

# 面源污染减排增汇措施下的农业生态经济 系统耦合状态分析\* ——以三峡库区忠县为例

肖新成<sup>1,2</sup> 谢德体<sup>1\*\*</sup> 倪九派<sup>1</sup>

(1. 西南大学资源环境学院 重庆 400715; 2. 宜春学院经济管理学院 宜春 336000)

**摘 要** 三峡库区是国家生态环境建设重点治理区, 实现农业经济发展和控制农业面源污染是该区域当前面临的两大难题。为明确库区面源污染减排增汇政策与措施下的农业生态经济系统耦合态势, 以三峡库区典型面源污染治理区的忠县为例, 利用生态农业发展和面源污染治理相关方面的数据, 构建结构方程模型, 考察三峡库区忠县农业面源污染减排增汇政策与措施背景下的农业资源利用、农业发展与农业生态经济耦合系统中各要素的相互关系与作用路径。通过设定面源污染减排增汇政策与措施、农业资源利用、农业发展、耦合状态的 4 个潜变量及其所对应的观测变量, 根据对研究区农业生态经济系统耦合关系的感性认识, 提出了 6 个基本假设, 在此基础上设计农业生态经济系统耦合关系模型。实证结果表明: 农业面源污染减排增汇措施与农业资源利用之间具有相互影响的关系, 其路径系数为 0.79, 说明政府的农业面源污染减排增汇措施促进了农业资源的合理利用; 农业面源污染减排增汇措施与农业发展之间具有相互影响的关系, 其路径系数为 0.80, 说明面源污染的减排措施与政策对农业发展具有较强的激励作用; 农业发展与农业资源利用具有相互影响的关系, 其路径系数为 0.77, 说明农业经济的发展建立在农业资源合理利用的基础上; 农业面源污染减排增汇措施对农业生态经济系统耦合态势具有正向作用, 路径系数为 0.85, 说明研究区面源污染减排措施对耦合态势具有明显改善作用; 农业资源利用和农业发展对农业生态经济系统耦合态势具有正向作用且作用较大, 其路径系数分别为 0.91 和 0.89, 说明农业产业与农业资源系统的耦合符合其本质的运行规律发展。综合考虑上述潜变量之间的结构关系, 发现农业面源污染减排增汇下的农业资源与农业经济发展成为影响系统耦合的关键, 这是理解系统耦合的一个有效视角。

**关键词** 三峡库区 面源污染 减排增汇 农业生态经济系统 系统耦合 结构方程模型

**中图分类号:** F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2014)01-0111-09

## Coupling state of agricultural eco-economic system under emission mitigation and sink enhancement of non-point source pollution ——A case study of Zhong County in the Three Gorges Reservoir Region

XIAO Xincheng<sup>1,2</sup>, XIE Deti<sup>1</sup>, NI Jiupai<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Resources, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. School of Economics and Management, Yichun University, Yichun 336000, China)

**Abstract** The Three Gorges Reservoir Area is a key control region of eco-environmental construction in China. However, how to achieve agro-economic development and control agricultural non-point source pollution in the region have emerged as difficult issues in recent years. To verify the coupling process of agricultural eco-economic system under emission mitigation and sink enhancement, data from the Zhong County (a typical non-point source pollution control district in the Three Gorges Reservoir Area) was used to develop eco-agriculture and non-point source pollution control. Then an equation-driven model of the construction structure was

\* 国家科技支撑计划项目(2012BAD15B04-003)资助

\*\* 通讯作者: 谢德体, 主要从事农业资源与环境研究。E-mail: 313900143@qq.com

肖新成, 主要从事土地资源利用与环境经济。E-mail: xxc2002416@126.com

收稿日期: 2013-05-28 接受日期: 2013-09-29

studied in terms of the interrelationship and interaction paths of the various elements of agricultural resources, agricultural development and agricultural eco-economic coupling system in the Three Gorges Reservoir Area of Zhong County under the backdrop of emission mitigation and sink enhancement of non-point source pollution policies and measures. The paper put forward 6 basic assumptions based on 4 latent variables (emission mitigation and sink enhancement of non-point source pollution policies and measures, agricultural resources, agricultural development and coupling degree of agricultural eco-economic system) and the corresponding observation variables. Based on these elements, the paper designed a coupling model of the agricultural eco-economic system. The empirical results revealed that the path coefficient of the interrelationship between agricultural non-point source pollution control measures and agricultural resources utilization was 0.79. This suggested that the government's emission mitigation and sink enhancement measures promoted rational utilization of agricultural resources in the region. The path coefficient of the interactive relationship between emission mitigation and sink enhancement measures of agricultural non-point source pollution and agricultural development was 0.80. This also suggested that the measures and policies were strong incentive for agricultural development in the study area. The path coefficient of the relationship between agricultural development and resources utilization was 0.77, indicating that agro-economic development in the region was based on reasonable agricultural resources utilization. Emission mitigation and sink enhancement measures positively influenced the coupling process of agricultural eco-economic system. The path coefficient was 0.85, which suggested that the measures in the study area significantly improved the coupling process. The utilization of agricultural resources and development positively influenced the process of agricultural eco-economic system coupling. The respective path coefficients were 0.91 and 0.89, indicating that the coupling process of agro-industry and agro-resources system conformed to the nature of agricultural development. Considering the structural relationship between the latent variables, it was noted that under background of non-point source pollution emission mitigation and sink enhancement measures, agricultural resources and economic development were the key elements of system coupling. The elements formed an effective perspective for understanding the coupling process of the system.

**Keywords** Three Gorges Reservoir Region; Non-point source pollution; Emission mitigation and sink enhancement; Agricultural eco-economic system; System coupling; Structural equation model

(Received May 28, 2013; accepted Sep. 29, 2013)

三峡库区是重庆市重要的经济生态区、国家生态环境建设重点治理区,也是我国重要的淡水资源库。然而,由于库区移民绝大部分就地安置和库区人口的增长、土地承载负荷不断加重和人类不合理的农业生产活动导致该区域水体氮、磷含量明显增高,面源污染严重<sup>[1-2]</sup>。近年来,中央与重庆市政府在三峡库区先后采取了一系列保护生态环境与抑制面源的减排增汇政策与措施,如通过财政投入和补贴,鼓励农户在生产中减少化肥、农药、地膜等投入,通过测土配方增施有机肥,对农户进行技术培训等。这些措施的落实与实施,不仅使农户的生产经营意识发生了重要变化,也在一定程度上促进了种植业、养殖业和林果业三大农业支柱产业结构调整与优化升级,取得了良好的社会、生态、经济效益。为巩固生态农业发展取得的成果,需要进一步对农业生态经济系统调整,能够使其按照较为理想的方向和速度演进,形成新的更为合理的农业生态经济运行系统。因此,对农业面源污染减排增汇政策与措施下的农业资源利用、农业发展与农业生态经济系统之间耦合关系的研究就成为一种必要。

近年来,国内学者利用不同方法,从不同角度对不同区域农业生态经济系统要素之间的关系进行了定量研究,明确了农业资源利用与农业发展之间存

在的耦合关系<sup>[3-5]</sup>,但对于农业面源污染减排措施和农业生态经济系统运行关系及其要素的影响状态还少有定性定量研究。因此,从农业面源污染治理的角度分析农业资源利用与农业发展的状况,有利于优化农业生态经济系统结构,为农业生态经济系统良性发展机制的形成提供合理有效的依据。关于生态系统耦合关系的研究方法,国内外学者采用了系统动力学模型<sup>[6-7]</sup>、层次分析法<sup>[8-9]</sup>、数据包络模型<sup>[5,10-11]</sup>、耦合协调度模型<sup>[12-13]</sup>、灰色关联分析法<sup>[14-15]</sup>和生态足迹与生态系统服务价值评估<sup>[16-17]</sup>等进行了较好地研究,但是这些模型和方法主要用来解释显变量之间的关系,不能反映潜变量与潜变量的动态过程,难以揭示农业生态经济系统复杂性。几年来,结构方程模型也被运用于生态系统耦合分析<sup>[18-19]</sup>,结构方程模型能同时处理多个观测变量与潜变量、潜变量与潜变量之间的关系<sup>[20]</sup>。基于以上背景,本文选取农业面源污染减排政策实施效果较好的三峡库区重庆市忠县为分析对象,运用结构方程模型进行实证分析,试图阐释面源污染政策、农业资源利用、农业发展与农业生态经济系统耦合态势的路径关系,以期对农业生态经济系统可持续稳定地发展提供科学依据。

## 1 研究地区概况

忠县位于重庆市中部、三峡库区腹心地带。地

处东经107°3′~108°14′, 北纬30°3′~30°35′, 东西长66.45 km, 南北宽60.15 km, 幅员面积2 187 km<sup>2</sup>, 包括辖28个乡镇332个村。2010年, 全县农户总数243 198户。农业生产主要是传统耕作方式, 土地利用类型主要有耕地、园地等农业生产用地, 耕地总面积8.435×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 园地总面积5.251×10<sup>3</sup> hm<sup>2</sup>, 林地总面积4.868×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。种植业化肥施用总量为1.170×10<sup>7</sup> t, 肥料种类主要为氮肥、磷肥, 其数量分别为7.94×10<sup>6</sup> t、3.76×10<sup>6</sup> t。因过量施用化肥、雨水冲刷等原因带来的总氮、总磷径流流失量分别为6.412×10<sup>5</sup> t和1.679×10<sup>5</sup> t, 在地下淋溶作用下总氮的淋溶量为2.72×10<sup>4</sup> t<sup>[21]</sup>。忠县农药施用种类主要有毒死蜱、阿特拉津、丁草胺以及其他有机磷、有机氯、菊酯等类别, 年施用量约为500 t。在农业生产过程中农膜丢弃量约为70 t, 秸秆丢弃量约为1 400 t。近年来畜禽养殖平均每年总氮、总磷排放量达1.148×10<sup>5</sup> t和5.64×10<sup>4</sup> t。全县农村生活污水产生量为3.65×10<sup>6</sup> t, 排放量为8.8×10<sup>5</sup> t; 垃圾产生量为1.1×10<sup>5</sup> t, 排放量为8×10<sup>4</sup> t<sup>[21]</sup>。自三峡大坝建成以来, 库区忠县农业生态安全状况发生了较大变化, 由之前良性循环状态演变为极度恶化状态, 到现在又开始恢复到良性循环状态。这得益于忠县全面启动面源污染综合整治措施: 一是实施生态农业建设, 在农业生产中推广测土配方平衡施肥技术, 创建“生态家园富民示范”和移民安稳致富工程; 二是建立自动在线探测、无线数据采集、室内样品实验分析、田间模拟实验和遥感技术结合的立体动态监测平台以及计算机过程模拟与数据信息管理系统, 建成野外基础观测小区; 三是针对三峡库区坡面水土流失、面源污染物质迁移、消落带难以进行生态恢复治理等问题, 筛选出10余种消落带适宜植物进行植被重建恢复试验; 四是成功研发出低成本高效益的“坡式梯地+地埂经济植物篱”技术、生态沟渠湿地技术、植被重建与恢复技术。这些措施为高效防治坡耕地水土流失、控制农业面源污染起到了积极作用。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

面源污染减排增汇政策与措施下的农业生态经济系统评估涉及大量的原始数据, 为了有效获取数据, 以农业面源污染政策与措施、农业资源利用程度和农业发展为一级指标设计了问卷调查, 其主要内容包括农户减缓农业面源污染、发展生态农业获得的财政补偿的实际资金数量, 政府对农户亲环境行为进行激励的金额, 农户农业生产技术培训情况, 农户测土配方施肥技术获取情况, 政府是否引导农

户进行农业产业结构调整, 农户土地利用状况, 农户实际收入与支出等。相关指标的测定运用定量与定性测量相结合方法。定量测量如农业的投入与产出、土地利用状况、农户的收入与支出等。定性测量是要求被调查者根据自身行为及其所了解到的政策与措施对相应的问题做出不同程度地判断。调查对象是三峡库区忠县的农户, 样本选取采用分层抽样方法, 因为分层抽样能利用事先掌握的信息, 充分考虑了保持样本结构和总体结构的一致性, 能够提高样本的代表性。根据各乡镇的区位特征和农业面源污染现状, 选择新立镇、拔山镇、永丰镇、金声乡、野鹤镇、东溪镇、金鸡镇、马灌镇、磨子乡、乌杨镇10个乡镇的20个行政村, 在各个行政村内随机选择8~12个农户家庭进行调查。其他相关数据来源于忠县统计局网站和《2012年重庆统计年鉴》。

### 2.2 研究方法

结构方程模型是一组反映自变量和因变量相互关系的多元统计分析模型, 是一种验证性的方法。该方法可以对潜变量进行分析, 能够获取自变量对因变量影响的直接效果与间接效果。结构方程模型能够验证某种结构关系或模型的假设是否合理, 模型是否正确, 如果发现假设理论模型与观察数据的适配度不佳, 研究者可以对模型进行适当修正, 使模型的适配度得到改善。结构方程模型一般由测量方程和结构方程两部分构成, 要很好地完成这两部分的构造, 关键是要分析结构方程模型中观测变量和潜变量的关系, 然后构建理论模型, 用测得的数据去验证这个理论模型的合理性。

测量方程是一组观测变量的线性函数, 描述潜变量与观测变量之间的关系, 由观测变量来定义潜变量。通常写成如下方程:

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (1)$$

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad (2)$$

方程(1)将内因潜变量 $\eta$ 连接到内生标识, 即观测变量 $y$ ; 方程(2)将外因潜在变量 $\xi$ 连接到外生标识, 即观测变量 $x$ 。矩阵 $\Lambda_x$ 和 $\Lambda_y$ 分别为反映 $x$ 对 $\xi$ 和 $y$ 对 $\eta$ 关系强弱程度的系数矩阵, 可以理解为相关系数。 $\varepsilon$ 和 $\delta$ 分别是方程(1)和(2)的测量误差。结构方程是反映潜变量之间的关系, 通常写成如下方程:

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

方程(3)反映了潜变量之间的关系。内因潜变量和外因潜变量之间通过系数矩阵 $B$ 和 $\Gamma$ 以及误差向量联系起来。其中, $\Gamma$ 代表外因潜变量对内生潜变量的影响, $B$ 为内因潜变量之间的相互影响, $\zeta$ 为结构方程的误差项。

### 3 研究假设与结构方程初始模型的构建

#### 3.1 评价指标体系的建立与基本假设

农业面源污染减排政策与措施的执行在很大程度上会对农业资源利用和农业生产产生一定的影响,如化肥、农药、秸秆和畜禽粪便是农业面源污染的主要来源<sup>[22]</sup>,通过合理的测土配方施肥技术、将秸秆用于发展以沼气为纽带的庭院式生态农业、将养殖场冲洗水通过沼气处理后作为农田灌溉水的合理利用都能减轻对地表水、地下水和空气的污染,提

高水资源利用率,改善土壤和植被,节约农户的生产投入,增加农户收入。因此,农业面源污染减排政策与措施 $\varepsilon$ 、农业资源利用 $\eta_1$ 、农业发展 $\eta_2$ 以及农业生态经济系统 $\eta_3$ 之间的关系可以用结构方程模型来分析。在结构方程模型的构建中, $\varepsilon$ 为外因潜变量, $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ 为内因潜变量。在结构方程模型中,由于各潜变量不能直接衡量,需要对各潜变量设置观测变量,各潜在变量下的测量变量设置及具体定义方法如表1所示。

表 1 农业面源污染减排增汇措施下农业经济生态系统耦合关系的变量解释及数据信度检验表

Table 1 Variables interpretation and data reliability test list of agricultural eco-economic system under the measures of emission mitigation and sink enhancement for agricultural non-point source pollution

| 潜变量<br>Latent variable  | 观测变量<br>Observed variable  | 定义方式<br>Definition method   | 克伦巴赫 $\alpha$ 值<br>Cronbach's $\alpha$ value |
|---|--|---|--|
| 农业面源污染<br>减排增汇措施 $\varepsilon$<br>Measures of<br>emission<br>mitigation and<br>sink<br>enhancement<br>for agricultural<br>non-point<br>source pollution | 政府投资<br>Government investment  | 政府在农业面源污染项目上的投资金额<br>Government investment in the agricultural non-point source pollution   | 0.735  |
|   | 政府政策激励<br>Policy stimulus  | 政府对亲环境行为进行资助的金额<br>Funding amount of government on farmers' environmental-friendly behavior   |  |
|   | 农业技术培训<br>Agricultural technology training   | 生态农业生产技术培训(0: 无; 1: 有、但作用不明显; 2: 有、且作用很大)<br>Technical training of eco-agriculture (0: no; 1: yes, and it did not work well; 2: yes, and a notable effect)  |  |
|   | 政府参与力度(各题项得分加总值: 0~4)<br>Government maintaining strength<br>(total value of items scores: 0~4) | 政府的实地检查与验收(0: 无; 1: 有)+测土配方施肥(0: 无; 1: 有)+引导农户进行产业结构调整(0: 无; 1: 有、但作用不明显; 2: 有、作用很大)<br>Check and accept work of government (0: no; 1: yes) + fertilizer recommendation technology (0: no; 1: yes) + guidance for agricultural industry structure (0: no; 1: yes, and it did not work well; 2: yes, and a notable effect) |  |
| 农业资源利用<br>$\eta_1$<br>Utilization of<br>agricultural<br>resource  | 川塬梯比重<br>Proportion of plain and terrace   | 川台、塬地、梯田/总农地面积<br>Plain and terrace area/total agricultural land area   | 0.855  |
|   | 人均耕地<br>Per capita farmland  | 耕地面积/家庭人口数<br>Farmland area/family population   |  |
|   | 林草地比重<br>Proportion of forestry and grassland  | 林草地面积/总农地面积<br>Forestry and grassland area/total agricultural land area   |  |
|   | 农业水资源利用<br>Utilization rate of agricultural water resource                                     | 净灌溉用水量/毛灌溉用水量<br>Net irrigation water quantity/total irrigation water quantity  |  |
| 农业发展 $\eta_2$<br>Agricultural<br>development  | 农产品商品化率<br>Agricultural produce commercialization rate   | 商品化的农产品/总农产品<br>Commercialized agricultural produce/total agricultural produce  | 0.823  |
|   | 农业投入产出比<br>Agricultural benefit-cost ratio   | 农业总收入/农业总投入<br>Total agricultural income/total agricultural cost  |  |
|   | 农业收入比重<br>Proportion of agricultural income  | 家庭农业收入/家庭总收入<br>Family agricultural income/family total income  |  |
|   | 农村居民恩格尔系数<br>Engel's coefficient of rural residents  | 农户食品支出额/农户全部生活支出<br>Food expenditure/living expenditure of residents  |  |
| 农业生态经济<br>系统耦合状态<br>$\eta_3$<br>Coupling<br>situation of<br>agricultural<br>eco-<br>economic<br>system  | 产业链与资源量相关度<br>Correlation degree of industry chain and resources                               | 具体赋值方法见参考文献[4]<br>Specific evaluation method was referred to references [4].  | 0.783  |
|   | 农业资源循环利用程度<br>Agricultural resource recycling degree   | 农业资源循环利用率 <sup>1)</sup> , 0~20%时, 赋值 1; 21%~40%时, 赋值 2; 41%~60%时, 赋值 3; 61%~80%时, 赋值 4; 81%~100%时, 赋值 5<br>When agricultural resource recycling rate was 0~20%, it was evaluated as 1; 21%~40% as 2; 41%~60% as 3; 61%~80% as 4; 81%~100% as 5.   |  |

1) 主要指作物秸秆、牲畜粪便以及沼气的沼渣、沼液的循环利用程度。1) Agricultural resources mainly refer to straws of crops and fruit trees, livestock feces, and biogas residue and slurry.

根据上述分析并结合农业资源环境经济学的基本理论, 本文做出以下6个基本假设: (1) 农业面源污染减排增汇措施与农业资源利用相互影响; (2) 农业

面源污染减排增汇措施与农业发展相互影响; (3) 农业资源利用与农业发展相互影响; (4) 农业面源污染减排增汇措施对农业生态经济系统耦合具有正向影

响; (5)农业资源利用对农业生态经济系统耦合具有正向影响; (6)农业发展对农业生态经济系统耦合具有正向影响。

### 3.2 结构方程模型初始模型的构建

运用SPSS 17.0软件, 对各潜在变量的测量变量进行信度分析, 以检验不同测量变量对潜在变量的可靠度、一致性与稳定性。信度估计的方法有很多种, 比较常用的是克隆巴赫(Cronbach L J) $\alpha$ 系数, 测验信度越高, 表示测验结果越可信。各潜变量Cronbach's  $\alpha$ 系数见表1。根据可信度高低与Cronbach's  $\alpha$ 系数对照

表1, 如果Cronbach's  $\alpha \geq 0.7$ , 说明数据十分可信。表1中各潜变量的Cronbach's  $\alpha$ 值均在此范围之内, 因此可以确定各潜变量的观测变量具有很好的内部一致性与稳定性, 形成面源污染、农业资源利用、农业发展关系与耦合状态的初始模型。根据变量关系及提出的假设, 设计初始模型结构见图1, 图中 $e1 \sim e15$ 为残差变量, 表示潜变量无法被观测变量解释的部分, 对潜在变量的路径分析使用AMOS软件, 在测量模型中, 需要有一个测量指标的路径系数固定为1, 否则, 测量模型无法估计。

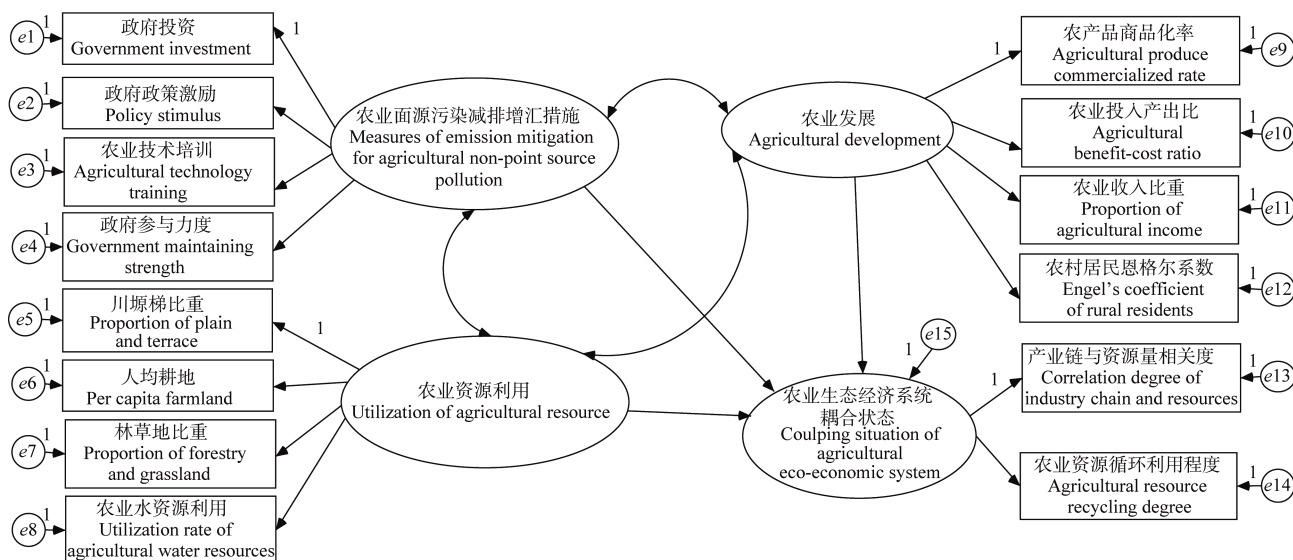


图1 农业生态经济系统初始概念模型

Fig. 1 Initial conceptual model of agricultural eco-economic system

## 4 结果与分析

运用 Amos 17.0 对上述研究对象通过结构方程的模拟, 获得符合显著性水平要求的结果(表 2、表 3)。结构方程模型的显著性概率值为 0.075, 大于 0.05, 表示模型接受虚无假设, 即假设理论模型与实际数据间可以契合。从耦合状态验证性因素分析的整体模型适配度指标来看, 仅有 RMR 值未达标准, 其他指标均达到模型可以接受标准。所构建的生态农业经济系统耦合关系模型与实际观测数据的适配情况非常好, 即模型的外在质量可靠。通过对模型内在质量的检验, 仅有 1 个项目未达到标准, 因此模型变量还可以释放参数, 即还可以在变量间添加相关关系, 以此来提高模型的拟合程度。由于模型的内在质量还比较理想, 考虑到模型的简约性, 对模型稍加修正。修正后的结构方程的路径关系如图 2 所示。

通过结构方程的路径分析可以得出: (1)农业面源污染减排增汇措施与农业资源利用之间具有相互

影响的关系, 其路径系数为 0.79。农业资源的合理有效利用建立在政府的农业面源污染减排增汇措施之上, 政府通过财政补贴、投资政策、农业技术培训、政府参与测土配方与引导农业产业结构调整等多种手段, 大力发展生态农业, 改善农村生态环境, 加强农业面源污染治理等措施, 在很大程度上促进了土地资源与农业水资源的合理利用。通过退耕还林、退耕还草会提高植被的覆盖率, 防止坡耕地水土流失, 也能使农业面源污染得到较好的控制。(2)农业面源污染减排增汇措施与农业发展之间具有相互影响的关系, 其路径系数为 0.80。面源污染减排增汇措施与政策对农业发展具有较强的激励作用, 财政补偿政策能提高农户生产的积极性, 农业技术培训能够引导农户科学种田, 通过测土配方施肥技术、节水灌溉技术能够减少农户的农业生产成本和农业产值的提高。农户收入的增长, 农村环境的改善促使农户更愿意从事环境友好型的农业生产。(3)农业发展与农业资源利用具有相互影响的关系, 其路径系

表 2 耦合状态验证性因素分析的整体模型适配度检验  
Table 2 Overall model fit test in confirmatory factor analysis of the coupling relationship

| 指数名称<br>Index name                  | 统计检验量<br>Statistic of test     | 适配的标准或临界值<br>Standard or critical value of fit   | 检验结果数据<br>Test result            | 模型适配判断<br>Model fit judgment |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------|
| 绝对适配度指数<br>Absolute fit indices     | $\chi^2/df$                    | >0.05  | 0.075                            | 是 Yes                        |
|                                     | RMR                            | <0.05  | 0.093                            | 否 No                         |
|                                     | GFI                            | >0.90  | 0.942                            | 是 Yes                        |
|                                     | RMSEA                          | <0.08  | 0.067                            | 是 Yes                        |
| 相对适配度指数<br>Relative fit indices     | NFI                            | >0.90  | 0.915                            | 是 Yes                        |
|                                     | TLI                            | >0.90  | 0.947                            | 是 Yes                        |
|                                     | CFI                            | >0.90  | 0.961                            | 是 Yes                        |
|                                     | IFI                            | >0.90  | 0.962                            | 是 Yes                        |
| 简约适配度指数<br>Parsimonious fit indices | $\chi^2$ 自由度比<br>Freedom ratio | <2   | 1.73                             | 是 Yes                        |
|                                     | AIC                            | 理论模型值小于独立模型值且同时<br>小于饱和模型值   | 143.00<156.00<br>143.00<998.78   | 是 Yes                        |
|                                     | CAIC                           | Theoretical model value is less than<br>saturated model value and<br>independent model value | 273.84<496.18<br>273.84<1 051.12 | 是 Yes                        |

适配的标准或临界值依据参考文献[20]。The standard or critical values of fit are based on reference [20].

表 3 耦合关系验证性因素分析的模型适配度检验表  
Table 3 Model fit test in confirmatory factor analysis of the coupling relationship

| 评价项目<br>Evaluation item   | 检验结果<br>Test result                                | 模型适配判断<br>Model fit judgment |
|---|--|------------------------------|
| 估计的参数均达到显著性水平<br>Estimated parameters are all in significant level          | 所有参数都显著不为 0<br>All is non-zero                     | 是 Yes                        |
| 观测变量的信度>0.5<br>Reliability of observed variables are more than 0.5          | 0.52~0.85  | 是 Yes                        |
| 潜在变量的组合信度>0.6<br>Combined reliability of latent variables are more than 0.6 | 0.75~0.93  | 是 Yes                        |
| 潜在变量的平均抽取变量>0.5<br>Average extraction of latent variables are more than 0.5 | 0.60~0.79  | 是 Yes                        |
| 标准化残差的绝对值<2.6<br>Absolute value of standardized residuals are less than 2.6 | 绝对值最大的为 2.32<br>The maximum absolute value is 2.32 | 是 Yes                        |
| 修正指标<5 Modified index are less than 5                                       | 仅 1 个大于 5 Only one is more than 5                  | 否 No                         |

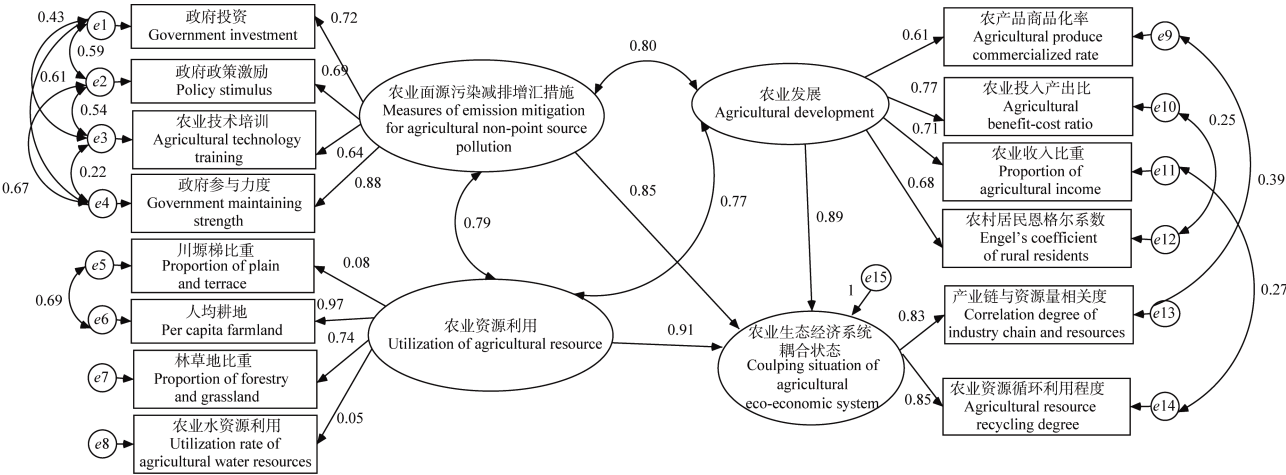


图 2 忠县农业生态经济系统标准化路径系数模型

Fig. 2 Standardized path coefficient model of agricultural eco-economic system in Zhong County

数为0.77。农业资源是农业经济发展的基础，从结构方程模型的分析图中可以看出忠县农业经济的发展建立在农业资源合理利用的基础上，农业增产增收，农户就不会有返耕毁林的欲望，这样才能保证退耕还林、还草工程政策效果，维护现有的农业生态资

源，使人们自觉地将资源合理利用在农业生产过程中，促进农业的发展。(4)农业面源污染减排增汇措施对农业生态经济系统耦合态势具有正向作用，路径系数为0.85。即当农业面源污染减排措施变化1单位时，能使农业生态经济系统耦合态势变化0.85单



位,说明研究区面源污染减排措施对耦合态势具有明显改善作用,农业面源污染减排增汇措施较好地参与到了系统耦合中来,面源污染减排增汇措施与改善区域农业生态经济系统这一目标相吻合。农业生产离不开农药、化肥、人力资本等要素的投入,农业产出既有合意产出(粮食、GDP),同时也会有非合意产出(TN、TP、COD的排放)。因此,农业生产有正外部性的同时也具有负外部性。要引导农户从事环境友好型农业生产,国家鼓励政策与激励措施是必不可少的。只有加强对农户进行农业生产技术指导,建立生态农业补偿机制,提高农户从事生态农业的积极性,才能使农业经济系统取得良好经济效益、社会效益与环境效益。(5)农业资源利用和农业发展对农业生态经济系统耦合态势具有正向作用且作用较大,其路径系数分别为0.91和0.89,说明农业产业与农业资源系统的耦合符合其本质的运行规律发展。在研究区,农业资源是农业生态经济系统耦合的重要组成部分,它对农业发展及农业产业-资源合理利用系统耦合发挥了重要支撑作用。

综合上述实证分析结果,验证了前述6个假设全部成立。在农业生态经济系统标准化路径系数模型中,潜变量之间的路径是系统耦合关系的主线,观测变量误差项之间的相关关系不仅反映了对应的观测变量之间存在相关关系,也反映了观测变量对应的潜变量之间存在间接相关关系,如 $e_1$ 与 $e_4$ (相关系数为0.43)为同一潜变量下的观测变量存在测量误差的相关,说明政府在农业面源污染项目上的投资金额与政府参与力度存在正相关关系外,这两个观测变量还受到模型中构建的潜变量影响; $e_9$ 与 $e_{13}$ (相关系数为0.39)也存在正相关,表明农产品商品化率和产业链与资源量相关度正相关,也反映了农业发展与耦合状态正相关。各个观测变量对其潜变量的标准化路径系数为因素负荷量,它有效反映了其对相应潜变量的贡献程度,可以进行观测变量之间的比较,能够反映潜变量对观测变量的解释能力。

## 5 讨论与结论

以三峡库区典型面源污染治理区的忠县为例,利用生态农业发展和面源污染治理相关方面的数据,通过构建结构方程模型,考察了三峡库区忠县农业面源污染减排增汇政策和措施背景下的农业资源利用、农业发展与农业生态经济耦合系统中各要素之间的相互关系、作用路径。结果表明:(1)农业面源污染减排增汇政策与措施和区域农业资源利用程度具有相互影响的关系。从生态经济学理论和实践的角度,农业面源污染减排增汇政策与措施能够改善农

业生产环境,提高农业资源的利用效率。本研究证实了忠县在农业面源污染控制上的政策措施与区域生态环境目标相契合。农业面源污染减排增汇措施为忠县推广应用节约型农业技术、发展生态农业与循环农业取得了较好成绩,农业可持续发展能力这一目标得以实现。因此,农业资源的合理利用、农业生态系统的良性循环以及农业产业的可持续发展离不开政府对发展生态农业政策的支持与引导。(2)农业资源利用程度与农业发展是农业生态经济系统耦合的主体。农业资源利用和农业发展对农业生态经济系统耦合态势具有正向作用且作用较大,其路径系数分别为0.91和0.89,综合考虑上述潜变量之间的结构关系,发现农业面源污染减排增汇下的农业资源与农业经济发展成为影响系统耦合的关键,这是理解系统耦合的一个有效视角。发展循环农业,提高资源利用效率,减少农业面源污染,既能改善耕地质量,提高农产品的产出与质量,同时也能保护农业生态环境,促进农业可持续发展。(3)农业面源污染减排增汇政策与措施、农业资源利用、农业发展和耦合状态这4个潜变量之间的结构关系是农业生态经济系统耦合的主线,表征其态势相对应的可测变量之间的相互关系反映了与其所对应潜变量之间的间接关系。各个观测变量对其所表征的潜变量的贡献程度有差异,通过比较,可以找出系统要素之间相互作用的重点,为进一步调整系统的耦合结构寻找突破口。

面对农业面源污染日趋严重的情况,忠县采取减排增汇的措施与政策,如增加对农业环境保护工作的投资力度、积极引导并鼓励广大农民从事环境友好型农业生产、采用测土配方施肥技术提高化肥和水资源利用率,从源头上控制了农业面源污染,改善了农业生态环境,实现了农业发展与农业资源的良性互动关系和农业生态经济系统的优化耦合。三峡库区日益严重的农业面源污染是水体富营养化的主要原因,已成为制约区域农业和农村可持续发展的重要因素。库区上游的水质状况不仅关系长江下游居民的用水安全,而且也关系到南水北调的水资源安全。因此,在未来很长一段时间内,三峡库区的各区县必须落实和贯彻面源污染减排增汇政策与措施,改善流域水质,实现农业资源合理利用、农业生产持续发展和农业生态环境改善的“三赢”。

## 参考文献

- [1] 张智奎,肖新成.经济发展与农业面源污染关系的协整检验——基于三峡库区重庆段 1992-2009 年数据的分析[J].中国人口资源与环境,2012,22(1): 57-61

- Zhang Z K, Xiao X C. Co-integration test on the relationship between agricultural non-point source pollution and economic development—based on the data analysis of Chongqing section of the Three Gorges Reservoir Region in 1992–2009[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(1): 57–61
- [2] 肖新成, 何丙辉, 倪九派, 等. 农业面源污染视角下的三峡库区重庆段水资源的安全性评价——基于 DPSIR 框架的分析[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(8): 2324–2331
- Xiao X C, He B H, Ni J P, et al. Safety assessment of water resource in Chongqing Section of the Three Gorges Reservoir area based on DPSIR model from the perspective of agricultural non-point pollution source[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(8): 2324–2331
- [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
- Wang J J, Guo M C, Jiang Z D, et al. The construction and application of an agricultural ecological-economic system coupled process model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2371–2378
- [4] 夏自兰, 王继军, 姚文秀, 等. 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[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(3): 369–377
- Xia Z L, Wang J J, Yao W X, et al. Coupling relationship between agricultural industry and resources in the loess hilly region on the background of conservation of water and soil—Based on the perspective of farmers-behavior[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(3): 369–377
- [5] 任春燕. 基于层次分析法的纸坊沟流域农业生态经济系统效益评价[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(4): 214–217
- Ren C Y. Zhifanggou valley agricultural eco-economic system benefit evaluation based on analytic hierarchy process[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(4): 214–217
- [6] 左其亭, 陈嘻. 社会经济生态环境耦合系统动力学模型[J]. *上海环境科学*, 2001, 20(12): 592–594
- Zuo Q T, Chen X. Dynamic model of coupling system for social-economy and eco-environment[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2001, 20(12): 592–594
- [7] Wolfslehner B, Vacik H. Evaluating sustainable forest management strategies with the analytic network process in a pressure-state-response framework[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(1): 1–10
- [8] 李崇明, 丁烈云. 小城镇生态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, 144
- Li C M, Ding L Y. Study of coordinated development model and its application between the economy and resources environment in small town[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2004, 24(11): 134–139, 144
- [9] 周立花, 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
- Zhou L H, Fan S Y, Wang T. Ecological economic system analysis and system coupling development patterns of the Heihe river basin[J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 2005, 19(5): 67–72
- [10] 林慧龙, 肖金玉, 侯扶江. 河西走廊山地—荒漠—绿洲复合生态系统耦合模式及耦合宏观经济价值分析——以肃南山地—张掖北山地区荒漠—临泽绿洲为例[J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 965–971
- Lin H L, Xiao J Y, Hou F J. Coupling patterns of the meta-ecosystem of mountain, desert and oasis and its emdolars analysis in the Hexi Corridor, Gansu, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 965–971
- [11] 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
- Li Q R, Wang J J. Coupling relationship of ecological agro-system with commodity under grain for green project in Ansai County[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(9): 293–298
- [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
- Liang H M, Liu W D, Lin Y X, et al. Coupling model of land use benefits and its application[J]. *Journal of Zhejiang University Agriculture and Life Sciences*, 2008, 34(2): 230–236
- [13] 贾士靖, 刘银仓, 邢明军. 基于耦合模型的区域农业生态环境与经济协调发展研究[J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(5): 573–575
- Jia S J, Liu Y C, Xing M J. On coordination development of agricultural ecological-environment and economy in different regions based on coupling degree model [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29(5): 573–575
- [14] Bertalanffy L V. General System Theory-foundation, Development, Applications[M]. New York: George Beazitler, 1987
- [15] 汪阳洁. 黄土丘陵区退耕还林对农地资源产业系统耦合的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010
- Wang Y J. Grain-for-green and agricultural land resource industry system coupling in Loess Hilly region: A perspective of household's decision making[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010
- [16] Voinov A, Costanza R, Wainge L, et al. Patuxent landscape model: Integrated ecological economic modeling of a watershed[J]. *Environmental Modeling and Software*, 1999, 14(5): 473–491
- [17] 党小虎, 刘国彬, 赵晓光. 黄土丘陵区县南沟流域生态恢复的生态经济耦合过程及可持续性分析[J]. *生态学报*, 2008, 28(12): 6321–6333
- Dang X H, Liu G B, Zhao X G. Ecological-economic coupling process and sustainability for ecological rehabilitation of Xiannangou Catchment in the Loess Hilly Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6321–6333
- [18] 苏鑫, 王继军, 郭满才, 等. 基于结构方程模型的吴起县农业生态经济系统耦合关系[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 937–944
- Su X, Wang J J, Guo M C, et al. Coupling relationship of agricultural eco-economic system in Wuqi County based on structural equation model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 937–944
- [19] 李慧, 王继军, 郭满才. 基于结构方程模型的黄土丘陵区商品型生态农业系统耦合关系分析[J]. *经济地理*, 2010, 30(6): 1005–1010
- Li H, Wang J J, Guo M C. Analysis of system coupling relationship based on structural equation model—a case study on



- ecological agriculture with commodity economy in Loess Hilly and Gully region[J]. Economic Geography, 2010, 30(6): 1005-1010
- [20] 吴明隆. 结构方程模型——AMOS 的操作与应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011
- Wu M L. Structural Equation Modeling—Operation and Application of Amos[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2011
- [21] 忠县人民政府. 重庆市忠县环境保护与生态建设专项规划[EB/OL]. [2011-11-29] <http://zx.cq.gov.cn/main/zxzw/bggg/dccaa5a9-efdb-4d6f-9084-e3842ced664c.shtml>
- The People's Government of Zhong County. Environmental protection and ecological construction planning of Zhong County in Chongqing City[EB/OL]. [2011-11-29] <http://zx.cq.gov.cn/main/zxzw/bggg/dccaa5a9-efdb-4d6f-9084-e3842ced664c.shtml>
- [22] 陈玉成, 杨志敏, 陈庆华, 等. 基于“压力-响应”态势的重庆市农业面源污染的源解析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(8): 2362-2369
- Chen Y C, Yang Z M, Chen Q H, et al. Source apportionment of agricultural non-point source pollution in Chongqing based on pressure-responsed system[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(8): 2362-2369

## 欢迎报考

# 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心

中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心(以下简称中心)的前身为中国科学院石家庄农业现代化研究所, 2002 年与中国科学院遗传与发育生物学研究所整合后更名为“中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心”, 保留独立事业单位法人资格。

本中心面向国家水安全、粮食安全、生态环境安全的重大战略需求和农业资源与生态学前沿领域, 以农业水资源高效利用为重点, 在节水理论与技术、农业生物技术、生态系统及信息管理等领域, 开展应用基础研究, 集成创新资源节约型现代农业模式, 为区域农业持续发展做出了基础性、战略性、前瞻性贡献。

## 1 研究生招生

作为中国科学院博士及硕士学位培养单位之一, 中心招收生态学学术型硕士、博士研究生, 生物工程全日制专业学位硕士研究生, 鼓励优秀学生硕博连读。针对推免生, 凡参加并通过我中心面试, 如未能获得所在院校推免名额, 第一志愿报考我中心参加统考时, 可免再次复试。

## 2 研究生培养

中心具有一支结构合理、经验丰富、学术造诣深的导师队伍。博士生导师 20 名, 硕士生导师 25 名。研究生作为中心科研工作的生力军在相关研究领域做出了突出成绩。曾荣获中国科学院院长奖、朱李月华奖学金以及各种冠名奖学金和中国科学院遗传与发育生物学研究所振声奖学金、益海嘉里奖学金等。导师关注每一位学生的成长, 注重研究生创新能力的培养。积极引导研究生开展跨学科和跨地区的社会实践, 邀请海内外知名学者参加研究生的培养工作, 举办形式多样的学术研讨会与报告会, 为人才的成长营造良好的环境和氛围。另外中心有研究生学生会、研究生党支部和各种社团, 同学们的业余生活丰富多彩。

## 3 研究生待遇

研究生在学期间享有相应的研究助理薪金, 硕士生每年 25 000 元左右, 博士生每年 35 000 元左右, 定向和委培生也有机会获得三助岗位津贴。此外, 部分优秀学生每年可获得中国科学院研究生院奖学金、冠名奖学金等奖励。2010 年新建的学生公寓, 宽敞明亮(两人/间), 具有独立卫生间和淋浴条件, 中心食堂伙食可口且价位低, 深受同学好评。

## 4 研究生就业

研究生毕业后多数赴国内外大学、科研院所等企事业单位就职或从事博士后研究工作, 平均就业率为 97.6%(2006—2012 年数据统计)。

## 5 联系方式

招生代码: 学校代码: 80001 院系代码: 80156

单位网址: <http://www.sjziam.cas.cn>

联系部门: 人事教育部门

联系人: 王老师 毛老师

联系电话: 0311-85801050; 0311-85814366