

评价系统可持续发展能力的能值指标

陆宏芳¹, 蓝盛芳², 李雷³, 彭少麟^{1*} (1. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 2. 华南农业大学生命科学院, 广东 广州 510642; 3. 华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 对国际能值分析理论现行能值评价指标体系作了归并简化, 提出了评价系统可持续发展能力的新的能值指标(*EISD*); 并将其应用于珠江三角洲基塘农业生态工程建设中, 对 3 种基塘农业生态工程模式进行了实例比较研究. 结果表明, *EISD* 同时兼顾环境影响和经济效益, 能更好地评价同等环境压力下不同的产品生产结构对社会经济发展贡献的不同, 即系统可持续发展能力的不同及其成因.

关键词: 指标; 能值; 可持续发展

中图分类号: X32.02 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2002)04-0380-05

Studies on emergy indices for evaluating system sustainable development property. LU Hong-fang¹, LAN Sheng-fang², LI Lei³, PENG Shao-lin¹ (1. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510650, China; 2. College of Life Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. College of Polytechnic, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). *China Environmental Science*. 2002, 22(4): 380~384

Abstract: A new emergy index of sustainable development(*EISD*) for evaluating system sustainable development property is suggested to simplify and merge the current emergy evaluation indices system of international emergy analysis theory. Using the new *EISD*, a case study is made to compare three different dike-pond modes in Pearl Delta. The result shows that *EISD* considering both the environmental impact and economic benefit, can evaluate better the system sustainable development property difference and its cause of formation, i.e. the different contribution of different production structure to social economic development under equal environmental impact.

Key words: index; emergy; sustainable development

人们从不同角度对生态系统环境影响评价及系统可持续发展能力的评价做了大量研究^[1-5]. 能值分析理论以能值为量纲, 将自然生态系统与经济系统结合起来, 在生态经济系统评价中得到广泛应用^[6-9]. 作为一种新兴的分析理论, 在实践中也暴露出了其有待完善的地方. 作者在分析归并现行能值评价指标的基础上提出了评价系统可持续发展能力的新的能值指标(*EISD*), 并将其应用于珠江三角洲基塘农业生态工程模式的建设中, 对 3 种基塘农业生态工程模式进行了比较研究.

1 现行主要能值指标间的相关性分析

H.T.Odum^[9]创立的能值指标体系虽因所分析系统的具体差异而不同, 但整体而言其中几个

主要的能值指标是目前各系统能值分析中通用的. 即能值产出率(*EYR*)、能值投资率(*EIR*)、能值交换率(*EER*)、能值扩大率(*EAR*)、能值自给率(*ESR*)、环境负载率(*ELR*)、可更新资源投入率(*RIR*)等. 部分指标间存在着一定的相关关系, 现以图 1 所示字母标识为例, 进行相关性分析.

1.1 能值产出率(*EYR*)、能值投资率(*EIR*)与能值自给率(*ESR*)

据 Odum 的定义^[9], 能值投资率为社会经济反馈投入能值与自然投入能值之比, 即:

$$EIR = (F + R1) / (N + R) \quad (1)$$

收稿日期: 2001-11-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39899370, 30170147, 30070146); 广东省团队项目(003031)

* 通讯联系人

能值产出率为系统总产出能值与社会经济反馈投入能值之比,即:

$$\begin{aligned}
 EYR &= Y/(F+R1) \\
 &= (N+R+F+R1)/(F+R1) \\
 &= 1+(N+R)/(F+R1)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

将式(1)代入可得:

$$EYR=1+1/EIR \tag{3}$$

能值自给率为系统自然环境投入能值与系统能值投入总量的比,即:

$$\begin{aligned}
 ESR &= (N+R)/Y \\
 &= (N+R)/(N+R+F+R1) \\
 &= 1- (F+R1)/(N+R+F+R1)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

将式(2)代入可得:

$$ESR=1-1/EYR \tag{5}$$

由式(4)可知:

$$1/ESR=1+(F+R1)/(N+R) \tag{6}$$

将式(1)代入可得:

$$1/ESR=1+EIR \tag{7}$$

由(3)、(5)、(7)式可知,能值产出率与能值投资率成反比关系;能值自给率与能值产出率成正比关系;能值投资率等于能值自给率的倒数减 1,与能值自给率成反比关系.能值产出率与能值投资率及能值自给率三者间存在着直接的相关关系,对于系统评价有重复作用,应予以归并简化,保留其一即可.鉴于原有能值分析案例中的使用频度和与经典经济学首要评价指标—产出/投入比的相似性,保留能值产出率.

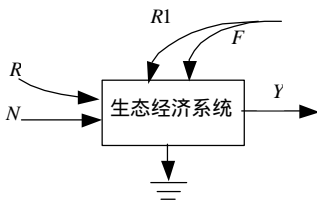


图 1 生态经济系统能值投入产出示意

Fig.1 The energy input and output diagram of ecological economic system

R 为自然环境投入的可更新资源能值;N 为自然环境投入的不可更新资源能值;R1 为人类经济社会反馈投入的可更新资源能值;F 为人类经济社会反馈投入的不可更新资源能值;Y 为产出能值

1.2 环境负载率(ELR)与可更新能源投入率(RIR)

环境负载率为系统不可更新能源投入能值总量与可更新能源投入能值总量之比,即:

$$ELR=(F+N)/(R+R1) \tag{8}$$

可更新能源投入率为系统可更新能源投入能值总量与系统能值投入总量之比,即:

$$RIR=(R+R1)/(N+F+R+R1) \tag{9}$$

公式两边同时求倒数推出:

$$1/RIR=1+(N+F)/(R+R1) \tag{10}$$

将式(8)代入可得:

$$1/RIR=1+ELR \tag{11}$$

由(11)式可知,环境负载率与可更新能源投入率成反比关系,两者在对系统的评价中的作用发生重叠,应予以归并简化,保留其一即可.鉴于对环境承压程度评价的直观性和明确性,保留环境负载率.

2 评价系统可持续发展能力的新的能值指标(EISD)

在归并后的新的能值指标体系中,EYR 用以评价系统的产出效率,ELR 用以评价系统的环境压力.二者分别评价了系统可持续发展能力的两个方面,仍未填补原有能值指标体系中评价系统可持续发展能力的综合性评价指标的空缺.为填补这一空缺,美国生态学家 Brown.M.T 和意大利生态学家 Ulgiati.S^[8]提出了能值可持续指标 ESI,定义为系统能值产出率与环境负载率之比,即 EYR/ELR.笔者认为,ESI 中有两点被忽视:虽然从生态学角度出发,系统排出的废弃物质和能量仍有其价值所在,但由于目前知识和工艺的有限性而不能有效利用,并非所有的系统产出都是有益于人类的正效益产出,有的产出甚至是极其有害的负效益产出,具有负的能值交换率,如污染物、废弃物的产出等,即 EYR 越高并不一定越符合人类利益,越有利于实现可持续发展;即使相同的能值产出,在交易过程中受市场、文化、伦理等的影响亦具有不同的能值交换率,从而对系统发展产生不同的影响.

1992年巴西里约热内卢世界环境发展大会对可持续发展定义为既满足当代人的需求,同时又不损害后代人满足需求的能力;既要保证适度的社会经济增长与结构优化,又要保证资源的永续利用和生态环境的优化,从而达到生态环境与社会经济相协调,实现持续共进、有序发展。社会经济发展要求系统能值产出收益要高,要求系统能值产出给人类带来的利益,即系统能值产出率与其能值交换率(系统产出能值的市场价值量除以系统产出能值的能值货币价值量)的乘积要高;而环境可持续则要求环境负载率低。

相关性分析表明,能值产出率与环境负载率及系统能值交换率间并无相关关系。可将三者合并,得到一个可同时兼顾系统社会经济效益与生态环境压力的系统可持续发展能力的复合评价指标。鉴于系统社会经济效益与发展目标成正比,环境负载率与可持续要求成反比,将系统社会经济效益即系统能值产出率与能值交换率的乘积作为分子,环境负载率作为分母,构造出与系统可持续发展能力成正比的综合性评价指标,并命名为评价系统可持续发展能力的能值指标(*EISD*),*EISD*值越高,意味着单位环境压力下的社会经济效益越高,系统的可持续发展能力越好。其数学表达式为:

$$EISD = EYR \times EER / ELR$$

在系统的优化分析中可引入经济学中成熟的边际效益分析法,用能值扩大率(*EAR*)取代原系统分析中的 *EYR*,进行单位新增能值投入所引起的系统 *EISD* 变化分析:

$$\Delta EISD = EAR \times EER / ELR$$

$\Delta EISD$ 定义为评价系统可持续发展能力的能值指标边际效益,单位新增能值投入所引起的系统 *EISD* 正向变化越大则表明引入其的正效益越显著。

以评价系统可持续发展能力的能值指标为基本评价指标,以能值转换率(*ETR*)、能值扩大率及能值交换率、环境负载率、评价系统可持续发展能力的能值指标边际效益等为内因分析辅助

指标的新能值指标体系在具体的系统评价中可应用于以下两个方面:用于产出相同的不同系统模式间的横向比较研究。*EISD* 越高的系统,在可持续发展的长远尺度上越具竞争优势;对现存或新兴的某种系统模式进行纵向优化评价。在系统原有基础上不断引进新的技术创新组分,可提高能值扩大率;降低系统对不可更新资源的依赖程度,增加可更新资源利用能力;提高系统产出能值的能值交换率,避免无谓的交换性能值损失,提高单位环境压力所换取的社会经济效益,从而实现系统模式的优化。

3 实例分析

珠江三角洲基塘农业生态区是新兴的典型农业生态工程,也是我国农业生态工程目前领先于国际水平的典型代表,对它们进行系统地分析研究具有重要的理论意义和实践意义。

运用以上新推出的能值评价指标 *EISD*,以珠江三角洲新兴的塘鱼生产基地—三水市为研究基地,选取其具代表性的 3 种基塘农业生态工程模式(黑皮冬瓜-黑皮冬瓜-结球甘蓝-6 种家鱼(模式),黑皮冬瓜-黑皮冬瓜-结球甘蓝-猪-四大家鱼(模式),黑皮冬瓜-黑皮冬瓜-结球甘蓝-猪-翘嘴鲈(*Siniperca chuatsi* B.)与 6 种家鱼混养(模式)),进行系统可持续发展能力的能值比较研究。

所选模式的基/塘面积比为 3:7,耕作管理流程为:2000年2月初~6月初种植、收获第一季黑皮冬瓜(*Benincasa hispida* Cong.),种植密度为 7500 棵/hm²;5月下旬进行第二季黑皮冬瓜的 20d 育苗,6月初第一季冬瓜收获后移植、定植,移植密度为 7500 棵/hm²,9月初收获;8月下旬进行结球甘蓝(*Biassica Oleracea* L. Var. *Capitata* L.)育苗,9月初第二季冬瓜收获后移植、定植结球甘蓝,11月底收获;鱼塘水深 1.5m,6种家鱼鱼苗于 1999年12月放入,放养密度为鲢鱼(*Ctenopharyngodon idella*)3000尾/hm²、鳊鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)450尾/hm²、鳙鱼

(*Aristichthys nobilis*)750 尾/hm²、鲮鱼(*Cirrhina militorella*) 45000 尾/hm²、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)300 尾/hm²、鲫鱼(*Carassius auratus*) 1500 尾/hm²,其中鳙鱼在 2000 年 7 月底刮出,同期放入鳙鱼苗 750 尾/hm²,其余鱼种及第二批鳙鱼于 2000 年 12 月初干塘收获.塘基种植冬瓜-冬瓜-甘蓝产出的副产品瓜藤、残菜全部入塘养鱼,塘泥 80%返基,20%留塘.

在模式 的基础上,模式 在塘基引入养猪环节,猪肉可作为商品出售而取得直接效益,同时猪粪尿全部入塘养鱼,节约鱼饲料的同时提高鱼塘产出,又可创造间接效益.从 12.5kg/头的猪仔购入到 100kg/头的成猪出栏,存栏时间为 120d,养殖密度为 50 头/hm²鱼塘.

模式 在模式 的基础上,于 2000 年 7 月在鱼塘内加放入翘嘴鳊,部分地改变了鱼塘的饲料投入结构和成鱼产出结构.翘嘴鳊可作为商品出售,可创造直接效益.同时增加塘泥养分的淤积量,塘泥返基又可作为种植业子系统的有机肥,取得间接效益.翘嘴鳊放养密度为 4500 尾/hm²,12 月初与 6 种家鱼同时干塘收获,3 种模式的能值流程图解见图 2.

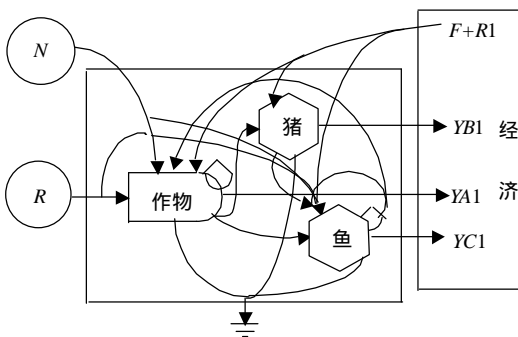


图 2 3 种基塘农业生态工程模式的能值流
Fig.2 The energy flow of the 3 dike-pond modes
YA1 瓜、菜 YB1 猪肉 YC1 鲜鱼

由表 1 各项数据和上述能值指标系统的分析和推导而推算出的相应能值指标值可知(表 2),模式 因为具有高的环境压力,可持续发展能力最低,其 EISD 值仅为 0.53.模式 环境压力虽小,

但能值交换率低,可持续发展能力中等,其 EISD 值为模式 的 5.26 倍.模式 环境压力低,且能值交换率较高,可持续发展性最强,其 EISD 值高达模式 的 6.83 倍.

表 1 3 种基塘模式系统的能值投入产出情况对比
Table 1 The compare of energy input and output among 3 dike-pond modes

项 目	模式	模式	模式
R(sej/a)	8.6×10 ¹⁴	9.8×10 ¹⁴	1.2×10 ¹⁵
R1(sej/a)	3.3×10 ¹⁶	2.8×10 ¹⁷	3.7×10 ¹⁷
N(sej/a)	5.0×10 ¹³	5.6×10 ¹³	7.1×10 ¹³
F(sej/a)	1.2×10 ¹⁷	1.4×10 ¹⁷	1.7×10 ¹⁷
Y(sej/a)	1.5×10 ¹⁷	4.2×10 ¹⁷	5.4×10 ¹⁷
产品出售所得货币量(¥/a)	50947	100016	164470

注: sej(solar emjoules)太阳能焦耳

表 2 3 种基塘模式系统的能值指标比较
Table 2 The compare of energy indices among 3 dike-pond modes

指标项	模式	模式	模式
EYR	1.00	1.00	1.00
ELR	3.51	0.477	0.470
EER	1.85	1.33	1.70
ETR	1.1×10 ⁶	1.5×10 ⁶	1.5×10 ⁶
增养猪ΔEISD(sej·hm ² ·a) ⁻¹	-	1.6×10 ⁻¹⁵	1.6×10 ⁻¹⁵
混养鱼ΔEISD(sej·hm ² ·a) ⁻¹	-	-	1.4×10 ⁻¹⁴
ESI	0.29	2.10	2.13
EISD	0.53	2.79	3.62

模式 、 在模式 的基础上加入养猪环节,所产生的 EISD 边际效益为 1.6×10⁻¹⁵/(sej·hm²·a).模式 在模式 的基础上加入翘嘴鳊所产生的 EISD 边际效益为 1.4×10⁻¹⁴/(sej·hm²·a).与畜牧业子系统相比,翘嘴鳊的引入对于母系统可持续发展能力的正面影响作用更为显著.

模式 仍大面积存在的原因是其能值交换率高、经济效益好;而在相近环境压力下名优鱼种(翘嘴鳊)的引入能大大提高系统对社会经济发展的贡献,提高系统的可持续发展能力.

4 结语

生态经济复合系统不仅具有自然属性,还同

时具有其经济和社会属性.这就要求其可持续能力的评价指标不仅要考虑系统对环境的影响而且要考虑市场价格因素等社会经济效益.*EISD*正是基于这一需要而产生的,它以单位环境压力所换取的社会经济效益为指针,实现对系统可持续发展能力的综合评价.同时在分析中结合*EYR*、*EER*、*ELR*的分析能更明晰的揭示系统发展现状的成因及其存在的问题,为系统的进一步优化指明方向.在系统动态分析中引入 $\Delta EISD$ 能灵敏地反映系统引入新组分或新措施的边际效益,指导进一步的优化决策.*EISD*为首次提出,其具体评价的量化域值的确定尚有待大量实践工作的积累和总结.

参考文献:

- [1] 王寿兵,胡 聃,吴干红,等.生命周期评价及其在环境管理中的应用 [J]. 中国环境科学, 1999,19(1):77-80.
- [2] 崔凤军,杨永慎.产业结构对城市生态环境的影响评价 [J]. 中国环境科学, 1998,18(2):166-169.
- [3] 黄敏纯,高诚辉,林述温,等.绿色制造评价系统与评价方法的研究及应用 [J]. 中国环境科学, 2001, 21(1): 38-41.
- [4] 马小明,过孝民,田大庆,等.城市可持续发展环境经济评价及案例 [J]. 中国环境科学, 1999, 19(2): 127-132.
- [5] Liverman D M, Hanson M E, Brown B, *et al.* Global sustainability: toward measurement [J]. *Environmental Management*, 1988, 12(2): 133-143.
- [6] Huang Shuli, Odum H T. Ecology and economy: emergy synthesis and public policy in Taiwan [J]. *Journal of Environmental Management*, 1991, 32: 313-333.
- [7] Lan Shengfang, Odum HT, Liu Xinmao. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China [J]. *生态科学*, 1998, 17(1): 32-39.
- [8] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation [J]. *Ecological Engineering*, 1997, (9): 51-69.
- [9] Odum H T. *Environmental accounting: emergy and decision making* [M]. New York: John Wiley & sons Inc., 1996. 69-71,83-87, 216-218.

作者简介:陆宏芳(1976-),女,山东威海人,中国科学院华南植物研究所在读博士生,主要研究方向为系统生态与生态经济.发表论文 4 篇.

欧盟国家正分批批准京都议定书

欧洲联盟(EU)及其成员国正努力在 2002 年 6 月批准京都议定书,即在南非约翰内斯堡召开可持续发展世界峰会以前.欧洲委员会(EC)说,即使没有美国参加,该项条约仍可能在 2002 年年底前生效.条约生效要求有 55 个国家批准,而且其排放的温室气体要占 1990 年工业化国家排放量 55% 以上.条约要求工业化国家采取措施使其 2012 年温室气体排放量比 1990 年水平少 5%.

迄今已有 47 个国家批准该条约,丹麦、法国、卢森堡和葡萄牙 4 国排放的温室气体约占欧盟排放量的 1/3.欧盟作为一个整体占全球温室气体排放量的 24.2%,日本占 8.5%,俄罗斯占 17.4%,8 个准备加入欧盟的国家占 7.4%.美国排放量约占 36.1%.

在克林顿任总统期间曾任国务院气候变化协调员的 Daniel Bodansky 说,欧盟批准后对美国工业界的影响视各国制定的达到京都议定书目标的措施而定.美国拒绝参加京都议定书会限制美国公司减排技术在欧洲市场的应用.布什政府曾在 2002 年 2 月宣布一项替代计划,声称在 10 年内减少温室气体“强度”18%，“强度”是指排放量与经济产值之比.许多专家对其持否定态度,EC 甚至说布什的计划会使 2010 年排放量比 1990 年增加 30%~40%.