

# 基于相图法的新疆精河县大农业系统可持续性能值评价

李秀花<sup>1</sup>, 郭凯<sup>2</sup>, 师庆东<sup>2,3</sup>

(1. 新疆教育学院 职业教育分院, 乌鲁木齐 830063;

2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**为促进干旱区大农业系统的可持续发展,以新疆精河县为研究区,从能值角度出发,利用相图法分析了 1990 年、1999 年和 2007 年研究区大农业系统的能值投入情况,评价了系统能值利用的可持续性。结果表明:精河县大农业系统的能值投入中可更新环境资源能值和经济社会反馈能值比例下降,从 1990 年的 67% 下降到 1999 年的 61% 再到 2007 年的 48%;同时不可更新环境资源能值比例上升,三年比例依次为 14%、24% 和 38%。虽然在所研究时段内系统的能值利用是可持续的,但其可持续性指标由 1990 年的 II 级可持续性降到 1999 年和 2007 年的 III 级可持续性,且 2007 年的可持续性指标下降到三年中的最低。因此,系统应当从当前的发展状况出发,沿可更新资源的敏感线上行发展,主要采取节约和保护不可更新资源和可更新资源有效替代的方法,直接或间接地降低对不可更新资源的利用比率,提高系统未来的可持续发展能力。

**关键词:**大农业系统; 可持续性; 能值; 相图; 精河县

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0121-05

## Evaluation on the Sustainability of General Agricultural System in Jinghe County of Xinjiang Based on Ternary Diagram

LI Xiu-hua<sup>1</sup>, GUO Kai<sup>2</sup>, SHI Qing-dong<sup>2,3</sup>

(1. Vocational Education Department of Xinjiang Education Institute, Urumqi

830063, China; 2. College of Natural Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University,

Urumqi 830046, China; 3. Arid Ecological Environment Research Institute, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** For the sustainability of general agricultural system in arid area, Jinghe County of Xinjiang was chosen as a typical study area. This paper analyzed the input of its general agriculture system from the emergy point of view based on ternary diagram. Then the sustainability of system was evaluated. The results are as following: the emergy percentages of renewable resources and feedback from economic society are decreasing from 67% to 61% then to 48%, but increasing of un-renewable ones are 14%, 24% and 38% in the 3-year study. At the same time, the index which can be used to indicate the sustainability of the system is descendent from the second sustainable area of 1990 to the third of 1999 and 2007 and the lowest index is in 2007 though it is sustainable. So lots of measures such as saving, protecting un-renewable resources and replacing it with renewable ones must be taken for the sustainable development of general agricultural system in Jinghe County.

**Key words:** general agricultural system; sustainability; emergy; ternary diagram; Jinghe County

农业系统既不同于自然生态系统,也不同于人工生态系统,而是人类控制的复合系统。农业复合系统既是自然生态系统的子系统,又是社会经济系统的子系统,它受自然生态条件制约,还受人类活动的影响;不仅受自然生态规律的支配,还受社会经济规律的支

配<sup>[1-2]</sup>。农业复合系统包括两大组分:生物组分和环境组分,环境组分由太阳辐射、气体、水和土壤构成,生物组分可按功能分为生产者(绿色植物)、大型消费者(动物和人)和小型消费者(微生物)。农业复合系统通过由生物与环境构成的有序结构,把环境中的能

量、物质、信息和价值资源,转变成人类需要的产品。由于人口的快速增长,人类为了追求农产品数量增长,在农业生产活动中往往投入大量的工业辅助能,从而显著提高了土地产出率,但大量施用化肥、农药,并消耗大量不可更新的资源带来了环境污染和资源短缺问题<sup>[3]</sup>。合理认识和评价环境资源的贡献是农业可持续发展中亟待解决的问题。

从不同角度分析和评价系统发展可持续性能的指标较多,而实际上,系统各参数和指标之间存在着很大的关联性,单一的评价指标难以达到对系统的全面认识。要对系统各能值输入量之间相互关系进行深入研究并获取不同时间内系统发展现状和趋势的综合对比结果,就需要对相关的能值分析计算结果和指标做进一步的系统分析。能值指标和参数的相图分析法恰恰为实现这一目标提供了一种有效、便捷的研究工具<sup>[4]</sup>。

近年来,国外学者 Giannetti 和 Almeida 等<sup>[5-6]</sup>率先借鉴相图的表达方式来分析系统的能值指标,定义并阐述了相图中各特征曲线所描述的系统生产过程与自然环境和经济社会之间的相互关系,反映出不同的资源开发与利用模式下系统的资源配置比例和系统发展态势。

## 1 实验材料与方法

相图通常是对于溶液或合金中两种或多种构成相共存的平衡状态的图形描述,广泛应用于物理学研究领域特别是金属和材料科学、地学以及物理化学研究中。三相图是指构成整体的成分由三部分组成。通常,将三部分的百分比总和看作 100%。三个变量中两个为独立变量,三种成分的不同构成比例与体系的不同状态和性质相对应。

此方法是用一个等边浓度三角形表示构成系统输入能值的三部分:EmR(可更新资源能值)、EmN(不可更新资源能值)和 EmF(人类社会反馈投入能值),每个部分占据等边三角形的一个顶点,为方便起见,本文将分别简化为 R、N、F 点,每个顶点到其对边的高为 100%。三角形内部和各边上不同位置的点代表了不同的输入能值构成结构,三角形内部或边界上任一点到等边三角形三个边的距离衡量了该底边对应的顶点所代表的资源类型在总能值输入量中的相对比例。通过对系统和过程在能值相图中不同相点的研究和比较,借助于统计软件——R 软件,可以得到关于系统资源配置和发展状况的相图直观表达(图 1),其中, $W_R$  为可更新能源能值投入比例;

$W_N$  为不可更新环境资源能值投入比例; $W_F$  为经济反馈能值投入;且  $W_R + W_N + W_F = 100\%$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 系统能值投入的资源线分析

图 1 中浓度三角形三边的一系列平行线(虚线)分别为系统可更新环境资源能值 EmR、不可更新环境资源能值 EmN 和人类社会经济反馈投入能值 EmF 三种能值配置资源线,分别称为 R 资源线(平行于底边 NF)、N 资源线(平行于右边 RF)和 F 资源线(平行于左边 RN)。由于相图中任一类型资源能值投入成分在总能值投入中的相对比例由相点到该资源类型顶点对边的距离来表示,所以任一类型资源能值投入的同一条资源线上的所有点表示该种类型资源能值投入比例是相等的。因此,资源线可以用于比较产品或过程对资源利用的结构。

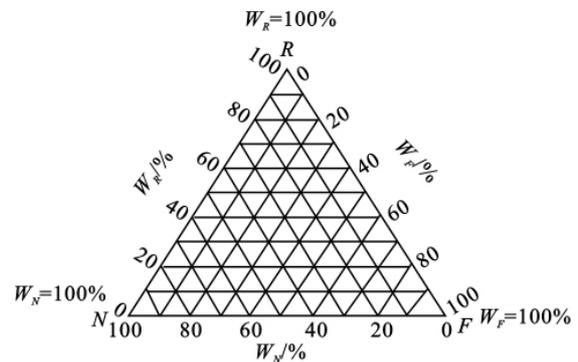


图 1 精河县大农业系统能值投入相图表达

由图 2 可见,1990 年、1999 年、2007 年研究区内农业系统的能值投入结构发生了较大的变化,主要表现为:系统中可更新能源的能值投入比例缓慢降低,从 1990 年的 67% 降到 1999 年的 61% 再到 2007 年的 48%;同时经济反馈能值投入比例逐渐增加,三年比例依次为 14%, 24% 和 38%。这意味着系统的发展对当地环境资源的依赖程度有所减弱,致使系统的能值自给率逐渐下降(分别为 0.66, 0.57, 0.38),同时,系统反馈能值比率的增长必然伴随着能值投资率的上升,1990 年最低为 0.51, 2007 年最高为 1.65, 18 a 间增加了两倍还多;能值产出率与反馈能值比率成反比,而与系统的能值产出量成正比。由于 3 a 中,系统总产出能值增加的幅度大于经济反馈增加的幅度,所以能值产出率 3 a 中从 1.70 到 2.36 再到 2.77 依次增大;说明随着产品中所凝聚的来自经济系统反馈能值的比重越来越高,表明生产过程在利用等量本地资源的过程中,需要投入更多的反馈能值,产品中所聚集的能值更多来自于系统外来能值资源的贡献。

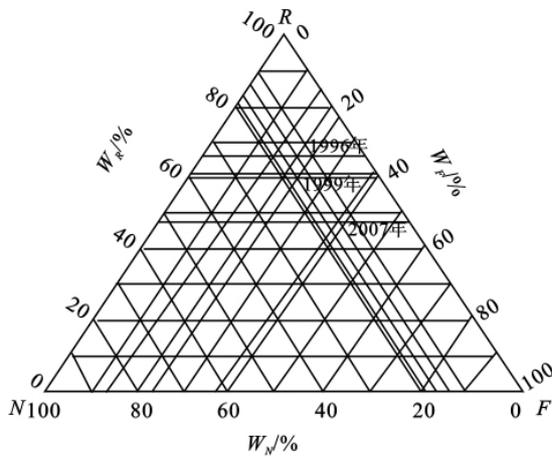


图 2 系统 1990 年、1999 年、2007 年能值投入比例相图

2.2 系统能值投入的敏感线分析

三相图中某一点与顶点的连线被定义为“敏感线”,表示该顶点所对应资源类型的比例沿这条直线变化,而另两类资源的投入比例保持恒定(图 3)。在能值分析相图上表达了 1990 年和 2007 年研究区农业系统的资源配置 R/N 比例沿经济反馈能值投入 EmF 的敏感线 FF' 基本稳定,都约为 3.5 : 1,沿敏感线 FF' 向该类型能值投入比例增大的方向(F'→F)移动的发展路径。1999 年研究区农业系统的 R/N 比值稍高,超过了 4 : 1,3 a 中 R/N 比值都高于我国辽宁省朝阳和抚顺两个农业经济系统 20 世纪 90 年代的 R/N 值 0.56 和 1.08。这反映了研究区农业系统比这两个系统具有更丰富的可更新的环境资源和能源。

2.3 系统发展的可持续线分析

系统的能值可持续发展指数(ESI)为系统净能

值产出率与环境承载率的比值。如果一个国家或地区的生态经济系统净能值产出率高,而环境承载率又相对较低,则它是可持续的,反之则是不可持续的。ESI>10 是经济不发达的象征,表明对资源的开发利用力度不够;ESI 值在 1 和 10 之间表明经济系统富有活力和发展潜力;ESI<1 为消费型经济系统,此时,系统的进口资源及劳务能值量在总能值使用量中所占比重较大,对本地不可更新资源的利用也较大,环境承载率较高<sup>[7]</sup>。

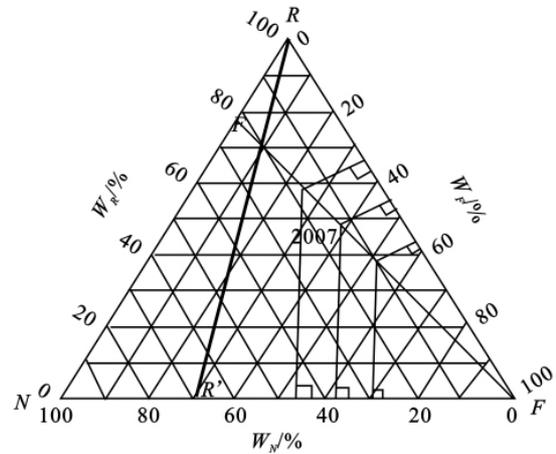


图 3 研究区农业生态经济系统能值相图敏感线

通过对相图内各点的计算,得出可持续性指标相等各点的连线被定义为可持续性曲线(图 4)。系统的可持续性曲线是从等边浓度三角形的顶点 N 出发,向着 RF 边方向移动的曲线族且沿 RF 边越靠近顶点 R,ESI 值越大,越远离 R,ESI 值越小。不同的可持续性曲线在相图中划分了系统发展可持续性不同的区域。

表 1 研究区能值可持续性分级标准<sup>[8-9]</sup>

等级	I	II	III	IV	V
ESI 取值范围	ESI ≥ 10	3 ≤ ESI < 10	1 ≤ ESI < 3	0.3 ≤ ESI < 1	0 < ESI < 0.3
系统可持续性能	资源利用不充分	极度可持续	可持续	不可持续	极度不可持续

在研究区农业系统能值分析相图中,ESI=0.3, ESI=1、ESI=3 和 ESI=10 四条可持续性曲线将相图划分成从上到下 I、II、III、IV 和 V 五个不同的可持续性区域(图 4),每个区域代表着系统不同的可持续发展性能(表 1)。

图 4 的第 I 区域内,系统生产过程的可持续性指标大于 10,说明系统生产过程没有充分利用系统内的资源;第 II 区域系统生产过程的可持续指数在 3~10 之间,表明系统发展的可持续性最好;第 III 区域系统生产的可持续指数为 1~3,意味着系统在可持续的范围内发展;第 IV 区域系统生产的可持续指数为 0.3~1,说明系统发展已经出现不可持续性;第 V 区

域系统生产的可持续指数为 0~0.3,表示系统发展的可持续性非常低,属于极度不可持续等级。

同时,图 4 给出 1990 年、1999 年和 2007 年研究区农业系统所在的可持续性区域,反映出系统所处的可持续发展状况。结果显示:1990 年 ESI=3.50,系统处于第 II 可持续性区域,系统的发展状况很好,属于极度可持续发展性能;1999 年 ESI=2.73,系统处于第 III 可持续性区域,系统可持续性较 1990 年有所下降,系统的可持续性已属于可持续性发展级别;而到 2007 年 ESI=2.58,虽然系统仍属于可持续发展性能,但其发展状况在 1999 年的基础上继续下降。

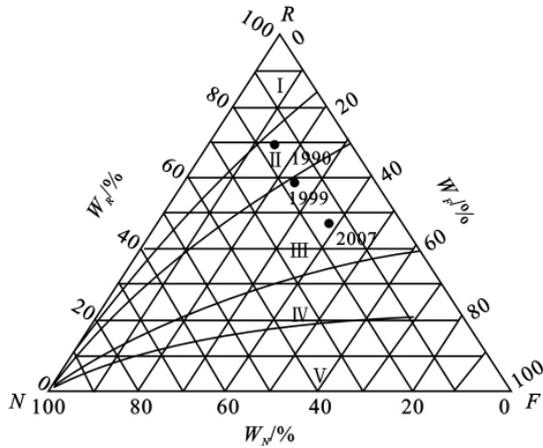


图 4 研究区农业系统能值相图可持续性区域划分

可见 18 a 来,研究区农业系统的 ESI 在 1~10 之间变化,系统发展状况总体处于第 II 和第 III 可持续性区域,系统属于极度可持续和可持续的发展级别。系统的发展过程创造了较多的净能值产出,能值投资在开发本地资源的过程中发挥了较大的效用,而对当地自然环境造成的压力适度,系统具有非常好的可持续发展性能。

整体来看,1990—2007 年研究区农业系统的可持续发展指标 ESI 大于 1 而小于 10,表明系统在单位环境负载下的能值产出量较高,系统的经济发展水平也较好,但是从整个研究时段内系统的 ESI 变化趋势来看,系统的可持续发展性能是在波动中下降的,1990—1999 年的降幅为 22%,平均每年下降 2.4%;1999—2007 年的降幅为 5.5%,降速约为 0.7%。系统的发展在相图中的相点位置逐渐向右下方偏移,即靠近浓度三角形的顶点 F 的方向发展,系统的能值投入也显示出  $EmR$  比例减小,同时  $EmF$  比例增大的特征。照此发展态势下去,系统在可持续发展性能方面可扩展的空间已经非常有限。

由此可见,对研究区农业系统的发展状况,不能仅仅满足于目前系统处于可持续发展的状态,而必须明确这样的一个发展现实——系统的可持续发展性能正在大幅度下降。导致这种发展状况,是由于系统发展过程中利用等量本地资源的同时,对来自于系统外的能值投入依赖性增加,一方面对本地自然环境的压力正在逐渐增大,造成本地环境负荷 ELR 的加重,另一方面,又同时降低了系统的能值产出率 EYR,即对资源的开发效率越下降。最终导致二者比值 ESI 的下降。从长远来看,系统的发展可持续性难以维持。

在图 3 中,若以 2007 年的相点为当前的发展现状出发,系统未来的发展方向可能继续沿反馈能值的敏感线  $FF'$  从  $F' \rightarrow F$  所指示的方向发展,其结果是反馈能值对产品生产的贡献率更加增大,反馈能值对开

发本地资源的效力更加减少,发展过程对经济系统的贡献作用更加降低,而伴随着系统内可更新资源利用比重的下降,系统发展过程对环境造成的压力越发增大,系统发展的不可持续性更加增强。并且反馈能值的投入会影响到系统的结构和功能,经济反馈能值与可更新资源能值的比值越高,系统外部能值投入对系统的结构和功能所造成的影响就越大。因为外部能值的投入必然伴随着商品生产和买卖的经济行为,经济环境的不稳定会影响系统生产过程。同时系统可更新资源在特定时间段内的有限性和减少以及对系统不可更新资源的过度开发与利用的双重制约,而相应地减少反馈能值的利用比例,以适应系统内本地资源的数量也不是研究区生态经济系统发展中可能选择的方案,所以,沿敏感线  $FF'$  从  $F \rightarrow F'$  所指示的发展路线退回到最初的发展状态是不现实的。

如果将考虑问题的角度转换一下,还有另外一条可供选择的发展途径,就是沿着系统可更新资源能值  $EmR$  的敏感线  $RR'$  由  $R' \rightarrow R$  所指示的方向,沿着可更新资源的敏感线  $RR'$ ,保持当前对系统本地不可更新资源能值  $EmN$  和经济反馈能值  $EmF$  的比例基本稳定,提高系统内部可更新资源对系统发展的贡献率。沿着这一发展方向前进的过程中,意味着反馈能值  $EmF$  的使用比例与系统不可更新资源  $EmN$  的使用比例同等程度的减少。并且从研究区 1990—2007 年反馈能值利用比率变化的幅度上来看,其一定程度上的减少也是在保持系统的发展状态所可以承受的范围内。

不难看出,直接降低不可更新资源利用比例也不失为提高资源利用效率的一种有效途径。对系统的不可更新资源,采取节约和保护的办法,在资源总量上或在使用比重上减少对不可更新资源的使用。对于研究的农业系统来说,不可更新资源流失量主要来自耕作土地过程中导致的表土层损失和艾比湖湿地保护区丰富的生物多样性资源能值。比较好的办法就是在系统发展过程中保护这些现有的不可更新资源不被破坏,巩固当地自然生态系统的服务功能能值产出。例如,对土地实行免耕,既可以从一定程度上减少不可更新资源的流失,进一步降低本地不可更新资源在产品生产过程中所付出的代价,又可以减少二氧化碳等温室气体的排放,扼制当地生态环境进一步恶化的趋势。

除此之外,在系统可更新的自然资源总量恒定的条件下,利用其他免费的可更新有机辅助能来替代经济反馈投入的不可更新工业辅助能的作用,是间接提高可更新能值使用比率,同时降低系统发展的环境负

载率的一种优选方法,如利用生物或生态资源来代替农药的使用,提倡用有机绿肥来代替化学肥料,也是农业系统实现经济与生态“双赢”的一个重要环节。另外,农业系统是一个能量系统,与其它任何能量系统一样,要维持其结构和功能的稳定性,必需依赖于能量的输入。能量等级高的资源类型,在使用的过程中能量的转化率和效率更高,高能质能量的输入,会提高系统的生产效率和发展速度<sup>[10-11]</sup>。所以,还可以通过提高农业劳动力的农业科学技术水平,改善农业系统的可更新辅助能中劳力能值部分的能质,来有效提高系统可更新能源能值的利用比例,增强研究区农业系统发展的可持续性能。

### 3 结论

从以上对系统能值可持续发展线的分析得出:选择改善系统生态环境同时促进经济发展的措施时,必须要考虑到不同类型资源的利用率,选择可持续性较高的发展方案,并需考虑在措施实施的过程中,对更大系统的可持续性可能产生的影响。对于来自系统之外的不可更新反馈能值的利用要采取节约的方式,因为降低不可更新资源使用比重的结果伴随着系统可更新资源利用比例的提高,环境负载率与能值投资率下降,生产过程的能值产出率提高,最终促使系统发展的可持续性增强。

利用能值的相图表达方法,分析新疆精河县大农业系统的发展路径,为系统未来的发展方向提出了更有利于提高系统发展可持续性的方案,就是系统从当前的发展状况出发,沿可更新资源的敏感线上行发展,主要采取节约和保护不可更新资源和可更新资源有效替代的方法,直接或间接地降低对不可更新资源的利用率,提高系统未来的可持续发展能力。

#### 参考文献:

- [1] 周纪伦. 复合农业生态系统综合方法研究[J]. 农村生态环境, 1986(1): 53-58.
- [2] 周纪伦. 复合农业生态系统综合方法研究[J]. 农村生态环境, 1986(2): 44-47.
- [3] 段舜山, 骆世明, 蔡昆争. 生态系统原理与可持续农业[J]. 应用生态学报, 1997, 8(6): 663-668.
- [4] 蔡井伟, 付晓, 孙晓伟, 等. 相图法在区域农业经济系统能值研究中的运用[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 710-719.
- [5] Giannetti B F, Barrella F A, Almeida C M V B. A combined tool for environmental scientists and decision makers ternary diagrams and emergy accounting [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(2): 201-210.
- [6] Almeida C M V B, Barrella F A, Giannetti B F. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making [J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15(1): 63-74.
- [7] Brown M T, Odum H T, Murphy R C. Rediscovery of the world: developing an interface of ecology and economics [M]. Niwot: Maximum Power, Press of Colorado, 1995: 216-250.
- [8] 斯藹. 生态经济学模型支持下的松嫩平原可持续发展量化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [9] 卢远. 吉林西部土地利用/土地覆盖变化及其生态效应[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [10] Brown M T, Ulgiati S. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments [M] // Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies. New York: Human Sciences Press, 2001, 22(5): 471-501.
- [11] Lan Shengfang, Odum H T, Liu Xinmao. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China [J]. Ecologic Science, 1998, 17(1): 32-39.