$	勉强协调过渡类产业滞后型 Inadequate coordination and lagged growth of industry
			$0.8 \leq F(R)/F(I) < 1.4$	勉强协调过渡类资源产业共损型 Inadequate coordination and lagged growth of resources and industry
			$F(R)/F(I) < 0.8$	勉强协调过渡类资源滞后型 Inadequate coordination and lagged growth of resources
4	$0.6 < D \leq 0.7$	初级协调发展类 Primary coordination class	$F(R)/F(I) \geq 1.4$	初级协调发展类产业滞后型 Primary coordination and lagged growth of industry
			$0.8 \leq F(R)/F(I) < 1.4$	初级协调发展类资源产业同步型 Primary coordination and lagged growth of resources and industry
			$F(R)/F(I) < 0.8$	初级协调发展类资源滞后型 Primary coordination and lagged growth of resources
5	$0.7 < D \leq 0.9$	良好协调发展类 Intermediate coordination class	—	良好协调发展类资源产业互动型 Intermediate coordination and interactive growth of resources and industry
6	$0.9 < D \leq 1.0$	优质协调发展类 High coordination class	—	优质协调发展类资源产业互动型 High coordination and interactive growth of resources and industry

协调程度并不是一一对应的,它们之间存在着交错分布的特点,这与资源产业之间的协调发展规律是相符合的。具体来说,农业资源作为各项水土保持工程的直接行为对象,对其反应更为灵敏,资源量在短期内得到快速提高,而资源环境的改善向产业效益转化具有一定的滞后性。工程实施主体农户作为生产决策者在进行农业生产过程中,总是在环境允许的范围内,尽可能地充分地利用农业资源,增加农业产业效益的产出,实现系统耦合协调。

从耦合协调度(D)趋势预测结果和安塞县现实情况来看,2005年安塞县进入良好协调发展类资源产业互动型以来,末期产业发展较为滞后。产业发展在该阶段内是需要一定量农业资源投入来支撑的,也就是所谓的农业资源代价性损失,但由于资源零损失或利用不充分阻碍产业发展或以复垦等手段换取产业更快速发展都是现阶段各种约束条件(退耕政策)下不可取的。因此,抑制经济高速增长偏好,调整资源产业结构实现其可持续发展,提高系统耦合协调度,注重发展质量才是水土保持的根本目的。

3 结论与建议

安塞县实施水土保持各项措施以来,农业资源和农业产业子系统均做出了积极的响应,其发展指数分别增长了0.508和0.574。但不同的水土保持措施,二者的响应效果和机理是不同的。20世纪80年代以局部造林种草、打坝、修梯田等为主的水土保持措施使得两者发展指数有所上升,虽上升幅度不大,但两者的趋势一致;退耕还林实施后,区域农业资源条件和农业产业结构变化显著,农业资源发展指数波动上升,在2002年达到最高值后有所回落,农业产业发展指数不断发展。

农业资源产业耦合系统对一系列水土保持措施作出了积极的响应,遵循了衰退过度到勉强协调→初级协调发展→良好协调发展的路径,耦合协调性越来越好。此外,耦合作用的强度与耦合协调程度并不是一一对应的,资源产业之间的协调发展存在着交错分布的特点。但是,耦合协调度预测结果在研究时段末期呈现下降趋势,加之目前系统正处于产业滞后阶段,这些现象都给出了一个强烈的信号:由于土地资源的过度退耕及浪费和林草资源的闲置及利用不充分,农业产业的发展后劲不足,农业资源-产业耦合系统潜伏了较大的危机。

农户作为水土保持工作的实施者,其行为直接影响到水土保持工程的实施和其效果,是农业资源

子系统演化的直接推动者;再者,作为农业产业主体,农户的资源利用偏好和产业经营行为直接影响到农业产业的发展,并对系统耦合态势产生影响。基于上述农业资源-产业系统演化过程中存在的问题,以农户为核心制定合理的引导政策进行产业结构调整是最直接有效的方法,可考虑以下几点:①完善农村土地市场,土地产权的转移会使资源配置更有效,促使农民看到资源保护在资源利用中的长期回报,并刺激对土地资源开发利用的深度投资(如进行水土保持等生态环境建设),减少农户的风险规避行为。②明晰林业产权,实现责权统一,可避免资源的重开发和利用,轻治理和保护的现象。③明确主导产业,发展区域特色经济。在稳定耗粮型猪禽养殖的同时增加草食型牛、羊数量,充分利用林草资源,实现资源的合理利用和优化配置,提高其一致性。

参考文献:

- [1] 张侠,赵德义.水土保持研究综述[J].地质技术经济管理,2004,26(3):26-30.
- [2] 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[J].应用生态学报,2009,20(11):2723-2729.
- [3] 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.
- [4] 张忠学,郭亚芬,任玉东.小流域生态经济系统的评价研究[J].水土保持通报,2006,20(1):24-27.
- [5] 蔡进军,李振勇,张源润,等.半干旱退化山区农村生态经济系统能流分析[J].水土保持研究,2006,13(2):175-178.
- [6] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区退耕前后典型流域农业生态经济系统能值分析[J].农业工程学报,2009,25(6):266-273.
- [7] 马骞,杨子峰,于兴修,等.基于多目标决策灰色关联投影法的水土保持生态修复生态效益动态评价[J].水土保持研究,2009,16(4):100-103.
- [8] 景可,焦菊英.水土保持措施与效益评价研究以陕北安塞县为例[J].水土保持研究,2011,18(1):132-136.
- [9] 毕华兴,刘立斌,刘斌.黄土高塬沟壑区水土流失综合治理范式[J].中国水土保持科学,2010,8(4):27-33.
- [10] Thomas B. Fischer. Policy, Plan and Programmed Environmental Assessment in England, Netherlands, and Germany: Practice and Prospects. Environment and Planning B[J]. Planning and Design, 2002,9:159-72.
- [11] 方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J].干旱区地理,2006,29(1):1-8.
- [12] 许媛,南灵.土地利用效益的耦合关系的研究—以西安为例[J].华中农业大学学报(社会科学版),2010,89(5):84-88.
- [13] 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.
- [14] 吕晓,刘新平.农用地生态经济系统耦合发展评价研究——以新疆塔里木河流域为例[J].资源科学,2010,32(8):1538-1543.

3 结论与讨论

通过对两个玉米品种(丹玉 39 和丹玉 42)在三叶期和七叶期进行低温胁迫 3 天和 5 天,并与未进行低温胁迫的两个玉米品种进行对照,比较不同低温处理后玉米生长发育及其产量的变化情况,得到以下结论:

1) 控温前后叶面积指数的变化。

苗期低温胁迫后,两个品种四个处理的叶面积增长率均小于对照,低温胁迫抑制了玉米的生长,导致叶面积增长率小于正常生长(对照),其中对丹玉 39 的影响大于丹玉 42。

2) 控温处理后玉米叶面积生长状况比较。

经过苗期低温胁迫后,丹玉 39 后期叶面积逐渐接近并最终在乳熟期达到对照正常水平,而丹玉 42 的后期恢复能力较差。

3) 低温胁迫后玉米生育期变化。

比较两个品种四个处理各生育期天数变化发现,玉米营养生长阶段延长而生殖生长阶段缩短,导致后期的玉米生物量和产量下降。

4) 成熟后玉米果穗性状比较。

四个处理的丹玉 39 果穗长、粗与对照相比无明显规律,丹玉 42 果穗长、粗均小于对照,丹玉 39 的秃尖比略大于对照,丹玉 42 略小于对照。由于丹玉 42 的后期生长恢复能力较差,果穗大小与对照相比较小,丹玉 42 生物量和产量均受影响而降低。

5) 成熟后玉米生物量及产量的比较。

四个处理的丹玉 39 株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比无明显规律,受前期低温影响较小,丹玉 42 的株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比均显著减少,受前期低温影响,丹玉 42 的最终生物量与产量下降。

由于作物生育期内气象条件的变化以及玉米在生长发育阶段的前后连续性、互补性,在不同的光、温、水作用下,都有可能加快或延迟玉米的发育进程,从而减轻或加剧前期不利温度条件的影响程度^[20],因此,苗期的低温胁迫处理并不一定完全抑

制玉米生长发育和导致减产,还需结合不同的气象条件变化进一步研究。

参考文献:

- [1] 高晓容,王春乙,张继权.气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响[J].生态学报,2012,32(7):2110-2118.
- [2] 王春乙.东北地区农作物低温冷害研究[M].北京:气象出版社,2008:4-5.
- [3] 方修琦,王媛,朱晓禧.气候变暖的适应行为与黑龙江省夏季低温冷害的变化[J].地理研究,2005,24(5):664-672.
- [4] 马树庆,袭祝香,王琪.中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究[J].自然灾害学报,2003,12(3):137-141.
- [5] IPCC. Climate Change 2007: the Physical Science Basis, Summary for Policy Makers[R]. Paris: IPCC WGI Fourth Report, 2007:195-199.
- [6] 赵俊芳,杨晓光,刘志娟.气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响[J].生态学报,2009,29(12):6544-6551.
- [7] 曹宁,张玉斌,闫飞,等.低温胁迫对不同品种玉米苗期根系性状的影响[J].中国农学通报.2009,25(16):139-141.
- [8] 胡海军,王志斌,陈凤玉,等.玉米冷害生理机制研究进展[J].玉米科学,2009,17(2):149-152.
- [9] 王连敏,王立志,张国民,等.抗寒剂在玉米幼苗上应用效果的研究[J].玉米科学,1998,6(4):45-47.
- [10] 王连敏,王立志.苗期低温对玉米体内脯氨酸、电导率及光合作用的影响[J].中国农业气象,1999,20(2):28-31.
- [11] 孙孟梅,姜丽霞,韩俊杰,等.低温冷害对玉米含水率的影响[J].南京气象学院学报,1999,22(4):716-719.
- [12] 王春乙,郭建平,马树庆,等.玉米抗低温助长剂田间试验研究[J].自然灾害学报,2001,10(1):80-85.
- [13] 史占忠,贲显明,张敬涛,等.三江平原春玉米低温冷害发生规律及防御措施[J].黑龙江农业科学,2003,(2):7-10.
- [14] 史占忠,谷口利策.三江平原玉米低温冷害发生规律[J].作物杂志,2003,(2):3-6.
- [15] 郭建平,王春乙,马树庆,等.玉米育苗移栽防御低温冷害和春旱试验研究[J].自然灾害学,2003,12(1):116-120.
- [16] 关贤交,欧阳西荣.玉米低温冷害研究进展[J].作物研究,2004,(5):353-357.
- [17] 张旭,赵明,李连禄,等.温度对玉米生理生化特性的影响[J].玉米科学,2002,10(3):60-62.
- [18] 王小丽,裴玉贺,郭新梅,等.低温胁迫下玉米幼苗的几种生理生化指标的变化[J].植物生理学通讯,2009,45(5):487-490.
- [19] 孟英,李明,王连敏,等.低温冷害对玉米生长影响及相关研究[J].黑龙江农业科学,2009,(4):150-153.
- [20] 马玉平,王石立,李维京.基于作物生长模型的玉米生殖期冷害致灾因子研究[J].作物学报,2011,37(9):1642-1649.

(上接第 155 页)

- [15] 赵宏林,陈东辉.城市化与生态环境之关联耦合性分析——以上海市青浦区为例[J].中国人口·资源与环境,2008,18(6):174-177.
- [16] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999,19:171-177.
- [17] 吴文恒,牛叔文,郭晓东,等.中国人口与资源环境耦合的演进分析[J].自然资源学报,2006,21(6):853-861.
- [18] 王继军.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.
- [19] Gould B W, Saupe W E, Klemme R M. Conservation tillage: the role of farm and operator characteristics and the perception of soil erosion[J]. Land Economics, 1989, 65(2):167-182.