

DOI: 10.5846/stxb201811202513

赵晓翠, 王继军, 乔梅, 韩晓佳, 李玥. 水土保持技术对农业产业-资源系统的耦合路径分析. 生态学报, 2019, 39(16): 5820-5828.
Zhao X C, Wang J J, Qiao M, Han X J, Li Y. Coupling path analysis of soil and water conservation technology to the agricultural industry-resource system. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): 5820-5828.

水土保持技术对农业产业-资源系统的耦合路径分析

赵晓翠¹, 王继军^{1,2,*}, 乔梅¹, 韩晓佳², 李玥¹

1 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100

2 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100

摘要: 水土保持技术通过对农业产业-资源系统的作用过程影响系统的耦合效果, 这一过程及效果成为农户选择水土保持技术的关键点。为此, 运用结构方程模型, 以典型流域—县南沟流域为对象, 通过对 2017 年 130 户农户调研资料的分析, 揭示其作用过程和耦合路径。结果表明: 水土保持技术与生态环境、农业资源、农业产业形成了一个新的耦合系统, 水土保持技术对生态环境的改良和农业资源量的增加具有促进作用, 对农业产业的发展具有抑制作用。但其(现阶段)作用强度较弱(水土保持技术对三者的路径系数分别为 0.13、0.08、-0.02); 这是由于县南沟流域基本完成了规模化治理, 故水土保持技术对农业产业-资源系统的影响的弱强度是基于水土流失治理及治理措施有效发挥基础之上的弱强度, 同时隐含了现有的水土保持技术体系已不能完全满足新时代背景下生态文明建设与经济发展的需求, 需要围绕水土保持内涵经营过程, 以生态功能的提升为主线, 筛选、集成、研发水土保持技术, 形成可适化水土保持技术体系。

关键词: 水土保持技术; 农业产业-资源系统; 耦合路径; 结构方程模型; 县南沟流域

Coupling path analysis of soil and water conservation technology to the agricultural industry-resource system

ZHAO Xiaocui¹, WANG Jijun^{1,2,*}, QIAO Mei¹, HAN Xiaojia², LI Yue¹

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

Abstract: Soil and water conservation technology influenced the coupling effect of the system through action on the agricultural industrial-resource system, and this process and effect is the key determinant among farmers to select appropriate soil and water conservation technology. Hence, we surveyed 130 households of the typical watershed—Xiannangou watershed in 2017, and these survey data were used to reveal the mechanism of action and the coupling path via the structural equation model. A new coupling system was developed from soil and water conservation technology and the ecological environment, agriculture resources, and agricultural industries. Soil and water conservation technology improved the ecological environment, increased agricultural resources, and inhibited the development of the agricultural industry; however, the intensity was weak at the present stage (the path coefficients were 0.13, 0.08, and -0.02, respectively). The underlying reason was that large-scale management was undertaken in the Xiannangou watershed; hence, the weak intensity of the effect of soil and water conservation technology to the agricultural industry-resource system was based on the weak intensity of the effective control measures for soil and water loss in the Xiannangou watershed, implying that the existing system of soil and water conservation technology could not fully meet the requirements of ecological civil construction and economic development in the new era. Screening, integrating, and developing soil and water conservation technology to

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0503702); 国家重点研发计划课题(2016YFC0501707); 国家自然科学基金项目(41571515)

收稿日期: 2018-11-20; 修订日期: 2019-04-23

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

develop suitable soil and water conservation technology is in great demand and must focus on soil and water conservation , while essentially upgrading ecological functions.

Key Words: soil and water conservation technology; agricultural industrial-resource system; Coupling Path; Structural Equation Model; Xiannangou watershed

目前,我国水土流失治理已经取得了重大成效^[1-3],在水土流失治理过程中水土保持技术的作用显得尤为重要^[4-5],因此,研究水土保持技术评价对生态建设及区域可持续发展具有重要作用。

针对水土保持技术及相关问题的研究主要集中在:水土保持技术的适宜性评价^[6-7]、水土保持效益评价指标与方法^[8-10]、单项水土保持技术评价^[11-12]、水土保持综合效益评价等^[13-17],这些研究为水土流失治理和水土保持技术的选择奠定了良好的基础,但是都未能系统地揭示水土保持技术与水土保持技术作用下农业产业-资源系统之间的内在关系。基于此,课题组与项目组先后进行了水土保持技术的概念和特征^[18]、水土保持技术评价指标体系、评价方法、评价模型等^[19]研究,系统揭示了水土保持技术属性、应用过程、应用效果相耦合本质背景下的评估问题,为水土保持技术的评价提供了重要科学依据。但是,针对水土保持技术与其直接作用对象—生态、经济系统(生产者直接关注的是农业资源和农业产业)的作用路径和过程研究尚有待进一步拓展和深化。而这一点制约了水土保持技术与生态经济系统的可持续发展。因此,对于水土保持技术与农业产业-资源系统耦合路径关系的研究有很重要的现实意义。

水土保持技术与农业产业-资源系统之间的互动关系,首先表现为潜变量,而对于潜变量的研究比较成熟的方法是运用结构方程模型。王继军等^[20]利用结构方程模型探讨了陕北黄土丘陵区及各个区域农业生态经济系统的耦合关系及差异性,为农业生态经济系统耦合优化提供科学依据;成思敏等^[21]利用结构方程模型探讨了农业产业与农业资源之间的互动关系,对促进系统稳定、良性循环发展具有重大意义;苏鑫等^[22]利用结构方程模型分析了退耕还林区域农业生态经济系统的耦合关系,揭示了生态脆弱区生态经济系统之间的内在关系,为农业生态经济可持续发展提供可靠依据;夏自兰等^[23]利用结构方程模型从农户视角研究了水土保持背景下农业产业与农业资源的耦合关系,明确了融入水土保持政策的农业生态经济系统互动关系及作用路径,为系统演替方向提供了参考。所以,本文选择运用结构方程模型来研究水土保持技术与农业产业-资源系统的耦合路径关系。而县南沟流域是黄土高原丘陵沟壑区的典型代表流域,也是退耕还林工程的试点流域。研究该流域水土保持技术与农业产业、资源的发展变化过程具有重要的现实意义。

基于以上背景,运用结构方程模型研究县南沟流域水土保持技术与农业产业-资源系统之间的互动关系,旨在揭示水土保持技术对农业产业-资源系统的影响,以期为进一步优化水土保持技术提供参考价值,为促进农业生态经济系统的可持续发展提供依据。

1 研究区域概括

县南沟流域位于陕西省安塞县沿河湾镇,东经 109°12′12″—109°22′12″,北纬 36°41′24″—36°46′12″。流域内梁峁起伏、地形破碎,流域面积 50.64 km²;该流域年降水量为 500—550 mm,降雨分配不均,主要集中在 7—9 月,年平均气温 8.8℃,在气候上处于暖温带半湿润向半干旱过渡区。县南沟流域包括 3 个行政村中的 16 个村民小组:寨子湾(皮塔村、寨子湾、桑塔村、孙岔村),方家河(张坪村、崖尧村、窑湾村、灰条咀、社科村、方家河村、黄柏梁村、永丰尧村、畔坡山村),沿河湾镇后街(砖窑沟村、朱凤台村、新庄洼村)。该流域 2017 年有 753 户,共 2529 人,人均年收入达 8356 元。流域内主要产业为种植业、林果业、棚栽业、畜牧业。

流域内所涉及到的水土保持技术包括水土保持工程技术(梯田、淤地坝、鱼鳞坑等)、水土保持耕作技术(垄沟种植、轮作等)和水土保持生物技术(造林等)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

模型运算与分析过程中所用数据来源于县南沟流域(课题组)已有资料和2018年8月农户调查。农户调查采取随机抽样法,调查区域涉及县南沟流域3个行政村中的16个村民小组。调查内容包括水土保持技术使用情况及实施效果、家庭劳动力、农作物产量、土地利用、农业收入与支出、退耕还林等情况,调查持续半个月,每户大约1 h,共调查133户,有效问卷130户,满足结构方程所需样本量。

2.2 研究方法

结构方程模型是表示潜变量之间、潜变量与观测变量之间关系的一种统计方法,它结合了因子分析和路径分析的特点,并且可以设置误差项,不需要再受到路径分析的干扰限制^[24]。结构方程模型包括结构模型和测量模型。结构模型是描述潜变量之间的关系,测量模型则反映了潜变量与观测变量之间的关系。

模型方程如下:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (2)$$

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (3)$$

(1)和(2)是测量模型方程式,(3)是结构模型方程式。

方程式中 X 为外生观测变量组成的向量, Y 表示的是内生观测变量组成的向量, Λ_x 表示外生观测变量与外生潜变量之间的关系,是外生观测变量在外生潜变量上的因子负荷矩阵; Λ_y 表示内生观测变量与内生潜变量之间的关系,是内生观测变量在内生潜变量上的因子负荷矩阵; δ 表示外生观测变量 X 的测量误差, ε 表示内生观测变量 Y 的测量误差。 η 表示内生潜变量, ξ 表示外生潜变量, B 表示内生潜变量之间的关系, Γ 表示外生潜变量对内生潜变量的影响, ζ 表示结构方程的残差项,反映了 η 在方程中未被解释的部分。

3 结果分析

3.1 结构方程模型的建立

3.1.1 系统变量的选择

水土保持技术与农业产业-资源系统是一个复杂的耦合系统。水土保持技术、农业资源、农业产业是系统耦合的主体^[25]。农户不仅是水土保持技术的实施者,也是农业资源和农业产业的主宰者。现阶段,生态治理已经达到一定程度,人们追求的主要目标是经济效益,因此,将农户关注的经济效益设置为系统耦合的出口,也是系统耦合的最终目标。水土保持技术与农业产业-资源系统耦合与相悖这一矛盾运动过程,可以从水土保持技术实施后农业资源利用变化和农业产业发展的角度来描述。退耕还林工程、水土保持技术的实施,显著改善了生态环境,增加了农业资源量,调整了农业产业结构,从而影响了系统耦合状态。即水土保持技术直接作用于生态环境、农业资源、农业产业、耦合状态4大要素。基于此,选取水土保持技术、农业资源、农业产业、生态环境、耦合状态、经济效益作为潜变量。其中水土保持技术为外生潜变量,农业资源、农业产业、生态环境、耦合状态、经济效益为内生潜变量。因为无法直接对潜变量进行描述,故对每个潜变量设置可观测变量。水土保持技术的可测变量为技术成熟度、技术应用难度、技术相宜性,这是课题组经过多次讨论、论证确定的,已应用于水土保持技术属性的表征;农业资源、农业产业、经济效益、生态环境、耦合状态可测变量的确定参考已有的研究结果^[26],选取果园用地比重、人均基本农田、农产品商品率、农业劳力比重、人均纯收入、人均粮食产量、可灌溉面积率、林草面积率、资源适宜度、产业资源相关度作为内生可测变量(表1)。

3.1.2 初始模型的建立

结合县南沟流域实际调查情况与感性认识,提出了以下假设:H1:水土保持技术对农业资源有影响;H2:水土保持技术对生态环境有影响;H3:水土保持技术对农业产业有影响;H4:水土保持技术对耦合状态有影

响; H5: 农业资源对农业产业有影响; H6: 农业资源对耦合状态有影响; H7: 农业产业对耦合状态有影响; H8: 农业产业对经济效益有影响; H9: 生态环境对农业资源有影响; H10: 生态环境对农业产业有影响; H11: 生态环境对耦合状态有影响; H12: 耦合状态对经济效益有影响; 在此基础上并根据表征潜变量的可测变量, 建立初始模型图 1。图中 e1—e18 为残差变量, 表示无法被系统解释的部分。

表 1 水土保持技术与农业产业-资源系统耦合变量解释

Table 1 Coupling variable interpretation of soil and water conservation technology and agricultural industrial-resource system

潜变量 Latent variable	观测变量 Observation variable	定义方法 Define methods
水土保持技术 ξ Soil and water conservation techniques	技术成熟度 x_1 (各项得分加总值; 0—10)	技术完整性(1. 技术组成不全, 部分环节技术脆弱; 2. 技术要素较全, 部分环节技术脆弱; 3. 技术要素组成合理, 主体技术达到最佳, 个别技术不完全成熟; 4. 技术组成、配置基本合理, 各个技术环节接近最佳; 5. 技术组成、配置合理, 各个技术环节达到最佳+技术稳定性(1. 不稳定; 2. 较不稳定; 3. 一般; 4. 较稳定; 5. 不变)
	技术应用难度 x_2 (各项得分加总值; 0—10)	技能水平层次(1. 非常困难; 2. 比较困难; 3. 一般; 4. 比较容易; 5. 非常容易;) + 技术应用成本(1. 完全不能接受; 2. 可以考虑; 3. 不完全接受; 4. 能接受; 5. 完全乐意)
	技术相宜性 x_3 (各项得分加总值; 0—20)	目标相宜性(1. 几乎未达到目标; 2. 少数目标达到; 3. 部分目标达到; 4. 基本目标达到; 5. 完全达到目标) + 立地相宜性(1. 完全不适合; 2. 较不适合; 3. 一般; 4. 较适合; 5. 非常适合) + 经济发展适宜性(1. 完全不适合; 2. 较不适合; 3. 一般; 4. 较适合; 5. 非常适合) + 政策法律适宜性(1. 几乎不配套; 2. 少数配套; 3. 部分配套; 4. 基本配套; 5. 完全配套)
农业资源 η_1 Agricultural resources	果园用地比重 y_1	果园地面积 / 总农地面积
农业产业 η_2 Agricultural industry	人均基本农田 y_2	农田面积 / 家庭人口数
	农业劳力比重 y_3	农业劳动力 / 总劳动力
经济效益 η_3 Economic benefit	农产品商品率 y_4	商品化的农产品 / 总农产品
	人均纯收入 y_5	家庭纯收入 / 家庭人口数
耦合状态 η_4 Coupling situation	人均粮食产量 y_6	粮食总产量 / 家庭人口数
	资源适宜度 y_7 (各项得分加总值; 0—12)	耕地适宜性(1 不适宜/2 临界适宜/3 适宜, 下同) + 园地适宜性(1/2/3) + 林地适宜性(1/2/3) + 草地适宜性(1/2/3)
	产业资源相关度 y_8	具体赋值方法参考王继军 ^[27]
生态环境 η_5 Ecological environment	可灌溉面积率 y_9	可灌溉地面积 / 总农地面积
	林草面积率 y_{10}	林草地面积 / 总农地面积

3.2 模型运算

3.2.1 数据处理及信度分析

应用 spss21.0 对 130 份数据进行信度检验, 各潜变量和模型整体信度均达 0.70 以上, 表明数据的整体性、一致性较好。

3.2.2 模型拟合、修正及检验

利用 Amos21.0 对模型进行初始检验, 由于数据是随机抽样法, 并且符合多元正态分布总体, 故采用最大似然值法, 根据初始模型输出的结果, 同时参考拟合指数修正意见, 进而修正模型。本文选取 a) 绝对拟合指数, 包括卡方自由度比(χ^2/df)、近似误差均方根(RMSEA)、拟合优度指数(GFI) 3 个指标; b) 相对拟合指数, 包括规范拟合指数(NFI)、比较拟合指数(CFI)、增量拟合指数(IFI) 3 个指标; c) 简约拟合指数, 包括 Akaike 信息标准(AIC)、期望交叉验证指数(ECVI) 2 个指标。拟合后的指标指数见表 2, 拟合后的耦合模型见图 2。

3.3 模型解释

3.3.1 水土保持技术对农业产业-资源系统及耦合状态的作用分析

从图 2 中可以看出, 假设都是成立的。水土保持技术直接作用于农业产业、农业资源、生态环境及耦合状态, 其路径系数为: 耦合状态(0.15) > 生态环境(0.13) > 农业资源(0.08) > 农业产业(-0.02), 与现实相符。影

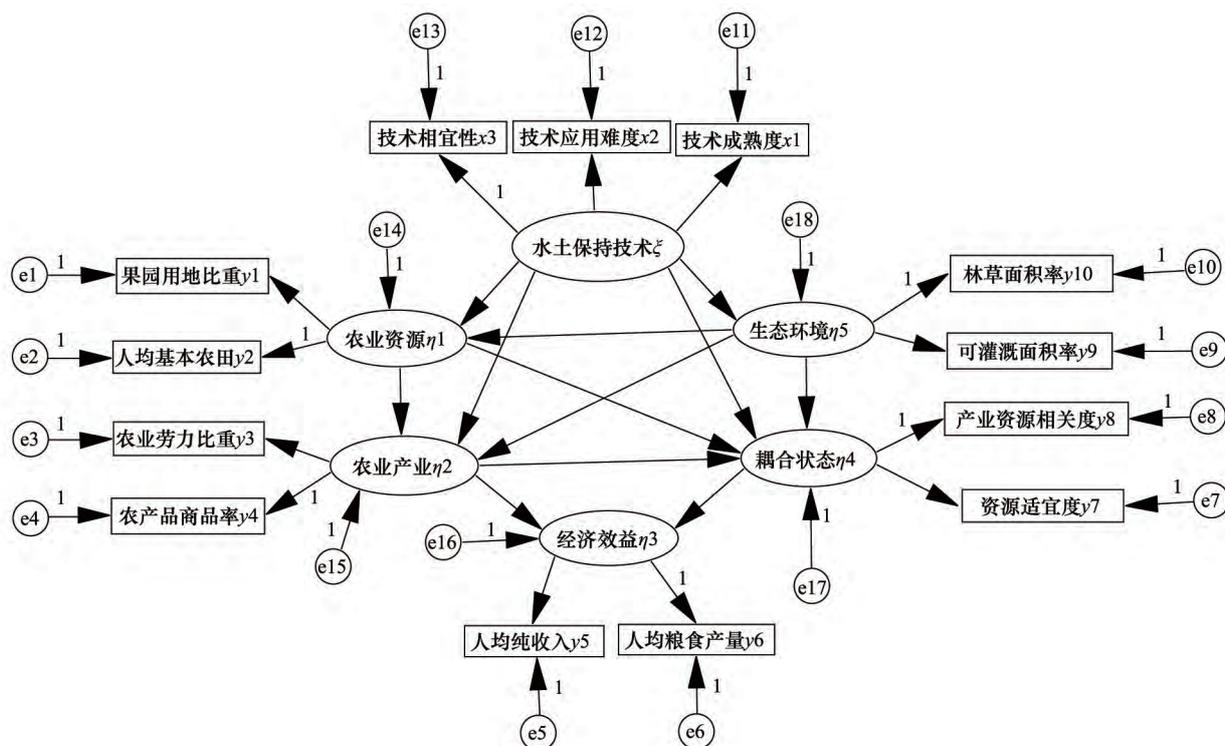


图 1 水土保持技术与农业产业-资源系统耦合关系初始模型

Fig.1 Initial model of coupling relation between soil and water conservation technology and agricultural industrial-resource system

图中箭头上的 1 是固定参数 表示结构方程模型拟合过程中无须估计的参数

表 2 模型拟合指数

Table 2 Fitting index of models

评价项目 Evaluation project	适配指标 Adaptation index	指标含义 Indicator meaning	参考标准 Reference standard	评价结果 Evaluation results
绝对拟合指数 Absolute fit indices	χ^2/df	卡方自由度比	<3	0.959
	RMSEA	用自由度对 F0 进行调整	<0.1 越小越好	0
	GFI	模型拟合得到的方差和协方差能够解释数据资料的方差和协方差的程度	>0.9	0.961
相对拟合指数 Relative fit indices	NFI	假设模型与独立模型的差异	>0.9	0.966
	IFI	调整样本量对 NFI 的影响	>0.9	1.002
	CFI	既考虑了假设模型与独立模型之间的关系,同时也考虑了假设模型与理论预期的中央卡方分布的离散程度	>0.9	1
简约拟合指数 Parsimonious fit indices	AIC	不同模型之间的比较	越小越好	142.425
	ECVI	是从样本量角度调整 AIC	越小越好	1.104

响程度的排序验证了初始选择水土保持技术时的理念,即首先满足生态治理的需要。路径系数小这一结果说明水土保持技术与农业产业-资源系统耦合效果并不明显。在水土保持技术的应用过程中,农业生产习惯发生改变,变广种薄收为少种高产多收;同时,禁牧等的影响,养殖结构和数量发生较大变化,导致对农业资源的有效利用不足,系统耦合系数较低。进一步分析其原因,1999年,县南沟流域相较于其他流域而言已建立基本稳定的生态经济系统,在此基础上又实施了退耕还林工程,25°以上的坡耕地退耕还林还草,林草面积迅速增加。到2008年,严重的水土流失基本得到治理,环境显著改善,农林牧土地面积趋于稳定^[28]。至2017年,生态系统与经济系统形成相对均衡的状态。从治理目标来看,已完成了规模化的治理,水土保持技术的实施

拉动了生态效应螺旋式的上升,但经济增长的速度远远低于生态改善的速度。所以,目前水土保持技术对其作用对象的影响强度较弱,这是一种基于水土保持技术经过系统化、规模化治理后的弱强度,也属于量变基本完成基础上的弱强度;同时也隐含了将要由“外延治理”转为“内涵治理”,即在目前所形成的水土保持技术体系基础之上,围绕水土保持内涵经营过程,以满足生态文明建设的需求,实现经济社会的可持续发展为目标,以生态功能的提升为主线,筛选、集成、研发水土保持技术,创造生态建设和经济发展和谐共赢的局面。

3.3.2 基于水土保持技术作用下的农业产业-资源系统对耦合状态的影响

由图 2 可见,生态环境、农业资源、农业产业直接作用于耦合状态,其影响系数为 0.283、0.062、0.169(表 3),生态环境对农业资源与农业产业的影响系数分别为 1.544、0.253,农业资源单向作用于农业产业,影响系数是 0.022(表 3)。表明水土保持技术的实施改善了生态环境,但环境改善所增加的资源量并未得到产业的有效利用,更多地体现了其生态效益,从而影响了系统良性耦合。就目前情况而言,县南沟流域为了稳固退耕还林成果,伴随着封山禁牧政策的实施,产业发展未建立在资源有效利用之上,尤其是畜牧业,大量林草资源的闲置和浪费导致林草-畜牧业循环链网缺失^[20]。再加之比较利益、劳务输出等各种原因,出现农业产业与农业资源局部相悖的态势,导致系统耦合并不显著:即系统耦合每变化 1 个单位,经济效益仅变化 0.02 个单位;生态环境和农业资源对经济效益间接的影响系数为 0.366、0.029(表 5),系数为正,说明环境的改善有助于提高系统发展,进一步说明促进生态系统与经济系统的协调发展是系统耦合的目的。农业产业对经济效益的耦合系数为 1.25,路径系数较大。说明目前县南沟流域发展的农业产业对经济效益有很大影响作用。退耕还林工程实施后,政府部门为了提高农村经济,退耕还林的同时,发展林果业(苹果)、高效设施农业、养殖业,林果业者居大多数(表 4)。到目前为止,林果业和高效设施农业都取得了很好的经济效益。

表 3 修正模型标准化路径系数

Table 3 Standardized path estimates of modified models

路径		估计值	路径		估计值		
Path		Estimate	Path		Estimate		
η_5	<---	ξ	0.126	x_2	<---	ξ	0.397
η_1	<---	ξ	0.082	x_1	<---	ξ	0.915
η_1	<---	η_5	1.544	y_{10}	<---	η_5	0.911
η_2	<---	η_1	0.022	y_9	<---	η_5	0.948
η_2	<---	η_5	0.253	y_8	<---	η_4	0.968
η_2	<---	ξ	-0.023	y_7	<---	η_4	0.970
η_4	<---	ξ	0.153	y_3	<---	η_2	0.311
η_4	<---	η_1	0.062	y_2	<---	η_1	0.312
η_4	<---	η_2	0.165	y_1	<---	η_1	0.516
η_4	<---	η_5	0.283	y_4	<---	η_2	1.180
η_3	<---	η_2	1.246	y_5	<---	η_3	0.778
η_3	<---	η_4	0.019	y_6	<---	η_3	0.542
x_3	<---	ξ	0.936				

表 4 调研户产业分布情况

Table 4 Industrial distribution of farmers

产业类型	种植业	高效设施农业	林果业	养殖业
Industry type	Farming	Facility agriculture	Forest fruit industry	The breeding
户数 Number of households/户	113	22	93	39
比重 Proportion/%	86.92%	16.92%	71.54%	30%

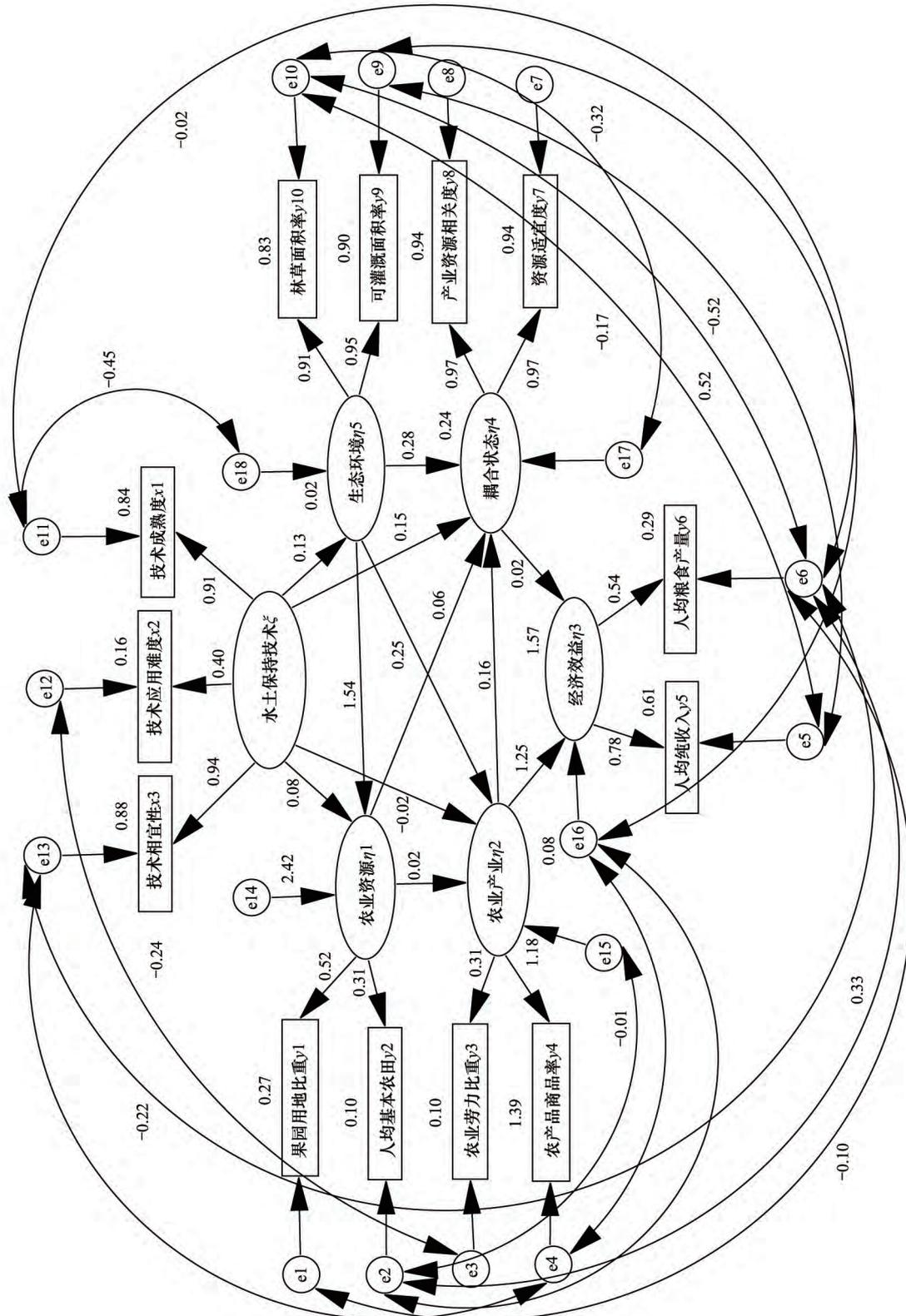


图2 水土保持技术与农业产业—资源系统耦合关系拟合模型
Fig.2 fitting model of coupling relation between soil and water conservation technology and agricultural industrial-resource system

表 5 总的标准化效应系数

Table 5 Overall standard influence coefficient

	ξ	η_5	η_1	η_2	η_4	η_3
η_5	0.126	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
η_1	0.276	1.544	0.000	0.000	0.000	0.000
η_2	0.015	0.287	0.022	0.000	0.000	0.000
η_4	0.208	0.426	0.066	0.165	0.000	0.000
η_3	0.022	0.366	0.029	1.250	0.019	0.000
y_6	0.012	0.199	0.016	0.678	0.010	0.542
y_5	0.017	0.285	0.022	0.972	0.014	0.778
y_4	0.017	0.339	0.026	1.180	0.000	0.000
y_1	0.143	0.797	0.516	0.000	0.000	0.000
y_2	0.086	0.482	0.312	0.000	0.000	0.000
y_3	0.005	0.089	0.007	0.311	0.000	0.000
y_7	0.202	0.413	0.064	0.160	0.970	0.000
y_8	0.202	0.412	0.064	0.159	0.968	0.000
y_9	0.119	0.948	0.000	0.000	0.000	0.000
y_{10}	0.114	0.911	0.000	0.000	0.000	0.000
x_1	0.915	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_2	0.397	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_3	0.936	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3.3.3 反映各个潜变量的可测变量之间的耦合关系

反映各个潜变量的可测变量之间的耦合关系主要表现为两个层次: 某一潜变量下的可测变量通过另一可测变量对另一潜变量的作用; 同一个潜变量下各个可测变量的重要程度。

某一潜变量下的可测变量通过另一可测变量作用于另一潜变量。对于表征水土保持技术的三个可测变量来讲, 技术成熟度与人均粮食产量、生态环境相互影响, 技术应用难度与农业劳力比重相互影响, 技术相宜性与人均粮食产量、农产品商品率相互影响。它们分属于生态环境、经济效益、农业产业 3 个潜变量。表明了技术成熟度、技术应用难度、技术相宜性除了表征水土保持技术外, 对其他 3 个潜变量都有间接作用。人均基本农田和人均粮食产量之间的影响系数是 0.33, 果园用地比重和人均粮食产量之间的影响系数是 -0.1, 这与现实相符。退耕还林政策的实施, 人均贡献度农田面积大量减少, 人均粮食产量也随之减少, 在仅有的土地面积内, 无论选择种植业或林果业为主导产业, 两者之间都必然成反方向变化, 间接反映了资源的合理利用与经济效益之间的关系。基于以上分析从另一个视角反映了系统耦合不是单一的线性关系, 而是相互影响的链网结构。

同一潜变量下, 不同的表征变量对潜变量的贡献程度不一致。针对水土保持技术来说, 3 个可测变量重要程度排序为: 技术相宜性 0.94 > 技术成熟度 0.91 > 技术应用难度 0.40 (图 2), 这一结果与专家的判定一致 (“生态技术评价方法、指标与评价模型开发”课题组对各个指标赋予的权重值), 一项技术得以使用, 相宜性是技术选择的前提。不仅要适合区位特征, 还要符合区域经济发展的需求。因此, 县南沟流域按照水土保持技术的属性及应用的范围, 土地按照宜林、宜牧、宜农进行规划。采取了山上缓坡修梯田, 沟道建淤地坝、阳坡建果园、弃耕坡地种草的办法, 一方面土地得以合理利用, 提高了劳动生产率, 另一方面促进了区域经济发展。果园用地比重 0.52 > 人均基本农田 0.31 (图 2), 效益的好坏影响农民的农业经营行为, 农业经营行为导致农业产业布局的变化^[26]。退耕还林后, 政府推广实施的苹果产业发展较好, 农民为了获得满意的效益, 在仅有的农耕地上选择种植效益较好的苹果, 不仅促进了经济的发展, 也提高了资源的合理利用率。对农业产业来说, 农产品商品率 1.18 > 农业劳力比重 0.31, 图 2 也可以看出, 农产品商品率和经济效益有相互关系。在市场经济背景下, 产业发展不以依赖劳动力为核心, 商品化程度反映人们追求商品生产, 因此, 和农产品商品率比起来, 农业劳动力比重对农业产业的贡献度略小。耦合状态中, 产业与资源相关度和资源适宜度与耦合状态的关联度都是 0.97, 说明在系统耦合关系中产业与资源相关度和资源适宜度同等重要。

4 结论与讨论

针对水土保持技术对农业产业-资源系统耦合路径不明确的现实,在构建其表征体系的基础上,运用结构方程模型,以县南沟流域为例,对水土保持技术与农业产业、资源发展变化过程进行分析,明确了水土保持技术对农业产业-资源系统的作用过程与强度。

(1) 水土保持技术与生态环境、农业资源、农业产业形成了一个新的耦合系统,其中水土保持技术的实施改善了生态环境,增加了农业资源量,影响了农业产业发展,增加了经济效益。(由于生态环境对农业资源的作用路径系数为 1.54,农业资源对农业产业的作用路径系数为 0.02)。所以生态环境改善增加的资源量并没有得到产业发展的有效利用,导致系统耦合效果较差。

(2) 目前水土保持技术对其作用对象的影响强度较弱,这是基于水土保持系统化、规模化治理后的弱强度,属于量变基本完成基础上的弱强度(水土流失治理度为 100%);同时也隐含了将要由“外延治理”转为“内涵治理”,即在目前所形成的水土保持技术体系基础上,需要围绕水土保持内涵经营过程,以生态功能的提升为主线,筛选、集成、研发水土保持技术,形成新时代背景下可适化水土保持技术体系。

(3) 本研究是基于农户空间尺度上的分析,结合对水土保持技术历史发展变化过程的评估,充分理解新时代背景下生态文明建设、乡村振兴战略等对水土保持技术的需求,围绕群落优化、提质增效等,完成对新技术的选择。

参考文献(References):

- [1] 李智广,曹伟,刘秉正,罗志东.我国水土流失状况与发展趋势研究.中国水土保持科学,2008,6(1):57-62.
- [2] 胡世明,陈瑾.中国水土流失防治机制探究.中国集体经济,2017,(31):7-11.
- [3] 鄂竟平.中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告.中国水土保持,2008,(12):3-6.
- [4] 顾建东.小流域治理中水土保持技术应用探讨.科技风,2018,(27):147-147.
- [5] 马晶.秦州区杏家沟流域水土保持综合治理技术.吉林农业,2018,(20):63-62.
- [6] 崔卫东.水土保持技术的适宜性评价.科技展望,2015,(23):126-126.
- [7] 代富强.水土保持技术的适宜性评价.江苏农业科学,2014,42(12):8-12.
- [8] 亢庆,黄俊,金平伟.水土保持治理工程保土效益评价指标及方法探讨.中国水土保持科学,2018,16(3):121-124.
- [9] 赵天香.喀斯特石漠化地区水土保持模式与效益监测评价研究.水利技术监督,2018,(4):111-114.
- [10] 杨婷婷,王静,杨智成,王正选,行仙峰,王建文,张寿鹏,李靖.石漠化地区水土保持效益评价指标体系的构建——以云南省曲靖市官麦地小流域为例.贵州农业科学,2018,46(7):82-85,90-90.
- [11] 张单.基于水土保持效益的黄土高原退耕还林政策评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [12] 刘佳,王继军.黄土丘陵区纸坊沟流域“退耕还林”工程实施后生态足迹变化分析.水土保持通报,2008,28(5):161-165.
- [13] 俞慎,许敬华.南方红壤区崩岗侵蚀治理综合效益评价.福建农林大学学报:自然科学版,2016,45(4):361-370.
- [14] 顾剑红.广西石漠化地区小流域水土保持综合效益评价[D].北京:北京林业大学,2016.
- [15] 王琦.基于GIS与遥感的籍河示范区水土保持效益评价研究[D].北京:中国科学院研究生院,2010.
- [16] 程斯.开县芋子沟小流域水土保持效益分析与评价[D].重庆:西南大学,2009.
- [17] 魏伟.汪坪小流域水土保持效益分析[D].南昌:江西农业大学,2017.
- [18] 乔梅,王继军,李玥,成思敏,李茂森.纸坊沟流域水土保持技术及其产生背景分析(英文).资源与生态学报,2017,8(4):433-440.
- [19] 胡小宁,谢晓振,郭满才,王继军.生态技术评价方法与模型研究——理论模型设计.自然资源学报,2018,33(7):1152-1164.
- [20] 王继军,李慧,苏鑫,杜娜.基于农户层次的陕北黄土丘陵区农业生态经济系统耦合关系研究.自然资源学报,2010,25(11):1887-1896.
- [21] 成思敏,王继军,郭满才,李茂森,乔梅,赵晓翠.基于结构方程模型的陕北退耕区农业产业-资源系统耦合机制分析——以吴起县为例.自然资源学报,2018,33(7):1165-1178.
- [22] 苏鑫,王继军,郭满才,姜志德,李慧,牛艳丽.基于结构方程模型的吴起县农业生态经济系统耦合关系.应用生态学报,2010,21(4):937-944.
- [23] 夏自兰,王继军,姚文秀,吕明权.水土保持背景下黄土丘陵区农业产业-资源系统耦合关系研究——基于农户行为的视角.中国生态农业学报,2012,20(3):369-377.
- [24] 吴兆龙,丁晓.结构方程模型的理论、建立与应用.科技管理研究,2004,(6):90-92,95-95.
- [25] 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.应用生态学报,2009,20(11):2723-2729.
- [26] 王继军,姜志德,连坡,郭满才,姜峻,苏鑫,李慧,牛艳丽.70年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势.生态学报,2009,29(9):5130-5137.
- [27] 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,2008,6(4):109-113.
- [28] 顾文,赵阿丽,徐健,王继军.基于碳汇生产理念下的县南沟流域退耕还林工程实施效果评价.水土保持研究,2014,21(2):144-151,157-157.