

鄱阳湖湿地生态能值分析研究

崔丽娟¹, 赵欣胜²

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100872; 2. 北京师范大学 环境学院, 北京 100875)

摘要:应用奥德姆 (H. T. Odum) 创立的生态经济系统能值分析理论, 定量分析鄱阳湖湿地生态系统内的物流和能流。研究认为分析湿地生态效益主要有 4 个步骤, 即: (1) 建立概念性的能值分析系统, 全面反映能值分析方法; (2) 能值指标系统分析表制作与能值计算; (3) 能值指标估算; (4) 依能值指标系统分析表和能值图解阐述湿地生态效益。通过整理实地考察所获数据和历史资料, 运用所提的方法进行分析研究, 其湿地生态系统能值图解和能值指标分析表的分析结果表明: 鄱阳湖湿地的投入量太阳能值为 3.36×10^{19} sej, 产出量太阳能值为 3.07×10^{20} sej, 初级生产力为 5.04×10^{19} sej, 不可再生能源或资源为 6.35×10^{19} sej, 资本投入/产出中的生态服务、生态旅游和科研工作太阳能值分别有 8.79×10^{19} sej, 4.80×10^{19} sej, 1.05×10^{19} sej, 总计 1.46×10^{20} sej, 进而得出鄱阳湖湿地生态系统整体投入/产出的效益良好。湿地水禽的太阳能值为 1.61×10^{20} sej, 说明鄱阳湖湿地在保护水禽方面的地位不可替代, 在长江流域内有着非常重要的生态功能。

关键词: 鄱阳湖; 湿地; 能值分析

Researches on the emergy analysis of Poyanghu wetland

CUI Li-Juan¹, ZHAO Xin-Sheng² (1. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100872, China; 2. Institute of Environment Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1480~1485.

Abstract: The Emergy and material flux of Poyanghu wetland ecosystem were analyzed in this paper by Emergy analysis theory of ecological economy system which was created by H. T. Odum. The article concludes that four steps should be included in the emergy analysis process of wetland ecological benefits: (1) emergy analysis conceptual system should be built up, which can reflect the emergy analysis method; (2) emergy analysis table being drafted out and the emergy value being calculated; (3) emergy indices being estimated; (4) wetland ecological benefits should be expatiated according to analytical tables of emergy indices system and emergy schemes. By collecting field investigating data and historical information, using the method provided by the article, analyzing the Emergy schemes and tables of wetland ecosystem, we got that the solar Emergy input is 3.36×10^{19} sej, solar Emergy output is 3.07×10^{20} sej, the elementary productivity is 5.04×10^{19} sej, irreproducible Emergy and resource is 6.35×10^{19} sej, the solar Emergy of ecological service, ecological tourism and research work in the input/output system respectively are 8.79×10^{19} sej, 4.80×10^{19} sej, 1.05×10^{19} sej, and summed up to 1.46×10^{20} sej. So, the benefit in the integrated input/output system of Poyanghu wetland ecosystem is well. The solar Emergy of wetland waterfowls is 1.61×10^{20} sej, which indicates the irreplaceable status of Boyanghu wetland in waterfowl protection and the important ecological function in Changjiang basin.

Key words: Poyanghu; wetland; emergy analysis

文章编号: 1000-0933(2004)07-1480-06 中图分类号: F301.24 文献标识码: A

能值分析是美国著名生态学家奥德姆 (H. T. Odum) 于 20 世纪 80 年代创立的, 以能量为核心的系统分析方法。能值分析以能值作为基准, 把不同种类、不可比较的能量转换成统一标准来进行比较。能值分析常用太阳能值 (solar emergy) 来衡量某一能量的能值大小, 应用能值这一新的科学概念和度量标准及其转换单位-能值转换率 (transformity), 可以将生态经济系统内

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270275)

收稿日期: 2004-01-01; 修订日期: 2004-05-02

作者简介: 崔丽娟 (1968~), 女, 吉林人, 博士, 副研究员, 长期从事湿地生态与服务功能评价研究。E-mail: lkybsh2003@yahoo.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30270275)

Received date: 2004-01-01; Accepted date: 2004-05-02

Biography: CUI Li-Juan, Ph. D, Associate professor, mainly engaged in wetland ecology, wetland assessment. E-mail: lkybsh2003@yahoo.com

流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值,进行定量分析研究^[1~4]。

任何流动的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)。湿地生态系统是由多个节点联结而成的网状或链状系统,物质循环、能量和信息流动是两类系统的基本特征。就能量流动而言,处于不同层次上的节点的能量质量(能质)是不同的。通常,低层次上节点的能质较低,高层次上节点的能质较高。能量沿着食物链营养级逐级转化,每转化一次,能质提高一次。一般而言,处于自然生态系统较高层次上的产品或生产过程具有较大的能值转换率。人类的劳动、高科技产品和复杂的生化物质等均属高能质,具有高能值转换率^[5]。

湿地为人类的生产、生活提供了各类服务,在调节水循环、维持生物多样性、净化污染物等方面发挥着重要生态作用。湿地供给着人类赖以生存的淡水资源,并在蓄水、补充地下水和维持区域水平衡中发挥着巨大作用。

为探讨能值分析理论在湿地研究中的应用,本研究提出了以能值理论为基础的湿地效益评估方案和方法,并结合鄱阳湖的实际情况进行科学分析。本文采用 H. T. Odum 的能值评估原理和方法,评价鄱阳湖自然保护区及其境内周边地区的生态和经济价值,主要目的是最小限度地减少湿地效益的损失、最大限度地提高鄱阳湖湿地能值并提高研究地区的生态环境功能。该研究也将成为在中国湿地自然保护区科研、规划和管理中应用能值原理和方法的范例。

1 研究区概况

鄱阳湖是中国第一大淡水湖,位于江西省的北部,长江中下游南岸(东经 115°50'~116°44',北纬 28°25'~29°45')。通常水位(14~15m)时,湖区面积约 3 000km²。在最高水位(约 21.69m)时,湖区面积可达 3 915 km²。鄱阳湖北北长 173km,东西平均宽度 169km,最宽处约 174km,入江水道最窄处的屏峰卡口,宽约为 28km,湖岸线总长 1 200km。

鄱阳湖水系流域面积 1,622 万 km²,约占长江流域面积的 9%。鄱阳湖是江西省境内五大主要河流(赣江、抚河、信江、饶河和修水)的汇集地,承纳赣江、抚河、信江、饶河、修河五大江河(以下简称五河)及博阳河、漳河、潼河之来水,经调蓄后由湖口注入长江,是一个过水性、吞吐型、季节性的湖泊。鄱阳湖地属亚热带潮湿的季风气候。年降雨量在 1400~1900mm 之间。年平均气温为 17℃。最低气温在 1 月份,平均气温为 4.7℃。平均每年无霜期约为 280d。根据 1997 年缔结的《湿地公约》中所给的湿地定义,鄱阳湖湿地包括鄱阳湖水域、洲滩、岛屿和沿湖围垦的农田。1983 年在鄱阳湖的南部,设立以永修县吴城镇为中心,包括大湖池、中湖池等大小湖泊及其周围的湖滩草洲组成的候鸟保护区,面积为 22 400hm²。据调查,全区有鸟类 258 种,其中属国家一级保护动物的有 9 种,属国家二级保护动物的有 32 种,是目前世界上最大的白鹤越冬地,全球约 95% 的白鹤在此越冬,也是迄今发现的世界上最大的越冬鸿雁群体所在地。生物资源丰富,鱼类有 122 种、软体动物 56 种、植物 200 多种。

2 鄱阳湖能值分析

能值分析方法以能量为衡量单位,建立另一价值体系,探讨人类经济系统与自然环境体系间之能量流动关系,评价环境资源对经济活动之贡献,并非作为取代市场货币方法。能值分析利用热力学定律(laws of thermodynamics)与最大功率原则(maximum power principle)为理论基础,探讨生物与非生物之间,以及人与自然界之间的关系,描述湿地生态系统组成成分之间复杂交互作用关系,以构建生态系统模型,并指出生态系统中能量流动于不同层次(hierarchy),不同来源的能量具有不同的能量品质,以能量来衡量系统中各组成成分贡献率,但不可单以其所含的能量来比较,应该转换同一单位(sej)^[1~5]。

2.1 能值分析步骤

在分析鄱阳湖湿地生态能值过程中,采用如下步骤开展分析工作:

(1)建立概念性的能值分析系统,全面反映能值分析方法 首先搜集研究地区的基本资料,要做到客观全面地收集要分析的生态系统的能物流、知识信息流及货币流资料,然后将研究地区的各项资源加以分类,利用能量图例,建立概念性的生态经济系统能值分析图。

(2)能值分析表制作与能值计算 初步了解研究地区的生态系统架构后,分析所得资料,确定所研究生态系统边界,列出系统主要组分及其间的相互关系,并对能流量超过系统总能流量 5% 的各能值流进行区分化类。运用能量符号及生态系统图解方法绘制系统能值图解,同时编制能值分析表,然后进行能值系统图的量化、简化,进一步了解各能量流动在整体系统中的相对贡献。

(3)能值指标估算 根据研究对象和目的,建立能值分析指标体系,对所研究的内容进行定量分析评价,同时画能值图解示意,进而为湿地生态系统能值分析提供帮助。

(4)依能值指标系统分析表和能值图解阐述鄱阳湖湿地生态效益。

2.2 鄱阳湖能值指数

为更好的理解能值理论在分析湿地生态系统中的作用,本文提出相关指数体系,而且鄱阳湖能值指数体系是建立在输入、输出及反馈能值计算基础之上的。本文涉及到的基本概念和湿地效益评判指数见表 1。

2.3 能值分析指数计算方法

表 1 能值分析的主要指数^[1~4]

Table 1 The main indices for emergy analysis

名称 Name	含义 Implication	备注 Remark
太阳能值 Solar Emergy	产品形成所需直接和间接消耗的一种能的总量 The total amount of a kind of energy needed directly or indirectly to form products	常使用太阳能值概念(sej) Usually using the concept of solar emergy (sej)
能值转换率 Emergy transform efficiency	产生单位能量或物质所需要的另一种能量或物质的总量 The total amount of another kind of energy or material to produce unit energy or material	常用太阳能值转换率以 sej/J 或 sej/g 表示 Usually denoted by solar emergy transforming ratio (sej/J or sej/g)
能值功率 Emergy power	单位时间内的能值流 The emergy value in unit time	常用太阳能值功率以 sej/T 表示 Usually denoted by solar emergy power (sej/T)
能值-货币比率 Emergy-currency ratio	单位货币相当的投入能值量 The amount of input emergy which equals unit currency	年能值利用量/当年 GNP(sej) The utilized amount of current year emergy/ GNP of current year (sej)
宏观经济价值 Macro-economy value	可利用能值相当的市场货币价值 The market currency value which equals available emergy	可利用能值/能值-货币比率 Available emergy value/(emergy-currency ratio)
能值投资比率 Emergy investment ratio	单位环境能值投入所反映的经济系统输入能值量 The value of energy input into economical system reflected by unit environmental emergy input	不可更新非环境能值/环境能值投入量, EIR = IMP/(R + N) Unrenewable unenvironmental emergy/environmental emergy input amount, EIR = IMP/(R+N)

能值系指一种能量在流动或贮存时,所具含另一种能量类别之量。能换率系指产生一单位能量所需另一种能量类别之量,生态系统层次越高者,必须经过更多的传递与转换过程,故每单位能量的产生就需要更多的太阳能值输入,因此能转换率越高,代表能量品质越高。本文涉及到的计算方法综合文献 9,文献 11 所提供的公式,整合后得如下公式(各因子量纲请参阅相关标准):

- (1) 能值 = 能量 × 能换率;
- (2) 太阳能值(sej) = 原始数据(J, US \$) × 能值转换率;
- (3) 宏观经济价值(US \$) = 太阳能值(sej) × 能值货币转换率(US \$ / sej);
- (4) 太阳光能 = 面积 × (1 - 反射率) × 辐射量或面积 × 太阳光平均辐射量;
- (5) 风能 = 面积 × 空气层平均高度 × 空气密度 × 空气比热 × 水平温度梯度 × 平均风速;
- (6) 雨水势能 = 水密度 × 雨量 × 面积 × 平均高度 × 加速度;
- (7) 雨水化学能 = 水吉布斯自由能 G × 雨量 × 面积;
- (8) 经济投入产出 = 货币量 × 能值货币比率。

3 鄱阳湖湿地生态系统能值图绘制

能值分析是建立在能量符号语言基础之上的,能值图解能够准确分析和计算太阳能值流动方向,方便计算过程。通过能值理论并应用能值符号绘制鄱阳湖湿地生态系统能值分析图(见图 1)。

从图 2 可以看出,鄱阳湖湿地其再生能源包括阳光、风、雨水;不可再生能源或资源包括底泥(矿物质累计)、水体;初级生产者主要为湿地植被(包括挺水、沉水和人工栽培作物)和浮游植物;产出项目包括水产、底栖动物和湿地水禽,湿地水禽主要为产出品,资本产出项为生态服务、生态旅游、管理、科研和教育等,湿地效益主要体现在湿地生态系统中,而管理、科研和教育主要面向市场,这也符合现代经济发展趋势,说明湿地的保护要面向社会、面向大众和面向市场。

4 结果与讨论

为了探索分析鄱阳湖生态系统效益,同时为评估湿地资源对整个系统的影响与贡献,计算和分析了能值、能值流入流出情况、能值投入率、能值-货币价值(Em \$)等指标,具体结果见表 2。

研究区内年平均太阳总辐射量为 $444 \sim 477 \times 10^9 \text{ sej/m}^2$,湖心及滨湖北岸 $> 477 \times 10^9 \text{ sej/m}^2$,年平均日照 $1\ 760 \sim 2\ 150 \text{ h}$ 。

鄱阳湖湿地水域生态系统由水域、大气和水生生物组成。在滨湖岸带内,植物种群依水深程度不同而呈环带状平行分布在湖岸,浅水处分布挺水植物,稍深处分布浮水植物,更深处分布沉水植物,表水层含有浮游植物和漂浮植物,属鄱阳湖湿地生态系统的生产者;主要消费者是鸟类、鱼类、两栖类、爬行类和其他哺乳动物。在深水处有机物质和腐屑颗粒不断沉积,促进了矿物质累积过程。鄱阳湖挺水植物群落面积为 1081 km^2 ,沉水植物群落面积为 420 km^2 ,水生植被分布面积约占丰水期正常年份鄱阳湖水域面积 10% 左右。水生植物群落是鄱阳湖湿地生物的食饵,其生态指标、属性关系到鄱阳湖湿地生物的生存。

从表 2 可以得出,鄱阳湖湿地的投入(包括阳光、风及雨水)量太阳能值为 $3.36 \times 10^{19} \text{ sej}$,产出量太阳能值为 $3.07 \times 10^{20} \text{ sej}$,

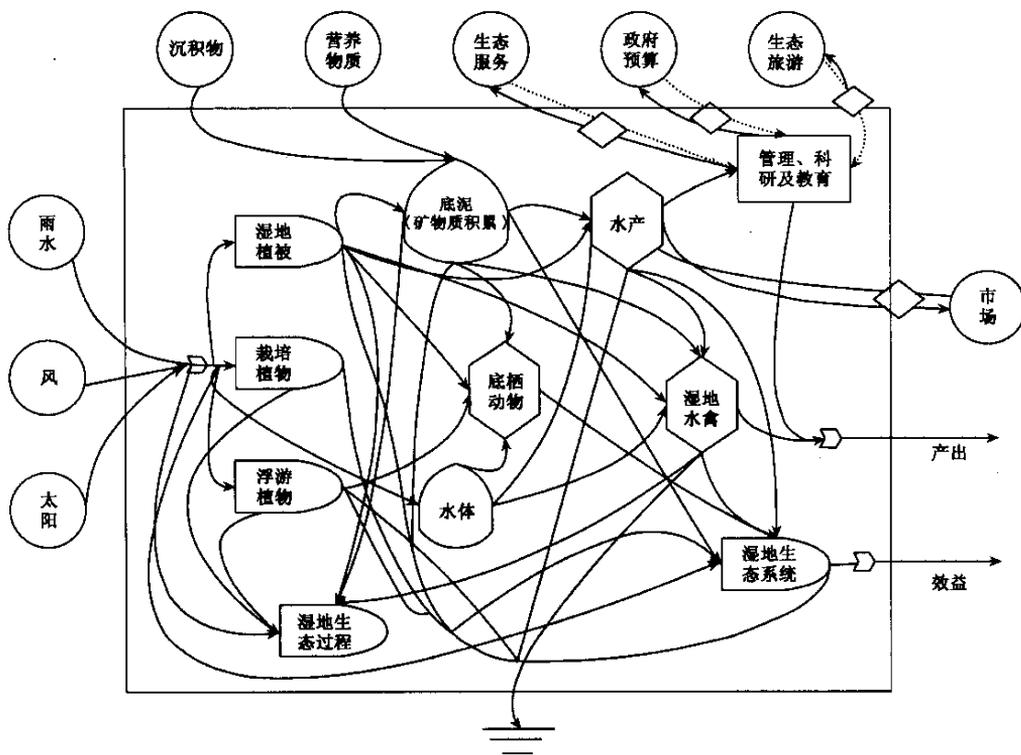


图1 鄱阳湖湿地生态系统能值分析

Fig. 1 Emergy analysis of Poyanghu wetland ecosystem

雨水 Rainfall、风 Wind、太阳 Sun、沉积物 Sediment、营养物质 Nutrient matter、生态服务 Ecological service、政府预算 Government budget、生态旅游 Ecological tourism、湿地植被 Vegetation of wetland、栽培作物 Cultivated crops、浮游植物 Phytoplankton、湿地生态过程 Wetland ecological engineering、水体 Water body、底栖动物 Zoobenthos、水产 Aquatic products、底泥(矿物质积累) Bottom mud (mineral accumulation)、湿地水禽 Wetland waterfowls、湿地生态系统 Wetland ecosystem、市场 Market、管理、科研及教育 Management, research and education、产出 Output、效益 Benefit

初级生产力为 5.04×10^{19} sej, 不可再生能源或资源(包括底泥和水体)为 6.35×10^{19} sej, 资本产出中的生态服务、生态旅游和科研工作太阳能值分别为 8.79×10^{19} sej, 4.80×10^{19} sej, 1.05×10^{19} sej, 总计 1.46×10^{20} sej。根据表 2 的能值—货币价值(Em\$)统计值, 鄱阳湖湿地各项效益大小顺序依次为: 湿地水禽 > 资本产出 > 水产 > 不可再生能源或资源 > 初级生产力 > 再生能源, 说明鄱阳湖生态系统符合生态系统能量传递规律, 从低级到高级的过程。

根据能值分析图解和投入/产出分析表可以看出湿地水禽在鄱阳湖湿地中具有非常重要的作用, 是湿地生态系统高级层次, 太阳能值最大。据调查结果, 鄱阳湖湿地范围内有湿地水禽 258 种之多, 其中属国家一级保护动物的有 9 种, 属国家二级保护动物的有 32 种^[6~8], 同时是世界上最大的白鹤越冬地, 1989 年发现白鹤达 2600 余只, 占全世界白鹤总数的 95%, 也是迄今发现的世界上最大的越冬鸿雁群体所在地。各种鹭鸟 10 万余只, 据观测, 在此栖息的鹭鸟主要有大白鹭、中白鹭、中波鹭、白琵鹭、牛背鹭、夜鹭、苍鹭等, 是我国最大的鹭鸟栖息地。根据能值分析理论, 高能值的层次需要进行重点保护和恢复, 是受特殊保护的對象。

鄱阳湖水量丰富, 多年平均入江径流量 $1525 \times 10^8 \text{m}^3$, 占大通站长江多年平均径流量($9334 \times 10^8 \text{m}^3$)的 16.3%, 超过黄、淮、海三河入海水量的总和。鄱阳湖在洪水位 21.69m 时, 最大水深 29.19m, 平均水深 5.1m, 蓄水量 $149.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 。鄱阳湖湖水主要依赖地表径流和湖面降水补给, 集水面积达 $16.2 \times 10^4 \text{km}^2$, 补给系数 55, 蓄水防洪是鄱阳湖生态服务功能的主体之一。在能值分析表中, 生态服务的太阳能值为 8.79×10^{19} sej, 其中蓄水防洪生态服务功能占有相当大的比重, 说明鄱阳湖湿地在调解长江洪水流量中具有重要作用^[6]。

通过能值理论分析得出的结论是: 鄱阳湖在湿地水禽、资本投入/产出以及水产方面生态效益价值极显著, 是优先发展、保护和建设的方向。

表 2 鄱阳湖湿地生态系统能值投入/产出分析表

Table 2 Input/output emergy analysis of Poyanghu wetland ecosystem

序号 Sequence number	项目 Item	原始数据 (J or \$) Original data	能值转换率 (sej/unit) Emergy transform ratio	太阳能值 (10^{17} sej) Solar emergy	Em \$ (10^5 \$), 2002
1	再生能源 Reproducible energy				
	阳光 sunshine	8.68×10^{17}	1	8.68	8.76
	风 wind	2.02×10^{15}	622	12.79	12.88
	雨水(势能)rainfall(potential energy)	8.41×10^{14}	8888	76.7	78.77
	雨水(化学能)rainfall(chemical energy)	1.54×10^{15}	15444	237.57	236.55
	总计 total			335.81	336.96
2	不可再生能源或资源 irreproducible energy or resource				
	底泥(矿物质累积)sediment(mineral accumulation)	1.08×10^{15}	3500	287.37	288.33
	水体 water body	8.07×10^{14}	48000	347.94	348.02
	总计 total			635.31	636.35
3	初级生产力 primary productivity				
	湿地植被 wetland vegetation	9.91×10^{15}	4700	461.68	465.08
	浮游植物 phytoplankton	9.08×10^{14}	4700	42.40	44.62
	总计 total				
5	资本产出项(服务产出)capital output item(service output)				
	生态系统服务 ecosystem service	8.82×10^7	1.00×10^{12}	879.48	883.47
	生态旅游 eco-tourism	4.65×10^7	1.00×10^{12}	479.72	483.28
	科研工作 research work	1.11×10^7	1.00×10^{12}	104.99	104.51
	总计 total				
6	水产品 aquatic product				
	鱼类等 fish, etc.	8.80×10^{12}	4.16×10^7	1361.48	1367.04
7	湿地水禽(特殊保护)wetland waterfowls(especially protected)				
	水禽 waterfowls	2.41×10^9	1.03×10^8	1610.49	1623.78

本文原始数据来源于文献 6~8; 鉴于计算需要, 本文按湿地植被概念将沉水植被、人工栽培作物(如水稻、莲藕)和挺水植被等划归湿地植被范围内; 生态服务主要指蓄水防洪、净化污染物等内容; Em 为能值-货币价值;

5 小结

能值分析方法的优点是: 自然资源、商品、劳务等都可以用能值衡量其真实价值, 能值方法使不同类别的能量可以转换为同一客观标准, 从而可以进行定量的比较。能值分析方法把生态系统与人类社会经济系统统一起来, 有助于调整生态环境与经济发展的关系, 为人类认识世界提供了一个重要的度量标准。能值分析方法的局限性是: 反映的是物质产生过程中所消耗的太阳能, 不能反映人类对生态系统所提供的服务的需求性(支付意愿 WTP)。因此本文研究仅就鄱阳湖湿地生态系统进行分析, 考虑的多为自然因素, 尚未涉及人类的影响^[9~12]。

能值分析(Emergy Analysis)理论和方法是著名系统生态学家 H. T. Odum 1987 年提出的一种重要的生态价值测度理论。这一方法在生态学中具有较为广泛的适用性, 尤其对传统市场方法难以估价的许多自然资源不失为一种有效途径, 国内外众多学者将之应用于自然生态系统、生态经济系统的价值分析、可持续发展政策制定, 并取得了可喜的成果^[1~5, 9~12]。但真正用于湿地效益评价研究的科研项目还非常少, 本文通过借鉴和发展 H. T. Odum 的能值分析理论和方法研究湿地效益, 为该理论在湿地科学研究中的应用开辟了新的方向。也为湿地生态系统研究开拓了一条定量研究的新途径, 从能量发展到能值, 从能量分析发展到能值分析研究, 在理论和方法上都是较大的进展, 如何将能值分析理论结合价值评价方法对湿地进行科学评判是进一步深入研究的热点, 需要从事湿地研究的科学工作者积极参与。

References:

- [1] Lan S, Odum H T. Emergy synthesis of the environmental resource basis and economy in China. *Ecological Sciences, China*, 1994, 230~239.
- [2] Odum H T. *Environmental accounting emergy and environmental decision making*. New York, John Wiley & Sons, 1996. 320~370.
- [3] Ulgiati S, Odum H T, Bastianoni S. *Emergy analysis of the Italian agricultural system the role of Emergy quality and environmental inputs*. *Ecological Physical Chemistry*. 1992. 187~215.
- [4] Odum H. T. *Environmental Accounting; Emergy and Decision Making*. John Wiley & Sons. New York, 1995. 88~156.

- [5] Li S C, Fu X F, Zhen D. The emergy analysis in the sustainable development level of Chinese economy. *Journal of Natural Resource*, 2001, 297~304.
- [6] Xu D L, Xiong M, Zhang J. The hydrological character analysis of Poyanghu lake. *People's Yangtze River*, 2001, **32**(2): 21~22.
- [7] Kong P, Zhang X X, Jiang Y. Study on the Management of Wetland in Poyang Lake. *Environment and Exploitation*, 2001, **16**(4): 41~44.
- [8] Luo X C, Zhen L, Zhong Y X. Wetland resource of Poyanghu and the protection and utilization. *Journal of Jiangxi Normal University (Science)*, 2001, **25**(4):369~373.
- [9] Lan S F, Qin P, et al. *Emergy analysis of ecological economic system*. Beijing: The publishing house of chemical industry, 2002. 1~4.
- [10] Sui C H, Lan S F. The theory and procedure for emergy analysis (EMA) of city eco-system. *Chongqing environmental science*, 1999, (2):18~20.
- [11] Lan S F, Qin P. Emergy analysis of eco-system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, (1):129~131.
- [12] Li H T, Liao Y C, Yan M C. Emergy analysis of the ecological economic system in Jiangxi Province. *Journal of Jiangxi Agricultural University (Science)*, 2003, **25**(1):93~99.

参考文献:

- [5] 李双成,傅小锋,郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析. 自然资源学报, 2001:297~304.
- [6] 徐德龙,熊明,张晶. 鄱阳湖水文特性分析. 人民长江. 2001, **32**(2):21~22.
- [7] 孔平,张小雄,江燕. 鄱阳湖湿地管理对策研究. 环境与开发, 2001, **16**(4): 41~44.
- [8] 罗先诚,郑林,钟业喜. 鄱阳湖湿地资源及保护利用. 江西师范大学学报(自然科学版). 2001, **25**(4): 369~373.
- [9] 蓝盛芳,钦佩,等. 生态经济系统能值分析. 北京:化学工业出版社, 2002. 1~4.
- [10] 隋春花,蓝盛芳. 城市生态系统能值分析(EMA)原理和步骤. 重庆环境科学, 1999, (2):18~20.
- [11] 蓝盛芳,钦佩. 生态系统的能值分析. 应用生态学报, 2001, (1):129~131.
- [12] 李海涛,廖迎春,严茂超. 江西生态经济系统的能值分析. 江西农业大学学报(自然科学版), 2003, **25**(1): 93~99.

