

# 生态经济系统的一种整合评价方法：能值理论与分析方法

陆宏芳<sup>1</sup>, 沈善瑞<sup>2</sup>, 陈洁<sup>3\*</sup>, 蓝盛芳<sup>4</sup>

1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 淮海工学院海洋与水产学院, 江苏 连云港 222005;  
3. 广东省农业科学院科技情报研究所, 广东 广州 510640; 4. 华南农业大学生命科学学院, 广东 广州 510642

**摘要:** 能值理论与分析方法是目前系统生态学和生态经济学发展的新成果, 为复合生态系统开拓了一条定量研究途径, 是连接生态学和经济学桥梁。其理论研究与实践应用具有重要的科学意义和应用意义。文章论述了能值分析理论与分析方法的产生背景、过程、主要的基本概念、特点, 指出了其需要解决的问题; 并以种植业系统为例, 简要介绍了能值分析的基本方法和步骤以及能值指标的计算。

**关键词:** 能值 能值转换率 能值/货币比率 能值货币价值

**中图分类号:** Q148      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-2175 (2005) 01-0121-06

根据能量系统理论观, 生态系统及其他别的系统, 均可视为能量系统。能量可用于表达和了解生命与环境、人类社会经济与自然的关系<sup>[1]</sup>。然而不同种类不同性质的能量具有不同的质量, 不能直接进行比较和数量加减<sup>[2, 3]</sup>; 自然环境资源与社会经济的本质关系, 用一般能量单位更无从表达和衡量, 能量分析碰到难题, 这就是所谓的“能量壁垒”问题<sup>[4]</sup>, 即不同来源和形式的能量的质量是不相同的, 具有很大的等级差异, 例如 1 焦耳电能、1 焦耳太阳能和 1 焦耳热能是不一样的, 在对系统进行能量分析中不能直接将它们相加减。中外学者提出了不少方法和理论来解决这个难题, 但总是找不到令人满意的答案。解决这个问题需要应用新的理论和方法, 而能值理论与分析方法的出现为这一问题的解决提供了全新的思路<sup>[5, 6]</sup>。在创立至今的短短 20 余年间, 能值理论和分析方法已在从全球地化循环<sup>[7]</sup>到国家<sup>[8]</sup>、区域<sup>[9]</sup>、城市<sup>[10-12]</sup>、企业<sup>[13]</sup>的各种空间尺度, 农业<sup>[14-16]</sup>到林业<sup>[18, 19]</sup>、自然保护区<sup>[20]</sup>、生态工程<sup>[21]</sup>、工业<sup>[22]</sup>的各种生态或生态经济系统的分析与评价研究中得到了广泛的应用和高度的重视<sup>[23, 24]</sup>。

能值理论和分析方法问世时间不长, 因其有助于正确分析人类与自然、环境资源与社会经济的价值和相互关系, 有助于可持续发展战略, 备受国际生态学界、经济学界、系统学界及政府决策者的关注。近 10 多年来, 能值分析理论方法和应用研究活跃, 尤其对国家或地区、自然资源、工农业系统的能值分析, 发表论著逾百篇(部)。在国际上, 美国于 20 世纪 80 年代在美国国家科学基金资助下

率先开展能值研究, 意大利、瑞典、澳大利亚等国于 90 年代迅速开展。我国于 20 世纪 90 年代初由留美学者蓝盛芳引入能值理论<sup>[25, 26]</sup>, 先后得到国家自然科学基金 3 个能值分析项目资源, 开展了国家与地区、农业、自然保护区和城市方面的能值分析和理论方法研究。目前在广州、南京、上海、北京等地大学和科研单位均有科学工作者进行有关方面研究, 在国内外发表了不少论文(著), 蓝盛芳等于 2002 年出版了我国第一部能值论著<sup>[27]</sup>。

本文对能值理论与分析方法的产生背景、过程、主要的基本概念和特点作简要的介绍, 并以种植业系统为例, 简要介绍能值分析的基本方法和步骤以及能值指标的计算。

## 1 能值理论与分析方法的产生

美国著名系统生态学家 H. T. Odum 从 20 世纪 70 年代起, 对生态系统的能量学有系统而深入的研究, 提出了一系列新概念和开拓性的重要理论观点。其中包括 70 - 80 年代初提出的能量系统 (energy system)、能质 (energy quality)、能质链、包被能 (embodied energy, 或译体现能)、能量转换率及信息量等观点<sup>[28]</sup>。这是第一次将能流、信息流与经济流的内在关系联系在一起, 能流的特质基础是物质, 这样, 生态系统中的这几个功能过程不再是孤立的了。80 年代后期和 90 年代创立了“能值”(Emergy) 概念理论, 以及太阳能值转换率 (Solar Transformity) 等一系列概念<sup>[2, 7]</sup>。从能量、“包被能”发展到“能值”, 从能量分析研究发展到能值分析研究, 在理论和方法上都是一个重大飞

基金项目: 国家自然科学基金项目(30170147); 广东省自然科学基金项目(04002319); 中国科学院华南植物研究所所长基金项目

作者简介: 陆宏芳 (1976 - ), 女, 副研究员, 博士, 主要从事环境生态与生态经济研究。E-mail: luhf@scib.ac.cn

\* 通讯作者

收稿日期: 2004-10-14

跃。这些理论观点和方法的发展过程,反映在 H. T. Odum 不同时期的论著中,尤其在《人与自然的能量基础》<sup>[1]</sup>、《系统生态学》<sup>[29]</sup>、能值专著<sup>[7]</sup>等著作。

H.T.Odum 经过长期研究,综合系统生态、能量生态和生态经济原理,于 80 年代后期发展出新的科学概念和度量标准——能值,创立了能值理论和分析方法。1987 年 H. T. Odum 接受瑞典皇家科学院克莱福奖 (Crafoord prize) 发表的演讲论著和在 Science 刊物的论文中,首次阐述了能值概念理论,论述了能值与能质、能量等级、信息、资源财富等的关系<sup>[2, 30]</sup>。经进一步研究和总结国际能值分析研究的成果,于 1996 年出版了世界第一部能值专著<sup>[7]</sup>。

## 2 能值理论与分析方法的基本概念

### 2.1 能值

能值 (Emergy) 与能量 (energy) 不同。能值是指流动或贮存的能量中所包含的另一类别能量的数量。因各种资源、产品或劳务的能量均直接或间接的起源于太阳能,故多以太阳能值 (Solar Emery) 来衡量某一能量的能值大小,其单位为太阳能焦耳 (Solar emjoules, 即 sej)。任何流动或贮存状态的能量所包含的太阳能的量,即为该能量的太阳能值<sup>[7]</sup>。换言之,某种资源、产品或劳务的能值,就是其形成过程直接或间接应用的太阳能焦耳总量。

能值理论和分析方法使得原本难以统一度量的各种生态系统或生态经济系统的能流、物流和其它生态流能够进行比较和分析,不论是可更新资源、不可更新资源,还是商品、劳务,甚至信息和教育,都可以用能值来评价其价值<sup>[7]</sup>。例如,1 g 雨水的太阳能值为  $7.5 \times 10^4$  sej; 1 g 氮肥的太阳能值为  $3.8 \times 10^6$  sej; 而 1 g 铁矿石的太阳能值为  $8.6 \times 10^8$  sej; 1 个高中生 1 年所受教育能值为  $24.6 \times 10^6$  sej; 1 个研究生 1 年所受的教育能值为  $343.0 \times 10^6$  sej<sup>[7]</sup>。

这样,能值分析以能值为基准,把不同种类、不同能质、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和进行比较研究。自然资源、商品、劳务等都可用能值来衡量其真实价值。能值分析以太阳能焦耳为基准,可对系统的各种生态流和经济流进行能值分析、整合和定量评价,并建立一系列反映系统动态、效率和生态经济特征的能值综合指标体系。

### 2.2 能值转换率

能值转换率 (Emergy Transformity) 即形成每单位物质或能量所含有的另一种能量之量;而能值分析中常用太阳能值转换率,即形成每单位物质或

能量所含有的太阳能之量,单位为 sej/J 或 sej/g。用公式可以表达为:

$$\text{A 种能量(或物质)的太阳能值转换率} = \frac{\text{应用的太阳能焦耳}}{1 \text{ 焦耳(或 1 克)A 种能量(或物质)}}$$

能值转换率是一个重要的概念,它是衡量能量的能质等级的指标。生态系统或生态经济系统的能流,从量多而质低的等级(如太阳能)向量少而质高的等级(如电能)流动和转化,能值转换率随着能量等级的提高而增加。大量低能质的能量,如太阳能、风能、雨能,经传递、转化而成为少量高能质、高等级的能量。系统中较高等级者具有较大的能值转换率,需要较大量低能质能量来维持,具有较高能质和较大控制力,在系统中扮演中心功能作用。复杂的生命、人类劳动、高科技等均属高能质、高转换率的能量。某种能量的能值转换率愈高,表明该种能量的能质和能级愈高;能值转换率是衡量能质和能级的尺度<sup>[2]</sup>。

通过太阳能值转换率可以计算得出某种物质、能量或劳务的太阳能值。H. T. Odum 和合作者从地球系统和生态经济角度换算出自然界和人类社会主要能量类型的太阳能值转换率,可用于大系统如国家、区域、城市系统的能值分析。根据各种资源(物质、能量)相应的太阳能值转换率,可将不同类别能量(J)或物质(g)转换为统一度量的能值单位(sej)。

### 2.3 能值/货币比率

对于经济子系统各生态流及自然子系统与经济子系统界面不宜用能值转换率进行转换度量的生态流,能值分析方法采用能值/货币比率 (Emergy/\$Ratio) 推算出其能值后进行统一分析。能值/货币比率为当年该国家(或地区)全年总应用能值与该国(或地区)国民生产总值(GNP)之比。能值/货币比率反映了总应用能值与国民生产总值的比例关系,其比值大小,反映了货币购买力的高低<sup>[7]</sup>。能值/货币比率高,代表单位货币所换取的能值财富多,显示生产过程中使用的自然资源所占的比重大;反之,能值/货币比率小的国家(或地区),其自然资源对经济成长的贡献较小,科技发达,说明该地区的开发程度较大。能值/货币比率可视为衡量货币真正流通购买力和劳动力实际能力的标准。已知货币量,可以用能值/货币比率换算出其相当的能值;反之,已知能值量亦可通过能值/货币比率反算其所相当的能值货币价值,从而解决了在分析评价和应用中自然环境与经济社会的对接难题<sup>[7]</sup>。

## 2.4 能值货币价值

能值货币价值 (Emergy Dollars, 缩写为 Em\$) 是指将生态系统或生态经济系统物质和能量的能值折算成货币, 相当于多少币值, 也称为宏观经济价值, 其折算方法是能值除以当年能值/货币比率。为了增强不同国家或地区之间的可比性, 一般以美元为单位。能值货币价值反映某一产品的实际价值, 包括凝结在产品中的人类劳动和环境资源的价值, 而市场价格只能反映产品的稀缺性。

人口流与能值的关系可用系统的人均能值占有量 (sej/人) 表示。这样能值可把各种形式的能物流、经济流转换为同一标准的能值加以比较研究、综合分析, 得出一系列反映生态、社会、经济特征和发展状况的能值综合评价指标, 定量分析评价系统的结构功能动态变化。为进一步了解各能物流在整个系统中的相对贡献, 可将它们的能值再换算成相当的经济价值。

人类与自然界创造的所有财富都具有价值, 其中均包含着能值。所以, 能值是财富实质性的反映和客观价值的表达; 能值理论是从系统生态学观点提出的能量价值论。应用能值可衡量、分析自然和人类社会经济系统以及它们的本质关系, 它是连接生态学和经济学桥梁, 具有重要的科学意义和应用意义。能值分析理论和方法为复合生态系统开拓了一条定量研究途径, 在国际学术界反响强烈。

## 3 能值分析的基本方法与步骤

能值分析的具体方法与步骤因研究对象和研究者而有所不同, 但其基本方法与步骤分为以下 5 步, 以常用的种植业系统能值分析为例。

(1) 确定研究系统的边界和内容, 绘制系统能量和能值图: 确定种植业系统的主要内容, 并绘制其系统能量和能值图, 以了解系统内外的能物流状况。

(2) 收集所需的各种资料和数据, 整理分类, 输入计算机贮存处理: 收集当地的各种气象数据、投入种植业系统物质和能量数据等。

生态经济系统的能值投入按其来源可以分为两类: 一类直接来源于自然界, 包括可更新环境资源 (太阳能、风能、雨水化学能、雨水势能等) 和不可更新环境资源 (土壤表土层损失等), 这类能值是从自然界无偿得到, 不用人类付出货币购买, 称为无偿能值或免费能值; 另一类能值来源于人类社会经济系统, 包括人工工业辅助能 (化肥、燃油、农药、农膜、农机具等) 和人工可更新有机能 (劳力、种子、饲料等), 这类能值需要货币购买, 因而称为购买能值或经济能值。在可更新环境资源投

入中, 为避免重复计算, 同一性质的能量投入只取其最大值, 如: 地球上的最终能量来源为太阳能, 太阳能、风能、雨水化学能、雨水势能实际上都是太阳能的转化形式, 应只取其中最大的一项<sup>[7,16,28]</sup>。

(3) 编制能值分析表, 计算系统的主要能量流、物质流、经济流。能值分析表一般包括序号、项目、原始数据、太阳能值转换率、太阳能值、能值货币价值等 6 项, 其中“太阳能值”项等于“原始数据”项乘以“太阳能值转换率”项、“能值货币价值”项等于“太阳能值”项除以当年的国家“能值/货币比率”<sup>[27]</sup>。种植业系统能值分析表见表 1。

(4) 能值指标体系建立及分析。能值分析能建立丰富多采的能值指标, 主要有各种类型能值的数量、各种能值结构比例指标、能值投入率、能值自给率、净能值产出率、环境承载力、能值可持续发展指标等。根据表 1 计算的种植业系统的主要能值指标如表 2 所示。

(5) 系统的发展评价和策略分析, 并对系统的优化提出建议。结合能值指标的具体涵义可以对系统的发展做出评价; 通过能值指标的纵向和横向比较分析, 能够对系统的演变趋势做出适当的判断, 辨识系统发展的优缺点, 对系统的可持续发展提出具体的策略<sup>[7,32]</sup>。

## 4 结束语

H. T. Odum 为生态系统、生态经济系统的能值分析建立了基本理论方法框架, 但将其引入到各种生态系统分析中, 发展不同类型生态系统的能值分析方法, 还需要做很多深入研究工作, 如迄今还缺乏复杂的城市生态系统能值定量分析方法与实践的研究, 用能值指标来统一度量城市复合生态系统的能流、物流、人口流以及货币流, 从复合生态系统观点探讨它们之间内在关系, 提示城市发展规律的研究<sup>[33]</sup>。

能值分析的重点和难点就是对系统的能物流、货币流、信息流进行能值综合分析, 建立可比较的能值指标体系。为此, 要用能值转换率计算各种能物流、经济流乃至信息流的能值, 首先要解决的是能值转换率的问题。H. T. Odum 所计算的太阳能值转换率能满足较大范围区域、系统的能值分析的需要, 但对较小区域、系统甚至个体的能值分析的适用性则值得商榷, 人类经济产品的能值转换率因生产水平和效益的差异而出现差别。在具体的能值分析实践中还需要计算适合具体研究对象的太阳能值转换率。对能值指标的具体涵义则需要和生产、经济结合起来, 联系具体的实践工作进行修正、完善和充实<sup>[34]</sup>。

表1 种植业系统能值分析(以某市为例)

Table 1 Emergy analysis table on planting system (take the planting system of a city as example)

序号	项目	原始数据 /(g 或 J)	太阳能值转换率 /(sej·g <sup>-1</sup> 或 sej·J <sup>-1</sup> )	太阳能值 /sej	能值货币价值 /Em\$
可更新资源投入					
1	太阳能	8.671 × 10 <sup>18</sup> J	1.00E+00	8.671 × 10 <sup>18</sup>	1.551 × 10 <sup>6</sup>
2	雨水化学能	8.289 × 10 <sup>13</sup> J	8.89E+03	7.369 × 10 <sup>17</sup>	1.318 × 10 <sup>5</sup>
3	雨水势能	1.671 × 10 <sup>15</sup> J	1.54E+04	2.581 × 10 <sup>19</sup>	4.618 × 10 <sup>5</sup>
4	风能	1.627 × 10 <sup>15</sup> J	6.63E+02	1.079 × 10 <sup>18</sup>	1.930 × 10 <sup>5</sup>
	小计(取最大项)			2.581 × 10 <sup>19</sup>	4.618 × 10 <sup>5</sup>
不可更新资源投入					
5	表土层净损失	2.713 × 10 <sup>13</sup> J	6.25E+04	1.695 × 10 <sup>18</sup>	3.033 × 10 <sup>5</sup>
	小计			1.695 × 10 <sup>18</sup>	3.033 × 10 <sup>5</sup>
工业辅助能投入					
6	复合肥	2.523 × 10 <sup>10</sup> g	2.80 × 10 <sup>9</sup>	7.064 × 10 <sup>19</sup>	1.264 × 10 <sup>7</sup>
7	磷肥	6.56 × 10 <sup>9</sup> g	3.90 × 10 <sup>9</sup>	2.558 × 10 <sup>19</sup>	4.577 × 10 <sup>6</sup>
8	钾肥	1.623 × 10 <sup>9</sup> g	1.10 × 10 <sup>9</sup>	1.785 × 10 <sup>18</sup>	3.194 × 10 <sup>5</sup>
9	氮肥	8.325 × 10 <sup>9</sup> g	3.80 × 10 <sup>9</sup>	3.164 × 10 <sup>19</sup>	5.659 × 10 <sup>6</sup>
10	农药	5.748 × 10 <sup>8</sup> g	1.60 × 10 <sup>9</sup>	9.197 × 10 <sup>17</sup>	1.645 × 10 <sup>5</sup>
11	柴油	2.698 × 10 <sup>9</sup> g	2.87 × 10 <sup>9</sup>	7.743 × 10 <sup>18</sup>	1.385 × 10 <sup>6</sup>
12	汽油	2.371 × 10 <sup>7</sup> g	3.04 × 10 <sup>9</sup>	7.208 × 10 <sup>16</sup>	1.289 × 10 <sup>4</sup>
13	机油	2.345 × 10 <sup>6</sup> g	2.71 × 10 <sup>9</sup>	6.355 × 10 <sup>15</sup>	1.137 × 10 <sup>3</sup>
14	农机具	2.824 × 10 <sup>9</sup> g	6.70 × 10 <sup>9</sup>	1.892 × 10 <sup>19</sup>	3.385 × 10 <sup>6</sup>
15	石灰	4.125 × 10 <sup>9</sup> g	2.98 × 10 <sup>8</sup>	1.229 × 10 <sup>18</sup>	2.199 × 10 <sup>5</sup>
16	农膜	3.928 × 10 <sup>8</sup> g	3.80 × 10 <sup>8</sup>	1.493 × 10 <sup>17</sup>	2.670 × 10 <sup>4</sup>
	小计(取6~16项)			1.587 × 10 <sup>20</sup>	2.838 × 10 <sup>7</sup>
可更新有机能投入					
17	有机肥	1.256 × 10 <sup>13</sup> g	2.70 × 10 <sup>6</sup>	3.391 × 10 <sup>19</sup>	6.067 × 10 <sup>6</sup>
18	劳力	3.978 × 10 <sup>14</sup> J	3.80 × 10 <sup>5</sup>	1.512 × 10 <sup>20</sup>	2.704 × 10 <sup>7</sup>
19	畜力	7.936 × 10 <sup>12</sup> g	1.46 × 10 <sup>5</sup>	1.159 × 10 <sup>18</sup>	2.073 × 10 <sup>5</sup>
20	种子	7.081 × 10 <sup>9</sup> J	4.47 × 10 <sup>8</sup>	3.165 × 10 <sup>18</sup>	5.743 × 10 <sup>5</sup>
	小计(取17~20项)			1.894 × 10 <sup>20</sup>	3.389 × 10 <sup>7</sup>

表2 种植业系统主要能值指标

Table 2 Emergy indices for planting system

能值指标	表达式	数值	能值指标	表达式	数值
可更新资源能值	$R$	2.581 × 10 <sup>19</sup>	可更新有机能值 / 总能值	$T/U$	50.42%
不可更新资源能值	$N$	1.695 × 10 <sup>18</sup>	工业辅助能值/购买能值	$F/(F+T)$	45.59%
工业辅助能值	$F$	1.587 × 10 <sup>20</sup>	有机能值 / 购买能值	$T/(F+T)$	54.41%
可更新有机能值	$T$	1.894 × 10 <sup>20</sup>	净能值产出率	$R_{EY}=U/(F+T)$	1.08
环境资源能值总投入	$R+N$	2.751 × 10 <sup>19</sup>	能值投入率	$(F+T)/(R+N)$	12.65
购买能值总投入	$F+T$	3.481 × 10 <sup>20</sup>	能值自给率	$(R+N)/U$	7.32%
总能值投入	$U=R+N+F+T$	3.756 × 10 <sup>20</sup>	环境承载力	$R_{EL}=(N+R+T)/R$	13.55
购买能值/总能值	$(F+T)/U$	92.68%	能值劳动生产率	$U/Labor\ Time$	7.08 × 10 <sup>12</sup>
不可更新资源能值/总能值	$N/U$	0.45%	能值密度	$U/Area$	1.88 × 10 <sup>12</sup>
工业辅助能值/总能值	$F/U$	42.25%	可持续发展能值指标 <sup>[31]</sup>	$I_{ES}=R_{EY}/R_{EL}$	7.97 × 10 <sup>-2</sup>

能值理论与分析方法在国际生态学界和经济学界引起强烈反响,被认为是连接生态学和经济学桥梁,具有重大的科学意义。在理论上,能值分析为生态系统和复合生态系统的各种生态流进行综合分析开辟了定量分析研究新方法,提供了一个衡量和比较各种能量的共同尺度,找到了生态系统和各种生态流进行综合分析的统一标准,发展和丰

富了生态学和经济学的定量研究方法。在实际意义上,应用能值可衡量分析整个自然界和人类社会经济系统,定量分析资源环境与经济活动的真实价值以及它们之间的关系,有助于调整生态环境与经济发展,对自然资源的科学评价与合理利用、经济发展方针的制定,实施可持续发展战略,均具有重要意义。

## 参考文献：

- [1] ODUM H T, ODUM E C. Energy basis of man and nature [M]. New York: McGraw-Hill, 1981.
- [2] ODUM H T. Self-organization, transformity and information[J]. Science, 1983, 113(2): 1132-1139.
- [3] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 129-131.  
LAN S F, QIN P. Emergy analysis of ecosystems [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 129-131.
- [4] 陆宏芳, 蓝盛芳, 陈飞鹏, 彭少麟. 农业生态系统能量分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 159-162.  
LU H F, LAN S F, CHEN F P, PENG S L. New progress on agro-ecosystems' energy analysis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 159-162.
- [5] 张耀辉, 蓝盛芳. 自然资源评价的多角度透视[J]. 农业现代化研究, 1997, 18(6): 349-351.  
ZHANG Y H, LAN S F. Issues analysis about the valuation of natural resource [J]. Research of Agricultural Modernization, 1997, 18(6): 349-351.
- [6] 隋春花, 蓝盛芳. 环境价值的多角度评价[J]. 农业环境与发展, 1999, 16(2): 7-9.  
SUI C H, LAN S F. Reviews on evaluation of the environmental value [J]. Agro-environment & Development, 1999, 16(2): 7-9.
- [7] ODUM H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996, 20-50.
- [8] LAN S F, ODUM H T. Emergy Synthesis of the Environmental Resources Basis and Economy in China[J]. Ecol Sci, 1994, 14(1): 63-74.
- [9] ODUM H T, ODUM E C. Ecology and Economy: "Emergy" Analysis and Public Policy in Texas[M]. The Office of Natural Resources and Texas Department of Agriculture, 1987, 163-171.
- [10] SUI C H, LAN S F. Principle and measure of urban ecosystem EMA [J]. Chong Qing Environmental Sciences, 1999, 21(2): 13-15.
- [11] LU H F, YE Z, ZHAO X F, PENG S L. A new emergy index for urban sustainable development [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(7): 1363-1368.
- [12] HUANG S L, LAI H Y, LEE C L. Energy hierarchy and urban landscape system [J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 53: 145-161.
- [13] BASTIANONI S, MARCHETTINI N. The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis[J]. Ecological Modelling, 2000, 129: 187-193.
- [14] 刘新茂, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 广东省种植业系统能值分析[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(1): 111-115.  
LIU X M, LAN S F, CHEN F P. Emergy analysis of Guangdong planting system [J]. Journal of South China Agricultural University, 1999, 20(1): 111-115.
- [15] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李谋召, 等. 农业生态系统能值分析方法研究[J]. 2000, 21(4): 74-78.  
LU H F, LAN S F, LI M Z, SUI C H. Study of agroecosystem emergy synthesis method [J]. Journal of Shao Guan University, 2000, 21(4): 74-78.
- [16] LU H F, LAN S F, CHEN F P, *et al.* Emergy study on dike-pond eco-agricultural engineering modes [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(5): 145-150.
- [17] ODUM H T, DOHERTY S J, SCATENA F N, KHARECHA P A. Emergy evaluation of reforestation alternatives in Puerto Rico. Forest Science, 2000, 46(4): 521-530.
- [18] TILLEY D R, SWANK W T. Emergy -based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA [J]. Journal of Environmental Management, 2003, 69: 213-227.
- [19] WAN S W, QIN P, ZHU H G, *et al.*, Evaluation of two artificial wetlands in Yancheng Natural Reserve, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 759-761.
- [20] 万树文, 钦佩, 朱洪光等. 盐城自然保护区两种人工湿地模式评价 [J]. 生态学报, 2000, 20(5): 759-765.  
WAN S W, QIN P, ZHU H G, *et al.* Evaluation of two artificial wetlands in Yancheng Natural Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 759-765.
- [21] ULGIATI S, BROWN M T. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production [J]. Journal of Cleaner Production, 10(4): 335-348.
- [22] BROWN M T, BRANTI-WILLIAMS S, TILLEY D R, *et al.* Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology [M]. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville, 2000.
- [23] BROWN M T, ODEM H T, TILLEY D R, *et al.* Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology [M]. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville, 2003.
- [24] 蓝盛芳. 生态经济系统能值分析[A]. 见：当代生态学博论[C]. 北京：中国科技出版社, 1992, 266-286.  
LAN S F. Emergy analysis of ecological-economic systems [A]. In: Advances in Model Ecology[C]. Beijing: China Science & Technology Press, 1992, 266-286.
- [25] ODUM H T. 能量、环境与经济 [M]. 蓝盛芳译. 北京：东方出版社, 1992.  
ODUM H T. Energy, Environment and Economy [M]. Translated by LAN S F. Beijing: East Press, 1992.
- [26] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京：化学工业出版社, 2002.  
LAN S F, QIN P, LU H F. Emergy Synthesis of Ecological Economic Systems [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2002.
- [27] BROWN M T, HERENDEEN R A. Embodied energy analysis and emergy analysis: a comparative view[J]. Ecological Economics, 1996, 19: 219-235.
- [28] ODUM H T. Ecological and General System [M]. Colorado: University of Colorado Press, 1994.
- [29] ODUM H T. Living with complexity [A]. In: Crafoord Prize in the Biosciences, Crafoord Lectures [C]. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1987: 19-85.
- [30] 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.
- [31] ULGIATI S, BROWN M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystem[J]. Ecological Modelling, 1998, 108: 23-36.
- [32] 黄书礼. 都市生态经济与能量[M]. 台北：詹氏书局, 2004.  
HUANG S L. Emergy Basis for Urban Ecological Economic System

- [M]. Taipei: Chanshi Press, 2004.
- [34] 沈善瑞, 陆宏芳, 赵新锋, 蓝盛芳. 能值研究的几个前沿命题[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 268-272.
- SEN S R, LU H F, ZHAO X F, LAN S F. Some frontiers of emergy study[J]. Journal of Tropical Subtropical Botany, 2004, 12(3): 268-272.

## A synthesis evaluation method of economical-ecosystem : Emergy theory and analysis method

LU Hong-fang<sup>1</sup>, SHEN Shan-rui<sup>2</sup>, CHEN Jie<sup>3</sup>, LAN Sheng-fang<sup>4</sup>

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;
2. School of Marine Technology and Aquiculture Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;
3. Guangdong Agricultural Information Institute, Guangzhou 510640, China;
4. College of Life Science of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** Emergy theory and synthesis method is a new fruit of system ecology and ecological economics. It develops a quantitative way to study complex ecosystems, and a bridge that connects ecology and economics. It is significant to study it for both science and practice. This article discusses its background and developing process, main basic concepts, characteristics; and also points out the problems that need to be solved. The basic methods and steps of Emergy analysis and the calculating of Emergy indices are explained in detail, taking a plant-system as an example.

**Key words:** Emergy; Emergy Transformity; Emergy/\$ ratio; Emergy dollar