

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

樊祖洪 熊康宁 李亮 郭琼琼¹

(贵州师范大学 喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化

防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

【摘要】: 探究喀斯特地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治理效益与实现农业生态经济协调发展具有重要意义。以典型喀斯特生态脆弱区贵州省为例, 基于农业生态环境与农业经济发展数据, 构建农业生态系统与农业经济系统的评价指标体系, 采用熵权法、耦合协调度模型与耦合度模型定量分析了二者的综合评价指数、耦合协调状态与耦合度演变趋势。结果表明: 2000~2019 年, 贵州省农业生态系统综合评价指数呈现先降后升的变化趋势, 农业经济系统综合评价指数则保持稳步上升态势, 二者之间由“经济滞后型”逐步演变为“生态滞后型”。农业生态经济系统耦合协调度指数整体呈上升趋势, 从 0.2680 增长至 0.6606, 耦合协调状态由中度失调水平演变为初级协调水平。耦合度呈现由大到小的变化趋势, 系统经历了从耗损发展向协调发展的转变, 说明贵州省农业生态经济系统显现出趋向协调的发展态势。研究表明, 贵州省应继续践行生态优先、绿色发展理念, 优化生态环境与经济的关系, 实现农业生态经济系统的高水平协调发展。

【关键词】: 农业生态系统 农业经济系统 协调发展 喀斯特地区 贵州省

【中图分类号】: F323.22 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)02-0482-10

农业生态经济系统是由农业生态与农业经济两个子系统通过物质循环、能量流动和信息传递等交互耦合作用构成的复杂巨系统, 是人地关系地域系统的重要组成部分, 在人地关系研究中扮演着重要角色^[1,2]。作为构成农业生态经济系统的两个子系统, 农业生态系统与农业经济系统二者形成了相互影响、相互制约的耦合关系。一方面, 农业经济系统的发展依赖于农业生态系统提供的物质基础和发展空间, 并受农业生态系统自身属性影响; 另一方面, 农业经济系统又反作用于农业生态系统, 合理的农业生产有利于促进农业生态系统趋向协调, 反之则会导致农业生态系统失衡。因此只有不断促进农业生态系统与农业经济系统的耦合协调发展, 才能发挥二者之间的积极作用和协调效应, 从而推动整个农业生态经济系统的协调有序发展^[3]。

国内外学者关于区域生态环境与社会经济发展之间关系的研究较为丰富, 国外学者从生态环境与经济的关系^[4,5,6]、

¹**作者简介:** 樊祖洪(1997~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为喀斯特生态建设与区域生态经济。E-mail: fanzh961226@163.com; 熊康宁 E-mail: xiongkn@163.com

基金项目: 贵州省哲学社会科学规划重大专项课题(21GZZB43); 贵州省科技计划重大专项(黔科合平台人才[2017]5411 号); 贵州省世界一流学科建设计划项目(黔教科研发[2019]125 号)

理论模型^[7,8]及分析方法^[9,10]等方面进行了广泛探究。国内对于生态经济关系的研究起步较晚,但发展迅速;近年来,区域农业生态经济系统的耦合协调关系成为学界关注的热点^[2],研究内容集中在系统的耦合协调内涵^[11]、分析方法与模型构建^[1,12]、耦合协调性评价^[13,14]、影响因素及调节路径^[15,16]等方面。其中有关农业生态经济系统耦合协调性评价方面的研究成果较多,评价方法主要采用耦合度与耦合协调模型^[17,18]、系统动力学模型^[19]、能值分析方法^[20]与结构方程模型^[21]等;研究对象涉及不同尺度的行政区域^[14,15,16,17,19,21]、地域^[13,22]及流域^[3,18,20]等。已有研究对揭示区域农业生态经济系统耦合协调关系具有重要意义,但多数研究仅能反映农业生态经济系统的静态耦合问题,较少揭示系统的动态耦合过程;同时,该领域已有研究成果主要关注于中东部省区、黄土高原等地,缺乏对喀斯特生态脆弱区的相关研究。

以贵州省为中心的中国南方喀斯特地区是我国重点脆弱生态区^[23],该地区生态系统变异性及敏感性强、环境承载力低、灾害承受阈值弹性小^[24],在自然因素和人为因素的长期双重影响下,产生了以植被破坏、水土流失、基岩大面积裸露为主要特征的石漠化现象,严重的石漠化问题成为制约该地区农业可持续发展的瓶颈^[25,26]。为遏制生态环境退化、促进区域可持续发展,我国针对喀斯特地区实施了一系列生态修复工程并取得显著成效,尤其进入本世纪,石漠化加剧势头得以遏制并出现逆转,生态治理效益凸显^[27]。在这一背景下,喀斯特地区农业生态经济系统的耦合协调关系如何?目前尚未见相关报道。

鉴于此,本文以典型喀斯特生态脆弱区贵州省为例,从系统耦合协调发展视角,基于农业生态环境与农业经济发展数据,构建了贵州省农业生态经济系统评价指标体系,选择静态耦合与动态耦合相结合的方法,旨在阐明农业生态经济系统的耦合协调发展状况,揭示生态环境保护与经济发展之间的内在关联,探究生态治理背景下喀斯特地区农业生态经济系统的耦合协调性水平与耦合度演变趋势。以期丰富喀斯特地区生态治理效益评价方面的研究,并为该地区农业生态经济系统的协调发展提供科学参考。

1 研究区概况

贵州省地处我国西南内陆腹地,位于云贵高原东部,介于103°36'E~109°35'E、24°37'N~29°13'N之间,总面积17.62万km²,下辖贵阳、遵义、六盘水、安顺、毕节、铜仁、黔东南、黔南和黔西南9个市(州)。全省属亚热带季风性湿润气候,水热资源充足,年平均降水量1178.6mm,年均气温15℃。境内地势西高东低,地貌类型主要分为高原、山地、丘陵和盆地等,是我国唯一没有平原支撑的省份,素有“八山一水一分田”之说。省内岩溶地貌发育典型,喀斯特出露面积占全省国土面积的61.9%,由于特殊的地质地貌背景,加上不合理的人类活动,导致贵州省水土流失严重、石漠化问题突出、生态环境恶化,监测表明,至2016年底贵州省石漠化分布面积仍有247万hm²^[28]。同时,贵州省地跨长江、珠江两大水系,是长江、珠江上游重要的生态屏障,严重的石漠化问题不仅制约着贵州省生态经济的可持续发展,还威胁到长江、珠江两大流域的生态安全^[27]。因此,分析贵州省农业生态环境与农业经济发展的相互关系,探究其农业生态经济系统的耦合协调发展水平,具有十分重要的现实意义。

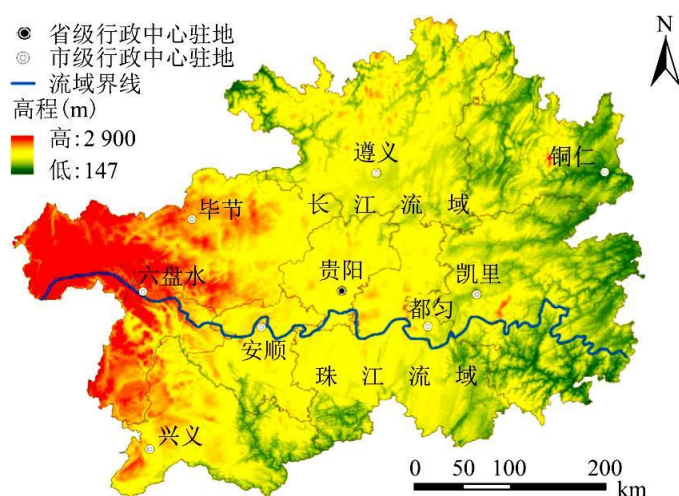


图 1 研究区概况

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本文涉及的农业生态环境与农业经济发展数据主要来源于 2001~2020 年《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和《贵州省统计年鉴》,石漠化数据来自《中国石漠化状况公报》和《中国岩溶地区石漠化状况公报(简版)》^[28,29],缺失数据利用年均增长率进行补充,部分数据经计算获得。

2.2 研究方法

2.2.1 指标选取与权重计算

(1) 指标选取

构建农业生态经济系统耦合协调发展评价指标体系,是开展耦合协调发展评价研究的基础。在借鉴已有研究和考虑数据可得性的基础上,本文遵循指标的科学性、代表性和可操作性原则,构建了贵州省农业生态经济系统耦合协调发展评价指标体系(表 1),力求全面反映生态治理背景下喀斯特地区农业生态经济概况。其中,农业生态系统选取森林覆盖率、年降水量、农作物受灾率、耕地面积、农作物有效灌溉率、农用化肥使用量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量、石漠化面积、当年造林面积、水土流失治理面积和旱涝保收面积 12 个指标。农业经济系统选择第一产业占 GDP 比重、农业产值、林业产值、畜牧业产值、渔业产值、粮食产量、主要农作物单产、农村常住居民人均可支配收入、农业机械化水平、农村用电量、农村住户固定资产投资完成额和农林水事务财政支出 12 个指标。

(2) 指标权重的计算

由于收集的各项指标数据单位不一,会影响到评价结果,由此本文采取极差变化法对各项指标数据进行标准化处理,处理方法如下:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

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; $\max(x_{ij})$ 为第 j 项指标的最大值; $\min(x_{ij})$ 为第 j 项指标的最小值。

为消除标准化后数值 0 的影响,本文对标准化数据进行平移处理,令 $b_{ij}=X_{ij}+1$ 。在此基础上,运用熵权法确定各项选取的评价指标权重,具体计算公式为:

$$p_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^m b_{ij} \quad (3)$$

$$E_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (5)$$

式中：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；m 为年度数；n 为指标数；W_j为第 j 项指标的权重。

综合公式(1)～(5), 计算得到贵州省农业生态经济系统评价指标体系中各项指标的权重结果(表 1)。

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	单位	属性	权重
农业生态系统	自然条件	森林覆盖率	%	正向	0.0767
		年降水量	mm	正向	0.0451
		农作物受灾率	%	负向	0.0698
	农业资源	耕地面积	10 ³ hm ²	正向	0.0671
		农作物有效灌溉率	%	正向	0.1040
		农用化肥施用折纯量	kg/hm ²	负向	0.0967
		农药使用量	kg/hm ²	负向	0.0704
	生态治理	农用塑料薄膜使用量	kg/hm ²	负向	0.0871
		石漠化面积	万 hm ²	负向	0.1019
		当年造林面积	10 ³ hm ²	正向	0.0563
		水土流失治理面积	10 ³ hm ²	正向	0.1184
		旱涝保收面积	10 ³ hm ²	正向	0.1065
农业经济系统	农业产业	第一产业占 GDP 比重	%	负向	0.0516
		农业产值	亿元	正向	0.1058
		林业产值	亿元	正向	0.1028
		畜牧业产值	亿元	正向	0.1004
		渔业产值	亿元	正向	0.1112

	经济效益	粮食产量	万 t	正向	0.0335
		主要农作物单产	kg/hm ²	正向	0.0344
		农村常住居民人均可支配收入	元	正向	0.0953
	生产投入	农业机械化水平	kW/hm ²	正向	0.0839
		农村用电量	亿 kW·h	正向	0.0906
		农村住户固定资产投资完成额	亿元	正向	0.1140
		农林水事务财政支出	亿元	正向	0.0765

2.2.2 评价模型与计算方法

(1) 综合评价模型

本文运用加权法计算农业生态系统与农业经济系统的综合评价指数，公式为：

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (6)$$

式中：S_i为第 i 年某一系统的综合评价指数；W_j为第 j 项指标的权重；X_{ij}为第 i 年第 j 项指标的标准化值。

(2) 耦合协调度模型

为判断贵州省农业生态系统与农业经济系统之间的相互协调程度，本文引入耦合协调度模型^[30]，其计算公式如下：

$$C = \sqrt{\frac{S_1 \times S_2}{(S_1 + S_2)^2}} \quad (7)$$

$$T = \alpha S_1 + \beta S_2 \quad (8)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (9)$$

式中：C 为农业生态系统与农业经济系统的协调指数；S₁代表农业生态系统综合评价指数，S₂代表农业经济系统综合评价指数；T 为两系统的综合评价指数，α 和 β 分别表示农业生态系统和农业经济系统的权重值，本文认为在农业生态经济系统中，生态和经济同等重要，故 α = β = 0.5。D 为农业生态经济系统的耦合协调度，0 ≤ D ≤ 1，D 越大表明系统协调关系越好，协调水平越高^[31]（表 2）。

(3) 耦合度模型

参照贝塔兰菲的一般系统理论^[32, 33]，通过分析农业生态系统与农业经济系统综合评价指数的变化速率，揭示农业生态经济

表 2 农业生态经济系统耦合协调度分类

耦合协调度	耦合协调类型	耦合协调度	耦合协调类型
0~0.09	极度失调	0.5~0.59	勉强协调
0.1~0.19	严重失调	0.6~0.69	初级协调
0.2~0.29	中度失调	0.7~0.79	中级协调
0.3~0.39	轻度失调	0.8~0.89	良好协调
0.4~0.49	濒临失调	0.9~1	优质协调

系统的耦合度演化过程，计算公式为：

$$A = \frac{dS_1}{dt} = S_1(t) , V_A = \frac{dA}{dt} \tag{10}$$

$$B = \frac{dS_2}{dt} = S_2(t) , V_B = \frac{dB}{dt} \tag{11}$$

式中：A、B 分别表示农业生态系统和农业经济系统的演化状态；V_A、V_B 分别表示两个系统的演化速度。

为直观感知农业生态经济系统的演化速度 V, 在二维平面上分析 V 的变化，以 V_A、V_B 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_A、V_B 夹角 θ 的取值，判断农业生态经济系统的耦合演化过程与阶段特征，耦合度 θ 的计算公式为：

$$\theta = \arctan \frac{V_B}{V_A} \tag{12}$$

依据 θ 的取值范围，可将农业生态经济系统的耦合度演变过程划分为以下阶段^[14]。

表 3 农业生态经济系统耦合状态及特征

系统演变阶段	耦合状态	θ 值	耦合特征
协调发展阶段	协调耦合	0° < θ ≤ 45°	经济发展速度小于环境演化速度，生态资源利用不足
		45° < θ ≤ 90°	经济发展速度大于环境演化速度，生态环境对经济发展有约束和限制作用
耗损发展阶段	不协调耦合	90° < θ ≤ 180°	经济高速发展，生态出现退化趋势
恶化发展阶段	衰退耦合	180° < θ ≤ 270°	生态衰退，伴随经济负增长
恢复发展阶段	修复耦合	270° < θ ≤ 360°	生态环境快速恢复，经济复苏

3 结果与分析

3.1 综合评价指数

贵州省农业生态系统综合评价指数(S_1)在研究期内呈现先下降后上升的变化趋势(图 2),具体来看,2000~2008 年, S_1 由 0.4135 波动下降至 0.2029,下降了 50.93%,说明这期间生态环境面临的压力加大,农业生态系统退化明显。受长期粗放的农业生产经营方式影响,这期间贵州省石漠化面积持续扩张,农化利用效率低下,农业污染问题严重,加之农业生产基础差、底子薄、层次低等,致使农业生态系统趋向恶化;虽然这期间贵州省生态环境治理得到重视,诸如退耕还林、天然林资源保护、水土流失治理等生态修复工程持续开展,但治理效益的发挥具有一定的滞后性,因此, S_1 呈下降趋势。2009~2019 年, S_1 整体保持增长态势,从 0.2912 上升到 0.8340,增长了 186.40%;其中 2011 年因旱灾影响导致 S_1 有所下降外,其余年份均保持增长态势,说明该时期生态治理效益凸显,农业生态环境明显改善。自 2008 年起,石漠化治理作为一项系统的综合工程正式展开,在“加大生态系统保护力度、实施重要生态系统修复工程、加强石漠化治理”的背景下^[34],贵州省石漠化面积逐渐减少,森林覆盖率显著提升,农作物有效灌溉率、水土流失治理面积逐年递增;同时,农药、化肥使用量得到控制,农业生态环境持续改善,生态治理得到正向反馈, S_1 呈持续增长态势。

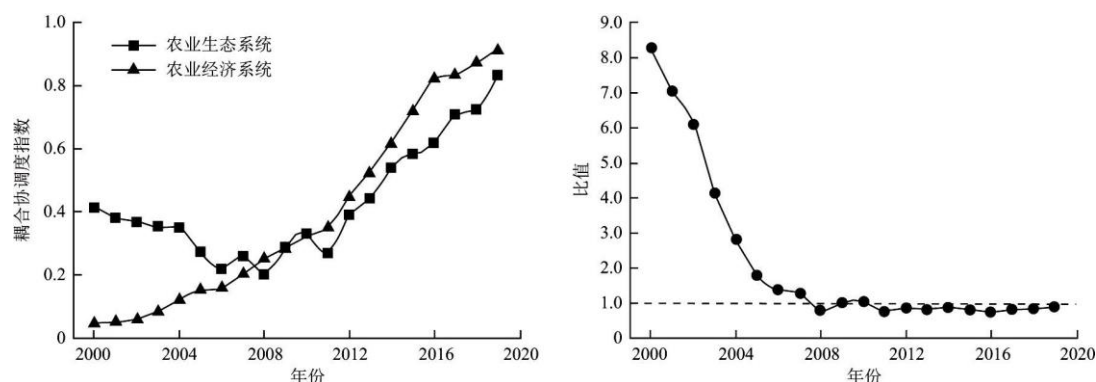


图 2 农业生态系统与农业经济系统综合评价指数及比值

2000~2019 年贵州省农业经济系统综合评价指数(S_2)呈现出稳步上升趋势(图 2),由 2000 年的 0.0499 增加至 2019 年的 0.9131,上升幅度为 1729.86%,年均上升了 91.05%,说明研究期内贵州省农业经济实力显著提升,尤其是 2012 以来增势明显加快。这主要得益于政策的支持,2012 年国务院发布了《国务院关于进一步促进贵州经济社会又好又快发展的若干意见》,明确了贵州省社会经济发展的目标、战略定位和政策措施,中央对贵州省发展支持力度空前加大。在农业领域,指出“在稳定粮食生产的基础上,进一步推进农业结构调整,积极发展产业化经营,走高产高效、品质优良、绿色有机、加工精细的现代农业发展道路。”在这一背景下,贵州省农业结构不断优化、农业现代化水平显著提高、农民收入逐年增加、农业产业发展迅速, S_2 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,二者由“经济滞后型”逐步演变为“生态滞后型”,为更好分析农业生态系统与农业经济系统的动态变化,本文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值 S_1/S_2 来进行进一步分析。由图 2 可知,2000~2019 年, S_1/S_2 呈现大幅度下降趋势,具体来看,2000 年二者比值为 8.28,为研究期内最大值,说明这时期贵州省农业生态环境总体较好,但农业经济发展相对滞后。而后,在贵州省农业经济快速发展的背景下,二者比值迅速下降,2011 年以后,二者比值小于 1,且趋于稳定,在 0.75~0.91 间波动。从二者比值的变化可知,在农业经济快速发展的过程中,贵州省农业生态环境修复取得一定成效,但农业经济发展速度整体快于农业生态系统改善速度,说明农业经济发展与生态环境有待进一步协调^[35]。

3.2 耦合协调状态

研究期内,贵州省农业生态系统与农业经济系统的耦合协调度指数(D)总体呈现上升趋势(图3),从2000年的0.2680增长至2019年的0.6606,耦合协调状态由中度失调水平演变为初级协调水平。

2000~2013年,贵州省农业生态经济系统的耦合协调度指数虽呈波动上升趋势,但D值徘徊于0.2680~0.4916之间,系统处于失调状态。这期间贵州省农业生态系统与农业经济系统发展步调逐渐趋于一致,二者差距逐渐缩小,但受脆弱生态环境限制,D值处于艰难的爬坡阶段,系统耦合协调水平不高。2014~2019年,农业生态经济系统的耦合协调度指数保持稳步上升趋势,D值由0.5385增长至0.6606,系统迈入协调状态。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态势,促使D值稳步上升,说明贵州省农业生态与经济系统二者之间逐步呈现相互作用、相互适应的协调发展态势,农业经济发展与生态环境保护都取得显著效益。自2014年起,贵州省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向好,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。同时,农业生态与经济系统间的良性发展,也表明改善生态环境与发展农业经济是相互促进、相互适应的,良好的生态环境可以为农业经济的发展提供动力,而经济的发展也会推进生态环境的保护,进而改善农业生态环境。总体来说,2000~2019年贵州省农业生态经济系统的耦合协调状态是从低水平的经济滞后失调型逐步发展为高水平的生态环境滞后协调型。

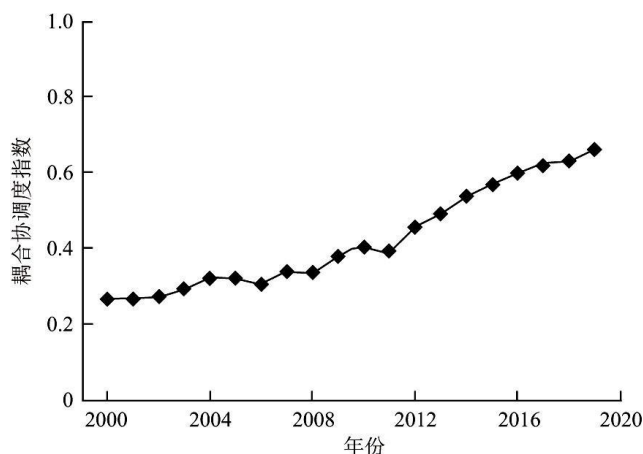


图3 农业生态经济系统的耦合协调度指数

3.3 耦合度演变趋势

对贵州省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,得到以下方程:

$$A = 0.0039x^2 - 0.0585x + 0.4897$$

$$(R^2 = 0.9544)$$

$$B = 0.0021x^2 + 0.0064x + 0.0288$$

$$(R^2 = 0.9871)$$

$$V_A = 0.0078x - 0.0585$$

$$V_B = 0.0042x + 0.0064$$

式中: x 的取值范围为1~20, 分别对应2000~2019年。依据公式(10)~(12)计算得到表4。结合表3和表4可知,贵州省农业生态经济系统耦合度呈现由大到小的变化趋势, θ 值从2000年的168.19°下降至2019年的42.84°,系统经历了耗损发展

和协调发展两个阶段，耦合状态从不协调耦合演变为协调耦合。

表 4 农业生态经济系统的耦合度

年份	V_A	V_B	θ
2000	-0.0507	0.0106	168.19°
2001	-0.0429	0.0148	160.97°
2002	-0.0351	0.0190	151.57°
2003	-0.0273	0.0232	139.64°
2004	-0.0195	0.0274	125.44°
2005	-0.0117	0.0316	110.32°
2006	-0.0039	0.0358	96.22°
2007	0.0039	0.0400	84.43°
2008	0.0117	0.0442	75.17°
2009	0.0195	0.0484	68.06°
2010	0.0273	0.0526	62.57°
2011	0.0351	0.0568	58.29°
2012	0.0429	0.0610	54.88°
2013	0.0507	0.0652	52.13°
2014	0.0585	0.0694	49.87°
2015	0.0663	0.0736	47.99°
2016	0.0741	0.0778	46.39°
2017	0.0819	0.0820	45.03°
2018	0.0897	0.0862	43.86°
2019	0.0975	0.0904	42.84°

2000~2006 年, $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$, 贵州省农业生态经济系统处于耗损发展阶段, 表现出不协调的耦合状态。这期间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态势, 生态与经济系统发展方向相反, 说明农业经济的增长是以破坏生态环境为代价取得的。这一阶段, 虽然贵州省农业经济发展呈现持续增长趋势, 但由于粗放的农业经济活动打破了喀斯特地区原有的脆弱生态平衡, 导致该地区出现水土流失加剧, 石漠化面积持续扩张及农业污染严重等生态环境问题, 使原本脆弱的岩溶生态环境渐趋恶化; 同时, 由于贵州省农业生产基础设施落后, 农业受灾率较高等, 加剧了生态系统的退化趋势, 使得农业生态

经济系统的协调可持续发展受限，系统表现出不协调的耦合状态。

2007~2017 年， $45^{\circ} < \theta \leq 90^{\circ}$ ，贵州省农业生态经济系统演化至协调发展阶段，系统呈现协调耦合状态。这一时期贵州省农业生态系统恶化趋势发生逆转，而农业经济系统仍然保持着快速增长势头，二者发展步调渐趋一致，系统呈现快速耦合协调趋势，说明农业生态系统与农业经济系统之间逐步朝着良性发展的方向演进。这期间随着石漠化治理等生态修复工程的实施，贵州省石漠化面积逐年减少，森林覆盖率、农作物有效灌溉率、水土流失治理面积等正向指标稳步提升，生态修复工程取得积极成效，农业发展的基础条件得以改善；同时，这期间贵州省农业经济发展成效显著，随着农业产业结构的优化与生产方式的转变，农业发展不再单纯追求经济效益，而是更多地强调生态效益与经济效益的协调统一，从而推动整个系统的协调有序发展。

2018~2019 年， $0^{\circ} < \theta \leq 45^{\circ}$ ，贵州省农业生态经济系统处于协调发展阶段，生态经济协调发展态势进一步巩固。这一时期贵州省农业生态优化速度快于农业经济发展速度，说明生态环境治理取得积极成效，农业生态环境持续向好。本阶段贵州省农业生态与经济系统都维持较高水平的增长态势，农业生态环境与农业经济发展的耦合协调水平持续提升。近年来，在深入实施生态治理背景下，贵州省农业生态环境得到较大改善，生态治理项目逐渐发挥积极作用，环境承载力显著提高，系统自我维持、调节功能增强；同时，随着农村产业革命的深入推进，贵州省农业经济结构不断优化升级，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。但在农业经济系统快速增长的背景下，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。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以典型喀斯特脆弱生态区贵州省为例，基于农业生态环境与农业经济发展数据，运用熵权法、耦合协调度模型及耦合度模型定量分析了 2000~2019 年间贵州省农业生态与经济系统的综合发展指数、耦合协调状态及耦合度演变趋势。结果表明：

(1) 研究期内，贵州省农业生态系统综合评价指数呈现先降后升的变化趋势，农业经济系统综合评价指数则保持着稳步增长态势，且后者发展速度总体大于前者，二者之间的对比关系由“经济滞后型”逐渐演化为“生态滞后型”，这客观验证了喀斯特地区生态系统的脆弱性本质，反映出其治理难度大、收效慢的特征。

(2) 研究期内，贵州省农业生态经济系统耦合协调度指数总体保持上升趋势，从 2000 年的 0.2680 增长至 2019 年的 0.6606，耦合协调状态由中度失调水平演变为初级协调水平，说明农业生态与经济系统的协调关系持续向好，但由于生态系统发展的短板效应明显，系统的耦合协调状态仍处于较低水平。

(3) 研究期内，贵州省农业生态系统与农业经济系统的耦合度呈现由大到小的变化趋势， θ 值由 2000 年的 168.19° 下降至 2019 年的 42.84° ，系统经历了耗损发展与协调发展两个阶段，耦合状态由不协调耦合演变为协调耦合，说明贵州省农业生态经济系统显现出趋向协调的发展特征，系统总体朝着协调耦合的方向演进。

4.2 讨论

贵州省作为典型喀斯特生态脆弱区，长期面临着生态治理与经济的双重压力，推动生态环境与经济协调是实现区域可持续发展的基础。本文实证表明，当前贵州省农业生态经济系统总体趋于协调发展，系统耦合协调水平持续向好，但受脆弱的生态环境限制，系统耦合协调发展速度缓慢，水平较低，这与魏媛等^[35]、王颖等^[36]的研究结果一致。

经济与环境是区域发展系统的两大核心组成部分，实现二者间的协调发展是区域发展的根基所在^[37]。相关研究表明，区域经

济发展水平与生态建设状况直接作用于生态与经济系统的耦合协调关系，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，如果没有生态建设的固基和推动作用，经济发展的成本将会增加，效应会大打折扣^[30]。而在生态脆弱的喀斯特地区，生态系统的状态在一定程度上决定着区域发展是否协调^[36]。因此，贵州省未来发展仍需践行生态优先、绿色发展的理念，坚守发展和生态两条底线，不断优化生态环境与经济发展的协调关系。在生态环境建设方面，继续推进以石漠化综合治理为代表的生态修复工程，保证生态治理政策的延续性，持续改善农业生态环境；同时，推动构建生态补偿激励机制^[35]，完善生态保护规章制度，增强生态环境保护力度。在农业经济发展方面，一要增强生产者环保意识，转变农业生产方式，积极倡导清洁生产，示范推广农业废物资源化工程，加强农业生产循环利用，提高能源利用效率；同时，增加农业科技投入，建立稳固的“产—学—研”体制机制，用科技支撑带动农业发展，改善农业生态环境，实现农业生态经济的协调发展。二要充分发挥区域优势，大力发展生态农业，贵州是典型的喀斯特山地高原省份，特殊的地理位置和复杂的地形地貌，致使其气候和生态条件复杂多样，具有发展特色生态农业的天然优势。近年来，贵州省大力推进以茶叶、食用菌、刺梨等为主的12大特色农业产业，发挥区域独特优势，深入推进农村产业革命，积极优化农业产业结构，在发展农村经济的同时也逐步改善了农业生态环境。未来，贵州省应强化生态农业发展力度，优化产业布局，突出产品特色，建立稳固的产销途径和利益联盟，更好服务农业经济发展与生态环境改善。

参考文献:

- [1]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.
- [2]田江. 农业生态—经济系统协同发展研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(4):9-16.
- [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]GROSSMAN G, KRUEGER A. Environmental impacts of a north American free trade agreement[R]. National Bureau of Economic Research, 1991.
- [5]MARKUS P. Technical progress, structural change and the environmental kuznets curve[J]. Ecological Economics, 2002(42):381-389.
- [6]STEPHAN K, KATRIN M M, CLAUDIA D, et al. Economic and ecological trade-offs of agricultural specialization at different spatial scales[J]. Ecological Economics, 2016, 122:111-120.
- [7]OECD. Core set of indicators for environmental performance reviews[M]. Paris:OECD Publishing, 1993:3-7.
- [8]OECD. Towards sustainable development:Environment indicators 2001[M]. Paris:OECD Publishing, 2002:36-40.
- [9]BITHAS K, NIJKAMP P. Environmental economics modeling with semantic insufficiency and factual uncertainty[J]. Environmental System, 1996(2):36-39.
- [10]COSTANZA R, DANIEL D, ULRİK K. Ecological modelling and economic system with STELLA[J]. Ecological Modeling, 1998, 110:1-4.
- [11]任继周, 万长贵. 系统耦合与荒漠—绿洲草地农业系统——以祁连山—临泽剖面为例[J]. 草业学报, 1994(3):1-8.
- [12]任继周, 贺达汉, 王宁, 等. 荒漠—绿洲草地农业系统的耦合与模型[J]. 草业学报, 1995(2):11-19.

-
- [13]李飞,董锁成,武红,等.中国东部地区农业环境—经济系统耦合度研究[J].长江流域资源与环境,2016,25(2):219-225.
- [14]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.
- [15]陈锋正,刘新平,吴大付,等.河南省农业生态经济系统的耦合关系及协同发展的战略选择[J].河南农业大学学报,2016,50(5):688-695.
- [16]LU H,ZHOU L H,CHEN Y,et al.Degree of coupling and coordination of eco-economic system and the influencing factors:a case study in Yanchi County,Ningxia Hui Autonomous Region,China[J].Journal of Arid Land,2017,9(3):446-457.
- [17]任志远,徐茜,杨忍.基于耦合模型的陕西省农业生态环境与经济协调发展研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(12):14-19.
- [18]曹洪华,李艳,闫晓燕.洱海流域生态—农业系统动态耦合过程分析[J].水生态学杂志,2018,39(2):18-26.
- [19]梁磊磊.黄土高原丘陵区农业生态经济系统耦合发展模式研究[D].西北农林科技大学,2010.
- [20]鲁莎莎,陈妮,关兴良,等.基于GIS和能值分析的黑龙江省农业生态经济格局综合评价[J].生态与农村环境学报,2016,32(6):879-886.
- [21]LI Y,WANG J J,HAN X J,et al.Coupling between the grain for green program and a household level-based agricultural eco-economic system in Ansai,Shaanxi Province of China[J].Journal of Arid Land,2020,12(2):199-214.
- [22]向丽.西部地区农业生态环境与经济耦合协调性分析[J].北方园艺,2016(20):203-207.
- [23]王聪,伍星,傅伯杰,等.重点脆弱生态区生态恢复模式现状与发展方向[J].生态学报,2019,39(20):7333-7343.
- [24]杨明德.论喀斯特环境的脆弱性[J].云南地理环境研究,1990(1):21-29.
- [25]熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-888.
- [26]熊康宁,池永宽.中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J].生态经济,2015,31(1):23-30.
- [27]张信宝.贵州石漠化治理的历程、成效、存在问题与对策建议[J].中国岩溶,2016,35(5):497-502.
- [28]国家林业和草原局.中国岩溶地区石漠化状况公报(简版)[N].人民日报,2018-12-14(12).
- [29]国家林业局.中国石漠化状况公报[N].中国绿色时报,2012-06-18(3).
- [30]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.
- [31]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(2):76-82.

-
- [32]BRETZ E A.Clean coal technologies:A status report[J].Electrical World,1992,2:37-42.
- [33]BERTALANFFY L V.General System Theory-Foundation,Development,Applications (Reversion edition) [M].New York:George Beazitler,1987:189-711.
- [34]王克林,岳跃民,陈洪松,等.喀斯特石漠化综合治理及其区域恢复效应[J].生态学报,2019,39(20):7432-7440.
- [35]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.
- [36]王颖,喻阳华,王芊姿.喀斯特地区生态修复的生态-经济-社会协调发展评价:以贵州省安顺市为例[J].环境科学与技术,2019,42(S2):286-295.
- [37]李建新,梁曼,钟业喜.长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别[J].长江流域资源与环境,2020,29(12):2584-2596.