

# 西北干旱区能值分析理论及应用

石惠春<sup>1,2</sup>, 孙宏山<sup>1</sup>, 甘世民<sup>3</sup> (1 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070; 2 兰州大学资源与环境科学学院, 甘肃兰州 730000; 3 甘肃省白银市银光中学, 甘肃白银 730900)

**摘要** 通过综述对能值分析的国内外研究现状, 详细介绍能值及各项指标的基本概念及判断标准, 结合西北干旱区能值分析的特点, 总结出能值分析在应用于西北干旱区特殊地域范围时应该注意的问题, 并提出相关建议与对策, 最后展望了能值分析的研究方向。

**关键词** 能值; 能值分析; 能值指标

**中图分类号** F 327 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)15-08125-03

Analysis and Application of Emergy Theory in Arid Region in Northwest

SHIHui-chun et al (School of Geography and Environmental Sciences Northwest Normal University Lanzhou Gansu 730070)

**Abstract** Through summarizing the research status of emergy at home and abroad the basic connotation and judgment standard of emergy and indices were introduced in detail. Combining with characteristics of emergy analysis in arid region in Northwest the problems which should be pay attention to and the corresponding countermeasures were put forward. Finally study direction of emergy analysis was forecasted.

**Key words** Emergy; Emergy analysis; Emergy indices

生态经济系统的能值分析是以能值为共同基准, 通过综合分析评价系统的能物流、货币流、人口流、信息流, 得出一系列反映系统结构和功能特征与生态经济效益的能值指标, 进而评价系统的可持续性。能值分析理论和方法是美国著名生态学家 H. T. Odum 于 20 世纪 80 年代创立的, 应用能值转换率可将生态经济系统内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, 对自然资源在生态经济系统中所做的贡献进行评估, 从而衡量该系统发展的可持续性。然而由于能值分析研究的地域范围不同, 生态经济系统的相关构架不同, 能值分析时考虑的具体内容也将有所不同。水资源短缺与合理利用问题是我国西北干旱区农业可持续发展急需解决的首要问题, 能值分析利用的研究与研究区域的特殊环境要结合起来, 才能更加突出地解决研究区域所遭遇的问题, 进而才能更加准确、科学地做出决策。

## 1 能值分析理论的国内外研究现状

**1.1 国外研究现状** 能值理论概念和分析方法是以 H. T. Odum 为首经过 20 多年研究发展出来的, 1987 年, 他首次阐述了能值概念理论, 论述了能值和能质、能量等级、信息、资源财富等的关系。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《Environmental Accounting Emergy and Environmental Decision Making》<sup>[1]</sup>。因能值分析有助于正确分析自然与人类、环境资源与社会经济的价值和相互关系, 有助于全球可持续发展战略, 能值分析理论和方法备受国际生态学界和经济学界及政府决策者的关注。许多国家的生态学家、经济学家和系统学家投入了能值研究和讨论, 发表了不少论文及著作, 还有许多未发表的研究报告。该理论、方法与应用研究在不断发展和完善, 已召开了 2 次国际能值分析学术研讨会, 第 1 次在意大利,

第 2 次在美国佛罗里达大学, 出版了论文集, 并决定每两年举行一次国际研讨会。研讨内容包括能值分析理论、方法与应用。现在, 国外对能值理论及其分析方法的研究已经涉及到自然、社会等广大的范围内, 运用于评价地区流域系统的环境资源、经济投入和发展模式、环境政策、以生态系统为基础的环境管理、发展计划与政策等方面<sup>[2]</sup>。目前, 能值研究中心在美国、瑞典、意大利、瑞士、澳大利亚、日本等国家的科学家很活跃; 亚非拉发展中国家的学者热情颇高, 如印度、墨西哥、厄瓜多尔、泰国、韩国、中国等都有越来越多的学者投入研究。能值理论和分析方法是以客观的科学观点分析自然资源和世界经济财富, 对发展中国家的可持续发展有利, 易为他们所接受。基于市场价值论的西方经济学家则比较难以理解和接受这种生态经济学的能值价值论, 他们抨击得多, 深入研究得少, 提不出否定的充分理由和依据。

**1.2 国内研究现状** 我国开展能值分析研究始于 1989 年, 留美学者蓝盛芳在美国佛罗里达大学直接与 H. T. Odum 的合作研究, 参加了美国 NSF 有关项目和能值专著工作。1992 年在《当代生态学博论》一书中发表了 2 万余字的文章, 首次把能值理论、方法和有关研究介绍到中国, 同年在北京出版了涉及能值分析的《能量、环境与经济: 系统分析导论》一书<sup>[1]</sup>。继而, 能值分析的概念、方法被收入《普通生态学》、《生态系统生态学》和《生态工程学》大学教材和研究生教材。能值理论与方法在中国的传播始于 1990 年 H. T. Odum 第 2 次访华。在此期间, 即 1990 年 8 月 1~21 日他访台北、广州、北京和沈阳, 并作了多个学术报告, 如“自组织与系统生态学”和“能值分析与环境评价”等。从此以后, 我国的广州、北京、南京和沈阳、佛山等多座城市的大学和科研机构先后开展了 10 多年的能值研究, 能值理论应用于多个领域, 包括国家、省、市、自然保护区等生态经济系统的能值评估、农业生态系统、城市复合生态系统、海涂湿地自然保护区、环境与资源、废水处理、生态工程和工业的能值评价<sup>[3]</sup>。用中文或英文发表关于能值的学术论文 60 多篇, 由 H. T. Odum 所著的 3 本关于能值的书被翻译为中文, 能值概念、理论和方法被 10 多部中文书刊引用, 2 本关于能值的中文专著已发表。能值分析研究已有 3 个项目得到国家自然科学基金资

**基金项目** 国家科技部科技支撑课题 (2007BAD46B08); 国家基础科学人才培养基金冰川学冻土学特殊学科点 (J0630966); 甘肃省自然科学基金 (3ZS041-A25-002); 甘肃省科技支撑计划项目 (2007BAD46B08)。

**作者简介** 石惠春 (1965-), 女, 河北定州人, 博士, 教授, 从事生态经济研究。E-mail: shc8@163.com。

**收稿日期** 2010-01-29

助,其中有些课题已结题,有些课题正在进行中。美国培养了 20 余名能值分析研究领域的硕士、博士生。同时,与 H. T. Odum 等继续开展国际合作,在这一领域与国际同步发展。能值理论与方法已被许多中国生态学家所接受,但在应用过程中仍存在许多问题。譬如能值分析刚开始在我国探索使用的过程中,对于衡量可持续发展方面指标的建立都很片面;对于研究区域生态经济系统的可持续发展范围的界定也不甚明确,给决策者造成一定的困扰,这些问题都需着手解决。

## 2 能值分析的基本理论及方法

### 2.1 基本原理

**2.1.1 能值。**能值是一个新的科学概念和度量标准。H. T. Odum 将能值定义为:流动或储存的能量所包含另一种类别能量的数量,称为该能量的能值。他还进一步解释能值为:产品或劳务形成过程直接或间接投入应用的一种有效能总量,就是其所具有的能值<sup>[2]</sup>。能值实质就是包含能量,任何形式的能量均源于太阳能,故常以太阳能为基准来衡量各种能量的能值。任何资源、产品或劳务形成所需直接和间接应用的太阳能之量,就是其所具有的太阳能值 (Solar emergy),单位为太阳能焦耳 (Solar em joules 即 sej)<sup>[1]</sup>。实际应用的是太阳能值转换率,即单位能量或物质相当于多少太阳能焦耳的能值转化而来。

**2.1.2 能值转换率。**能值转换率是从生态系统食物链和热力学原理引申出来的重要概念。它是衡量不同类别能量的能质 (Energy quality) 的尺度,与系统的能量等级密切相关。应用能值转换率可将生态系统或生态系统内流动和储存的各种不同类别的能量转换为同一标准能值,进行定量分析研究。

**2.1.3 能值分析。**能值分析是以能值为基准,把生态系统或生态经济系统中不同种类、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和分析,从中评价其在系统中的作用和地位;综合分析系统中各种生态流,得出一系列能值综合指标 (Emergy Indices),定量分析系统的结构功能特征与生态经济效益<sup>[1]</sup>。

**2.2 能值指标体系** 各种生态系统和复合生态系统的能值分析,包括生态经济系统、社会—经济—自然复合生态系统及各种生态工程系统的能值分析,均可得出一系列能值综合指标。这些综合指标反映生态系统的结构、功能与效率,是反映自然环境资源的价值和人类社会经济发展,以及环境与经济、人与自然关系的指标体系,也是系统综合分析及社会经济发展决策参考的重要指标体系。通过系统能值分析得出的一系列能值指标,可把复合生态系统的各种生态流在能值尺度上统一起来,定量分析系统的结构和功能,认识自然环境生产的价值及其与人类经济的关系,以正确处理人与自然资源和环境与经济的关系,走可持续发展的道路。

**2.2.1 能值货币比率。**一个国家单位货币 (通常转换成美元) 相当的能值量,即能值与货币的比率 (emergy monetary ratio),它等于该国全年能值投入总量除以当年货币循环量 (GNP)。

**2.2.2 能值—货币比值。**能值—货币价值 (Emergy dollars

缩写 Em) 是指将生态经济系统的能值折算成货币,相当于多少币值,也称宏观经济价值,其折算方法是资源或产品的能值除以当年的能值/货币比率。

**2.2.3 能值投资率 (ER)。**生态经济系统 (环境经济系统) 的能值投资率 (emergy investment ratio),等于来自经济的反馈能值除以来自环境的无偿能值输入。前者如燃煤、电力、物资、劳务等,均需花钱购买,称为“购买能值 (purchased emergy)”；后者来自包括土地、矿藏等不可更新资源和太阳能、风、雨等可更新资源在内的自然界无偿能值 (free emergy)。能值投资率是衡量经济发展程度和环境负载程度的指标。数值越大则表明系统经济发展程度越高;数值越小则说明发展水平越低而对环境的依赖越强。能值投资率可用于确定经济活动在一定条件下的效益,并可测知环境资源条件对经济活动的负载率。

**2.2.4 净能值产出率 (EYR)。**净能值产出率 (net emergy yield ratio EYR) 为系统产出能值与经济反馈 (输入) 能值之比。反馈能值来自人类社会经济,包括燃料和各种生产资料及人类劳务。净能值产出率是衡量系统产出对经济贡献大小的指标。与经济分析中的“产投比” (产出/投入比) 相似,净能值产出率是衡量系统生产效率的一种标准<sup>[1]</sup>。EYR 值越高,表明系统获得一定的经济能值投入,生产出来的产品能值 (产出能值) 越高,即系统的生产效率越高。净能值产出率对能源和进出口价值评估特别重要,可用以说明能源生产与利用的效率,显示经济活动的竞争力。

## 3 西北干旱区能值分析应注意的问题及相关建议

**3.1 能值转换率的确定问题** 能值分析是通过能值转换率,即形成每单位某种能量或物质、信息所需的另一种能量之量,对各种生态流价值进行统一的单位转换评价,从而突破了能量分析在数量研究上长期难以攻破的能质壁垒,通过能值这一统一的客观标准,实现了不同能量等级上不同质能量的统一度量。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,即当年该国全年能值应用总量与当年该国国民生产总值的比,推算出其能值后进行统一分析。同时,能值/货币比亦可看作是衡量货币实际购买力和劳动力实际能力的标准。反之,已知能值量亦可通过能值/货币比率计算与其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。然而在西北干旱区这个特殊的研究区域,能值转换率的确定却遇到了前所未有的难题,例如对于西北干旱区一些特殊的农产品,由于 H. T. Odum 所计算的太阳能值转化率能满足较大范围区域、系统能值分析的需要,但对较小区域、系统能值分析的需要值得商榷。由于太阳能值和太阳能值转换率的数值依赖于到达特定状态所选择的路径,尽管自然产品和服务的太阳能值转换率因自然生态系统的高度自组织化而相对稳定,但对于人类经济产品的能值转化率会因产品的产地、生产方式以及生产过程中的技术条件、管理效率等因素的不同而产生差别,因此在具体的能值分析中还要计算适合具体研究对象的太阳能值转化率<sup>[4]</sup>。但要具体准确地计算人类经济系统的各种资源和产品的能值转化率,就需要对该资源

或产品的生产系统做能值分析,以产品消耗的太阳能值总量除以产品的总能量(或质量)而求得,尽管这种计算分析的原理较为简单,但在计算分析过程中需要对该产品有详细的了解和充足的数据,因此其分析过程也相当繁杂,存在一定的难度。因此对于西北干旱区一些特殊的产品在其农业生态系统的能值分析中能值转化率的确定还需按照起初定义去计算,这样才能在最后的能值指标计算中减少误差,进而更加准确地评价系统的可持续性,为政府部门提供更加科学的决策依据。

**3.2 多产品或复合产品系统的能值流计算问题** 在有多产品或是存在主产品和副产品的生产系统的能值分析过程中,在系统内能值交叉和分支点处的计算方法上仍有待进一步研究。H. T. Odum所创立的能值理论认为,因为所消耗的能值成本相同,同一生产过程中的多种产品(或者主产品和副产品)具有相同的能值价值,但在计算系统能值产出时却只计算一种产品(或主产品)的能值,因为其他各种产品和副产品所消耗的为同一能值成本<sup>[5-6]</sup>;这就在有多种产品(或副产品)和单一产品(或无副产品)的系统对比研究中造成了一定的误区,即分析结果往往是多产品系统的能值产出率低于单一产品的系统,而环境负载率却高于单一产品的系统<sup>[5]</sup>。对此国外学者 Bastianoni 和 Marchettini 提出了联合能值转换率和加权平均能值转换率的概念,对系统的不同产出情况进行了区别评价<sup>[7]</sup>。联合能值转化率是指复合产出系统生产所消耗能值总量与总产出能量之比;加权平均能值转换率则是指,分别生产各种产品的能值转化率乘以该产品的能量权重后的总和。国内学者冯霄等也提出了共生能值转化率的概念,并对多产品工业系统和单产品工业系统的生产情况进行了评价,结果表明共生能值转化率能有效的评价多产系统和单产系统的生产效率<sup>[4]</sup>。由多产品系统的能值流计算问题就导致了另一个问题,即同源能值的合并问题。假设一个多产系统,在相同的能值投入量为  $M$  时生产出  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $\dots$ 、 $P_n$  等  $n$  种不同的主(副)产品,根据能值理论这  $n$  种产品的能值量均为  $M$ 。假设这  $n$  种产品分别运到  $n$  个不同的地区作为中间产品投入生产,当对这  $n$  个地区分别做能值分析时,如果不知道这些中间品的来源时,则必然会在重复计算,使这  $n$  个地区  $P$  产品 ( $P_1$ 、 $P_2$ 、 $\dots$ 、 $P_n$ ) 的能值总投入量为  $nM$ 。而如果能够把这  $n$  个地区作为一个整体来分析,由于同源能值必须合并,因而系统的能值总投入量则为  $M$ 。那么在这两种情况下,在产品  $P$  ( $P_1$ 、 $P_2$ 、 $\dots$ 、 $P_n$ ) 的能值投入总量上就相差  $n-1$  倍。理论上讲这种问题是存在的,尤其是在交通运输业极其发达以及经济日益全球化的背景下,要对各种产品进行一一追踪是不可能的或者是极为困难的。尤其在西北干旱区这个特殊区域背景下,如果对于不同生态经济系统进行能值分析,就会遇到上述所论及的问题,所以作者希望在对不同生态系统做能值分析时能及时考虑上述问题,并通过上述提及的方法来校正,从而更加客观科学的对系统做出可持续性评价。

**3.3 能值成本价值论与市场价值论的问题** 能值分析反映的是物质产生过程中所消耗的太阳能,从根本上而言是一种成本价值论的价值评价方法,不能反映人类对生态经济系统

所提供产品和服务的偏好或需求(支付意愿)<sup>[8]</sup>。能值价值理论认为金钱无法衡量环境对产品所作出的贡献,因为它只支付了人类劳动所付出的代价,而能值价值则包括了自然资源和人类劳动对产品生产的所有贡献,因而能有效衡量产品的真实价值。以人类需求为中心的市场价值论则认为,能值价值论不能反应人们对产品的需求和偏好情况;而根据经济学理论,需求结构及偏好的变动情况是影响区域经济发展乃至区域经济可持续发展的重要因素。但是近几年来能值分析的领域逐渐拓展,目前已经出现了能值分析理论与生态系统服务价值相互结合起来综合分析生态经济系统的方法,例如孙洁斐在基于能值分析的武夷山自然保护区生态系统服务功能价值评估一文中,通过用能值分析法来评价自然资源的服务价值,从而更加准确地衡量环境对人类的那部分价值,突出了能值分析的优点,所以在对西北干旱区某些特殊的领域做能值分析时,可以参考上面论及的方法从多方面角度综合分析生态系统的可持续性,为科学评估生态系统的可持续性和政府制定决策提供参考信息。

**3.4 对于生态经济系统可持续性阈值的定位** 能值分析面临的巨大挑战是难以提出系统可持续性的阈值,无法准确判定系统的持续性与否,而只能基于不同空间单元的横向比较与不同时期的纵向比较,判断系统可持续性程度的高低与升降。这项任务可能超出了科学分析的范围,需要通过国际谈判来完成。此外,尽管有学者批评能值分析不能区分本地资源中的可再生和非可再生资源流,但考虑到能值分析是一种遵从 Hartwick 规则的弱可持续性评价,其隐含假设就是不同资源间的完全可替代性,因此,就能值分析的本来目的而言,也就没有区分资源可再生性的必要了。但是目前我国的能值分析对于生态经济系统可持续的界定都是通过可持续性能值指标(ESI)来衡量的,前面已经提到这项指标的缺陷,当时许多学者的研究大部分还是引用 ESI 而不采取 EISD,不知道是没有重视 EISD 的存在还是存在质疑,不过可以确定的是 EISD 指标在能值分析的应用中起着不可磨灭的作用,虽然也不能准确定位生态经济系统的可持续发展性,但是对于能值产出对生态经济系统的有益与有害做了区分,这样更能精确地分析当地资源对生态系统的贡献。同时,随着能值理论研究的不断成熟,学者对于不同特殊区域能值指标的建立也越来越多,通过各种综合指标来衡量生态经济系统可持续性阈值的准确度就越来越高,从而为进一步提高对生态经济系统的可持续性评估奠定了基础。

## 4 结论与展望

随着经济发展的全球化进程和全球环境问题的日益尖锐,大尺度的生态经济学研究成为必然,作为生态经济系统分析、模拟工具之一的能值理论方法,如何与景观生态学等研究方法结合也成为一个新的命题。尤其是在能值分析逐渐成熟的过程中,如何针对特殊的地域建立相应的能值分析评价指标也是一个难题,虽然目前已经有了一些成熟的指标体系,可是对于西北干旱区这个特殊研究区域,需要不断探索建立一些新的符合西北干旱区的能值指标,才能更科学的评价研究区域生态系统的可持续性,比如西北干旱区中水资

(下转第 8199 页)

因素的 3 个较优水平,按  $L_9(3^4)$  正交表设计试验,因素水平见表 1,极差分析见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 The factors and levels design of the orthogonal test

水平 Levels	因素 Factors			
	A 粉末大小//目 Powder size	B 乙醇浓度//% Ethanol concentration	C 液料比 Material-liquid ratio	D 浸提时间//min Extraction time
1	10	50	25:1	30
2	40	60	30:1	60
3	100	70	40:1	90

表 2 正交试验结果及极差分析

Table 2 The results of  $L_9(3^4)$  orthogonal test

试验号 Test No	A	B	C	D	黄酮含量//% Yield
1	1	1	1	1	5.935
2	1	2	2	2	7.980
3	1	3	3	3	11.855
4	2	1	2	3	6.420
5	2	2	3	1	7.605
6	2	3	1	2	10.350
7	3	1	3	2	7.925
8	3	2	1	3	8.090
9	3	3	2	1	11.910
均值 1 Average <sup>1</sup>	8.590	6.760	8.125	8.483	
均值 2 Average <sup>2</sup>	8.125	7.817	8.770	8.752	
均值 3 Average <sup>3</sup>	9.308	11.372	9.128	8.788	
极差 Range	1.183	4.612	1.003	0.305	

由表 2 可知,各因素的影响大小顺序为  $B > A > C > D$ ,即

(上接第 8127 页)

源的短缺和合理利用就是近几年来困扰决策者的一个难题,如果能从能值方面建立指标计算水资源的价值,就会从中找到突破口,为决策者提供依据进而提出建议。近几年来,能值分析应用范围不断拓展,能值分析作为一种新的评价方法应用于各个领域,而且学者逐渐将焦点转移到与其他生态系统评价方法的结合上,如孙洁斐在基于能值分析的武夷山自然保护区生态系统服务功能价值评估,就将能值分析与生态系统的服务功能价值评估联系起来,从而对于生态系统的可持续评估提供了一种新的方法,提高了评价的科学性和客观性;如刘淼的基于能值理论的生态足迹方法改进,就将能值理论与另外一种生态系统评价的方法生态足迹法结合起来,通过对生态足迹方法的不断改进,弥补了生态足迹评价的不足,而且从中还建立了关于能值指标评价的新指标,值得学者们借鉴。近年来,随着信息技术的不断发展和数学理论日趋完善,计算机为实现动态模型的建立提供了基础,人们可以通过计算机模型,模拟研究能值分析的时空动态变化过

乙醇浓度 > 粉末大小 > 液料比 > 浸提时间;最佳提取工艺条件为  $A_3 B_3 C_3 D_3$ ,即粉末大小 100 目,乙醇浓度 70%,液料比 40:1,提取时间 90 min。方差分析表明,因素 B 对结果的影响最显著,因素 A 对结果也有较显著的影响,因此,在提取过程中必须控制好乙醇浓度和脐橙粉末大小。在此工艺条件下进行了黄酮提取的验证试验,黄酮得率为 12.02%。

**2.3 对比试验** 称取 2 000 g 脐橙皮粉末,分别按该研究提取工艺与文献 [4] 中碱提酸沉法提取工艺提取黄酮,文献 [4] 中提取工艺的黄酮得率为 7.95%,明显低于该提取工艺下的黄酮得率。

### 3 结论

通过单因素试验和正交试验研究表明,脐橙皮中黄酮的最佳提取工艺条件为:温度 60℃,粉末大小 100 目,浸提液的乙醇浓度 70%,液料比 40:1,提取时间 90 min。在该提取条件下,黄酮得率为 12.02%,明显优于其他方法。

### 参考文献

- [1] 焦士蓉,黄承钰.柑橘属类黄酮生物活性的研究进展[J].西华大学学报:自然科学版,2008,27(1):32-35
- [2] 贾冬英,姚开,谭敏,等.水果皮中生理活性成分研究进展[J].食品与发酵工业,2001,27(11):74-78
- [3] 徐泽敏,殷涌光.柚皮的综合利用[J].食品研究与开发,2007,28(1):176-178
- [4] 游建明,兰江涛.柑橘类柚皮苷提取工艺研究[J].现代食品科学技术,2006,22(2):166
- [5] 杨洋,余炼,唐宇雯.柚皮黄酮类成分的分离工艺研究[J].食品科学,2001,22(3):41-44
- [6] 元晓梅,刘贵贤,胡正芝.比色法测定柑桔饮料及桔皮制剂中总黄酮含量[J].食品与发酵工业,1996(3):13-21
- [7] 朱远平,牟利辉.紫外分光光度法测定金柚柚皮中总黄酮的含量[J].嘉应学院学报:自然科学版,2007,25(6):51-54

程,当前的研究多是对能值指标的建立与计算,根据计算结果对生态系统做出可持续性评价和建议,与模型结合的不,因而与模型结合也是未来能值分析研究的一个热点。

### 参考文献

- [1] 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,2002:3-4
- [2] 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
- [3] 杨丙山.能值分析理论与应用[D].长春:东北师范大学,2006
- [4] 姚成胜,朱鹤健,刘耀彬.能值理论研究中存在的几个问题探讨[J].生态环境,2008,17(5):2117-2122
- [5] 沈善瑞,陆宏芳,赵新锋,等.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
- [6] 陆宏芳,蓝盛芳,陈飞鹏,等.农业生态系统能量分析[J].应用生态学报,2004,15(1):159-162
- [7] BASTANONIS MARCHETTININ. The problem of co-production in environmental accounting by energy analysis[J]. Ecological Modelling, 2000, 129: 187-193
- [8] 陆宏芳,陈烈,林永标,等.基于能值的顺德市农业系统生态经济动态[J].农业工程学报,2005,21(12):20-24