

资率比原系统提高 17%^[20]。王卓晗应用能值研究方法对深圳市海上田园旅游区的芦花湖和农家小院两个观光农业系统进行了能值分析。芦花湖系统的环境负载率为 7.31,能值可持续发展指标为 0.255,分别是农家小院的 0.25 倍和 2.26 倍,因而更具长远发展优势^[21]。

研究中也少数是从地区农业生态经济系统的整体出发,将旅游业作为系统中的一个部分进行能值分析,体现旅游业在系统中所产生的作用。魏奋子以能值理论为基础,对四川省阿坝自治州 1952—2005 年的农业生态经济系统的能值投入、产出状况进行了定量分析,指出阿坝州生态旅游能值投入增长很快,从 1990 年的 3.50×10^{20} sej 增长到 2005 年的 1.13×10^{21} sej^[22]。

1.2.3 自然保护区

国内自然保护区的能值分析可以分为山岳类以及湿地类,其中湿地类占的比重较大。湿地研究类型多样,分别有关于鸟类保护区类、湖泊类、湿地公园类等。李洪波将武夷山自然保护区视为生态旅游系统,运用能值理论及其分析方法结合条件价值法对其进行讨论和研究,认为武夷山自然保护区自然环境条件良好,发展潜力较大,社区经济欠发达,居民生活水平较低,系统生产效率低,与外界贸易失衡,生态旅游处于探索阶段^[23]。Pulselli 等对意大利的两个山脉地区的旅游产业和煤炭活动进行了能值分析,两地的能值货币价值分别为 2.38×10^{12} sej/■ 和 3.27×10^{12} sej/■^[24];Lu 等对江苏盐城国家级珍禽自然保护区进行了能值研究,提出社会自给率等指标,指出该自然保护区的能值投入主要来自于政府,需要通过发展生态旅游和引进社会资本来提高社会自给率^[25]。崔丽娟就鄱阳湖湿地生态系统进行能值分析,其生态旅游能值为 4.80×10^{19} sej^[26]。李婷婷对广西沿海红树林进行了能值分析,指出虽然生态旅游的能值货币价值仅为总产值的 14.55%,但是并不能为了追求经济效益而忽略环境的承载力问题,因此需要科学规划生态旅游,控制游客数量,同时也要加强宣传力度,提高公众参与保护红树林的积极性^[27]。任丽燕认为西溪湿地公园建立以后,每年能值总投入增加到原来的 1.6 倍,能值总产出是原来的 1.9 倍;能值总产出中经济收入减少,但环境产出大幅度增加^[28]。管新建在东居延海湿地能值分析中,通过计算旅游收入的能值来测算该湿地的娱乐旅游价值^[29]。

自然公园是在人们利用的环境资源中,受到破坏较小的。它配备一定数量的必需设备,供旅游者的使用,旨在让旅游者在其中享受到丰富人生经验、提高审美情趣、恢复身心健康等^[3]。从森林公园的角度,关俊利使用能值分析方法对广西十万大山国家森林公园旅游生态系统的能值投入产出状况、环境承载情况和系统运行效果进行了定量分析,认为十万大山能值产出效率低,运行状况不佳,但处于一个良好的发展阶段,应增大具有高能值的劳务投入,逐步增强能值的利用效率^[30]。从地质公园的角度,张小洪运用能值分析方法对四川兴文石海风景名胜区近期和远期规划进行了分析。他对废弃物进行了能值分析,废物能值占总投入能值的比重远期比近期增加了 50%,说明随着旅游设施的完善,游客数量的增加,废物的排放量有了大幅度的增加;能值可持续性指标远期比近期上升了 53.57%^[31]。

2 旅游系统的能值研究述评

能值方法在各个时空尺度和各类型的生态经济系统进行了较系统的研究^[32],从类型角度,农业生态系统和工业生态系统研究取得了较大的进展^[33-34],在基础理论阐释、指标体系开发、案例实证研究等方面取得了进步,本文从农业以及工业生态系统与旅游生态经济系统对比的角度,着重阐述旅游生态经济系统能值研究的特殊性和未来发展的方向。

2.1 理论推进方面

能值理论的推进,从各个系统的研究成果来看,体现在以下三个方面:一是指标体系的改进与创建;二是不同系统核算边界下计算过程的选取,显示为能值代数^[35]的改进和能值流程图的绘制;三是能值基准的选取和能值转换率的重新计算。

魏敏构建了旅游生态能值分析方法,建立了旅游生态能值输出和输入指标的计算公式^[4]。不同的研究尺度,计算过程不同(图 1)^[10],例如在国家与地区尺度上,旅游只是大系统中的很小的部分,所以在核算旅游

能值时只是简单的将旅游收入的货币流转化为能值^[11];在较大尺度的系统中,例如城市,通常利用旅游产业所占系统的百分比进行比例核算^[36];在一个稍小尺度的系统中,旅游景区,或者旅游度假地作为整个旅游系统,通常采用能值综合核算。

在此基础上,旅游投入能值与产出能值,在国家尺度上多被理解为入境旅游和出境旅游的概念。从能值综合的角度出发,Abel 认为旅游产生外汇所以是出口产品,出口的旅游产品的能值与投入的能值相等,投入包括环境投入与人造设施的投入^[37]。Brown 认为仅仅用货币来评价旅游者的经济影响通常会忽略消耗的资源,实际上支持旅游者使用的环境和服务是通过每个旅游者的获取而出口的,当地居民得不到有效的消费^[9]。李金平认为游客在旅游地消费物质和服务的同时,支付货币,所以旅游业与游客之间能值交换应该是双向流动的,只是流动的方向与一般的经济反馈(例如水、货物等)是相反方向的(图 2)。并且这两种双向流动的能值量是不一定相等的,涉及到能值使用量、能值货币率、旅游者国别等问题。同时旅游者与居民的关系是一种相互竞争的关系,旅游者消耗的能值量多,意味着居民消耗的少^[13]。

由于上述问题认知的差异,目前在旅游能值的数据核算上,很多研究都出现核算模糊不清的状况。例如,有文章指出游客进入旅游地消费,投入货币消耗资源,所以旅游业收入应当是系统输入能值^[12]。实际上,游客的消费和消耗应当是系统输出能值,宜通过各自的转换率进行换算。虽然有文献中将旅游收入作为输出能值^[27],但未考虑旅游者实际消耗。也有文献将旅游的建筑投入作为系统投入,将旅游收入作为系统的产出^[38],但在对设施设备投入上并没有说明年限。梁春玲在分析南四湖湿地能值中,将旅游开发作为系统的输入能值流计算^[39]。

大部分的能值转换率的选择通常参考 Odum^[2,40]、蓝盛芳^[3]、Brown^[41]等,最新修正的能值基准是 $1.52 \times 10^{25} \text{ sej/a}$ ^[42],不同的能值基准则相应的转换率不同。魏敏在研究中根据使用的能值基准进行了相应的转换^[4]。旅游能值研究需要根据最新的研究成果,选取最适合的能值转化率,以期获得最客观的能值综合评价结果。

2.2 要素选择方面

能值理论在农业主要被应用于区域农业生态系统和特殊农业生态系统研究,其中区域包括全国^[43]、省级^[44]以及县域^[45]尺度,特殊农业生态系统包括绿洲^[46]、渔业^[47]、干旱半干旱地区^[48]等具体类型进行了探讨。在工业领域,能值理论被运用于建筑行业^[49]、生物质^[50]、废物处理^[51]等工业系统中。国内旅游生态经济系统的能值分析主要在两个领域,以自然生态环境为载体以及以半自然和半人工生态环境为载体的旅游系统,由于这两个系统与自然的联系较紧密,能值分析是从地球资源的角度分析的方法,所以在结合使用上比较自然和简单。对于以纯人工环境为载体的旅游生态经济系统,例如主题公园类景区等由于与自然的联系较间接,相应的能值转换率的计算比较困难。国外的研究涉及面更宽,包括国家层面到小的旅游景区系统尺度的分析。但旅游度假地以及城市旅游的能值研究较少。

研究中系统要素的选取与系统类型有着很大关联,农业生态经济系统在投入与产出要素上受地理环境制约性很强,有自然投入(太阳能、风能、水、土壤等),也有人为投入(劳动力、化肥、机械能、电能、燃料油等等),有实体的物质产出也有看不见的信息知识产出,也有具有审美价值的景观产出^[33]。在工业系统能值研究,不再像传统的能值分析一样考虑太阳能、雨水的化学能与势能以及土壤侵蚀造成的损失。而是将工业系统中的各类原料根据其可再生与否分别作为系统可再生资源与不可再生资源的投入,系统的产出中会考虑系统的废

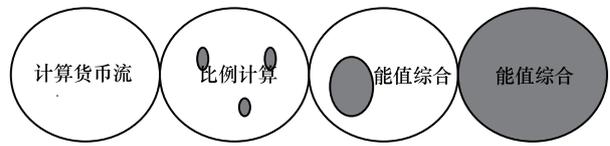


图 1 不同研究尺度旅游能值核算方法图(灰色部分为旅游)^[10]
 Fig.1 Energy accounting approaches for tourism systems on different scales(gray part for tourism)^[10]

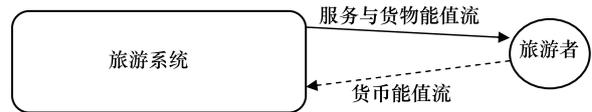


图 2 旅游能值流动图^[10]
 Fig.2 Figure of tourism energy flows^[10]

弃物^[36]。在旅游能值研究中,由于旅游生态经济系统涵盖的系统类型多样,包括原生态、次生态和泛生态景区,在选取要素时,需要根据景区与自然和人文环境的联系紧密程度进行相应的取舍。在可更新能值的计算中,需要选取最大的能值投入避免重复计算,一般情况下会选择雨水化学能,Brown 和 Ulgiati 认为作为海岸旅游地,最大的可更新能值投入可能是波浪或潮汐^[9]。从表 1 可知,系统元素的选取和系统背景以及边界的划定有很大的关系。因此能值系统图绘制的详尽程度,取决于研究的目的,核算边界和时空分辨率,需要体现系统研究的关键因素。

表 1 国内外主要旅游生态经济系统能值研究系统要素选择表

Table 1 Table of emergy system factor comparison about major domestic and overseas tourism ecological economic systems

作者 Author	系统内要素 Elements Inside	系统外要素 Elements Outside	备注 Comments
Abel ^[16]	旅游业(建筑、装修、交通、娱乐设备); 暗礁生态系统(鱼);陆地生态系统	阳光、风、潮汐、雨水、地壳隆起、表层鱼类、纯净水、电力、建设设备、潜水设备、租赁车、食物与货物、银行(贷款)、旅行系统、政府(税收)、业主、旅游者(旅游产品)、垃圾填埋地(固体废弃物)	针对岛屿系统
Brown ^[9]	海滩、地面与景观、形像、资产、旅游者(消费者)	阳光、风、潮汐、波浪、雨水、食物与酒水、饮用水、燃料、电力、货物与材料、劳动力、旅游者(生产者)	针对旅游度假地设备;度假地的设施与服务影响度假地的形象
Vassallo ^[19]	陆地生态系统(土壤)、海洋生态系统、渔业、废弃物与管理、工业、人口、交通、旅游、公共管理、商业	阳光、风、潮汐、波浪、雨水、地热、水、电力、燃料、商品与服务(进口的人力资源管理)、市场	针对海岸市政系统
Lei K P ^[14]	赌博者、货币	可更新资源、不可更新资源、设备租金、水、电力、食物、材料、酒店、劳动力、经营服务、娱乐、旅游者、居民、政府、公司	针对博彩业部门
Lei K P ^[13]	自然、文化系统、人类资产、旅游、工业、废弃物处理、旅游者(消费者)、形象、GDP	可更新资源、食物与新鲜水、商品、原料、进口劳动力、服务、旅游者(生产者)、市场、净化水	针对基于旅游的城市生态系统
李洪波 ^[23]	红叶林、针阔混交林、常绿阔叶林、中山矮曲林、中山草甸、野生动物、茶叶、土壤、水脉、社区、管理与教育	雨水、风、太阳、大米、木材、肉类、电力、科研、政府预算、市场、旅游、支出(包括支付意愿)	针对山岳型自然保护区系统
王卓晗 ^[21]	水产系统(浮游植物、鱼、渔船)、农牧系统(果树、象草)、旅游系统(宾馆、水上观光)、管理	阳光、风、海水、鱼苗、苗木、旅游者、商品和劳务、市场、电力	针对观光农业系统
谢雨萍 ^[20]	月柿种植、月柿种植产出、生态农业旅游	太阳能、雨水势能、雨水化学能、月柿生产的设备投入及服务投入、生态农业旅游的设备投入及服务投入、市场	生态农业旅游经济系统

2.3 指标创建方面

Odum 等在能值方法提出了很多指标对系统进行可持续性分析,同时也鼓励学者对于不同的系统提出新的能值指标。在研究中,指标问题主要体现在两个方面,一个是评价指标的选取,一个是指标体系的延伸。在农业能值研究中,李双成提出了区域性可持续发展评价指标^[52],严茂超开发了单位面积产出、人均农产品能值占有情况等指标^[53],学者都对相应的指标进行了实证性研究;在工业系统能值研究中,经常用到的能值指标为能值产出率、环境承载力以及可持续性指标^[36],Lou 等^[54]增加了废弃物相关指标以适应真实环境,一些学者改进能值指标体系以使其适用于生态工业系统。

在旅游能值研究中,国内大部分用到的指标有:能值投资率(EIR)、环境负载率(ELR)、能值产出率(EYR)、能值可持续性指标(ESI)、能值可持续发展性能指标(EISD)。而国外的文献主要用到可更新资源比率(R%)、环境负载率(ELR)、人均能值使用量(U/P)、能值密度(U/A)等(表 2)。能值可持续性指标 ESI 是

Brown 和 Ulgiati 提出的用以评价系统可持续发展性能的综合性能评价指标^[55]。由于该指标缺乏对能值产出的实际社会经济贡献的反映,陆宏芳提出了新的评价系统可持续发展性能能值指标 EISD^[56]。国内通常使用这两种指标进行系统的可持续性分析,而国外的文献通常结合使用各种能值指标分析系统的可持续发展状况,而不仅是这两个单一的指标。

表 2 国内外主要旅游生态经济系统能值指标比较表

Table 2 Table of energy index comparison about major domestic and overseas tourism ecological economic systems

地区 Area	年份 Year	R%	U/P	U/A	EIR	ELR	EYR	ESI	EISD	参考文献 References
武夷山	2006	71.3	2.80×10^{10}	7.30×10^{10}	0.383	0.383	3.60	—	9.39	[23]
恭城(月柿)	2004	—	—	—	0.56	0.75	2.79	3.72	2.04	[20]
深圳(芦花湖)	2006	12.68	—	—	—	7.31	—	0.14	0.113	[21]
十万大山	2004	—	4.94×10^{14}	7.74×10^{11}	0.004	0.004	42.95	—	5.57×10^4	[30]
兴文石海	2008—2012	—	—	—	1.36	34.90	9.81	0.28	—	[31]
澳门 Macao	2003	0.123	4.90×10^{16}	8.05×10^{14}	55.8	813	0.683	0.0008	0.0012	[36]
巴布新几内亚 (全国旅游业) Papua New Guinea (The National Tourism)	1993	0.1	2.74×10^{14}	7.79×10^2	—	0.10	—	—	—	[8]
巴布新几内亚 (潜水酒店) Papua New Guinea (Dive Hotel)	2001	6.1	1.21×10^{13}	6.82×10^{16}	—	15.3	—	—	—	[9]
墨西哥(度假酒店) Mexico (Resort Hotel)	2001	1.30	2.70×10^{14}	7.96×10^{16}	—	76.0	—	—	—	[9]
意大利 Italy (Riviera del Beigua)	2008	18.95	2.32×10^{16}	9.58×10^{18}	4.28	4.28	—	—	—	[19]

R: 可更新资源 Renewable resources (sej); U/P: 人均能值量 Energy used per person (sej/p); U/A: 单位面积能值量 Energy used per area (sej/a); EIR: 能值投资率 Energy investment rate; ELR: 环境负载率 Energy loading ratio; EYR: 能值产出率 Energy yield ratio; ESI: 能值持续性指标 Energy sustainability index; EISD: 能值可持续发展性能指标 Energy sustainable development index

根据旅游系统的特殊性,学者构建了一些新的研究指标。如谢丽萍通过系统能值分析提出生态农业旅游经济系统指标、结构指标、功能指标、生态效率指标、总体评价指标等指标^[57]。关俊利根据生态农业旅游能值评价指标体系,运算绿色旅游收入指标(GTI),更好地指导生态农业旅游健康可持续发展^[58]。李洪波提出了生态旅游经济能值指标(生态旅游能值比、生态旅游能值产出率)对系统进行分析^[23]。张小洪针对兴文石海景区提出了废弃物的指标(废物能值百分比)^[31]。丁晓荣新构建了生态产出率和净经济效益 2 个指标^[59]等。魏敏通过测算旅游餐饮、交通、住宿、购物和劳务等能值,构建了旅游能值交换率和旅游可持续发展能值指标^[4]。在指标的构建上需要遵循客观合理的原则,根据系统特殊性构建的相应指标,表 2 中的指标对比结果仅供参考,由于能值基准的选择不同会影响相应的能值转化率,所以指标 U/P 和 U/A 需要进行统一化处理,表中意大利海岸的研究结果进行了处理,因为该研究选取的能值基准是 1.58×10^{25} sej/a^[40]。在实际分析中得出的指标值,需要说明使用的能值转化率,从而能够运用到案例实证研究中并可归一化处理用于对比分析。

2.4 方法集成方面

在农业生态系统能值研究中,运用了能值生态足迹模型^[60]、计量经济学方法^[45]、三元相图^[61]等方法,将能值理论的应用推广到一个新的高度与领域;在工业系统中,学者尝试运用能值-夹点分析方法^[62]、生命周期评价^[63]、以及模糊优化方法^[64]等方法,更有效的对工业系统进行评价和优化。

在旅游系统的研究中,李洪波认为能值分析方法在旅游生态经济系统中的应用仍处于探索阶段,旅游生态经济系统能值分析指标体系的构建尚不完善,研究缺乏针对性,同时也未能反映人类对生态旅游系统所提

供的服务的需求性,所以采用条件价值法解决这个问题^[23]。关俊利运用旅游卫星账户 TSA 指导思想,以桂林恭城瑶族自治县为实例,对生态农业旅游投入产出进行了核算^[58]。Serour 等结合剂量反应分析旅游者与珊瑚礁之间的关系^[17]; Vassallo 等利用能值理论对意大利利谷里亚海岸旅游地经济、社会和环境的可持续性进行分析,结合巴特勒生命周期理论,形成“Em-TACL”模式,并指出利用能值分析可以对旅游地的生命周期进行判断,为管理者提供制定相关政策的依据。并使用相关系数分析显示旅游者的能值使用价值与居民的能值使用价值趋势一致^[19]。Brown 和 Ulgiati 在对酒店建筑的能值计算是通过估计度假地的生命周期来分解测算^[9]。结合方法上呈现的不如其他系统广阔,可根据研究需要,选取经济学、地理学等方法综合分析。

3 研究启示

总体来看,国内从微观尺度出发,以旅游产业系统为研究对象的能值分析较少,从能值理论的合理运用、指标选取、数据采集、系统完整性、实践指导性等方面,国内研究相较于国外仍显薄弱。需加强以下方面研究。

(1) 理论上建立与架构旅游生态系统的能值分析体系

旅游生态系统的边界确定是能值分析的基础,现实中由于行政管辖权导致的生态系统碎化,使能值研究的对象难以界定,从而影响数据采集、能值输入与输出指标的选择以及定量计算结果的定性表达。今后应立足典型案例区,如有一个行政机构管辖的有确定范围的风景区(黄山、九寨沟、庐山、武夷山、武当山等等),其旅游生态经济系统边界明确,系统内几乎所有行业都是为旅游服务,易于确定。通过对典型旅游地的能值分析,从而可以建构旅游生态经济系统能值分析的一般框架体系。

(2) 方法上有 3 个问题需进一步探讨

一是注重多学科方法的结合研究,如与旅游生态足迹^[65]、应用计算机模拟结合 GIS 技术手段建立动态模型、能值三相图等的结合。二是注重利用新的地球能值基准,尤其在与其他地区的比较研究中,应在同一基准上采用转换系数,使指标进行比较更加具有对应性与政策启示的针对性。三是注重系统能值过程的分析,提出适合系统属性的指标评价体系,完整的应用能值方法对系统进行分析,探讨从能量的流入到废弃物的处理这一整个过程中各种主要生态经济流的作用与机制。

(3) 内容上,今后要加强旅游生态系统能值的历时性分析与横向比较研究

结合其他系统的研究成果,从方法和指标设计上寻找契合点,例如农业生态系统中关于审美景观功能的能值测算,工业系统中废弃物和建筑设施的能值测算等,森林生态系统中关于生态服务功能的价值评估,运用于旅游系统的能值研究。根据系统的核算边界和研究目的,构建实用的能值流程图。基于能值分析的旅游生态效率、旅游生态安全、旅游环境容量、旅游生态用地研究以及能值贸易研究,能值价值论和市场价值论融合趋势下如何反映旅游者的需求结构和偏好,都将是未来重要的研究取向。

参考文献(References):

- [1] 杨桂华,李鹏. 旅游生态足迹: 测度旅游可持续发展的新方法. 生态学报, 2005, 25(6): 1475-1480.
- [2] Odum H T. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [3] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002: 26-45.
- [4] 魏敏, 冯永军, 李芬, 郑玉清. 泰安市旅游生态能值分析. 地理学报, 2012, 67(9): 1181-1189.
- [5] 佟玉权. 旅游生态系统的特征与研究方法. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2000, 23(4): 418-420.
- [6] 郑泽厚. 论旅游生态经济学的理论体系. 理论月刊, 1998, (11): 33-37.
- [7] 章家恩. 旅游生态学. 北京: 化学工业出版社, 2005: 30-35.
- [8] Doherty S J, Brown M T, Murphy R C, Odum H T, Smith G A. Emery Synthesis Perspectives, Sustainable Development and Public Policy Options for Papua New Guinea. Florida: Center for Wetlands & Water Resources University of Florida, 1993: 5-9.
- [9] Brown M T, Ulgiati S. Emery measures of carrying capacity to evaluate economic investments. Population and Environment, 2001, 22(5): 471-501.
- [10] Lei K P, Zhou S Q, Hu D, Guo Z, Cao A X. Emery analysis for tourism systems: Principles and a case study for Macao. Ecological Complexity,

- 2011, 8(2): 192-200.
- [11] Jiang M M, Zhou J B, Chen B, Chen G Q. Emergy-based ecological account for the Chinese economy in 2004. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2008, 13(10): 2337-2356.
- [12] 董孝斌, 严茂超, 董云, 杨凌志, 张玉芳, 张新时. 基于能值的内蒙古生态经济系统分析与可持续发展战略研究. *地理科学进展*, 2007, 26(3): 47-56.
- [13] 李金平, 陈飞鹏, 王志石. 城市环境经济能值综合和可持续性分析. *生态学报*, 2006, 26(2): 439-448.
- [14] Lei K P, Zhou S Q, Hu D, Yu Y Y. Ecological energy accounting for the gambling sector: A case study in Macao. *Ecological Complexity*, 2010, 7(2): 149-155.
- [15] 张志卫, 丰爱平, 李培英, 刘大海. 基于能值分析的无居民海岛承载力: 以青岛市大岛为例. *海洋环境科学*, 2012, 31(4): 572-575.
- [16] Abel T. *Ecosystems, Sociocultural Systems, and Ecological-Economics for Understanding Development: the Case of Ecotourism on the Island of Bonaire*. Florida: University of Florida, Gainesville, Florida, 2000:8-11.
- [17] Serour R K. An Environmental Economic Assessment of the Impacts of Recreational Scuba Diving on Coral Reef Systems in Hurghada, the Red Sea, Egypt. Maryland: Department of Biological Resources Engineering, University of Maryland, College Park, 2004:13-20.
- [18] Nam J, Chang W, Kang D. Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea. *Ecological Modelling*, 2010, 221(17): 2102-2107.
- [19] Vassallo P, Paoli C, Tilley D R, Fabiano M. Energy and resource basis of an Italian coastal resort region integrated using emergy synthesis. *Journal of Environmental Management*, 2009, 91(1): 277-289.
- [20] 谢雨萍, 魏美才, 周永博, 邓祝仁. 广西恭城月柿生态农业旅游能值分析. *生态学报*, 2007, 27(3): 1056-1064.
- [21] 王卓晗, 陆宏芳, 陈桂珠, 谭耀文, 罗金棠. 深圳市滨海湿地两个观光农业系统的能值整合研究. *生态环境*, 2008, 17(6): 2458-2463.
- [22] 魏奋子, 岳敏. 青藏高原东北缘地带 50 多年来农业生态经济系统可持续发展分析. *水土保持通报*, 2008, 28(4): 191-197.
- [23] 李洪波, 李燕燕. 武夷山自然保护区生态旅游系统能值分析. *生态学报*, 2009, 29(11): 5869-5876.
- [24] Pulselli F M, Pulselli R M, Picchi M P. Emergy evaluation of the "emertalities" in nonindustrialized regions: the case of two mountain communities in Italy // Brown M T, Odum H T, Tilley D R, Ulgiati S, eds. *Emergy Synthesis 2, Proc. of the 2nd Biennial Emergy Conference*. The Center for Environmental Policy. Gainesville: University of Florida, 2003: 397-407.
- [25] Lu H F, Campbell D E, Chen J, Qin P, Ren H. Conservation and economic viability of nature reserves: an emergy evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 415-438.
- [26] 崔丽娟, 赵欣胜. 鄱阳湖湿地生态能值分析研究. *生态学报*, 2004, 24(7): 1480-1485.
- [27] 李婷婷, 莫创荣, 姚焕玫, 陈莉. 基于能值分析的广西沿海红树林生态效益. *生态经济:学术版*, 2009, (1): 364-367.
- [28] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽. 西溪国家湿地公园生态经济效益能值分析. *生态学报*, 2009, 29(3): 1285-1291.
- [29] 管新建, 齐雪艳, 吴泽宁, 李恩宽, 杜凯. 东居延海生态系统服务功能价值的能值分析. *水土保持研究*, 2012, 19(5): 253-256.
- [30] 关俊利, 李肇荣. 十万大山旅游生态系统的能值分析研究. *桂林旅游高等专科学校学报*, 2006, 17(5): 581-584.
- [31] 张小洪, 税伟, 张天洪. 基于能值的兴文石海风景名胜区长可持续发展研究. *四川地质学报*, 2009, 29(1): 7-10.
- [32] 苏文明, 徐水太. 能值理论与分析方法的研究应用综述. *生态经济:学术版*, 2008, (2): 31-34, 39-39.
- [33] 薛冰, 李春荣, 任婉侠, 耿涌, 刘祚希, 王美玲, 于晓曼. 能值理论在农业生态经济的应用与展望. *生态科学*, 2013, 32(1): 126-132.
- [34] 慕韩锋, 冯霄. 工业系统能值理论应用研究进展. *化工进展*, 2012, 31(10): 2137-2143.
- [35] Scienceman D M. Energy and emergy // Pillet G, Murota T, eds. *Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface*. Geneva: Roland Leimgruber, 1987: 257-276.
- [36] Lei K P, Wang Z S. Emergy synthesis of tourism-based urban ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 831-844.
- [37] Abel T. Understanding complex human ecosystems: the case of ecotourism on Bonaire. *Conservation Ecology*, 2003, 7(3): 9-10.
- [38] 胡艳霞, 李红, 周连第, 王亚芝. 密云库北区域典型村庄生态经济评估与规划设计. *中国农学通报*, 2010, 26(22): 313-317.
- [39] 梁春玲, 谷胜利. 南四湖湿地生态系统能值分析与区域发展. *水土保持研究*, 2012, 19(2): 185-188.
- [40] Odum H T. Emergy of Global Processes. Folio #2 // *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folijs*. Florida, Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida. Gainesville, 2000.
- [41] Brown M T, Bardi E. Emergy of ecosystems, Folio #3 // *Handbook of Emergy Evaluation*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences. University of Florida. Florida, Gainesville: University of Florida Press, Gainesville, 2001.
- [42] Brown M T, Ulgiati S. Updated evaluation of exergy and emergy driving the geobiosphere: A review and refinement of the emergy baseline. *Ecological Modelling*, 2010, 221(20): 2501-2508.
- [43] Jiang M M, Chen B, Zhou J B, Tao F R, Li Z, Yang Z F, Chen G Q. Emergy account for biomass resource exploitation by agriculture in China. *Energy Policy*, 2007, 35(9): 4704-4719.

- [44] Geng Y, Zhang P, Ulgiati S, Sarkis J. Emergy analysis of an industrial park: The case of Dalian, China. *Science of Total Environment*, 2010, 408(22): 5273-5283.
- [45] 薛冰, 张子龙, 郭晓佳, 陈兴鹏, 耿涌. 区域生态环境演变与经济增长的耦合效应分析: 以宁夏回族自治区为例. *生态环境学报*, 2010, 19(5): 1125-1131.
- [46] Chen B, Chen G Q. Emergy-based energy and material metabolism of the Yellow River Basin. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(3): 923-934.
- [47] Vassallo P, Bastianoni S, Beiso I, Ridolfi R, Fabiano M. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 290-298.
- [48] 陈东景, 徐中民. 干旱区农业生态经济系统的能值分析——以黑河流域中游张掖地区为例. *冰川冻土*, 2002, 24(4): 374-379.
- [49] Meillaud F, Gay J B, Brown M T. Evaluation of a building using the emergy method. *Solar Energy*, 2005, 79(2): 204-212.
- [50] Spinelli D, Jez R, Basosi R. Integrated environmental assessment of sunflower oil production. *Process Biochemistry*, 47(11): 1595-1602.
- [51] Almeida C M V B, Borges J D, Bonilla S H, Giannetti B F. Identifying improvements in water management of bus-washing stations in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54(11): 821-831.
- [52] 李双成, 蔡运龙. 基于能值分析的土地可持续利用态势研究. *经济地理*, 2002, 22(3): 346-350.
- [53] 严茂超, 李海涛, 程鸿, 沈文清. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估. *北京林业大学学报*, 2001, 23(6): 66-69.
- [54] Lou H H, Kulkarni M A, Singh A, Hopper J R. Sustainability assessment of industrial systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2004, 43(15): 4233-4242.
- [55] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Energy*, 1997, 9(1/2): 51-69.
- [56] 陆宏芳, 蓝盛芳, 彭少麟. 系统可持续发展的能值评价指标的新拓展. *环境科学*, 2003, 24(3): 150-154.
- [57] 谢雨萍, 关俊利. 生态农业旅游能值分析理论初探. *旅游论坛*, 2008, 1(3): 315-321.
- [58] 关俊利, 谢雨萍. 基于 TSA 的旅游投入产出核算的生态农业旅游能值分析理论初探——以恭城为例. *旅游论坛*, 2010, 3(5): 509-513.
- [59] 丁晓荣, 王利琳. 莫干山风景区生态经济系统能值分析及可持续性评价. *浙江林学院学报*, 2010, 27(6): 916-922.
- [60] 刘小雷, 丁桑岚. 基于能值理论改进的生态足迹法——以重庆市为例. *安徽农业科学*, 2011, 39(12): 7391-7394.
- [61] Almeida C M, 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.
- [62] Zhelev T K, Ridolfi R. Energy recovery and environmental concerns addressed through emergy-pinch analysis. *Energy*, 2006, 31(13): 2486-2498.
- [63] Pizzigallo A C, Granai C, Borsa S. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86(2): 396-406.
- [64] Taskhiri M S, Tan R R, Chiu A S F. Emergy-based fuzzy optimization approach for water reuse in an eco-industrial park. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011, 55(7): 730-737.
- [65] 章锦河. 基于生态足迹的区域旅游环境影响研究. 合肥: 安徽人民出版社, 2008: 40-54.