

农业生态系统协调度测度理论与实证研究

杨世琦^{1,2} 高旺盛¹

(1. 中国农业大学 区域农业发展中心, 北京 100094; 2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要 依据数理统计理论与方法构建了农业生态系统协调度测度理论和模型,包括功效函数、协调函数和协调度的变化范围和协调度等级,建立了农业生态系统评价指标体系,以湖南省益阳市资阳区为例进行了农业生态系统自协调发展实证研究。结果表明:该地区农业生态系统 1990—2002 年系统协调度呈现上升趋势,1990—1998 年呈弱度失调在 5 级以下,1999—2002 年呈弱度协调在 6 级以上;系统协调度的变化主要受子系统影响,1990 年的系统协调度低主要是因经济和社会子系统的协调度太低,1998 年系统协调度低的主要原因是生态子系统的协调度太低;从研究时段看,影响农业生态系统协调度主要随经济子系统和生态子系统的协调度变化而改变,通常表现为经济子系统是提升协调度、生态子系统是降低协调度,揭示出经济与生态的协调是农业生态系统协调发展的关键。

关键词 农业生态系统; 协调度; 协调等级; 资阳区

中图分类号 S-0

文章编号 1007-4333(2006)02-0007-06

文献标识码 A

Harmony coefficient theory and case study on agricultural ecosystem

Yang Shiqi^{1,2}, Gao Wangsheng¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. College of Agronomy, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract Harmony coefficient (HC) theory was constructed by mathematical statistics principle and method to agricultural ecosystem in the paper, which consists of efficacy function, harmony coefficient function, range of harmony coefficient value and rank of harmony coefficient (RHC), and the appraised index on agricultural ecosystem was established. Finally, Ziyang county, Yiyang city of Hunan province (ZYH) was case studied with harmony coefficient theory. The result made know that ZYH of agricultural ecosystem is ascending trend from 1990 to 2002. RHC is 5 and HC is feeble maladjustment from 1990 to 1998; RHC is 6 and HC is feeble harmony from 1999 to 2002. HC of agricultural ecosystem is influenced by sub-system. In 1990, HC of agricultural ecosystem is low because of low HC of economic sub-system and social sub-system. HC of agricultural ecosystem is low because of low HC of ecological sub-system in 1998. HC of agricultural ecosystem is impacted mainly by economic sub-system and ecological sub-system as a whole, and economic sub-system is positive, and ecological sub-system is negative. The relationship between economic benefit and ecological benefit is one of central contradictions to agricultural ecosystem development.

Key words agricultural ecosystem; harmony coefficient; range of harmony coefficient; Ziyang county

协调是指系统之间或系统组成要素之间在过程中相互和谐一致、相互影响的平衡状态或均衡态势。协调是系统发展的重要目标之一,建立系统协调评价模型对客观判定系统状态和促进协调发展是非常重要工作。近年来关于系统协调模型最为常

见的是借用几何平均和算术平均方法建立的评价函数^[1],这 2 种方法的主要不足之处是要对指标进行权重评分,通常是采用专家打分法,对于宏观系统的评价难免增加人为误差,因此导致评价结果的客观性与公正性的偏移,对于几何平均法还不能解决当

收稿日期: 2006-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30471010)

作者简介: 杨世琦,在职博士后,副教授,主要研究区域农业与生态农业, E-mail: shiqiyang@126.com;

高旺盛,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事区域农业和保护性农作制度研究, E-mail: wshgao@cau.edu.cn

某评价指标的功效系数为零时的系统评价。本文从数理统计理论与方法入手,借用变异系数原理建立农业生态系统协调度测度模型,克服了目前评级模型存在的缺陷。

农业生态系统(agricultural ecosystem,简称AE)具有自然、经济和社会属性的复合系统,将其分成自然、经济和社会3个子系统,从协调模型出发研究子系统及子系统所辖要素之间的协调关系。在构建了农业生态系统的评价指标体系基础上,以湖南省益阳市资阳区为例进行实证研究,旨在用协调理论发现农业生态系统存在的问题,并分析提出解决问题的办法。

1 农业生态系统系统协调评价函数模型的构建

1.1 功效函数(efficacy function)

协同论把系统在相变点处的内部变量可以分为快驰豫变和慢驰豫变量。慢驰豫变量是决定系统相变进程的根本变量,称之为系统的序参量,这类变量数量较少,衰减变化的速度较慢,对系统起主导作用决定系统的演变的方向和有序状态,因此系统保持有序的机制是在于慢驰豫变量之间的协同关系,农业生态系统系统的协调发展也是由其序参量的状态决定。依据序参量发展变化的特征可以分为2类:第一类序参量目标追求极值(极大值或极小值),越是接近极大值或极小值时对系统的有序性越好,例如人均粮食占有量要高、水体污染物的含量要低;第二类序参量目标追求稳定值,要求不能太大也不能太小,只有在接近的情况下对系统的有序性越好,例如人口出生率不能太高也不能太低。序参量对系统有序性的贡献通常用功效系数 EC (efficacy coefficient)表示,要求 EC 介于0和1之间,当目标最满意时取 $EC = 1$,当目标最差时取 $EC = 0$,描述 EC 的关系式称为功效函数,如果序参量用 V_{ji} 表示,则 $EC(V_{ji}) = F(V_{ji})$,其中 F 代表关系式, j 是子系统的下标($j \in [1, m]$), i 是子系统序参量的下标($i \in [1, n]$)。

序参量 V_{ji} 在系统实际表现值为 X_{ji} ($j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, 3 \dots, n$), j_i 、 j_i 为系统稳定时指标变量 V_{ji} 的临界点上、下限,即 $j_i < X_{ji} < j_i$,当系统处于稳定状态时,状态函数应为线性关系。慢驰豫变量在系统稳定状态时发生量的变化对系统有序度有2种功效:一种是正功效,即慢驰豫变量的增大,系

统的有序度增加,另一种是负功效,即慢驰豫变量增大,系统有序度降低^[1-3]。功效函数表示如下,其中 $EC(V_{ji})$ 为指标 V_i 对系统的有序的功效系数。

$$EC(V_{ji}) = \frac{X_{ji} - j_i}{j_i - j_i}, \quad j_i < X_{ji} < j_i,$$

$EC(V_{ji})$ 具有正功效时

$$EC(V_{ji}) = \frac{j_i - X_{ji}}{j_i - j_i}, \quad j_i < X_{ji} < j_i,$$

$EC(V_{ji})$ 具有负功效时

1.2 协调函数(function of harmony coefficient)

单一的功效系数不能说明系统的协调发展状态,必须建立一个以所有序参量为自变量的函数模型,此函数称之为协调度函数(function of harmony coefficient, FHC),函数值称之为协调度(harmony coefficient, HC)。本文协调函数的构建是借用数理统计中的变异系数原理,通过对统计数字之间的集中性与离散性的计算,来判断数字代表的指标之间的统计特征,进而反映系统的发展状态,这种方法的突出优点是既考虑统计数字的集中性程度,还考虑其离散性程度,协调度函数模型如下:

$$HC = 1 - \frac{S}{EC(\bar{V})}$$

其中 $S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m (EC(V_{ji}) - \overline{EC(V)})^2}{n - 1}}$

其中: $EC(V_{ji})$ 为功效系数; $\overline{EC(V)}$ 为功效系数的平均值; n 为功效系数的个数; k 为子系统的个数; m 为子系统中功效系数的个数。

在以上分析中该协调函数还存在这样一个缺陷,就是当区域系统的功效系数相等时,例如都等于0.9和都等于0.5时会出现协调度相等的情况,但实际上系统的2种状态或2个不同系统的协调状态是截然不同的。系统的发展是在追求协调状态,亚协调状态或亚协调系统实际上是一种低水平发展,是系统的初级阶段或衰败时期,是属于非协调状态或非协调系统的范畴。为此对上面建立的协调函数做一个修正,就可以避免实际应用出现错误判断或结论,协调函数修正如下:

$$HC = \overline{EC(V)} \left(1 - \frac{S}{EC(\bar{V})} \right) = \overline{EC(V)} - S$$

1.3 协调度范围的确定

协调函数计算得到的值表示协调度, 协调度的取值应该限于某个范围内, 以便于对系统的状态进行把握, 因此确定协调度的变化范围同样重要, 它是说明计算结果和判断系统协调性的重要依据。对该协调函数的取值范围讨论结果如下: 协调函数的协调度取值的范围是 $[1 - \sqrt{n}, 1]$, 其中 n 表示指标的个数, \sqrt{n} 实际上表示变异系数。根据变异系数表示的统计意义是可以把上限确定为 1, 因为当变异系数超过 1 时 (此时的协调度已经小于 0) 表示数据的离散程度已经超过集中程度的 1 倍以上, 数据的差异性大于相似性, 对于相似性判断来讲已经失去统计学意义, 表现在协调度上则已经小于 0, 此时表明系统的相似性或者协调特征非常差, 因此把协调度的下限人为限定为 0, 协调度的范围就可以确定为 $[0, 1]$ 。

1.4 协调等级理论的构建

在协调理论中协调度是用量化概念反映了系统的协调程度, 但却没有直接和突出表明系统的发展

状态, 缺乏定性化的信息量, 因而应用受到限制, 这是因为是在 $[0, 1]$ 区间内的无数个数字, 代表了无数个协调度或者协调状态, 这种现象可以被理解成由于协调度携带的信息过于精确, 导致信息量太大和过于复杂, 增加了信息处理难度, 不便于实践应用。借用模糊数学思想, 把相近的协调度在隶属关系上界定为同一类型, 在处理形式上表现为定性方法。另外对同一系统采用不同的协调度函数计算的协调度也必然产生差异, 这种差异也可能通过定性的理论在一定程度上使其评价结果一致或接近, 使评价理论之间的可以相互检验, 促使系统评价结果的客观化, 为此目的提出了协调等级概念。协调等级指把协调度的范围划分成若干连续区间, 每一区间代表一个协调等级, 每一个区间代表一种协调状态, 形成连续的协调等级阶梯。可以看出协调等级概念的提出实质上是把某一区间段上的全部协调度赋予一种协调度, 即把此区段上的全部协调状态赋予一种协调状态, 促使理论向实践方向发展。协调度与协调等级的对应关系以及表示的含义见表 1。

表 1 协调等级 (RHC) 划分表

Table 1 Rank of harmony coefficient of agricultural ecosystem

项目	协 调 度									
	0 ~ 0.100	0.100 ~ 0.200	0.200 ~ 0.300	0.300 ~ 0.400	0.400 ~ 0.500	0.500 ~ 0.600	0.600 ~ 0.700	0.700 ~ 0.800	0.800 ~ 0.900	0.900 ~ 1.000
RHC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
含义	极度失调	高度失调	中度失调	低度失调	弱度失调	弱度协调	低度协调	中度协调	高度协调	极度协调

2 农业生态系统系统协调度评价指标体系的构建

系统协调度的确立必须通过综合的、科学的和体系化的指标来反映和评价。确定序参量 (即通常讲的指标体系) 的应该坚持科学性、整体性、可控性、动态性和简单性等原则, 对系统具有较好的评价性, 能够反映生态环境质量和状况, 反映经济水平和状况, 反映社会需求与进步状况, 能够指导和监督系统的发展, 协调生态、经济和社会之间的关系, 最终促进系统的全面协调发展。农业生态系统系统的序参量在子系统层次上分为 3 类: 生态发展变量、经济发展变量和社会发展变量。生态发展变量是指示生态环境因子变化的序参量, 经济发展变量是指示经济发展的序参量, 社会发展变量是指示社会进步和满

足社会需求的序参量。

本研究借用专家调查基本方法, 在若干专家的著作与文章中, 统计他们在同一研究领域内对同一评价指标关注的程度, 并以出现频次为排序依据, 确定农业生态系统协调度评价指标体系, 作者把这种方法叫改进专家调查法。最后确定的指标见表 2。

3 实例研究

湖南省益阳市资阳区位于湘中偏北, 介于东经 $112^{\circ}5'12'' \sim 113^{\circ}43'57''$, 北纬 $28^{\circ}16'47'' \sim 28^{\circ}52'42''$, 南北长约 67 km, 东西长约 64 km, 全区总面积约 1911 km², 背山临湖, 西南突起为高埠, 中间岗平间列, 东北沉降为河网, 地势由西南向东北倾斜, 具有三级阶梯平缓地貌特征, 平原占 52.6%, 低山丘岗占 35.85%, 水域占 11.6%, 基本是“三山一水四分

田二分路”。气候上属于中亚热带向北亚热带过渡的季风湿润气候区,年降水量 1 400 mm 左右,主要农作物是稻谷,也是全国重点粮食产区之一。

表 2 农业生态系统各子系统协调度评价指标体系

Table 2 Harmony coefficient Index of agricultural ecosystem

子系统 编号	评价指标	功效类型	备注
生态子系统	V ₁₁ 播种面积/(hm ² /人)	+	
	V ₁₂ 灌溉比例/%	+	可调整
	V ₁₃ 灌溉地用水量/(m ³ /hm ²)	+	可调整
	V ₁₄ 森林覆盖率/%	+	可调整
	V ₁₅ 农药用量/(kg/hm ²)	-	
	V ₁₆ 化肥用量/(kg/hm ²)	-	
	V ₁₇ 成灾面积/受灾面积/%	-	
	V ₁₈ 粮食单产/(kg/hm ²)	+	
	V ₁₉ 单位灌溉耕地废水量/(t/hm ²)	-	可调整
经济子系统	V ₂₁ 人均 GDP/元	+	
	V ₂₂ 农民人均纯收入/元	+	
	V ₂₃ 农村恩格尔系数/%	-	可调整
	V ₂₄ 农村非农收入比例/%	+	
	V ₂₅ 人均支出/人均收入/%	-	
	V ₂₆ GDP 能耗/(t/万元)	-	可调整
	V ₂₇ 百人电话量/(部/百人)	+	
	V ₂₈ 农机动力/(kW/hm ²)	+	
	V ₂₉ 农业财政支出/(元/人)	+	
社会子系统	V ₃₁ 人均粮食/kg	+	
	V ₃₂ 人均肉/kg	+	
	V ₃₃ 人均棉花/(kg/人)	+	可调整
	V ₃₄ 人口自然增长率/%	-	
	V ₃₅ 交通密度/(km/km ²)	+	可调整
	V ₃₆ 病床数/(张/千人)	+	可调整
	V ₃₇ 人均住房面积/m ²	+	
	V ₃₈ 升学率/%	+	
	V ₃₉ 农业技术人员/(人/万人)	+	
	V ₃₁₀ 二、三产业就业率/%	+	可调整
	V ₃₁₁ 农村耗电量/(kwh/人)	+	

注:“+”表示正功效,“-”表示负功效。

由于农业系统的复杂性、差异性和发展程度的不同,根据实际情况对不同的农业系统评价指标可以做适当调整,因此,“可调整”表示该指标可以替换或者改进为其他形式。

农业生态系统系统自协调发展是研究农业生态

系统系统在某一阶段协调度随时间发展变化的状态,自协调指标上、下区间范围由该时间段内指标变化的极值来确定,在研究中为了避免指标的能效系数 0 与 1 的出现,把极值作适当的调整,一般是把极大值放大,同时把极小值缩小,在本案例研究中极值放大与缩小的幅度均为 1%,这样就基本能够使极值的能效系数趋向于 1 和 0,一般的极大值得能效系数在 0.9 以上,极小值的能效系数小于 0.1。数据分析结果见表 3 和表 4^[4-5]。

3.1 指标能效系数

资阳区农业生态系统协调评价指标能效系数见表 3。

3.2 协调度及协调等级

资阳区农业生态系统系统的 1990—2002 年协调度变化见表 4 和图 1。

4 结果分析

1) 生态子系统变化的协调度从 1990—2002 年,处于上升发展趋势,但只有在 2000 年以后才出现协调发展状态,而且是弱度协调,其中 1997 年和 1998 年的协调度表现很低,协调等级均为 2 级,表明在 20 世纪末该地区的生态环境的破坏比较严重;经济子系统的协调度变化表现较为明显的上升趋势,协调等级从 3 级比变化至 10 级,协调性越来越好;社会子系统的协调度也表现为上升趋势,协调等级从 2 级比变化至 9 级,但变化的波动性较大,表明协调性不是很稳定;

2) 农业生态系统系统协调度变化呈现上升趋势,总的发展过程可以划分为 2 个阶段,第一个阶段是 1990—1998 年,是弱度失调 5 级以下状态;第二个阶段是 1999—2002 年,表现出台阶式发展模式,在弱度协调 6 级以上。系统协调度的变化主要受制于子系统,1990 年的系统协调度低主要原因是由于经济子和社会子系统的协调度太低,1998 年系统协调度低的主要原因是生态子系统的协调度太低。从整个发展过程看,农业生态系统系统协调度主要受制于经济子系统和生态子系统的协调度变化的影响,经济子系统的主要是提升协调度(正作用),生态子系统的主要是降低协调度(负作用)。

3) 农业生态系统包含的要素很多,每个要素的变化与起落以及要素之间的相互影响都比较复杂,

益阳市紫阳区统计局,资阳统计年鉴 1990—2003,内部资料。

表 3 湖南省益阳市资阳区农业生态系统协调评价指标功效系数

Table 3 Efficiency coefficient of agricultural ecosystem on Ziyang county

评价指标	年 份								
	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
播种面积/(hm ² /人)	0.016 2	0.981 3	0.941 2	0.843 1	0.784 3	0.725 5	0.645 9	0.758 6	0.685 0
灌溉比例/%	0.310 0	0.367 1	0.267 1	0.424 3	0.124 3	0.524 3	0.567 1	0.667 1	0.867 1
森林覆盖率/%	0.807 7	0.600 0	0.284 6	0.207 7	0.053 8	0.711 5	0.723 1	0.876 9	0.934 6
农药用量/(kg/hm ²)	0.991 8	0.260 0	0.183 7	0.017 8	0.032 6	0.902 7	0.473 0	0.367 6	0.354 2
化肥用量/(kg/hm ²)	0.995 3	0.039 1	0.136 8	0.014 5	0.134 9	0.266 1	0.157 1	0.148 6	0.136 0
(成灾面积/受灾面积)/%	0.260 9	0.632 5	0.255 5	0.331 3	0.027 4	0.707 0	0.786 7	0.982 1	0.770 0
粮食单产/(kg/hm ²)	0.127 1	0.338 7	0.031 6	0.881 2	0.518 0	0.128 2	0.863 4	0.886 0	0.959 1
单位灌溉耕地废水量/(t/hm ²)	0.983 0	0.472 9	0.437 0	0.192 7	0.026 1	0.054 9	0.343 6	0.779 9	0.788 4
人均 GDP/元	0.003 4	0.388 9	0.496 6	0.631 6	0.707 8	0.726 6	0.867 6	0.931 1	0.986 8
农民人均纯收入/元	0.004 0	0.440 8	0.328 8	0.706 8	0.696 7	0.679 2	0.807 3	0.892 3	0.986 2
农村恩格尔系数/%	0.020 8	0.527 6	0.456 4	0.529 6	0.371 0	0.445 0	0.988 9	0.929 1	0.937 6
农村非农收入比例/%	0.003 7	0.354 4	0.458 7	0.233 9	0.297 5	0.986 3	0.604 6	0.674 4	0.798 2
人均支出/人均收入/%	0.079 9	0.175 9	0.212 6	0.259 8	0.464 4	0.489 2	0.759 4	0.781 8	0.928 9
百人电话量/(部/百户)	0.000 9	0.052 3	0.161 7	0.305 3	0.536 9	0.592 6	0.734 1	0.901 4	0.989 3
农机动力/(kW/hm ²)	0.031 6	0.007 9	0.129 1	0.088 0	0.194 3	0.301 7	0.831 8	0.972 7	0.982 6
农业财政支出/(元/人)	0.001 9	0.270 3	0.401 4	0.507 5	0.544 9	0.626 1	0.701 0	0.894 5	0.988 1
人均粮食/kg	0.019 6	0.718 5	0.410 3	0.970 9	0.353 2	0.537 3	0.757 0	0.876 0	0.650 0
人均肉/kg	0.008 6	0.828 0	0.715 9	0.832 1	0.933 3	0.918 3	0.585 8	0.726 0	0.981 6
人均水果/kg	0.001 7	0.988 4	0.224 9	0.466 0	0.156 0	0.532 5	0.221 7	0.848 2	0.776 3
人口自然增长率/%	0.012 3	0.807 4	0.898 2	0.962 0	0.975 5	0.927 6	0.997 5	0.831 9	0.714 1
病床数/(张/千人)	0.040 8	0.612 2	0.673 5	0.734 7	0.836 7	0.877 6	0.938 8	0.408 2	0.489 8
人均住房面积/m ²	0.009 6	0.167 7	0.342 7	0.739 6	0.766 3	0.967 4	0.933 2	0.861 3	0.833 1
升学率/%	0.025 7	0.187 3	0.268 0	0.348 8	0.495 2	0.525 5	0.611 3	0.717 3	0.964 7
农业技术人员/(人/万人)	0.005 0	0.281 4	0.331 7	0.457 3	0.532 7	0.633 2	0.783 9	0.934 7	0.984 9
二、三产业就业率/%	0.003 5	0.505 1	0.620 0	0.653 1	0.595 0	0.682 7	0.742 3	0.821 3	0.986 9
农村耗电量/(kWh/人)	0.372 2	0.537 1	0.669 3	0.596 8	0.017 0	0.058 3	0.592 6	0.716 6	0.973 3

表 4 湖南省益阳市资阳区农业生态系统系统协调度及协调等级

Table 4 HC and RHC of agricultural ecosystem on Ziyang county

项 目	年 份									
	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
农业生态系统	协调度 HC	0.192 7	0.380 9	0.408 3	0.423 2	0.292 5	0.550 5	0.689 9	0.745 7	0.736 3
	协调等级 RHC	(2)	(4)	(5)	(5)	(3)	(6)	(7)	(8)	(8)
生态子系统	协调度 HC	0.247 0	0.386 1	0.121 9	0.072 9	0.136 2	0.374 2	0.584 1	0.582 9	0.573 9
	协调等级 RHC	(3)	(4)	(2)	(1)	(2)	(4)	(6)	(6)	(6)
经济子系统	协调度 HC	0.203 9	0.330 4	0.560 5	0.468 2	0.617 0	0.659 9	0.852 8	0.888 8	0.930 6
	协调等级 RHC	(3)	(4)	(6)	(5)	(7)	(7)	(9)	(9)	(10)
社会子系统	协调度 HC	0.168 5	0.498 5	0.558 3	0.685 7	0.429 8	0.583 5	0.680 8	0.808 6	0.791 0
	协调等级 RHC	(2)	(5)	(6)	(7)	(5)	(6)	(7)	(9)	(8)

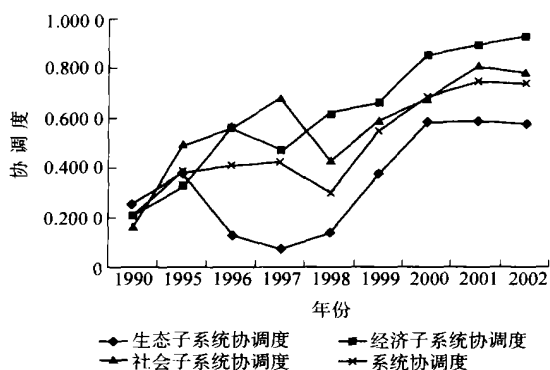


图1 湖南益阳市资阳区农业生态系统系统协调度变化

Fig. 1 Variation of harmony coefficient of agricultural ecosystem on Ziyang county

建立科学的农业生态系统协调度评价理论及其评价指标体系,就能把握系统发展状态,实施系统有效调控,实现良性与稳定发展。

4) 协调度是评价系统之间或要素之间关系的和谐与一致性程度的定量化理论概念,是描述 EES 系统发展程度与发展状态的重要衡量指标,能够反映系统变化特征与规律。协调度评价的关键之一是功

效函数的上限指标和下限指标的选取,上下限的选取方法不同,评价结果就不同。评价指标的确定通常要考虑区域系统的现状和未来发展目标,还要考虑过去的发展状态,同时还要考虑国家和地区总体规划,同时对评价指标的权重的确定也非常重要。

5) 本研究以湖南省益阳市资阳区为例进行了分析验证,结果表明该理论分析结果与实际情况比较吻合。

参 考 文 献

- [1] 周国富. 贵州喀斯特地区生态经济系统协调发展评价[J]. 中国岩溶, 2004, 23(1): 14-19
- [2] 黄润荣. 耗散结构与协调学[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1998: 38-65
- [3] 金菊良, 张礼兵, 魏一鸣. 水资源可持续利用评价的改进层次分析法[J]. 水科学进展, 2004(2): 227-232
- [4] 国家统计局, 农村社会经济调查总队. 中国农村经济调研报告[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003
- [5] 国家统计局. 中国县(市)社会经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003