

湘潭农业生态系统的能值分析及其可持续性评价

熊林金, 周子英, 徐邹华, 杨君, 朱玲瑶

(湖南农业大学 资源环境学院, 长沙 410128)

摘要:为提高湘潭市农业生产力水平,促进农业生态系统可持续发展,运用能值分析理论和方法,对湘潭市 2000—2008 年农业生态系统的能值投入产出、运行效率、ELR 进行定量分析。结果表明:湘潭市农业生态系统能值投入以可更新的有机能为主,主要依赖于人力,其所占能值比重由 2000 年的 0.58 下降到 2008 年的 0.49,尚处于从传统农业阶段向现代农业阶段转变的过渡时期;能值产出中林业能值产出较大,而种植业和渔业所占比例较小,尤其是渔业,未达到整个能值产出的 0.01%;湘潭市农业生态经济环境负载率低,资源空间利用未达到优化配置,具有较大的发展空间。湘潭农业生态系统的可持续发展指数变化较大,波动范围在 0.03~0.11 之间,说明湘潭农业生态系统属于消费型经济系统。应根据农业的需要合理调整农业产业结构及能值投入结构,促进农业生态经济系统的良性循环。

关键词:能值分析;能值投资率;环境负载率;可持续发展指数;农业生态环境

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0249-05

Analysis on the Energy of Agro-ecosystem and Assessment of Sustainable Development in Xiangtan

XIONG Lin-Jin, ZHOU Zi-ying, XU Zou-hua, YANG Jun, ZHU Ling-yao

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to improve agriculture productivity, promote agro-ecosystem sustainable development in Xiangtan, the input-output condition, work efficiency, and environmental load of the agro-ecosystem in Xiangtan were systematically assessed based on the theory and method of energy analysis from 2000 to 2008. The results showed that the renewable organic energy dominated over the majority of energy input in Xiangtan, the agro-ecologic system in Xiangtan still stayed in the period shifting from traditional to modern agriculture, proportion dropped from 0.58 in 2000 to 0.49 in 2008, which mainly depended on man power. The majority of energy output was forestry, while crop cultivation and fishery had a relatively low percentage, especially the fishery, which didn't reach to 0.01%. Xiangtan had a low environment load ratio and the resources were not fully developed, thus the agroecosystem had a large development potential; the energy-based sustainable index of agroecosystem in Xiangtan was in ascendant trend, the range varied from 0.03 to 0.11, which showed that the agroecosystem belonged to consumer economic system. To promote the virtuous cycle of agro-economic system in Xiangtan, we should gradually adjust the investment proportion of input and output energy.

Key words: energy analysis; energy investment ratio; environmental loading ratio; development index; agro-ecosystem

农业生态系统作为一个人工生态系统,与人类的社会经济领域密不可分。农业活动通过在自然界不断进行物质循环、生物循环、能量流动转换,在人类社

会的持续发展过程中具有不可替代的特殊作用。随着农业生态系统的自然循环方式被人为打破,系统物质输入和输出水平不断增加、能量转化效率逐渐提

收稿日期:2012-10-06

修回日期:2012-11-06

资助项目:湖南省教育厅资助项目(CX2010B298);湖南农业大学引进人才基金(07YJ17)

作者简介:熊林金(1987—),女,湖南长沙人,在读硕士生,主要从事土地资源利用研究。E-mail:82745131@qq.com

通信作者:杨君(1976—),女,湖南邵阳人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事土地利用规划和土地经济研究。E-mail:yangjun_ly@163.com

高,系统的波动性、脆弱性随之扩大,系统的稳定性、抗逆性也由此下降^[1]。因此,如何合理地进行资源的投入,提高农业生态经济系统发展的可持续性,对于农业生产发展以及维护良好的人类生存环境具有重要意义。

能值分析用同一客观标准,即太阳能值来衡量不同类别、不同物质之间能量的真实价值和数量关系。应用能值分析方法把生态环境系统和人类社会经济系统结合起来,定量地分析系统中自然资源和人类投入对系统的贡献,通过对系统中的能量流、物质流、货币流、信息流的能值转换,为资源的合理利用、经济发展方针的制定提供了一个重要的度量标准。本文应用 Odum 能值分析理论与方法,定量分析与评价湘潭农业生态经济系统可持续发展的限制性因素,以期作为湘潭农业资源的合理利用、经济发展政策的制定,及实现农业的可持续发展提供科学依据,为湘潭市“两型社会”建设提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

湘潭市位于湖南省中部偏东,湘江下游,位于东经 111°58′—113°05′,北纬 27°21′—28°05′。境内北、西、南地势高,中部、东部地势低平;地貌类型多样,山地、丘陵、岗地、平原、水面俱备;属中亚热带季风湿润气候区,夏秋干旱,冬春易受寒潮和大风侵袭;光能资源比较丰富,历年平均日照时数 1 640~1 700 h;热量资源丰富,平均气温 16.7~17.4℃;降水量较充沛,但季节分布不均,年际变化大,全年降水量为 1 200~1 500 mm。2010 年全市常住人口为 274.8 万人,其中市区人口 95.9 万人。人口密度为 549 人/km²,为湖南省第 2 位。耕地面积 1.22×10⁵ hm²,全年粮食播种面积稳定在 2.1×10⁵ hm²,粮食总产量达到 1.47×10⁶ t。

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 能值分析理论 能值分析理论以同一种能量类别单位(太阳能)来分析系统中能量流动或存储的不同类别以及在该系统中的贡献,从而分析该系统的运行效率,克服了传统经济学与能量分析方法无法在统一尺度上对不同质的资源进行量化计算的缺陷^[2]。能值分析对农业自然资源的科学评价、合理利用、制定经济发展方针及实施可持续发展战略均具有重要意义^[3-5]。

1.2.2 能值分析方法 查阅湘潭市 2000—2008 年的统计年鉴及有关资料,编制能值分析表,将农业生态系统的各种物质和能量形式的投入转化为太阳能

值,能量折算系数和太阳能值转换率参见参考文献[6-7]。建立反映农业生态经济系统特征和评价系统结构功能的能值指标体系,分析农业生态经济系统运行特征,评价自然环境对农业经济发展的贡献和影响。

1.2.3 数据来源 湘潭市农业生态经济系统能值分析所需的原始数据,主要来自于湘潭市历年统计年鉴、湘潭社会统计公告、湖南省历年统计年鉴。以 2000—2008 年湘潭市农业生态经济系统中能量投入和产出数据为基础,选取可更新环境资源、不可更新环境资源、不可更新工业辅助能源、有机能四项,将各种环境资源、农业生产资料、要素及产品参考《农业经济技术手册》^[8]和《农业生态学》进行折算^[9]。再将这些数据乘以相应的太阳能值转换率得到四种类型的能值投入。

2 湘潭市农业生态经济系统能值结构分析

2.1 湘潭市农业生态经济系统能值投入结构

根据能值分析法,对湘潭市农业生态系统的环境资源及购买能源进行计算。从表 1 可知,2000—2008 年湘潭市的总能值投入除 2000—2002 年下降外,其余 7 a 略有上升,环境资源能大体保持稳定,工业辅助能呈现逐年增加的趋势,但可更新的有机能呈逐年减少的趋势,工业辅助能和有机能的变化直接导致了总投入能值的变化。

湘潭市农业生态经济系统的不可更新工业辅助能主要有化肥、农药、化石燃料等,其中氮、磷、钾、复合肥以及农药的投入占整个工业辅助能投入的 93.16% 以上。根据优化施肥的相关知识可以判断出当地化肥利用率低,一定程度上成为种植业成本增加的主要原因^[10]。同时,化肥和农药的大量使用,造成了资源的巨大浪费,更是农业生产面临污染的主要原因,且是破坏土壤结构、造成土壤板结的重要因素,不利于湘潭市农业生态经济系统的可持续发展,与湘潭市“两型”社会建设目标存在一定差距。

在所有的能值投入中,可更新的有机能投入占总投入的 50% 左右。湘潭市农业生态经济系统的有机能投入主要来源于农业从业人员、役畜劳动和种子的施用。2000—2008 年,虽然有机能投入减少,但其占总能值投入的比例较大。人力在有机能投入中占据绝对比重,9 a 来都在 97% 以上,说明该地区的农业模式属于劳动密集型,机械化程度较低,还没有成功地从劳动密集型转变为科技密集型。

表 1 2000—2008 年湘潭市农业生态系统能值投入

能值投入种类		能值转换率/ (sej·J ⁻¹)	能值投入/sej				
			2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年
可更新环境 资源投入	太阳光能	1.00E+00	6.70E+14	6.61E+14	6.54E+14	6.45E+14	7.39E+14
	风能	6.63E+02	5.40E+15	5.34E+15	5.28E+15	5.21E+15	5.96E+15
	雨水地质势能	8.89E+03	1.62E+19	1.37E+19	1.43E+19	1.65E+19	1.67E+19
	雨水化学势能	1.54E+04	1.65E+20	1.41E+20	1.46E+20	1.68E+20	1.71E+20
	地球循环能	2.90E+04	6.07E+19	5.99E+19	5.93E+19	5.85E+19	6.70E+19
小计			2.42E+20	2.01E+20	2.19E+20	2.43E+20	2.54E+20
不可更新环境 资源投入	表土损失能	6.25E+04	1.41E+19	1.40E+19	1.38E+19	1.36E+19	1.56E+19
	小计	6.25E+04	1.41E+19	1.40E+19	1.38E+19	1.36E+19	1.56E+19
工业辅助能 投入	氮	4.62E+09	8.38E+19	9.19E+19	1.00E+20	1.08E+20	1.16E+20
	磷	1.78E+10	1.16E+20	1.23E+20	1.31E+20	1.39E+20	1.47E+20
	钾	1.74E+09	4.73E+18	5.04E+18	5.35E+18	5.66E+18	5.96E+18
	复合肥	2.80E+09	1.23E+19	1.33E+19	1.42E+19	1.51E+19	1.60E+19
	农药	1.62E+09	7.09E+17	6.64E+17	6.60E+17	7.34E+17	8.07E+17
	农膜	3.80E+08	4.53E+16	4.55E+16	4.53E+16	6.01E+16	7.49E+16
	农用柴油	6.60E+04	9.33E+13	9.38E+13	9.33E+13	1.24E+14	1.54E+14
	农业机械总动力	7.50E+07	2.55E+18	2.98E+18	3.79E+18	4.87E+18	6.25E+18
	电力	1.59E+05	1.41E+19	1.59E+19	1.77E+19	1.99E+19	2.21E+19
	小计		2.34E+20	2.53E+20	2.73E+20	2.93E+20	3.14E+20
有机能投入	人力	3.80E+05	6.56E+20	6.28E+20	5.99E+20	5.71E+20	5.43E+20
	畜力	1.46E+05	5.68E+18	5.20E+18	4.67E+18	2.39E+18	2.31E+18
	种子	6.60E+04	2.75E+17	2.72E+17	2.69E+17	2.65E+17	3.04E+17
	有机肥	2.70E+04	9.15E+18	1.28E+19	1.73E+18	3.88E+18	3.06E+18
	小计		6.71E+20	6.46E+20	6.06E+20	5.78E+20	5.49E+20
总投入			1.16E+21	1.11E+21	1.11E+21	1.13E+21	1.13E+21

2.2 湘潭市农业生态经济系统能值产出结构

从表 2 可知,湘潭市农业总能值产出除 2002 年减少外,其余 8 a 都呈逐年增加的趋势。其中,林业占绝对优势,而且比率增加很快,从 2000 年的 1.14E+19 sej/a 增加到 2008 年的 3.33E+19 sej/a。这是湘潭实行科技兴林战略,推进城乡绿化一体化的结果。种植业、畜牧业缓慢发展。渔业产出能值的份额相对较小,但也在缓慢发展,是整个农业生态经济系统的薄弱环节,还有待改善。

种植业中,稻谷的主导优势地位仍不可动摇,9 a 中几乎都在 75%以上。蔬菜和水果均为劳动密集型产业,可吸纳较多的劳动力,能值产出不高,但经济价值高,可获得较多的交换能值。畜牧业中的猪和牛的养殖数量和出栏数最大,但是牛对林草的破坏性也大,这也是滥牧引起生态环境恶化的一个重要原因。应改变饲养观念,增加科技投入,以提高畜牧业的效益。

2.3 能值指标的比较分析

比较农业生态经济系统的投入产出,得到湘潭市农业生态经济系统的能值指标(表 3)。

2.3.1 净能值产出率(NEYR) NEYR 为系统产出能值与经济反馈能值的比值,与经济分析中的产投比类似,是用来衡量系统生产效率的一种标准^[11], NEYR 值越大,表明系统的生产效率越高,产品的市场竞争力越强。从表 3 可知,2000—2008 年湘潭的 NEYR 在波动中上升,但值非常小,远远低于全国农业平均 NEYR 值(1.42)^[12],说明湘潭市农业生态经济系统的运转效率较低,经济投入对农产品的贡献程度小,整个农业生态系统的整体功能还有待提高。

2.3.2 能值投资率(EIR) EIR 为人类经济系统的反馈能值与自然环境系统的投入能值的比值,用来衡量经济活动的竞争力程度和环境资源负载程度,EIR 值越大,说明系统经济的发展程度越高,反之则表明发展水平越低而且对环境的依赖性越强。湘潭市农业生态经济系统的 EIR 在 9 a 间变化不大,远低于美国(7.0)和世界平均水平(2.0),但高于同属于中部地带的江西 1995—2000 年的值(0.52~0.61)^[13]。表明湘潭经济过于依赖本地资源的开发,对外开放和利用外界各类“资源”程度低。扩大开放程度,充分利用外界各类资源、资金和服务尤为重要^[14]。

表 2 2000—2008 年湘潭市农业生态系统能值产出

能值产出种类		能值转换率/ (sej·J ⁻¹)	能值产出/sej				
			2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年
种植业	稻谷	8.30E+04	1.13E+16	1.05E+16	1.23E+16	1.28E+16	1.29E+16
	小麦	6.80E+04	8.96E+12	7.07E+12	7.30E+12	7.65E+12	7.89E+12
	玉米	8.51E+04	2.57E+13	9.23E+13	2.23E+14	1.29E+14	1.24E+14
	高粱	8.30E+03	9.96E+10	1.99E+11	1.54E+11	1.31E+11	1.33E+11
	豆类	8.30E+04	2.10E+13	5.95E+13	5.47E+13	6.43E+13	2.79E+13
	薯类	8.30E+04	1.30E+14	1.28E+14	1.08E+14	1.20E+14	1.23E+14
	油料	8.60E+04	6.78E+13	6.78E+13	6.80E+13	6.89E+13	8.68E+13
	棉花	1.90E+06	9.98E+13	9.41E+13	9.41E+13	8.99E+13	7.96E+13
	麻类	8.30E+04	2.41E+11	2.24E+11	2.24E+11	1.49E+11	1.49E+11
	甘蔗	8.50E+04	2.43E+13	2.62E+13	2.30E+13	2.38E+13	2.47E+13
	烟叶	2.74E+04	1.79E+12	1.62E+12	1.67E+12	1.71E+12	1.81E+12
	蔬菜	2.70E+04	2.21E+15	2.54E+15	3.04E+15	3.39E+15	3.76E+15
	水果	5.30E+04	4.31E+14	3.57E+14	1.90E+14	2.55E+14	2.54E+14
	茶叶	2.00E+05	2.27E+13	2.29E+13	2.48E+13	2.86E+13	3.20E+13
畜牧业	小计		1.44E+16	1.39E+16	1.61E+16	1.69E+16	1.74E+16
	猪肉	1.70E+06	4.48E+16	4.99E+16	5.67E+16	6.54E+16	7.23E+16
	牛肉	4.00E+06	2.41E+16	3.75E+16	3.74E+14	2.62E+16	8.15E+15
	羊肉	2.00E+06	5.66E+11	1.68E+12	1.75E+14	1.73E+12	8.98E+11
	驴肉	2.00E+06	2.20E+12	2.00E+12	1.80E+12	1.80E+12	2.20E+12
	禽肉	1.70E+06	2.06E+15	2.37E+15	2.48E+15	2.57E+15	2.74E+15
	兔肉	1.70E+06	2.21E+12	2.21E+12	1.87E+12	2.21E+12	2.38E+12
	牛奶	1.71E+06	2.63E+14	3.73E+14	4.36E+14	4.51E+14	4.74E+14
	蜂蜜	1.71E+06	5.47E+13	6.69E+13	7.23E+13	7.32E+13	7.20E+13
	禽蛋	2.00E+06	5.06E+15	5.50E+15	5.74E+16	5.88E+15	6.07E+15
渔业	小计		7.63E+16	9.58E+16	1.18E+17	1.01E+17	8.98E+16
	水产品	3.49E+04	1.95E+14	2.12E+14	2.30E+14	2.63E+14	2.21E+14
林业	小计		1.95E+14	2.12E+14	2.30E+14	2.63E+14	2.21E+14
	林业产值	1.20E+12	1.13E+19	9.09E+18	2.01E+19	3.32E+19	3.33E+19
	小计		1.13E+19	9.09E+18	2.01E+19	3.32E+19	3.33E+19
总产出			1.14E+19	9.20E+18	2.03E+19	3.33E+19	3.34E+19

注:其中林业产值数据其原始统计单位为“元”,能值转换率单位为“sej/元”。

表 3 湘潭市农业生态经济系统能值指标汇总

项目		2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年
可更新资源能值比重	R/U	0.21	0.24	0.20	0.22	0.23
不可更新资源能值比重	N/U	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
不可更新工业辅助能值比重	F/U	0.20	0.21	0.25	0.26	0.28
可更新有机能值比重	T/U	0.58	0.54	0.55	0.51	0.49
购买资源能值比重	(F+T)/U	0.78	0.75	0.77	0.77	0.77
可更新资源能值比重	(R+T)/U	0.79	0.78	0.74	0.73	0.71
不可更新资源能值比重	(F+N)/U	0.21	0.22	0.26	0.27	0.29
能值产出率(EYR)	Yield/(F+T)	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04
能值投资率(EIR)	F/(R+N)	0.91	0.83	1.17	1.14	1.16
环境承载力负荷(ELR)	(N+F)/(R+T)	0.27	0.29	0.35	0.37	0.41
可持续发展指数(ESI)	EYR/ELR	0.07	0.03	0.09	0.11	0.10

2.3.3 环境负载率(ELR) ELR 为购买的能值和不可更新的能值之和与可更新资源能值的比值,是用来衡量某区域一定的经济状况下环境系统所承受的压力,ELR 值越高,表明系统科技发展水平较高,同时对环境系统的压力也较大。反之,表明农业生态系统有发展潜力,应进一步加大其购买能值的投入。湘潭市 2000—2008 年 ELR 值增加,说明农业环境压力

上升。农业虽有发展,但科技水平偏低。ELR 为 0.27~0.41,低于全国平均值 5.89,表明湘潭市环境资源未达到高效利用,没有达到一种高投入高产出的运行状态,说明湘潭农业发展环境压力小,发展农业有较大潜力,有提升空间。需要说明的是,ELR 的大小并不与该系统的环境保护效果的好坏成正比^[15]。湘潭市应继续增大能值投入,尤其是加大科技投入,

推进农机化,发展设施农业。同时应注意减少化肥、农药、农膜等的过量投入,以免造成严重的土壤污染,带来环境问题。同时,应增强环境保护意识,使系统经济效益的提高与生态效益的提高相结合,发展生态农业。

2.3.4 可持续发展指数(ESI) ESI即EYR与ELR之比。若某地区的生态经济系统净能值产出率高而环境负载率低,则可持续,反之则不可持续。ESI在1~10之间,表明经济系统有活力和发展潜力;ESI>10,经济不发达,对资源的开发利用不够;ESI<1时为消费型经济系统,本区域内不可更新资源的利用很大,系统的进口资源和劳务能值量在总能值使用量中所占比重很大,对本地不可更新资源的利用也较大,ELR较高^[16-17]。受EYR和ELR变化趋势的影响,湘潭市2000—2008年ESI均小于1,说明其农业生态系统的投入主要是依靠不可更新资源和进口能值的投入,环境负载率较大,因此,政府必须对农业生产进行科学指导和调控,优化该区域的能值投入结构。

3 结论与对策

(1) 湘潭市地处亚热带,雨热同步,自然环境资源优势明显,ELR较低,未达到高效利用,具有明显的提升空间,系统远未达到高投入、高产出的运行状态;现阶段的农业属于劳动密集型,工业辅助能值投入较少,农业生态系统整体回报效率低,系统产出能值不足以补偿购买能值,缺乏竞争力。有机能在整个能源组成结构中较高,应继续转移农业剩余劳动力,使剩余农业劳动力从农业转向第二、三产业,有效提高农业生产效率。加大农业科技辅助能值投入、提高环境资源的利用效率,使湘潭市农业从劳动密集型转变为科技密集型,以提高农业系统竞争力,获取较高的效益。

(2) 湘潭市农业产出结构不合理,林业产出占整个生态系统的95%以上;种植业和渔业的比重相对较低,尤其是渔业。与湘潭市农业生态经济系统所承担的功能不符。湘潭市发展种植业和渔业的自然条件优越,该区域地势平坦,雨量充沛,同时,湘江、涟水、涓水都流经此地,可以加大种植业和渔业的投入,进一步调整农业产业结构,发挥种植业生产和渔业养殖的区域优势,使环境资源得到充分利用,达到规模化和集约化,高效利用自然资源和经济辅助能源的目的,使系统能值的投入产出向高水平发展。

(3) 必须使系统输出功率最大化而又不破坏环境。湘潭市可依据自身优势,提高资源利用效率,积极发展农林牧业综合开发及其产品深加工,加强水利

设施、农业基础设施建设,加大能源开发。农业的发展最终必须依靠属于高能值转换率和高能值等级的现代农业科技。因此需要利用先进技术改造传统落后产业,依靠科技力量提高资源利用水平,积极推行清洁生产,减少废弃物的能值^[18]。同时要建立优化、配套的农技科教体系,促进农业增长方式由粗放型向集约型和效益型转变,使湘潭市走上一条建设物耗低、技术含量高的生态农业化道路。

参考文献:

- [1] 王东阳. 我国农业生态系统的现状、功能与可持续发展分析[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(2): 7-12.
- [2] 唐建荣. 生态经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 严茂超. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 116-125.
- [4] 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.
- [5] 李双成, 傅小锋, 郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 297-304.
- [6] 姚作芳. 基于能值理论的生态县可持续发展研究: 以炎陵生态县为例[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [7] 蓝盛芳, 钦佩. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [8] 农业技术经济手编委会. 农业技术经济手册[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [9] 陈阜. 农业生态学教程[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [10] 韩瑛, 冯文勇. 宁夏移民区种植业生态系统的能值分析: 以红寺堡移民开发区为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 263-266.
- [11] 周子英, 杨君, 段建南, 等. 基于能值理论的长沙市农业生态经济系统演替分析[J]. 农业现代化研究, 2011, 34(4): 465-469.
- [12] 王明全, 王金达, 刘景双, 等. 东北地区农业生态经济系统的能值分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 183-188.
- [13] 廖迎春, 李海涛, 严茂超. 江西生态经济系统的能值分析及其指标动态研究[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(2): 101-107.
- [14] 杜鹏, 徐中民. 甘肃生态经济系统的能值分析及其可持续评估[J]. 地球科学进展, 2006, 21(9): 982-988.
- [15] 王建源, 薛德强, 田晓萍, 等. 山东省农业生态系统能值分析[M]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 718-722.
- [16] Ulgiati S, Brown M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystem[J]. Ecological Modeling, 1998, 10(4): 23-26.
- [17] 许振宇, 贺建林. 湖南生态经济系统的能值分析及其可持续性评估[J]. 世界科技研究与发展, 2007, 29(3): 76-81.
- [18] 刘志杰, 陈克龙, 赵志强, 等. 基于能值分析的区域循环经济研究: 以柴达木盆地为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 141-145.