

农业生态系统可持续发展趋势度的评价方法研究

李全胜¹, 叶旭君²

(1. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007; 2. 浙江大学农业生态研究所, 杭州华家池校区 310029)

摘要:在对农业生态系统时间演替过程分析的基础上,以评价指标年际变异性、评价指标的时间发展斜率变化率和评价指标的初始阈值水平为评价领域,提出了可持续发展趋势度的概念。并以德清县为例进行了案例分析,结果表明该县的可持续度为 0.657,属中上水平。

关键词:农业生态系统;可持续发展趋势;评价方法

Study on assessing methods for the sustainable development trend of agroecosystem's

LI Quan-Sheng¹, YE Xu-Jun² (1. Environmental science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China; 2. Agroecology Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Based on the analysis of succession processes of agroecosystems, this paper puts forward the conceptual framework for the development trend of agroecosystem's sustainability which embraces the inter-year coefficient of variation, the rate of change in temporal development slope and the initial threshold level of assessment indicators. The study of Deqing County, as an example, indicates that the county's coefficient of development trend of agroecosystem's sustainability is 0.657, being at the middle and upper level.

Key words: agroecosystems; development trend of sustainability; methods for assessment

文章编号: 1000-0933(2001)05-0695-06 中图分类号: S-0 文献标识码: A

目前,可持续发展已成为国际社会共同关注的热点话题,国内外学者也发表了大量有关可持续发展方面的论文和报告,各行各业也都以实现可持续发展作为行动指南。但是,大多局限于定性的描述和缺乏具体对象的理论探讨,过于宏观、定性、抽象和概念化,至于如何去监测和评价一个特定系统的可持续性趋势及其可能性的研究相对较少,这在一定程度上失去了对社会实践的指导价值。有学者认为其主要原因可能有两点:一是对可持续性描述的相关定义和概念侧重于方向而不是系统的特性、本质和发展过程;二是存在可持续性研究涉及到未来趋势的实际困难^[1]。因此, Hansen 将可持续发展简单地定义为“一个系统延续至将来的能力”或“一特定系统在一特定目标下和一特定将来时段内能达到可持续状态的概率”^[2]。近年来,有关学者也陆续发表了若干可持续发展评价方面的研究论文,但是,主要是基于对系统现状的评价,没有充分考虑系统演替过程对可持续发展趋势的影响。因为对同一数值的评价指标基础值,如果它处在不同的时间变化序列过程中,其所反映的系统发展趋势是完全不同的。例如,如果两农业生态系统的农田土壤有机质现状值均是 2.5%,但其时间序列的过程变化值分别为 2.1%、2.2%、…、2.4%、2.5%和 2.9%、2.8%、…、2.6%、2.5%,显然单就土壤有机质而言,前一系统的可持续发展趋势将优于后一系统,因此,若是仅对现状的评价会掩盖这一本质的差异。为此,本研究试图从我国的实际出发,以县域农业生态系统为例,充分考虑系统演替过程对可持续发展的影响,提出可持续发展趋势的评价方法,并运用可持续发展趋

基金项目:农业部等七部委“全国生态农业试点县建设”资助项目

收稿日期:1999-09-13 修回日期:2000-11-28

作者简介:李全胜(1963~),男,浙江临安人,博士,副教授。主要从事农业生态系统分析与评价领域的研究。

势度作为综合评价结果的量化指标,以便为生态环境的有效保护和社会经济的持续发展提供参考依据。

1 可持续发展趋势度的评价领域

对任一系统进行科学评价,首先是要根据评价的目的和相关原则确定相应的评价指标体系。例如因地制宜原则、整体性原则、操作性原则、可比性原则等等。

任何系统的发展和演替都和其历史和现状有着密不可分的内在联系。上已述及,可持续发展的本质是系统延续至将来的能力,因此,对系统现状,尤其是对系统发展过程的动态分析和研究就显得非常重要,它能最大限度地反映系统的发展方向和发展趋势。换言之,从某种意义上说,这是对特定系统可持续发展趋势进行定量分析和评价的理论基础之一。因此,可持续发展趋势度是基于时间演替过程分析基础上的系统持续发展能力的一种度量。据此,本研究提出了评价可持续发展趋势的 3 个基本领域,即评价指标的年际变异性、评价指标的时间发展斜率变化率和评价指标的初始阈值水平。

1.1 评价指标年际变异性

评价指标年际变异性主要是表述系统发展过程中的波动性和稳定性。其具体计算方法定义如下:

$$\delta_{it} = |x_{it} - x_{it-1}| / ((x_{it} + x_{it-1}) / 2)$$

式中, δ_{it} 表示第 i 个评价指标在 t 时刻的年际变异性, x_{it} 表示第 i 个评价指标在 t 时刻的实际值。

年际变异性的的大小在一定程度上反映了系统的环境变化和抗干扰能力的强弱。据报道^[8],对抵抗外界干扰能力高的生态系统而言,其持续性就强,变异性也较小。因此,对于一个具有可持续发展趋势的农业生态系统而言,评价指标年际变异性也应相对较小,变幅不宜过大。

1.2 评价指标的时间发展斜率变化率

从某种意义上说,任一系统的发展历史、现状和趋势都是时间的函数,即可通过数学模拟的方法将评价指标用时间函数表示如下:

$$x_{it} = f_i(t)$$

在建立了不同评价指标的时间函数基础上,便可通过数学分析中的导数计算,得到评价指标的时间发展斜率:

$$dx_{it}/dt = df_i(t)/dt$$

进而将评价指标的时间发展斜率变化率定义如下:

$$a_{it} = dx_{it}/x_{it}dt = df_i(t)/f_i(t)dt$$

式中, a_{it} 表示第 i 个评价指标在 t 时刻的时间发展斜率变化率。

对于离散函数而言,可将 a_{it} 进一步表示如下:

$$a_{it} = (x_i(t + \Delta t) - x_i(t)) / (x_i(t) \times \Delta t)$$

可见,时间发展斜率变化率是评价指标在某一时刻单位时间的变化趋势与其基础值的比值。如果评价指标是以 1a 为一个时间序列步长,即 $\Delta t = 1$,则时间发展斜率变化率的本质是评价指标的年增长率(或递减率)。时间发展斜率变化率的正负在一定程度上反映了评价指标的可能发展趋势,而其数值的大小则说明了发展势头的强弱。从可持续发展趋势评价的角度出发,对不同评价指标时间发展斜率变化率的要求是不同的。例如,在我国许多地区森林覆被率的时间发展斜率变化率应大于零(至少要等于零);而对我国人口密集和人地矛盾突出的地区而言,人口自然增长率则应随时间推移日趋减少为佳,即该评价指标的时间发展斜率变化率需小于零。至于时间发展斜率变化率的绝对数值应在因地制宜的原则下合理确定。

1.3 评价指标的初始阈值水平

评价指标初始阈值水平主要是反映不同时间过程中的评价指标值和可持续发展目标值之间的相互关系,将其作为可持续发展趋势的一个评价领域主要出于以下两点考虑:一是由于不同区域之间自然和社会经济条件的差异,也就客观存在着初始现状的差异和不同阶段可持续发展具体目标的差异,因此,将不同区域的评价条件一视同仁是不实事求是的;二是可持续发展的系统目标应该是高起点和高水平的,换言之,低水平的可持续发展是没有意义的。基于以上两点,在可持续发展趋势的评价过程中必须分析评价指标的初始阈值水平,如果某评价指标在不同时间过程的初始阈值水平较大,说明该指标在阶段性目标下具

有高质量的发展和运行态势。根据评价指标属性发展要求的不同,将初始阈值水平的具体计算方法定义如下:

对于评价指标属性相对越大越优的指标而言,

$$b_{it} = \begin{cases} 1 & x_{it} \geq X_i \\ x_{it}/X_i & x_{it} < X_i \end{cases}$$

对于评价指标属性相对越小越优的指标而言,

$$b_{it} = \begin{cases} 1 & x_{it} \leq X_i \\ x_{it}/X_i & x_{it} > X_i \end{cases}$$

式中, b_{it} 表示第 i 个评价指标在 t 时刻的初始阈值水平, X_i 表示第 i 个评价指标的可持续发展目标值。

2 可持续发展趋势度的综合评价

2.1 权重

由于不同评价指标、时序过程和评价领域对可持续发展趋势度的影响度可能是非均等的,换言之,其权重大小可能是不一样的。在本研究中,权重的确定包括 3 个方面的内容。

2.1.1 时序过程权重(C_t) 由于随着时间的推移,同一评价指标不同时段过程的评价值对发展趋势的影响也是不同的,一般而言,离现在时刻越近的时段评价值对发展趋势的影响越大,在此用 C_t 表示评价指标在 t 时刻的权重。该权重系数可运用时间响应函数、调和权重法^[4]和专家打分法等方法来取得。

2.1.2 评价指标权重(C_{2i}) 由于不同评价指标对可持续发展趋势的影响是不同的,这在许多农业生态系统评价中都已有了充分的反映,主要可通过层次分析法、专家打分法和特尔斐法(Delphi)等^[5]途径来实现。在此,用 C_{2i} 表示第 i 个评价因子的权重。

2.1.3 评价领域权重(C_{3i}) 在本研究中主要指评价指标年际变异性、评价指标的时间发展斜率变化率和评价指标的初始阈值水平 3 个评价领域在可持续发展趋势度评价中的权重,具体可分别表示为 C_{31} 、 C_{32} 和 C_{33} 。

2.2 评价领域原始计算值的 0~1 处理

趋势度表征了在一定的阶段性目标下,系统向着可持续发展方向运行的程度(或概率),是一个介于 0~1 之间的相对值。若可持续发展趋势度等于 0,则说明系统发展趋势是完全不可持续的,若可持续发展趋势度等于 1,则说明系统发展趋势是完全可持续的。据此,在上述 3 个评价领域的原始计算值中,只有评价指标的初始阈值水平是一个反映系统演替过程和可持续发展目标水平之间差异程度的无量纲评价值,其数值介于 0~1 之间,因此,不需要再进行 0~1 处理。

就评价指标的历年年际变异性和时间发展斜率变化率而言,它们均是系统发展过程中的随机变量,在本研究中根据可持续目标对不同评价领域的要求和评价指标的不同属性(越大越优或越小越优),可得到相应的概率密度和分布函数,计算出相对于可持续发展程度的概率大小^[2],从而得到了无量纲的 0~1 评价。在此,用 u_{it} 和 v_{it} 分别表示第 i 个评价指标在 t 时刻的年际变异性和时间发展斜率变化率 0~1 评价。

2.3 可持续发展趋势度评价

在完成了上述数据处理工作之后,便可运用数学方法得到同一评价领域中不同指标的趋势度评价、不同领域的趋势度评价和可持续发展趋势度的综合评价。具体可用下列表达式进行计算(式中 m 表示评价指标数, n 表示分析系统的时间过程年代)。

对同一评价领域中不同指标的趋势度评价可分别表示如下:

$$\sum_{t=1}^n C_t u_{it}, \sum_{t=1}^n C_t v_{it} \text{ 和 } \sum_{t=1}^n C_t b_{it} \quad (1)$$

对不同领域的趋势度评价可分别表示如下:

$$\sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t u_{it}, \sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t v_{it} \text{ 和 } \sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t b_{it} \quad (2)$$

则可持续发展趋势度的综合评价可用下式计算:

$$S = C_{3l} \sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t u_{it} + C_{32} \sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t v_{it} + C_{33} \sum_{i=1}^m C_{2i} \sum_{t=1}^n C_t b_{it} \tag{3}$$

3 实例分析

在此,以浙江省德清县 1991~1998 年农业生态系统的发展过程和运行态势为例,运用上述方法分析计算了该地区农业生态系统可持续发展的趋势度。

3.1 评价指标和阶段性发展目标的确定

若要对一具体系统进行可持续发展趋势度的评价,必须要有一定的发展目标作为评价对照。在此,根据评价指标选择的若干原则,以及浙江省农业和农村现代化建设纲要和实现农业现代化应具备的条件^[6,7],得到了该县农业生态系统可持续发展趋势度的评价指标和 2020 年的系统发展目标(表 1)。

表 1 评价指标和系统发展目标
Table 1 Assessment indicators and system's development targets

评价指标 Assessment indicators	耕地面积 (10 ³ hm ²) Cultivated land area	人口自然增长 率(‰) Natural growth rate of population	森林覆盖率 (%) Vegetation rate	土壤有机质 (%) Soil organic matter content	粮食耕地单产 (kg/hm ²) Unit grain yield of cultivated land	人均粮食占 有量(kg) Average grain per capita	农民人均收入 (yuan) Average income per capita
发展目标(X _i) Development targets(X _i)	21.33	5.0	45	3.2	13500	600	6000

3.2 权重的确定

在本研究实例分析中采用了调和权重法确定时序过程的权重系数。计算结果如下(式中,t=1、2、3、…、8 分别代表 1991 年、1992 年、1993 年、…、1998 年):

$$C_t = (0.016 \quad 0.033 \quad 0.054 \quad 0.079 \quad 0.111 \quad 0.152 \quad 0.216 \quad 0.339)$$

另外,在本实例分析中,假定评价指标之间具有同等的重要性,不同评价领域对可持续发展也有相同的作用。其理由有以下 2 点:一是不同评价指标和评价领域对可持续发展的影响确实都很明显,很难分出大小;二是本文的重点在于评价方法的探索和研究。故 C_{2i}和 C_{3i}可分别表示如下:

$$C_{2i} = (0.143 \quad 0.143 \quad 0.143 \quad 0.143 \quad 0.143 \quad 0.143 \quad 0.143)$$

$$C_{3i} = (0.333 \quad 0.333 \quad 0.333)$$

3.3 评价指标的 0~1 评价值计算

3.3.1 年际变异性 0~1 评价值 表 2 为 1991~1998 年不同评价指标的历年年际变异性计算值、平均值和均方差。

经统计检验发现历年的年际变异性成正态分布,则其概率分布密度和分布函数通式可表示如下:

$$f(\delta_i) = \frac{1}{\sigma_{\delta_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{\delta_i - \delta_{i0}}{\sigma_{\delta_i}})^2}$$
$$F(\delta_i) = \int_{-\infty}^{\delta_i} f(\delta_i) d\delta_i$$

据概率统计知识可知,0≤F(δ_i)≤1,反映了不同评价指标年际变异性出现小于 δ_i 情景的概率。从前述分析可以看出,对年际变异性而言,应符合越小越优原则,故从要求系统相对稳定角度出发,其可持续发展评价值可用 1-F(δ_i)表示^[2](表 3)。

3.3.2 时间发展斜率变化率 0~1 评价值 时间发展斜率变化率评价值的计算同年际变异性评价值方法相似,所不同的是评价指标期望值应以实现发展目标前提下的平均发展斜率变化率为准,因为趋势度是相对于阶段性的可持续发展目标而言的,换言之,可以看出当实际值等于平均发展斜率变化率时,其评价值为 0.5,属中等发展态势。由于本实例分析是以 1991 年为初始年,以 2020 年为阶段性发展目标年,

表 2 年际变异性及其平均值和均方差

Table 2 Inter-year coefficient of variation and their average value and average variance

年代 Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	平均值($\bar{\delta}_{i0}$)	均方差($\sigma_{\delta i}$)
									Average value	Average variance
耕地面积 ^①	0.003	0.019	0.033	0.033	0.005	0.004	0.005	0.006	0.013	0.012
人口自然增长率 ^②	0.259	0.317	0.577	0.213	0.608	0.046	0.481	0.125	0.328	0.194
森林覆被率 ^③	0.033	0.035	0.031	0.020	0.015	0.012	0.014	0.002	0.020	0.011
土壤有机质 ^④	0.000	0.003	0.010	0.006	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.003
粮食耕地单产 ^⑤	0.012	0.014	0.105	0.087	0.011	0.035	0.032	0.063	0.045	0.034
人均粮食占有量 ^⑥	0.184	0.041	0.142	0.044	0.005	0.024	0.021	0.061	0.065	0.060
农民人均收入 ^⑦	0.019	0.127	0.160	0.314	0.206	0.089	0.070	0.081	0.133	0.087

①Cultivated land area;②Natural growth rate of population;③Vegetation rate;④Soil organic matter content;⑤Unit grain yield of cultivated land;⑥Average grain per capita;⑦Average income per capita

表 3 年际变异性 0~1 评价值(u_{it})

Table 3 Zero-to-one assessment value(u_{it})of inter-year coefficient of variation

年代 Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
耕地面积 ^①	0.802	0.308	0.052	0.046	0.758	0.770	0.742	0.715
人口自然增长率 ^②	0.638	0.522	0.100	0.723	0.075	0.928	0.216	0.854
森林覆被率 ^③	0.118	0.092	0.161	0.496	0.681	0.761	0.694	0.945
土壤有机质 ^④	0.841	0.472	0.013	0.122	0.841	0.841	0.472	0.841
粮食耕地单产 ^⑤	0.833	0.816	0.040	0.106	0.839	0.621	0.646	0.293
人均粮食占有量 ^⑥	0.024	0.657	0.099	0.637	0.840	0.755	0.769	0.526
农民人均收入 ^⑦	0.905	0.528	0.380	0.019	0.201	0.695	0.765	0.724

①~⑦ see table 2

时间年限为 30a,则不同评价指标的时间发展斜率变化率期望值(a_{i0})可通过下列数学方法取得:

$$a_{i0} = 1 - (\frac{X_i}{x_{it}})^{\frac{1}{30}}$$

式中, a_{i0} 为第 i 个评价指标的时间发展斜率变化率期望值, X_i 为第 i 个评价指标 2020 年发展目标值, x_{it} 为分析初始年(1991 年)评价指标原始值。经计算得到结果如下:

$$a_{i0} = (0.000, -0.013, 0.007, 0.001, 0.009, 0.003, 0.051)$$

则其概率密度分布函数可表示如下:

$$f(a_i) = \frac{1}{\sigma_{a_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{a_i - a_{i0}}{\sigma_{a_i}})^2}$$
$$F(a_i) = \int_{-\infty}^{a_i} f(a_i) da_i$$

式中, σ_{a_i} 表示评价指标的时间发展斜率变化率的均方差。至此,便可根据不同评价指标的属性要求,得到不同时间过程的时间发展斜率变化率的 0~1 评价值(见表 4)。

3.3.3 初始阈值水平 0~1 评价值 由于初始阈值水平的大小反映了系统演替过程和可持续发展目标水平之间差异程度,已是一个无量纲的 0~1 评价值。

3.4 可持续发展趋势度评价

据式(2)和(3),得到了不同评价领域和农业生态系统可持续发展趋势度评价结果如下:
年际变异性评价结果为 0.610;时间发展斜率变化率评价结果为 0.525;初始阈值水平评价结果为 0.835;农业生态系统可持续发展趋势度综合评价结果为 0.657。

4 结果和讨论

4.1 从德清县农业生态系统发展过程并结合阶段性的发展目标来看,经综合评价得到可持续发展趋势度

为 0.657,属中等偏上水平。从不同评价领域来看,以初始阈值水平最大(0.835),时间发展斜率变化率最小(0.525),说明该地区农业生态系统的基础条件较好,起点较高,但发展速度尚处在中等发展水平,有待进一步加快,这也基本符合当地的实际情况。

表 4 时间发展斜率变化率 0~1 评价值(v_{it})

Table 4 Zero-to-one assessment value(v_{it})of the rate of change in temporal development slope

年代 Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
耕地面积 ^①	0.415	0.074	0.007	0.006	0.362	0.375	0.345	0.684
人口自然增长率 ^②	0.216	0.745	0.069	0.263	0.874	0.532	0.828	0.355
森林覆盖率 ^③	0.992	0.995	0.986	0.885	0.764	0.683	0.753	0.337
土壤有机质 ^④	0.500	0.212	0.007	0.948	0.500	0.500	0.790	0.500
粮食耕地单产 ^⑤	0.353	0.339	0.027	0.929	0.516	0.679	0.664	0.104
人均粮食占有量 ^⑥	0.009	0.275	0.029	0.720	0.455	0.614	0.599	0.194
农民人均收入 ^⑦	0.264	0.776	0.865	0.998	0.946	0.646	0.577	0.618

①~⑦see table 2

表 5 初始阈值水平 0~1 评价值(b_{it})

Table 5 Zero-to-one assessment value(b_{it})of initial threshold level

年代 Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
耕地面积 ^①	0.997	0.978	0.947	0.916	0.912	0.908	0.903	0.909
人口自然增长率 ^②	0.668	0.919	0.508	0.410	0.769	0.804	1.000	1.000
森林覆盖率 ^③	0.820	0.849	0.876	0.893	0.907	0.918	0.931	0.933
土壤有机质 ^④	0.975	0.972	0.963	0.969	0.969	0.969	0.972	0.972
粮食耕地单产 ^⑤	0.758	0.747	0.673	0.734	0.743	0.769	0.794	0.745
人均粮食占有量 ^⑥	0.903	0.868	0.753	0.787	0.783	0.802	0.818	0.770
农民人均收入 ^⑦	0.225	0.256	0.300	0.412	0.507	0.554	0.594	0.644

①~⑦ see table 2

4.2 本研究的重点在于试图提出一个可持续发展的定量评价方法,旨在抛砖引玉。因此在实例分析中有 关评价指标、评价权重等的确定,以及 0~1 评价值处理等方面均有待进一步完善和改进。

4.3 对某一具体对象可持续发展的定量评价是一项复杂的工作,本研究仅从系统发展过程出发,考虑了 3 个基本的评价领域,尚未对环境容纳量、可供利用资源量、科技贡献率等进行全面分析和研究,其有待于进 一步补充和探讨。

参考文献

[1] Hansen JW. Is sustainability a useful concept? *Agricultural System*,1996,**50**:117~143.
[2] Hansen JW and Jones JW. A system framework for characterizing farm sustainability. *Agricultural System*., 1996. **51**:185~201.
[3] 马世骏. 现代生态学透视. 北京:科学出版社,1990. 54~71.
[4] 王馥棠,李郁竹,王石立. 农业产量气象模拟与模型引论. 北京:科学出版社,1990. 55~56.
[5] 全国生态农业县建设领导小组办公室. 中国生态农业. 北京:中国农业科技出版社,1996. 253~275.
[6] 浙江省人民政府. 浙江省农业和农村现代化建设纲要. 浙江日报,1998 年 12 月 5 日,第一版.
[7] 浙江省委. 提前实现农业现代化应具备的条件. 浙江日报,1999 年 3 月 1 日,第八版.