

相图法在区域农业经济系统能值研究中的运用

蔡井伟¹, 付 晓^{1,*}, 孙晓伟², 刘建民², 吴 钢¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 辽宁省朝阳市林木种苗管理站, 朝阳 122000)

摘要:能值分析方法将不同的资源类型以统一的太阳能值来衡量, 考虑了资源在生产过程中贡献力的差异, 是研究和分析复杂能量系统资源代谢过程, 评价过程的环境压力和发展可持续性的有效方法。运用能值方法对比分析了我国辽宁省两个经济与环境基础不同的农业生产系统, 在发展过程中资源利用结构的变化, 以及变化对当地环境和系统发展的影响, 并运用相图分析方法更系统而全面地分析了系统的发展进程, 现状和将来可能的发展方向。分析结果表明, 同样的经济发展模式对自然环境条件相对脆弱的系统来说, 所造成的环境压力和对系统可持续性的削弱程度更大。能值的相图分析法为能值方法的应用提供了一个有力的研究工具。

关键词:能值; 环境经济系统; 区域农业; 三相图

文章编号: 1000-0933(2008)02-0710-10 中图分类号: Q14, X171.1 文献标识码: A

Ternary diagram used in emergy accounting of regional agricultural economic systems

CAI Jing-Wei¹, FU Xiao^{1,*}, SUN Xiao-Wei², LIU Jian-Min², WU Gang¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Plants and Seedling Administrative Station of Chaoyang Liaoning Province, Chaoyang 122000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0710 ~ 0719.

Abstract: Emergy analysis was used in this paper to analyze two agricultural systems in Liaoning Province of Northeast China and compare resource use, productivity, environmental stress and sustainability for 25 years. Structure and development of indigenous economy were considered in analyzing the development of agricultural production. Chaoyang is an important base for agricultural production in Liaoning Province while Fushun is a main industrial base of Northeast China. The results of the analysis demonstrated a growing reliance on purchased resources in two agricultural systems. The fraction of purchased inputs had grown by 1.88 times and 1.08 times from 1980 to 2005 in Chaoyang and Fushun agricultural systems, respectively. Because of higher dependence on purchased non-renewable resources, production process placed greater load on the environment. Ecological sustainability of studied systems decreased dramatically during the 25 years. In this process, Chaoyang agricultural production underwent a more rapid decrease in sustainability as sustainability index (SI) decreased from 1.25 to 0.11. The similar process of industrialization brought more stress to the vulnerable environment of Chaoyang. While the use of higher quality inputs resulted in the greater yields per area from two agricultural systems, the efficiency of these investments did not increase correspondingly. Environmental protection and restoration

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40473054); 国家科技部农业成果推广项目(05EFN216600446)

收稿日期:2007-06-04; **修订日期:**2007-10-30

作者简介:蔡井伟(1971 ~), 男, 辽宁省盘锦市人, 博士, 主要从事区域生态经济学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaofu@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40473054); Project of the Ministry of Science and Technology to Spread Agricultural Achievement, China (No. 05EFN216600446)

Received date: 2007-06-04; **Accepted date:** 2007-10-30

Biography: CAI Jing-Wei, Ph. D., mainly engaged in regional ecological economics.

rather than greater amount of purchased non-renewable resources should be a good strategy to reduce the loss of non-renewable indigenous resources in the two systems. Ternary diagrams were used as a tool to compare and evaluate the improvement of the two agricultural systems, and then the interaction between systems and the environment was recognized and evaluated. The graphic analysis is a versatile and adaptable tool for presenting different systems and the same system at different periods of time.

Key Words: emergy; system of economy-environment; regional agriculture; ternary diagram

能值分析作为一种系统分析方法,以统一的太阳能值为单位整合了包括货币和人类劳动在内的不同资源类型,将能量系统中输入、输出的资源类型划分为可更新的本地资源,不可更新的本地资源和通过经济系统反馈的资源三大类,从资源利用的角度研究能量经济系统的资源代谢过程^[1,2]。能值分析指标系统的建立分别从环境、社会、经济等角度,对生产和过程的资源配置状况、系统发展的可持续性、系统过程所造成的环境负荷等方面做出量化的评价与分析^[3,4]。能值分析理论自创立以来,广泛地应用于对自然生态系统^[5]、农业经济系统^[6,7]、城市代谢系统^[8]、工业生产系统的资源代谢过程的分析与研究^[9,10],并为工业园的建立^[11,12]、生产方案的选择^[13]、工程计划的实施^[14]等过程提供决策上的指导,成为分析能量系统发展模式、演替规律,衡量系统发展的社会、经济地位,预测系统发展可持续性的有力方法。能值分析指标的图形化表达为系统化地分析主要能值指标,考察资源利用结构与相应指标之间的关联做出更直观的图形解释,相图分析方法的提出更是为能值分析方法的应用提供了有效的分析工具^[15,16]。

本研究在运用能值方法研究两个农业经济系统资源利用结构演变过程的基础上,应用能值的相图分析方法对系统资源的分配关系和能值指标的相图表达做更详尽的分析与说明,并在相图分析的基础上对系统未来的发展做出预测。所选择的农业经济系统分别处于环境和经济基础不同的两个区域,其中朝阳农业系统的环境条件和经济基础与抚顺农业系统相比,相对薄弱,本研究结果也将为环境条件较差而经济基础不足的地区发展农业经济提供相应的借鉴。

1 研究对象与方法

1.1 研究区域自然经济概况

朝阳市位于辽宁省西部,东经 $118^{\circ}50' \sim 121^{\circ}17'$,北纬 $40^{\circ}25' \sim 42^{\circ}22'$,处于内蒙古高原向沿海平原过渡的阶梯分界地带;属北温带大陆性季风气候,受地形影响,形成半干旱半湿润、易旱的气候特点;年平均降水量一般在 $440 \sim 560\text{mm}$;光能资源丰富,年平均太阳辐射量为 $5.92 \times 10^9 \text{ J/m}^3$;地区森林覆盖率 33.5% 。由于气候条件恶劣,森林覆盖率低加上人类活动的破坏,朝阳地区水土流失严重,根据辽宁省土壤侵蚀与水土保持状况的普查结果^①,朝阳全市水土流失面积占全市总面积的 80% ,其中,中、强度侵蚀占侵蚀面积的 80% 以上,全市平均土壤位移动侵蚀量 $8.67 \times 10^{10} \text{ kg}$,内含有机质 $1.00 \times 10^9 \text{ kg}$ 。

朝阳是农业大市,主导产业为种植业、林果业和畜牧业。全地区盛产玉米、小麦、谷子、薯类、油料、棉花、烟叶、蔬菜等农产品,具有丰富的农作物资源,是辽宁省主要水果生产基地。全市总面积 $1.97 \times 10^4 \text{ km}^2$,耕地面积 $4.56 \times 10^3 \text{ km}^2$,居全省第3位。2005年,朝阳地区总人口338.7万,其中农村人口251.9万,农业劳动力131.4万人,居全省第1位。农、林、牧、渔业生产总值557523万元,占地区生产总值的 26.3% 。

抚顺市位于辽宁省东部偏北,东经 $123^{\circ}39'42'' \sim 125^{\circ}28'58''$,北纬 $41^{\circ}41'10'' \sim 42^{\circ}38'32''$;属中温带东亚大陆季风气候区,年降雨量 $700 \sim 850\text{mm}$,水资源丰富;地区年平均太阳辐射量为 $5.18 \times 10^9 \text{ J/m}^3$;抚顺是辽宁省的重点林区,森林覆盖率达 64% ,属于温带针阔混交林区,植物种类繁多;地区土地总面积 $1.13 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中耕地面积 $1.23 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。根据辽宁土壤侵蚀调查结果,抚顺地区水土流失面积 2739.61 km^2 ,占全地区

① 朝阳市土壤侵蚀类型分区与水土保持区划. 朝阳市水土保持工作站,1988.

总面积的 24%, 其中轻度侵蚀为 2533.37 km², 年平均土壤流失量达 6.28×10^9 kg, 含有机质 1.26×10^8 kg。抚顺地区利于粮食生产, 在作物构成中, 水稻、玉米、大豆三大作物占绝对优势。

抚顺是一座以能源和原材料开采和加工为主的综合性重工业城市, 石油及石油化工、冶金、机械、煤炭等行业在全国占有十分重要的地位。2005 年全市农业人口为 75.66 万人, 占全市当年总人口 224.39 万人的 33.7%, 其中农业劳动力 31.75 万人; 第一产业生产总值 283000 万元, 占地区生产总值的 7.25%; 第二产业生产总值 2119209 万元, 占地区生产总值的 54.3%。

1.2 农业生态经济系统能值分析与计算

通过对自然环境和农业生产相关资料的收集与整理, 对系统的主要资源流在系统中的分配关系分析如图 1 所示。系统左侧的输入能值是以风、雨、太阳能的形式存在的可更新资源; 用于农业灌溉的水资源和表土层的流失作为生产过程中的不可更新资源输入; 来自农业生产系统之外的社会经济系统的反馈能值包括了人类劳动和农药、化肥、地膜、电力等维持系统生产过程的重要生产资料; 系统内部是农业经济的主要组成部分, 包括水果生产、作物生产、畜牧业和渔业生产单元。来自系统内部和外部的全部资源成为推动系统发展的动力。其中, 本地的可更新和不可更新资源的利用不涉及经济活动, 而来自于系统外的反馈能值则要通过市场和商品交换过程才能作用于系统的生产过程, 产品的购买和输出过程伴随着货币流通。

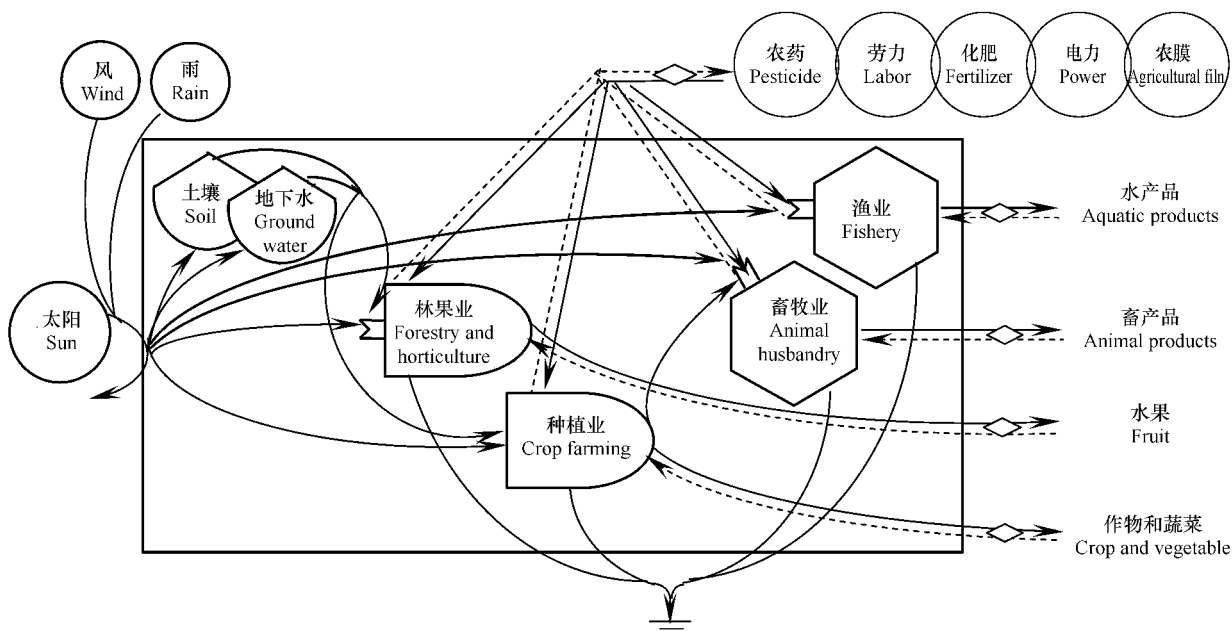


图 1 农业经济系统能值图

Fig. 1 Agricultural economic system diagram

1.3 相关能值评价指标

能值研究的指标体系是一系列用于能值分析与评价的参数和指标, 用于不同尺度能量系统过程与功能的研究, 应用于对不同系统的定量化分析和系统间效率性和相互关系的比较^[17]。

能值产出率 (emergy yield ratio; EYR): 趋动一个过程或系统的总能值与购入能值之间的比率, $EYR = (R + N + F)/F$ 。衡量某一过程通过引入外部资源, 开发和使用本地资源的效率, 由此产生的对经济主体的潜在贡献。

环境负载率 (environmental loading ratio; ELR): 不可更新资源和购入资源的使用与可更新资源使用的比率 $ELR = (N + F)/R$ 。衡量由于不可更新资源的输入和使用, 对环境造成的压力和胁迫作用, 考察能量传递和转移过程对环境的压力。

能值可持续性指标(emergy sustainability index;*ESI*):能值产出率(*EYR*)与环境负载率(*ELR*)的比值。衡量本地系统在单位环境负载条件下(*ELR*),对更大系统(或经济)的潜在贡献(*EYR*)。

能值投资率(Emergy Investment Ratio;*EIR*):从系统外部反馈的能值与本地能值输入的比率 $F/(N+R)$ 。用于评价一个过程与其他过程相比,是否是能值投资的更优使用者。

1.4 能值分析的相图表达

能值比率与各项指标给出了对系统发展过程不同方面和角度的评价,而事实上,各参数和指标之间存在着较大的关联性,单一的指标分析难以得到对系统更全面的认识,对系统各能值输入量之间相互关系的深入研究,全面对比不同系统的发展现状和趋势,需要对相关的能值分析计算结果和指标做更系统、全面的分析。对能值指标和参数的相图分析法,为实现这一目的提供了一个很好的研究工具。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。3 相图是指构成整体的成分由 3 部分组成,通常,将 3 部分百分比的总和看作 1 或 100,3 个变量中,两个为独立变量,3 种成分的不同构成比例与体系的不同状态和性质相对应。

Giannetti 等最先提出了借鉴相图的表达方式来分析能值指标的方法^[15,16],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系统之间的相互关系,反映在不同的资源开发与利用模式下系统的资源配置比例。用一个等边三角形表示构成系统输入能值的 3 部分,每个部分占据等边三角形的一个顶点,分别为 R, N, F 点,每个顶点到其对边的高为 1 或 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百分比。通过对系统和过程在能值相图中不同位点的研究和比较,可以得到关于系统资源配置和发展现状的直观认识。

在能值三相图中将 R, N, F 转化为无量纲的百分比表达方式后,相应能值指标的简化计算式如表 1 所示。

表 1 能值相图中指标的简化表达
Table 1 Simple expression of emergy-based indices

指标名称 Indices and symbol description	表达式 Expression	简化式 Simplification
本地可更新资源比率 Fraction of use renewable($R\%$)	R/U	R
本地不可更新资源比率 Fraction of use nonrenewable($N\%$)	N/U	N
反馈能值比率 Fraction of use purchased($F\%$)	F/U	F
能值产出 Yielding emergy(Y)	$R+N+F$	1
能值投资率 Emergy investment ratio(EIR)	$F/(N+R)$	$F/(1-F)$
能值产出率 Emergy yield ratio(EYR)	Y/F	$1/F$
环境负载率 Environmental loading ratio(ELR)	$(F+N)/R$	$(1-R)/R$
可持续性指标 Emergy Sustainability Index(ESI)	EYR/ELR	EYR/ELR

2 结果分析与讨论

2.1 能值比率与指标

随着技术的发展,生产过程更多地依赖于反馈的不可更新资源,本地可更新和不可更新资源能值的比率在抚顺和朝阳两个农业生产系统中都呈下降的趋势。表 2 为抚顺和朝阳两个农业系统,本地的可更新资源,免费资源和系统外反馈资源能值比重的变化,及两系统 EIR 、 ELR 、 EYR 和 ESI 在所研究年份中的相应计算结果。反馈能值比重的增长,表明系统的生产过程对外来资源的依赖加重。与抚顺农业系统相比,朝阳农业系统生产过程使用的本地免费自然资源的比重较高。

从表中各比率和指标的计算结果可以看出,两个系统的能值投资率呈逐年上升的态势,与朝阳相比,抚顺农业经济系统的能值投资率偏高,1995 年后,两个系统的能值投资率逐渐接近。两个农业系统的环境负载率在 25a 中都表现出显著的增长,朝阳农业系统历年的环境负载率均高于抚顺。2005 年,两个系统各自的环境负载率为 11.61 和 7.86,均达到了历年的最高值。从能值产出率上来看,抚顺农业系统的能值产出率比朝阳

低,表明其生产过程对经济系统的贡献相对较低。抚顺农业系统的能值产出率呈逐年下降,从 1980 年的 2.65 下降到 2005 年的 1.27;朝阳农业系统的能值产出率从 1980 年的 3.73 骤减到 2005 年的 1.30。在所考察的年份中,两个农业生产系统能值产出率的下降和环境负载率的增加,导致了计算的可持续性指标明显下降,而朝阳农业系统的可持续性指标的下降更为显著。1980 年,朝阳农业系统的可持续性指标为 1.25,约为抚顺农业系统可持续性指标的 1.1 倍。1995 年后,朝阳农业系统的可持续性指标急剧下降,低于抚顺农业系统的可持续性指标。

表 2 朝阳、抚顺农业系统能值比率与指标计算结果

Table 2 Comparison of emergy ratios and indices in Chaoyang and Fushun agricultural systems over studied years

指标名称 Indices	系统 System	1980	1985	1990	1995	2001	2005
可更新资源比率($R\%$)	朝阳	0.25	0.26	0.25	0.16	0.13	0.08
Fraction of use renewable	抚顺	0.30	0.34	0.22	0.24	0.14	0.11
不可更新资源比率($N\%$)	朝阳	0.48	0.46	0.38	0.29	0.24	0.15
Fraction of use non-renewable	抚顺	0.32	0.26	0.20	0.18	0.16	0.10
本地资源比率($(N+R)\%$)	朝阳	0.73	0.71	0.63	0.44	0.37	0.23
Fraction of free	抚顺	0.62	0.60	0.42	0.42	0.30	0.21
反馈能值比率($F\%$)	朝阳	0.27	0.29	0.37	0.56	0.63	0.77
Fraction of use purchased	抚顺	0.38	0.40	0.58	0.58	0.70	0.79
能值投资率(EIR)	朝阳	0.37	0.40	0.59	1.26	1.71	3.37
Emergy investment ratio	抚顺	0.60	0.68	1.36	1.37	2.29	3.66
能值产出率(EYR)	朝阳	3.73	3.51	2.70	1.79	1.59	1.30
Emergy Yield ratio	抚顺	2.65	2.47	1.74	1.73	1.44	1.27
环境负载率(ELR)	朝阳	2.99	2.91	3.03	5.44	6.84	11.61
Environmental loading ratio	抚顺	2.30	1.97	3.54	3.13	6.19	7.86
可持续性指标(ESI)	朝阳	1.25	1.21	0.89	0.33	0.23	0.11
Emergy sustainability index	抚顺	1.15	1.25	0.49	0.55	0.23	0.16

2.2 能值相图分析

2.2.1 资源线分析

图 2 为朝阳农业生产系统 3 类资源配置的相图表达,相图中的点表示 3 种资源类型的不同构成比例,其中任一资源成分的相对百分比由相点到该资源项对边的距离来表示,资源线与该资源项相对应的底边平行,用于比较产品或过程对资源的利用结构。“ F 资源线”与 EYR 和 EIR 值相对应,“ R 资源线”对应 ELR 值^[15,16]。图中从左至右的 6 个点,分别表示了 1980, 1985, 1990, 1995, 2001 和 2005 年 6 个年份朝阳农业生产系统的资源配置状况,从图中可以看出,1980 年到 2005 年,本地可更新资源在总能值使用中的比例从 25% 下降到 8%,伴随着这一资源配置比例的变化,系统的环境负载率从 2.99 上升到 11.61,可更新资源使用比率的下降意味着生产过程更多地依赖不可更新资源投入,不可更新资源多以燃料、矿石等形式存在,对这些资源的利用过程往往伴随着温室气体的排放和污染物质的释放,势必造成对自然环境压力的增大,甚至它们的开采和加工过程也包含了对自然生态环境的破坏和不利的影响。

从相图上看,1990 年之前(包括 1990 年)的各年份中,朝阳农业经济系统中本地可更新资源的利用率

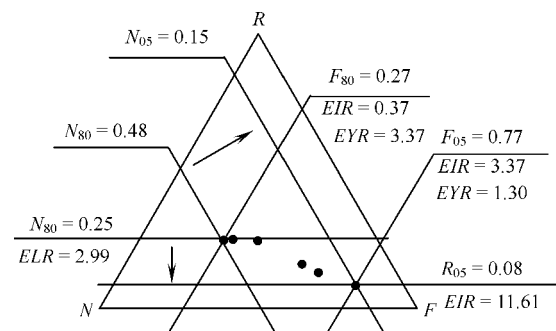


图 2 朝阳农业系统能值相图资源线分析

Fig. 2 Resources lines in the emergy ternary diagram of Chaoyang agricultural system

基本稳定,不可更新资源的利用比率和反馈能值的利用比率表现出互为消长;1990 年之后的各年度,可更新资源的比率有较大幅度下降,是由于来自于系统外的反馈能值的量迅速增加,产生系统资源配置关系的明显变化。1990 年后,伴随着可更新能值比率的下降,朝阳农业经济系统不可更新资源占总能值的使用比例从 1980 年的 48% 下降到 2005 年的 15%,相应地,反馈的能值输入比率从 27% 增长到 77%,能值投资率从 0.37 增长到 3.37,能值产出率从 1980 年的 3.73 下降到 2005 年的 1.30。反馈能值比率的增长必然伴随着本地资源利用比率的下降和能值投资率的上升,说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的来自于外来能值资源的贡献。能值产出率与反馈能值比率成反比,能值产出率的下降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,产品反馈给经济系统的净能值增加额在减少。到 2005 年,系统的能值产出率已接近于 1,说明在系统生产过程与经济系统相互作用的关系中,系统所担当的角色已越来越接近于单纯的能量转换过程。

图 3(a) 为抚顺农业经济系统的能值相图,其中 1980,1985,1990,1995,2001,2005 等 6 个年份的资源配置关系同样表现出从左到右依次排列,可更新资源比率从 1980 年的 30% 下降至 2005 年的 11%,相应的环境负载率从 2.30 增长到 7.86,可更新资源能值比率表现为轻微的波动,并且按 10a 为一个时间段呈现出一定的阶梯性变化,这与抚顺地区以 10a 为一个周期的降水量波动对系统可更新能值资源输入量计算结果的影响有关。1980 到 2005 年,抚顺农业经济系统的不可更新资源比重从 32% 下降到 10%,反馈能值的利用比率从 38% 增加到 79%,能值投资率由 0.60 增长到 3.66,能值产出率由 2.65 下降到 1.27。从图 3(b),抚顺与朝阳农业经济系统能值相图资源线的对比上来看,朝阳农业经济系统在 20 世纪 90 年代的发展程度与抚顺农业系统 20 世纪 80 年代的发展程度相接近,体现了朝阳农业生产系统的工业化进程滞后于抚顺的现实。到 1995 年后,两个系统的发展程度比较接近,20 年间,朝阳农业系统对反馈能值的使用比率变化的幅度更大。

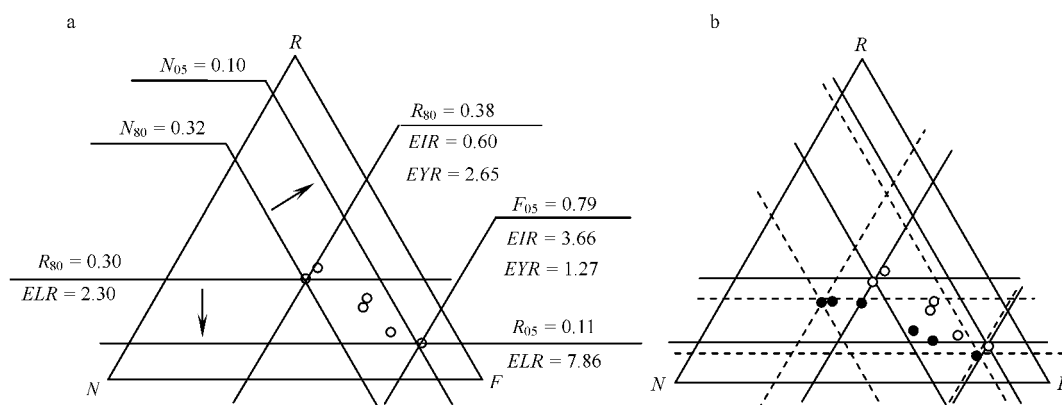


图 3 抚顺农业系统能值相图资源线分析及与朝阳对比图

Fig. 3 Resources lines in the emergetic ternary diagram of Fushun agricultural system and comparison

以土壤和地下水形式存在的不可更新资源,在使用和流失的过程中可能导致当地环境质量的下降。而可更新资源虽然从使用和更新速度的角度上来看是可以无限利用的,但对于一定的区域来说,当地拥有全部可更新资源的数量在给定的时间段内是有限的,因此对于人类经济系统这类能量周转速度远远高于自然生态环境中物质与能量周转速度的系统,系统要不断发展必然需要更多的不可更新资源的输入。因此从发展方向上来看,对不可更新资源的使用比重增加这是人类经济社会发展的必然结果,如果要改变这种环境负荷不断增大的现状,只有通过提高系统对不可更新资源的利用效率,减少资源浪费,从而使不可更新资源占总能值利用量的比率保持稳定甚至下降,才可能在保持系统发展的前提下,不加重对当地甚至全球化的自然环境的负担。另外一种选择就是通过开发和利用新的可更新资源来替代部分对不可更新资源的需求,以降低不可更新资源在资源使用中所占的比率。但对新的可更新资源利用的前提是,这种资源的开发没有耗费更多的不可更新资源,因为通过对不同系统的研究表明,对新能源的开发利用过程,事实上需要大量的不可更新资源的投入,造

成资源开发与利用过程的不可持续性非常低^[10]。资源利用是一个较大尺度的问题,对反馈能值的使用影响到的不仅仅是本地的自然环境,还有生产这一资源的地区的环境,所以提高现有资源利用效率是系统乃至区域发展的更优选择。

2.2.2 敏感线分析

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百分率沿这条直线变化,而另两类资源的投入比例保持恒定^[15,16]。图4中(a)、(b)图分别在能值分析相图上表达了朝阳和抚顺农业经济系统的资源配置比例沿 R/N 比例保持稳定,反馈能值比率增大的敏感线移动的发展路径。朝阳农业经济系统的 R/N 比在 0.56 左右,抚顺农业经济系统的 R/N 比在 1.08 左右,是朝阳的近 2 倍,这反映了抚顺农业系统比朝阳农业系统更优越的自然环境和气候资源。结合前面的资源线分析,虽然具有更优越的自然环境基础,抚顺农业系统反馈能值的投入比率依然高于朝阳农业经济系统,这体现了抚顺农业经济系统更高的工业化程度,是地区经济发展水平在农业生产中的反映。但近年来,朝阳农业生产中对反馈能值的利用比率已接近抚顺农业系统的利用水平,那么在有限的自然环境基础上,农业生产采用与抚顺农业生产同样的工业化手段,势必对当地的自然环境产生更大的压力,加重系统发展的不可持续性。

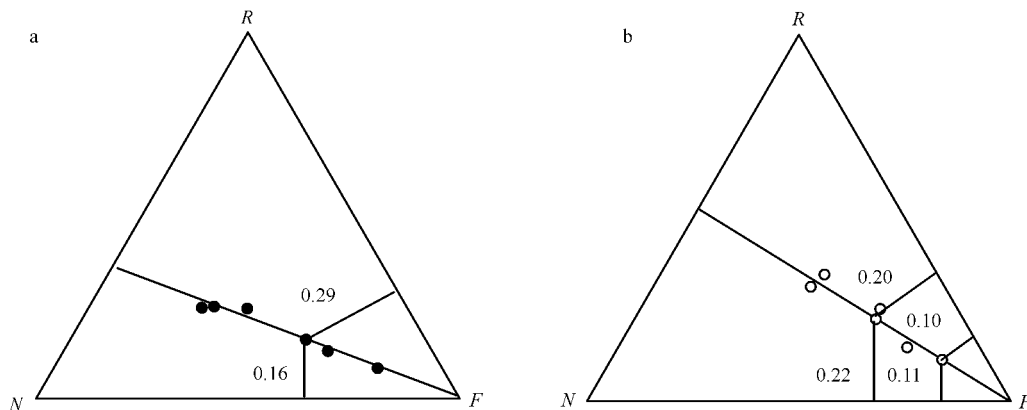


图4 朝阳、抚顺农业系统能值相图敏感线分析

Fig. 4 Sensitivity lines in the emergetic ternary diagram of Chaoyang and Fushun agricultural systems

2.2.3 可持续线分析

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。可持续性曲线从 N 点出发,向 RF 边方向移动,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。朝阳、抚顺农业经济系统能值分析相图中,可持续性指标 $ESI = 1$ 的持续性曲线将相图划分成上下两个部分,上半部分表示系统生产过程的可持续性指标大于 1,下半部分表示系统生产过程的可持续指数小于 1。以往的研究表明,大于 1 的 ESI 意味着生产过程对社会具有净贡献而没有严重地影响环境的平衡,系统的 ESI 小于 1 则意味着消费性的生产与过程。

从两系统的能值分析相图上来看,20 世纪 90 年代之前,朝阳与抚顺农业生产系统的生产过程处于可持续性大于 1 的区域,系统的生产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;20 世纪 90 年代之后,两个系统的生产过程都表现出能值可持续指数小于 1,介于 1 和 0.33 之间,体现了生产过程利用等量本地资源的同时,对来自于系统外的不可更新资源能值的依赖加重,造成本地环境负荷的加重,从长远来看,系统的发展可持续性难以维持。从本世纪开始,两系统生产过程已进入可持续性指标介于 0.33 和 0.10 的区域,资源的开发效率越发降低而对本地自然环境的压力日益增大。而朝阳农业生产系统的可持续性指标下降更快,比抚顺农业生产系统表现出更大的不可持续性,说明朝阳农业生产系统的环境基础对于进一步工业化的农业生产方式,可扩展的空间已经非常有限。

2.2.4 利用能值相图分析对系统未来发展方向的预测与建议

通过分析朝阳和抚顺两个农业系统的能值相图,得到了对系统发展历史和现状的全局性的了解,对反馈的不可更新资源能源的依赖性加强,导致系统环境负荷增加,系统发展的不可持续性加强,是朝阳和抚顺农业生产发展中共同存在的问题,特别是对于可更新资源能值不足,不可更新资源流失严重,农业经济生产在本地经济发展中占较大比重的朝阳来说,问题显得更加严峻。

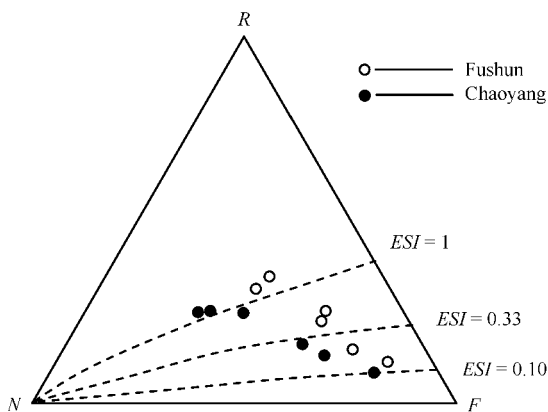


图5 朝阳、抚顺农业系统能值相图可持续线分析

Fig. 5 Sustainability lines in the emergetic ternary diagram of Chaoyang and Fushun agricultural system

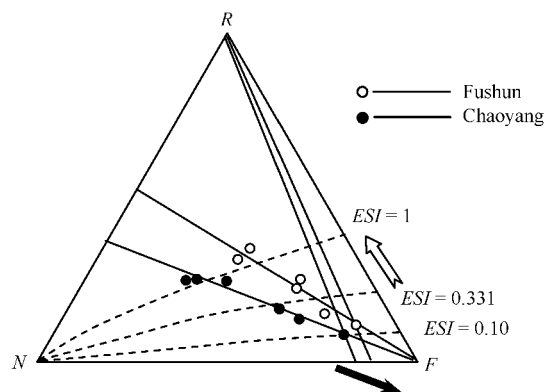


图6 朝阳、抚顺农业系统未来发展方向的预测与选择

Fig. 6 Forecast and choose of development way for two systems by emergetic ternary diagram

从图6所示的两个系统的能值分析相图中可以做以下推断。从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,向着实心箭头所指示的方向发展,发展的结果是,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,生产过程对经济系统的贡献作用更加降低,而伴随着本地可更新资源的利用比重的下降,生产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,反馈资源能值与可更新资源能值的比值越高,外部资源投入对系统的结构和功能所造成的影响就越大,因为外部资源的投入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生产过程过多依赖反馈资源能值的系统,如原材料或能源价格的变动这种影响对经济环境较差的系统影响更为严重。同时,受本地可更新资源在特定时间段内有限性和减少对本地不可更新资源的过度开发和利用的双重制约,而相应地减少反馈能值的利用率以适应本地资源的数量也不是发展中可能选择的方案,所以,沿原来的发展路线退回到最初的发展状态几乎是不可能的。

另外的一条可选择的发展途径就是向空心箭头所指示的方向,沿着可更新资源的敏感线,保持当前对本地不可更新资源和反馈不可更新资源利用比重的比例基本稳定,提高本地的可更新资源对产品生产的贡献率。沿着这一发展方向前进的过程中,表现出反馈能值的使用比率和本地不可更新资源的使用比率同等程度的减少,并且从反馈能值利用率减少的幅度上来看,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。

在本地可更新的气候资源总量固定的条件下,利用其他免费的可更新资源来替代反馈的不可更新资源的作用,是适当提高可更新资源使用比率的方法,如利用生物或生态资源来代替农药的使用,用生物肥料来代替化学肥料。但是农业生产系统是能量系统,与其他任何能量系统一样,要维持其结构和功能的“有序性”,都必需依赖于能量的输入(负熵)。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速度^[17]。所以低能质的可更新资源不可能完全代替高能质的反馈能值,来满足现代农业生产和发展的需要,可更新资源对反馈资源的替代作用是有限的。

另外可以用来降低不可更新资源利用比率的办法就提高资源利用效率,在总量上或在资源使用比重上减

少对不可更新资源的使用。对于本地的不可更新资源,采取节约和保护的办法。对于抚顺农业系统来说,不可更新资源流失量相对较少,比较好的办法就是在生产的过程中保护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,适当提高植被的水土保持功能,从一定程度上进一步减少不可更新资源的流失。而对于朝阳农业系统,不可更新资源的严重流失再上相对较恶劣的气候条件,就要求生产过程必需要同时考虑对本地自然环境的保护、恢复、与重建,扼制当地生态环境进一步恶化的趋势,以减少不可更新资源的流失,从而降低本地不可更新资源在产品生产过程中所付出的代价。选择改善当地自然环境的措施时,也同样要考虑到不同类型资源的利用比率,选择可持续性较高的方案,并考虑措施在实施的过程中,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,提高资源利用效率,提高效率的同时要以不损失更多的不可更新资源能值为前提。

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率的提高,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,系统发展的可持续性增强。利用能值相图对分析系统的发展路径,为系统未来的发展方向提出了更有利于提高系统过程可持续性的方案,就是系统从当前的发展状况出发,沿可更新资源的敏感线发展,主要采取节约和保护的方法,降低对不可更新资源的利用比率。

3 结论

25a 间,朝阳和抚顺农业生产过程对不同类型资源的利用比例,清楚地展现了推动两农业系统发展的主要力量的演变过程,用量化的方法对比了两个系统在本地区环境基础方面的差异和系统发展过程中资源利用结构和演变规律上的异同;两个农业生产过程能值指标的计算结果,揭示了系统在发展过程中对外来资源的利用效率、对本地区自然环境基础的压力以及系统发展状况可持续性的变化。

本研究所选取的两个农业系统可作为我国农业经济系统发展过程研究的两个参照,我国农业经济的发展普遍经历了从传统农业生产模式向现代化农业生产模式转变的过程,地区经济的发展对农业经济的发展具有重要的促进作用,而本研究的分析结果表明,对于自然环境基础和区域经济发展水平不同的农业生产系统来说,经济基础和环境条件都相对落后的地区,同样的农业经济发展模式会对当地脆弱的环境基础造成更大的压力,更大地削弱本地区农业经济发展的可持续性,在促进生产,发展农业经济的同时,恢复当地自然生态环境,减少当地不可更新资源的流失是降低系统发展过程不可持续性的明智选择;而通过引入能值的相图分析法,对系统资源能值利用比率和指标之间关系的分析,为能值分析提供了更全面、直观的分析工具,使能值理论在决策和选择上的应用更具科学性,为发展路径的选择提供了更加明确的方向性指示与参照;能值相图为系统发展方向的研究与预测,生产模式的规划及方案的选择等方面提供了一个有益的研究工具。

References:

- [1] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. New York: Wiley, 1996.
- [2] Brown M T, Ulgiati S. Emergy quality, emergy, and transformity: H. T. Odum's contribution to quantifying and understanding systems. Ecological Modelling, 2004, 178(15): 201—213.
- [3] Brown M T, Buranakarn V. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. Resource, Conservation and Recycling, 2003, 38(1): 1—22.
- [4] Federici M, Ulgiati S, Verdesca D, Basosi R. Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems The case of Siena, Italy. Ecological Indicators, 2003, 3(3): 155—169.
- [5] Brown M T, Ulgiati S. Emergy, transformity and ecosystem health. Handbook of ecological indicators for assessment ecosystem health. CRC Press, 2005: 333—352.
- [6] Lefroy E, Rydberg T. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecological Modelling, 2003, 161(3): 195—211.
- [7] An S Q, Bao H S, Zou C J. Studies of emergy flow in a compound agro-ecosystem in the Taihu Lake area, Jiangsu Province, China. Ecological Engineering, 1998, 11(1-4): 303—313.
- [8] Huang S L, Hau W L. Materials flow analysis and emergy evaluation of Taipei's urban construction. Landscape and Urban Planning, 2003, 63(2): 61—74.

- [9] Yang H, Li Y R, Shen J Z, Hu S Y. Evaluating waste treatment, recycle and reuse in industrial system; an application of the emergy approach. *Ecological Modelling*, 2003, 160(1-2): 13 — 21.
- [10] Brown M T, Ulgiati S. Emery evaluation and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*, 2002, 10(4): 321 — 334.
- [11] Wang Li M, Zhang J T, Ni W D. Emery evaluation of Eco-Industrial Park with Power Plant. *Ecological Modelling*, 2005, 189(1-2): 233 — 240.
- [12] Ometto A R, Ramos P A R, Lombardi G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(13-14): 1253 — 1258.
- [13] Tilley D R, Swank W T. Emery-based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. *Journal of Environmental Management*, 2003, 69(3): 213 — 227.
- [14] Ton S S, Odum H T, Delfino J J. Ecological-economic evaluation of wetland management alternatives. *Ecological Engineering*, 1998, 11(1-4): 291 — 302.
- [15] Giannetti B F, Barrella F A, Almeida C M V B. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emery accounting. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(2): 201 — 210.
- [16] Almeida C M V B, Barrella F A, Giannetti B F. Emergetic ternary diagrams; five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(1): 63 — 74.
- [17] Brown M T, Ulgiati S. Emery measures of carrying capacity to evaluate economic investments. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*. Human Sciences Press, 2001, 22: 471 — 501.